

GIORGIO NEBBIA

Alcuni nuovi studi sui distillatori solari

Gli Istituti di Merceologia delle Università di Bologna e di Bari hanno intrapreso un programma di studi sulla distillazione delle acque salmastre e non potabili mediante l'energia solare. Dopo una rassegna degli studi intrapresi finora in questo campo è stata iniziata la costruzione di distillatori solari sperimentali portatili e la raccolta dei dati relativi al loro funzionamento. L'installazione di distillatori solari può risolvere il problema della mancanza di acqua dolce in molte zone aride; il costo dell'acqua dolce ottenibile con i distillatori solari è dello stesso ordine di grandezza del costo dell'acqua ottenibile con i più moderni sistemi di distillazione a combustibile.

Introduzione.

Nella presente nota verranno descritti alcuni nuovi studi condotti sulla distillazione di acque salmastre mediante l'energia solare, allo scopo di trasformarle in acque potabili.

Dove manca acqua dolce e sono disponibili acqua marina, o acque salmastre, è possibile ottenere acqua dolce dall'acqua salmastra allontanando i sali con vari sistemi sia fisici che chimici. Il principale di questi sistemi è costituito dalla distillazione, cioè dalla evaporazione dell'acqua, con successiva condensazione del vapore e raccolta dell'acqua così liberata dai sali (1). Altri sistemi consistono nell'allontanamento dei sali mediante resine scambiatrici di ioni che, essendo degli acidi o delle basi insolubili, si combinano con gli anioni e i cationi presenti formando dei sali anch'essi insolubili e lasciando passare acqua demineralizzata. Altri sistemi ancora prevedono la cristallizzazione dell'acqua salmastra: i cristalli sono costituiti praticamente da acqua pura e si formano in una soluzione

che contiene disciolti tutti i sali; i cristalli possono essere separati dalla soluzione salina per centrifugazione. Sono stati anche sperimentati metodi elettrochimici e su un nuovo metodo che prevede la demineralizzazione con membrane scambiatrici di ioni in un campo elettrico si va facendo molta pubblicità negli Stati Uniti. Anzi negli Stati Uniti è ormai così sentita la necessità di ottenere acqua dolce dalle acque salmastre che sono stati recentemente stanziati dal Governo 125.000 dollari per un vasto programma di studi in questo campo (1).

Tale programma si svolge lungo due strade: ricerca dei processi per ottenere acqua dolce dall'acqua salmastra e ricerca dei processi che consentono di sfruttare nuove fonti di energia per il primo scopo. Un esame della letteratura ha così riportato all'attenzione dei tecnici i tentativi fatti negli ultimi 100 anni in questi due campi. Alcuni di tali tentativi hanno, come vedremo, un interesse attuale notevolissimo, altri testimoniano lo spirito di iniziativa di coloro che ci hanno preceduto in questa lunga strada.

Praticamente ogni regione arida presenta delle caratteristiche diverse, per cui la scelta di un processo di demineralizzazione dell'acqua salmastra oppure di una determinata sorgente di energia per tale processo dipende da moltissimi fattori. Per esempio la necessità di acqua dolce è sempre stata sentita in maniera molto grave in tutte le zone costiere del Golfo Persico, dove si trovano i ricchi giacimenti petroliferi. Tale necessità è legata al rifornimento idrico degli stabilimenti petroliferi, alla necessità di dare al personale condizioni di vita confortevoli e all'interesse di creare, per le popolazioni locali, delle elevate condizioni di vita necessarie per il funzionamento del porto di imbarco, delle città costiere ecc.

A Kuwait, un piccolo stato ricchissimo di riserve petrolifere e di gas naturali, fin dal 1949 era stato costruito un distillatore della capacità di 400 m³ al giorno (2); nel 1951 è stata iniziata la costruzione di un distillatore che darà acqua alla città di Kuwait e che sarà composto di cinque unità, ciascuna della capacità di 5.000 m³ al giorno. La prima di tali unità

è già in funzione ed il gigantesco progetto ha potuto essere realizzato perchè è stato costruito un condotto che trasporta i gas naturali dal deserto fino al mare, a 50 km di distanza, e perchè l'utilizzazione di questi gas naturali è stata concessa gratuitamente al governo dello stato dalle società concessionarie (3).

In altre zone in cui si trovano le raffinerie di petrolio si provvede all'acqua dolce con distillatori a combustibile. E' naturale che queste condizioni di abbondanza di combustibile a basso prezzo siano relativamente rare; anzi il problema dell'energia necessaria per il processo di distillazione delle acque salmastre è molto grave in quanto non è economicamente conveniente trasportare del combustibile da lontano. Da qui la necessità di cercare anche altre fonti di energia oltre al carbone, al petrolio, ai gas naturali, all'energia idroelettrica.

In alcune zone è stato sfruttato il principio che esistono spesso delle differenze di temperatura fra la superficie e il fondo di grandi distese di acqua. Un piccolo impianto che forniva sia energia elettrica che acqua distillata sfruttando questa differenza di temperatura ha funzionato a Cuba intorno al 1920. Questo impianto forniva una potenza di 22 kW, ma ha funzionato soltanto per breve tempo ed è stato abbandonato a causa delle irregolarità delle correnti dell'oceano (4). L'idea è stata ripresa recentemente ed è allo studio da parte dei vari gruppi; un impianto progettato per fornire una potenza di 10.000 kW e 600 m³ di acqua dolce al giorno è in costruzione ad Abidjan, sulla Costa d'Avorio nell'Africa Occidentale Francese (5) (6).

Come altre sorgenti di energia sono stati proposti il vento, il moto delle onde, le manifestazioni geotermiche e infine, più promettente di tutte, quella rappresentata dalla radiazione solare.

Il sole è una sorgente di energia gratuita ed inesauribile e adempie, oltre ad una funzione di benessere e di luce, anche altre funzioni industriali. Il sole permette la crescita delle piante e interviene direttamente in tutte le coltivazioni agricole. Il sole permette di ricavare il sale evaporando l'acqua salmastra nelle saline. Infine, scaldando le superfici dei

mari e degli oceani, opera su larghissima scala quella distillazione che abbiamo cercato di riprodurre in piccolo. Il vapore acqueo si condensa, in determinate condizioni meteorologiche, fornendo quell'acqua praticamente distillata che è la neve e la pioggia, e dà origine quindi ai fiumi e alle falde acquose e alle acque dolci.

In questa distribuzione dell'enorme distillatore alcune regioni sono sacrificate. Le precipitazioni atmosferiche vanno diminuendo col diminuire della latitudine, come frequenza e come intensità, e alcune zone sono prive delle condizioni geologiche che presuppongono la disponibilità di acqua dolce in abbondanza per tutto l'anno. Ciò avviene nelle zone desertiche, prive di montagne, nelle piccole isole ecc.

L'energia solare è particolarmente vantaggiosa per la distillazione delle acque salmastre. Anzi allo stato attuale delle conoscenze sull'argomento i tecnici ritengono (6) che sarà possibile impiegare economicamente un processo di distillazione per recuperare acqua potabile dalle acque salmastre soltanto se si impiegheranno delle sorgenti di energia diverse da quelle principali oggi sfruttate, in quanto non si può sacrificare una materia prima indispensabile per ottenerne un'altra.

Intensità della radiazione solare.

Prima di passare a descrivere i vari tipi di distillatori solari realizzati negli ultimi cento anni è necessario fare alcune considerazioni sull'intensità dell'energia raggiante solare disponibile. Ciò consente innanzitutto di stabilire i limiti massimi di energia disponibile e di valutare quindi il rendimento termico dei vari dispositivi.

La costante solare, cioè l'energia solare incidente su 1 cm^2 di superficie nera colpita perpendicolarmente fuori dell'atmosfera terrestre, è di 1,93 piccole calorie al minuto, corrispondenti a $1150 \text{ kcal/ora/m}^2$. Non tutta questa energia solare raggiunge la superficie terrestre; parte viene assorbita dall'atmosfera, dal pulviscolo atmosferico, dalle nubi, dal vapore acqueo ecc.; inoltre il sole durante il giorno non sempre è

perpendicolare alla superficie terrestre. Peraltro, se si pensasse che una zona della terra fosse colpita per dieci ore al giorno dall'energia espressa dalla costante solare, si avrebbe un limite massimo assolutamente ideale di disponibilità di 11.500 kcal/m².

L'energia solare che raggiunge in un giorno 1 m² di superficie terrestre è molto inferiore. La tabella 1 contiene alcuni dati relativi al territorio degli Stati Uniti nelle diverse stagioni, ricavati da pubblicazioni specializzate (7) (8) (9).

TABELLA 1

Intensità della radiazione solare in alcune zone degli Stati Uniti (7) (8) (9)

Località	Lati- tudine Nord	Energia solare ricevuta al giorno (kcal/m ²)		
		Dicembre	Giugno	Media annua
St. Juan, P.R.	18°	4.200	5.500	5.300
Honolulu, T.H.	21°	4.000	6.500	5.200
Miami, Florida	25°	3.000	6.000	4.000
La Jolla, Calif.	33°	2.700	5.000	4.200
Fresno, Calif.	36°	1.500	7.600	4.700

Dalle carte dell'energia solare negli Stati Uniti, redate da FRITZ (10) (11), si ricava la distribuzione mensile della quantità di energia ricevuta da una superficie orizzontale nei giorni sereni e le relative medie annuali. Le regioni desertiche sud-occidentali (California, Arizona, New Mexico) ricevono circa 6.800 kcal/giorno/m² da maggio ad agosto e nei giorni sereni si può raggiungere un massimo di 8.000 kcal/giorno/m². Durante l'inverno negli Stati Meridionali l'energia incidente media è di 2.700 kcal/giorno/m², con massimi, nei giorni sereni, di 3.500 kcal/giorno/m². Mancano dati analoghi per molte altre regioni della terra, ma è stato calcolato per esempio che le regioni aride tropicali ricevano da 5.500 a 6.800 kcal/giorno/m² proprio nel periodo in cui il consumo di acqua è maggiore.

Ora la quantità di calore necessaria per far evaporare 1 litro di acqua inizialmente a 15° varia, a seconda della temperatura di evaporazione, fra 600 e 615 kcal. La quantità di acqua A che si ottiene con un distillatore solare, espressa in litri/giorno, risulta quindi

$$A = \frac{S}{Q} \times \text{Eff.}$$

dove S è la quantità di energia solare ricevuta dal distillatore, espressa in kcal/giorno; Q è la quantità di calore necessaria per evaporare l'acqua, cioè 600-615 kcal/litro, e Eff. è il rendimento del distillatore, che dipende dai particolari accorgimenti costruttivi.

Con un rendimento del 100%, che in pratica, come vedremo, non si arriva mai ad ottenere, e un'energia incidente di 5.000 kcal/giorno/m², la quantità di acqua recuperabile sarebbe di poco più di 8 litri/giorno/m².

In una regione alla latitudine del Mezzogiorno d'Italia si può calcolare di ottenere 1.500-2.000 litri di acqua all'anno per m² di superficie esposta.

Sviluppo dei distillatori solari.

Il principio di funzionamento comune a tutti i distillatori solari che hanno avuto impiego pratico è basato su alcune semplici osservazioni: in qualsiasi spazio ristretto, chiuso e caldo rispetto all'esterno (per esempio un negozio, o una serra, d'inverno) l'acqua evapora e va a condensarsi sulle pareti. Le vetrine interne dei negozi durante l'inverno sono sempre appannate di umidità per questo fenomeno.

I distillatori solari, pur variando nei particolari costruttivi, sono costituiti schematicamente da una vasca coperta con un tetto inclinato trasparente e da un dispositivo per raccogliere l'acqua distillata che si condensa sulle pareti interne del tetto. Il funzionamento di questi distillatori solari è dovuto al fatto che tutti i materiali trasparenti comunemente usati sono trasparenti alla radiazione visibile, ma opachi alle radiazioni nel campo dell'infrarosso. L'energia solare passa facilmente attraverso il vetro, viene poi assorbita dal-

l'acqua nella vasca che deve essere di materiale « nero » e viene riemessa come radiazione infrarossa. Poichè la radiazione infrarossa non può passare attraverso il materiale trasparente del tetto, l'energia viene « intrappolata » nella vasca e fa evaporare l'acqua.

In pratica sono stati seguiti generalmente due modelli. Uno consiste in una specie di serra per i fiori con una vasca colorata di nero, di legno o di materia plastica; il tetto è costituito da lastre di vetro inclinate. L'altro modello, che ha trovato applicazioni generalmente su piccola scala, per esempio nei distillatori solari per zattere di salvataggio, è costituito da una specie di sfera di materiale plastico, per esempio a base di polivinile, contenente all'interno un materiale poroso che viene impregnato di acqua di mare e che rappresenta quella che, nei modelli fissi più grandi, è la vasca di evaporazione (*).

Il primo e il più grande distillatore solare è stato costruito nel 1872 per fornire acqua potabile ai minatori che scavavano il salnitro nelle montagne del Cile (12).

(*) Nella presente nota ci si occuperà soltanto degli impianti che utilizzano l'energia solare per scaldare direttamente l'acqua da distillare. Sono stati infatti proposti numerosi tipi di motori solari (1) la cui energia potrebbe essere impiegata nei processi di demineralizzazione, ma finora non si è avuta alcuna dimostrazione della loro convenienza economica. Uno di questi motori, costruito in Italia e intorno al quale si è fatta della pubblicità, fornirebbe una potenza di 1 HP con una superficie evaporante di 8 m²; ciò significa che l'energia erogabile è di circa 100 kcal/ora/m². Calcolando un'energia incidente di 600 kcal/ora/m², quale si ha nelle ore calde anche alle nostre latitudini, l'utilizzazione dell'energia solare incidente è appena del 15%, mentre, facendo scaldare l'acqua da evaporare direttamente con l'energia solare, si ha una utilizzazione dell'energia solare del 70%. Un distillatore solare di altro tipo è stato oggetto di un brevetto (*Brev. Ital.* 448.883 del 27 maggio 1949 concesso a M. DORNIG e A. BELLONI) e di una nota di A. BELLONI sul Supplemento Tecnico della *Rivista Marittima*, luglio 1948, pagina 223. Peraltro in questa nota viene affermato che ci si doveva aspettare una resa in acqua distillata di 2.400 litri/giorno/m² di superficie esposta, risultato impossibile, come si è visto, in quanto anche con un'energia incidente massima teorica di 11.500 kcal/giorno/m² la quantità massima di acqua evaporabile non supererebbe i 20 litri/giorno/m².

La mancanza di acqua potabile era particolarmente grave a Las Salinas, 24° di latitudine sud, a 1400 m di altezza e a 120 km dal porto di Antofagasta. L'unica acqua freatica disponibile aveva un contenuto del 14% di sali. In un primo tempo era stato installato un distillatore a vapore, ma il combustibile proveniente dalla costa a dorso di mulo rendeva costosissima la produzione di acqua distillata con questo sistema. Fu progettato allora un distillatore solare costituito da 60 vasche larghe 1,20 m e lunghe 60 m, costruite di legno e contenenti la soluzione salina, chiuse superiormente da lastre di vetro inclinate. L'impianto era dotato inoltre di un dispositivo di tubi e serbatoi per raccogliere il condensato che man mano si formava sulle pareti interne inclinate di vetro. La superficie totale era di circa 4.400 m², la produzione massima era di 22.000 litri di acqua al giorno, ma la produzione media era di appena 4,6 litri/giorno/m² di superficie esposta. Considerando che il distillatore si trovava ad alta quota, si può valutare l'energia solare incidente in 8.000 kcal/giorno, per cui l'efficienza del distillatore si aggirava sul 35%.

La distillazione cominciava alle 10 di mattina, in quanto era necessaria una notevole quantità di calore per scaldare il distillatore e l'acqua che esso conteneva. La massima temperatura nella vasca di evaporazione era di 65°; la temperatura dell'aria circostante era di 35-40° quando il sole era allo zenit. La distillazione continuava lentamente anche dopo il tramonto fin verso le 10 di sera.

L'impianto di Las Salinas aveva dei difetti di progettazione e un difficile funzionamento; le vasche di legno avevano delle perdite e richiedevano una manutenzione continua. Ciononostante il distillatore restò in funzione fin verso il 1908, quando la ferrovia sostituì le carovane di muli.

Il distillatore «a tetto inclinato» è stato riscoperto parecchie volte. Nel 1926 il Governo Francese offrì un premio per il progetto di un distillatore solare portatile (13) (14). Il distillatore solare di MAURAIN, la cui vasca aveva la superficie di 0,28 m², era costituito da una lastra di vetro inclinata ed esposta a

sud, sostenuta da pareti di legno. Le prove condotte vicino a Parigi rivelarono un'efficienza del 15%. Il distillatore solare di RICHARD (15), di disegno simile e di 1,5 m² di superficie, mostrò un'efficienza del 25% a Monaco. Questi esperimenti portarono alla conclusione affrettata che il distillatore solare a tetto inclinato fosse poco efficiente, nonostante sia di semplice costruzione e funzionamento e possa avere un costo molto basso.

Nel 1928 fu costruito in Cirenaica, 32° di latitudine nord, un distillatore costituito da sette elementi con una superficie esposta complessiva di 5 m². Il rendimento in acqua distillata variava da 1 litro d'inverno a 4,5 litri d'estate nelle 24 ore per m² di superficie (16).

Più recentemente sono stati ripresi studi sistematici sui distillatori solari in occasione della necessità di dotare le zattere di salvataggio per naufraghi, durante la seconda guerra mondiale, di apparecchi per la demineralizzazione dell'acqua marina. Questi studi sono stati condotti specialmente negli Stati Uniti e già nell'estate 1943 a Cambridge, Mass., fu sperimentato un primo modello che poteva essere ripiegato e occupava il volume di circa 1 litro, pesava 1/2 kg ed era privo di parti rigide o metalliche. Questo distillatore consisteva in un involucro trasparente gonfiabile di Vynilite, una materia plastica polivinilica, al cui interno si stendeva un supporto nero poroso che poteva essere impregnato di acqua marina. I raggi del sole trasmessi attraverso l'involucro scaldavano l'acqua marina e il vapore si condensava sulle pareti fredde e si raccoglieva sul fondo. Il dispositivo aveva un'efficienza del 50-60% (17) (18).

Durante la realizzazione di questo dispositivo, che divenne standard per le forze armate americane durante la guerra, i ricercatori americani gettarono le basi per la progettazione di distillatori solari più soddisfacenti di quelli fino allora realizzati. Le ricerche furono condotte sia dal Massachusetts Institute of Technology che dalla University of California.

Il primo modello aveva una superficie di circa 3 m², essendo costituito di un elemento di 1,20 x 2,40 m, ed era stato progettato per ottenere una resa intorno

a 10 litri/giorno/m². Questo apparecchio, entrato in funzione nel febbraio 1952, ha fornito in realtà una resa minore (19) (20).

Un distillatore più grande è entrato in funzione nel settembre 1952 in California, 37° di latitudine nord, fornendo una resa di circa 7 litri/giorno/m². L'apparecchio è costituito da cinque distillatori, ciascuno di 1,20 × 15 metri, con una superficie totale di circa 90 m². I cinque distillatori variano nei particolari costruttivi, come l'isolamento della base, la tenuta dell'aria ecc., ma sono tutti con la vasca di legno rivestita con lastre inclinate di vetro. Nella lunghezza ciascun distillatore è diviso ogni 3 metri da una paratoia che permette di mantenere in ciascuna vasca un certo livello dell'acqua, nonostante la pendenza di circa 1% necessaria perchè l'acqua condensata scorra verso il foro di scarico in una grondaia ricavata nello spessore del legno delle pareti. Gli apparecchi sono sollevati, per comodità, da terra di circa 1 m. Peraltro gli impianti su larga scala dovrebbero essere tenuti quanto più possibile vicino al terreno per economizzare sul costo dei sostegni e sull'energia necessaria per sollevare l'acqua marina entro la vasca. I distillatori sono orientati con l'asse disposto da est a ovest per raccogliere la massima frazione dell'energia solare (19).

Gli esperimenti finora fatti mostrano che la circolazione dell'acqua e del vapore d'acqua è verso l'alto nel centro e verso il basso lungo le pareti inclinate trasparenti che agiscono da condensatori. L'acqua si condensa in rigagnoli sulla superficie interna trasparente; se si tratta di vetro l'acqua distillata allontana rapidamente l'eventuale polvere, scorrendo facilmente sulla superficie, dato che il vetro viene « bagnato » dall'acqua.

Un impianto dello stesso tipo è stato progettato per l'isola di St. John nell'arcipelago delle isole Vergini, 18° di latitudine nord, con una popolazione di circa 750 persone (21). Esso dovrebbe essere costituito da 125 distillatori, ciascuno di 3 m² di superficie evaporante esposta, corrispondenti ad una superficie totale di 375 m², con una base di cemento. Lo spessore dell'acqua nelle vasche, che hanno il fondo annerito per aumentare l'assorbimento della radiazione solare, do-

vrebbe essere di 2-3 cm e la superficie condensante trasparente dovrebbe essere di vetro o di materia plastica. L'acqua distillata ottenuta dovrebbe essere avviata ad un serbatoio. Finora però mancano dati tecnici su questa installazione.

Cause che abbassano l'efficienza dei distillatori solari.

E' ora interessante esaminare le principali perdite di un distillatore solare e i metodi per renderle minime.

Innanzitutto si hanno delle perdite nella trasmissione dell'energia solare attraverso le superfici trasparenti. Le misure di trasmissione attraverso il vetro e alcuni materiali plastici trasparenti mostrano che tale trasmissione può arrivare al 90% e oltre dell'energia totale quando l'incidenza è perpendicolare o quasi. Una perdita di circa l'8% è inevitabile a causa della riflessione e un'altra piccola perdita è dovuta all'assorbimento sia del materiale trasparente che dei rigagnoli d'acqua condensata che scorrono lungo le pareti interne del materiale. E' indispensabile che l'acqua scorra sotto forma di rigagnoli formando una sottile pellicola sul materiale e pertanto è necessario che il materiale trasparente possa essere « bagnato » dall'acqua, come il vetro. Impiegando materiali plastici (« Plexiglas », polistirolo, polivinile ecc.) si ha l'inconveniente che questi non vengono « bagnati » dall'acqua, la quale si deposita sulla superficie interna sotto forma di goccioline provocando un appannamento. Queste goccioline provocano la riflessione e la diffrazione di buona parte della radiazione solare incidente, con una conseguente perdita che può arrivare al 40%. Il problema è particolarmente sentito per installazioni di piccole dimensioni, nelle quali la materia plastica può essere usata molto vantaggiosamente (distillatori per zattere di salvataggio e simili). Esistono numerosi brevetti che suggeriscono trattamenti superficiali che rendono « bagnabile » la materia plastica, anche se non sempre tali trattamenti sono efficaci. Sarebbe necessario rivestire la superficie della materia plastica con una sostanza che fosse bagnabile dall'acqua ma non solubile in acqua, altrimenti l'acqua

che scorre continuamente la asporterebbe in breve tempo. Per queste ragioni i normali trattamenti anti-appannanti che si impiegano per vetrine di negozi, parabrezza di automobili ecc., e che consistono nello spalmare una sostanza tensioattiva organica solubile in acqua, non sono adatti.

Quando l'angolo di incidenza della radiazione solare è maggiore di 50° la radiazione trasmessa diminuisce.

L'energia trasmessa viene assorbita dalla vasca contenente l'acqua da evaporare; tale vasca deve essere di materiale nero e lo strato di acqua deve essere sottile. Peraltro anche le superfici più « nere » riflettono una parte dell'energia, che può arrivare al 4%. Se nella vasca si depositano i sali insolubili, sul fondo si forma una superficie bianca riflettente per cui i depositi di sali devono essere evitati.

Le perdite maggiori si hanno però per conduzione dalla vasca di evaporazione verso l'esterno. Tutti i materiali conducono in quantità maggiore o minore il calore e la tabella 2 mostra alcuni coefficienti di conducibilità termica. Si vede subito che le perdite possono raggiungere dei valori considerevoli e che quindi è indispensabile un efficiente isolamento della base del distillatore. I bassi rendimenti dei distillatori finora costruiti possono essere stati dovuti al non

TABELLA 2

Coefficienti di conducibilità termica di alcuni materiali

	kcal. °C ora . m² . — cm
Marmo	210
Acqua	50-55
Mattoni	50-70
Vetro	80
Cemento	70-80
Legno	20-30
Terreno	20-50
Sabbia	20-40
Sughero	5
Feltro	4
Aria	2

aver tenuto conto di queste perdite. Se si suppone infatti che la differenza di temperatura fra l'acqua della vasca e l'esterno sia di 30° e che il distillatore sia appoggiato su una base di cemento dello spessore di 5 cm, la perdita di calore è di circa 500 kcal/ora/m^2 . Si vede subito che tale perdita di calore può essere dello stesso ordine di grandezza della quantità di calore incidente che può andare così praticamente dispersa tutta per conduzione. E' necessario pertanto isolare il fondo della vasca di evaporazione con un materiale che abbia un coefficiente di conducibilità termica dell'ordine di 4-5 (cioè sughero e simili materiali), dello spessore di almeno 2-3 cm. Un efficiente isolamento potrebbe essere costituito da fogli di alluminio riflettenti intervallati con strati d'aria (18). Anche così però le perdite per conduzione difficilmente si possono ridurre sotto il 5-6% dell'energia incidente. L'isolamento è necessario anche nelle installazioni fisse con vasche di cemento, che è un buon conduttore del calore.

Il tempo necessario per scaldare l'acqua nel distillatore dipende dalla capacità termica dell'acqua, della vasca, dell'isolamento e della base. E' desiderabile che la vasca contenga soltanto un sottile strato di acqua e che il calore specifico e la densità della vasca e dell'isolamento siano i più bassi possibile.

Per quanto riguarda lo spessore dell'acqua nella vasca dell'evaporatore bisogna tenere presente che la capacità termica per unità di superficie dipende dallo spessore. Considerando uguale ad 1 la capacità termica dell'acqua, la quantità di calore necessaria per scaldare uno spessore di acqua di 1 cm su una superficie di 1 m^2 da 15° (temperatura dell'acqua all'inizio del riscaldamento, la mattina) a circa $50-65^{\circ}$ (temperatura dell'acqua durante l'evaporazione) è di circa 400 kcal, corrispondenti alla quantità di calore che arriva al distillatore in due ore di sole di mattina; la distillazione pertanto non può cominciare altro che almeno un paio d'ore dopo il levarsi del sole. Anche per questa ragione non è desiderabile una quantità eccessiva di acqua nella vasca. Se si pensa che una superficie di 1 m^2 del distillatore dif-

ficilmente arriva a fornire 10 litri di acqua al giorno, si vede che uno strato dello spessore di 1 cm è più che sufficiente per una giornata intera. Distillatori solari di grandi dimensioni potrebbero essere caricati lentamente con un afflusso continuo, apportando da una parte nuova acqua salmastra e scaricando dall'altra la soluzione salina concentrata.

Un'altra causa di perdite dell'energia incidente con conseguente minor rendimento dei distillatori solari, è costituita dalla irradiazione da parte del distillatore. Poichè la vasca è a temperatura più elevata delle superfici inclinate di condensazione, si ha una irradiazione di calore verso queste ultime. Questa perdita per irradiazione è stata valutata come il 10% dell'energia incidente totale (18).

E' interessante a questo punto ricordare che la superficie condensante trasparente agisce come uno scambiatore di calore. All'esterno essa è raffreddata dall'aria e eventualmente dal vento, mentre all'interno riceve il calore che viene usato per evaporare l'acqua. La superficie condensante deve essere raffreddata e non deve essere isolata, proprio come in un comune distillatore. Nei distillatori solari l'inclinazione della superficie condensante rispetto al piano è generalmente di circa 45° e la superficie condensante è circa il 40% maggiore della superficie della vasca.

Sono stati proposti dei dispositivi per raffreddare la superficie condensante trasparente ma, invece di avere un aumento del rendimento, si aveva una diminuzione, come del resto era prevedibile con i calcoli e con il buon senso.

Nella valutazione dell'effetto della temperatura ambiente si è visto che l'efficienza aumenta leggermente quando la temperatura esterna è maggiore. Il vento non ha effetti apprezzabili sull'efficienza, purchè la superficie condensante sia maggiore della superficie evaporante, come del resto avviene sempre in pratica.

La vasca dell'evaporatore deve essere sempre coperta con un sottile strato di acqua, ma non deve mai diventare secca. Bisogna inoltre evitare perdite nella vasca, perchè provocano dispersioni di calore e rovinano lo strato isolante sottostante.

L'isolamento del distillatore dall'aria esterna deve essere perfetto. Le perdite si identificano subito in quanto in adiacenza di esse non si ha condensazione dell'acqua e quindi sulla superficie trasparente interna non si formano i rigagnoli di acqua condensata.

L'insieme delle perdite si può così riassumere:

Assorbimento da parte della superficie trasparente	8 %
Imperfetto annerimento	4 %
Re-irradiazione	10 %
Circolazione dell'aria	4 %
Perdite per conduzione dalla vasca isolata	6 %
Perdite per conduzione dalla vasca non isolata	35 e più %

Complessivamente l'efficienza del distillatore isolato non supera il 65-70% mentre quella del distillatore non isolato è inferiore al 40%. Tenendo conto che alcune di queste perdite possono essere compensate si può considerare come limite massimo superiore dell'efficienza di un distillatore isolato il 75% del massimo teorico.

Nuove ricerche sui distillatori solari.

Le conoscenze disponibili nella letteratura tecnica mostravano che è possibile arrivare a progettare dei distillatori solari molto razionali ed efficienti. Poichè il problema dell'approvvigionamento di acqua potabile in molte zone, anche in Italia, è veramente grave, ci si è sentiti incoraggiati ad intraprendere altri studi in questo campo. E' stato perciò iniziato, in collaborazione fra gli Istituti di Merceologia delle Università di Bologna e di Bari, un programma che si svolge lungo le seguenti linee:

a) Progettazione e costruzione di modelli di distillatori solari di piccole dimensioni e trasportabili. Ciò avrebbe permesso di valutare le principali cause di perdite di efficienza, di provare i vari materiali da costruzione disponibili e soprattutto di mostrare che i distillatori solari non solo funzionano, ma possono risolvere dei sentiti problemi pratici.

b) Identificazione delle zone geografiche nelle quali l'installazione di distillatori solari può risolvere gravi problemi di mancanza di acqua potabile.

c) Installazione delle prime unità fisse in una zona «pilota» in cui la mancanza di acqua potabile provoca condizioni di vita particolarmente disagiate per la popolazione.

Verranno qui riferiti i primi risultati relativi al punto a); un'indagine per l'identificazione delle zone geografiche prive di acqua potabile è in corso e i relativi risultati — che, pur essendo ancora parziali, ci hanno già fatto pervenire i primi appelli di popolazioni disagiate — verranno riferiti a suo tempo.

Il primo modello di distillatore solare costruito è simile a quello descritto ormai più volte nella letteratura. Lo scheletro del distillatore è costituito di legno, la vasca contenente l'acqua salmastra è di lamiera; il fondo è isolato con uno strato di sughero di 5 cm di spessore. La superficie evaporante è 2,5 m².

Per aumentare l'assorbimento dell'energia solare si è pensato di impiegare una sostanza colorante sciolta nell'acqua salmastra. Questo procedimento viene impiegato in qualche salina, per esempio nelle saline del Mar Morto, per aumentare la resa di sale fino al 40% (22). Si sono provati vari coloranti e fra questi si è scelto un nero diretto per lana della Griesheim Elektron che fornisce delle soluzioni di colore bleu scuro; è stato uno dei pochi coloranti, fra quelli provati, che si sia dimostrato solido alla luce solare e alla temperatura dell'acqua nella vasca.

Altri modelli di distillatori solari sono stati costruiti impiegando, esclusivamente o parzialmente, una materia plastica molto promettente, cioè il «Plexiglas». Il «Plexiglas», un polimero del metacrilato di metile, in commercio anche con i nomi di «Lucite» o «Perspex», possiede ottima trasparenza, ottime caratteristiche di stabilità dimensionale al calore e all'umidità, è reperibile in lastre di vario spessore, facilmente tagliabili, e può essere saldato facilmente mediante solventi, dando recipienti con ottima tenuta dell'acqua e del vapore.

Con «Plexiglas» abbiamo costruito dei modelli di piccole dimensioni, quadrati, con una superficie evaporan-

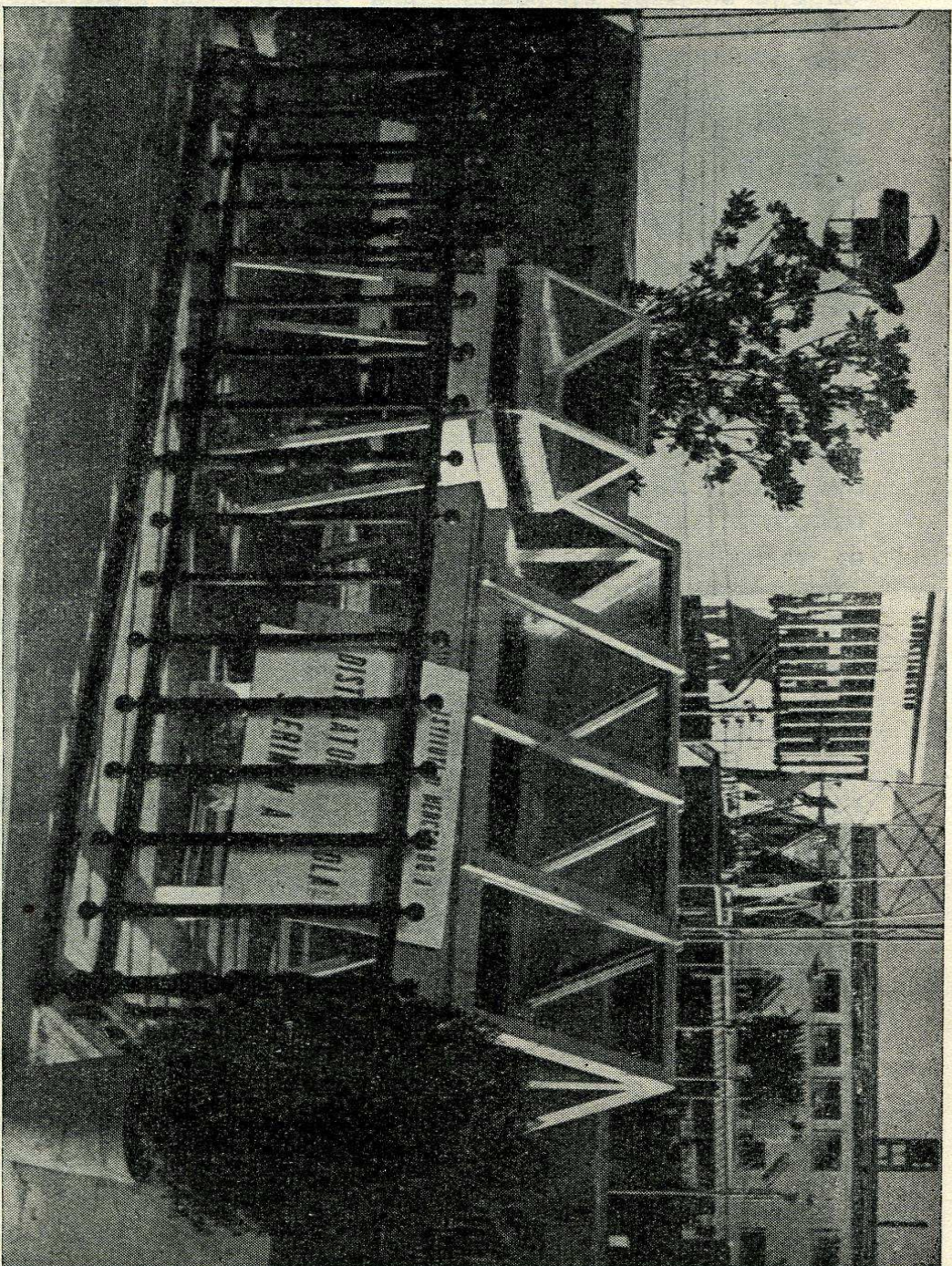


Fig. 1. — I due modelli sperimentali di distillatori solari esposti dagli Istituti di Merceologia delle Università di Bologna e di Bari alla Fiera del Levante di Bari del 1953. Davanti: il distillatore di « Plexiglas » e vetro; dietro: il distillatore più grande di legno e vetro.

te di $1/4$ di m^2 . Un modello tutto in « Plexiglas » ha dato ottimi risultati, se si esclude l'inconveniente della condensazione a goccioline che riduceva l'efficienza. Un altro modello, con la vasca di « Plexiglas » e le pareti trasparenti condensanti di vetro, isolato con una lastra di sughero, si è dimostrato soddisfacente sotto tutti i rapporti.

A questo punto abbiamo comunicato alcuni dati preliminari all'Ente Fiera del Levante di Bari che ci ha offerto di esporre su una terrazza della Fiera due dei precedenti modelli, quello di legno e vetro di $2,5 m^2$ e quello di « Plexiglas » e vetro di $1/4$ di m^2 (*). I distillatori solari sono stati esposti dal 5 al 23 settembre 1953 e le figure 1 e 2 mostrano rispettivamente i due modelli insieme e il modello in « Plexiglas » e vetro da solo.

Sia a Bologna ($44,5^\circ$ di latitudine nord), dove sono stati collaudati i distillatori solari, che a Bari (41° di latitudine nord), durante l'estate, abbiamo avuto dei giorni coperti e poco caldi; i rendimenti massimi ottenuti sono stati di 5-6 litri/giorno/ m^2 in giorni in cui la temperatura massima era di non più di 25° .

Altri dati saranno disponibili su questi distillatori, e su altri in corso di costruzione, dopo molti mesi di funzionamento. E' stato intanto possibile confermare sperimentalmente che, tenendo conto di tutte le perdite previste, si riesce ad ottenere un rendimento in acqua distillata veramente elevato, soprattutto se si considera la latitudine alla quale sono stati condotti gli esperimenti.

Economia dei distillatori solari.

Consideriamo ora quanto viene a costare la trasformazione dell'acqua salmastra in acqua potabile mediante l'energia solare, e quindi quali possibilità e quali limiti hanno i distillatori solari.

Va innanzitutto premesso che, allo stato attuale degli studi, non si può ritenere che la distillazione con

(*) Desidero ringraziare il prof. Nicola TRIDENTE, presidente dell'Ente Fiera del Levante, per l'immediata adesione alla nostra richiesta e per la generosa ospitalità accordata.

l'energia solare sia la soluzione per ottenere acqua potabile e da irrigazione in tutte le zone aride che possiedono acque salmastre.

Il primo obiettivo non può essere, per ora, altro che il rifornimento di acqua potabile in alcuni centri in cui questa mancanza è particolarmente grave, come per esempio alcune coste prive di acqua dolce, alcune isole come le Eolie, le Egadi, le Tremiti, Pantelleria ecc., per citare alcuni luoghi in Italia. In queste condizioni la distillazione solare con impianti abbastanza semplici e con spese di impianto modeste è destinata

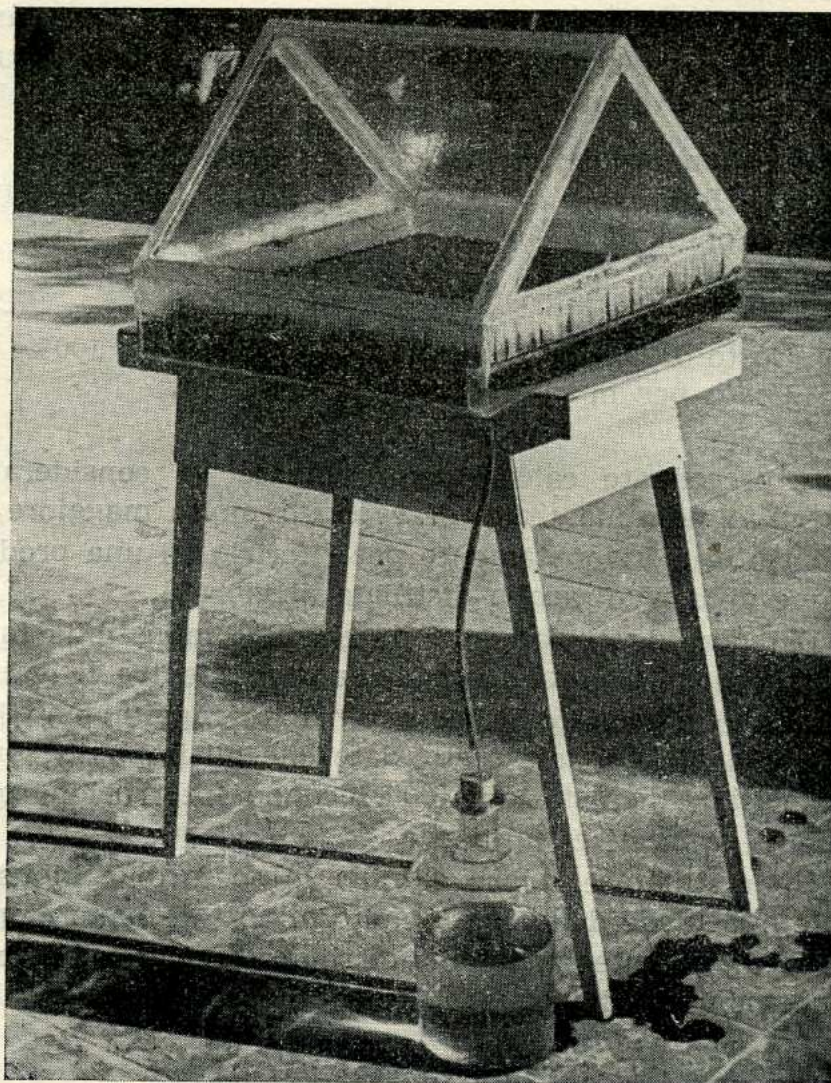


Fig. 2. — Modello sperimentale di distillatore solare di « Plexiglas » e vetro, della superficie di $\frac{1}{4}$ di m².

a sollevare molte popolazioni dalla schiavitù delle cisterne di raccolta dell'acqua piovana o del trasporto dell'acqua dolce con navi o con mezzi di fortuna.

Nelle particolari condizioni di zone aride e prive di combustibile si può affermare che i distillatori solari sono in grado di fornire acqua ad un prezzo che fa concorrenza a quello dell'acqua ottenuta con i migliori impianti a combustibile. Il più efficiente di questi impianti è infatti quello di distillazione con compressione, il cui costo di impianto è previsto di Lire 1.000.000 circa per una produzione di 1 m³ di acqua al giorno (18) (19).

Immaginando di ammortizzare il capitale di impianto in 10 anni, la percentuale annua delle spese si può considerare, approssimativamente, così ripartita:

Ammortamento del capitale	100.000 Lire	52%
Combustibile	30.000 Lire	16% (*)
Mano d'opera	30.000 Lire	16%
Manutenzione	30.000 Lire	16%

Costo di 365 m³ di acqua 190.000 Lire 100%

Costo per m³ di acqua circa 520 Lire.

Il precedente calcolo approssimato va considerato eseguito per una unità di capacità molto maggiore e ridotto proporzionalmente per riferirlo ad una produzione di 1 m³ di acqua distillata al giorno.

Dai precedenti dati si vede che il combustibile rappresenta il 16% del costo dell'acqua; mentre le spese di mano d'opera e di manutenzione raggiungono insieme il 32% di tale costo, dato che gli impianti sono soggetti a incrostazioni e richiedono interruzioni per essere scaricati e puliti ecc.

Un distillatore solare elimina le spese di combustibile e richiede delle spese molto minori di mano d'opera e di manutenzione. Un distillatore solare che producesse 1 m³ di acqua al giorno dovrebbe avere, alle

(*) Supponendo di consumare 1 litro di nafta al costo di 12 lire per 150 litri di acqua distillata, cioè 2.500 litri di nafta all'anno.

nostre latitudini, la superficie di circa 200 m². Una superficie minore nelle zone tropicali.

I distillatori solari sperimentali sono venuti a costare circa 40.000 al m², ma le previsioni per il costo delle installazioni, che dovrebbero essere costituite da grandi vasche di cemento col tetto inclinato formato da lastre di vetro, fissate a telai metallici, si aggirano sulle 10.000 Lire al m² per impianti abbastanza grandi. Un distillatore di 200 m² di superficie, per la produzione di 1 m³ di acqua al giorno, verrebbe pertanto a costare circa 2.000.000 di Lire, per cui il costo dell'acqua, supponendo un ammortamento del capitale in 10 anni e una spesa di manutenzione sulle 50.000 Lire all'anno, verrebbe ad aggirarsi, approssimativamente e senza tener conto degli interessi del capitale, sulle 650 Lire al m³, una cifra di poco superiore a quella del costo dell'acqua ottenuta con il miglior processo a combustibile.

Va tenuto conto che il calcolo di una superficie di 200 m² per una produzione di circa 365 m³ all'anno è probabilmente pessimistico ed è riferito ad una latitudine elevata; passando in zone tropicali, prive di fonti locali di combustibile a basso prezzo, il processo di distillazione con l'energia solare fornisce acqua potabile ad un prezzo sullo stesso ordine di grandezza di un processo a combustibile.

I distillatori solari comportano un ingombro abbastanza sensibile, benchè in zone aride questo inconveniente si possa considerare trascurabile. D'altra parte essi sono di costruzione e di funzionamento molto semplice. La manutenzione consiste soltanto nell'allontanare i sali che si raccolgono nella vasca, ogni 3-5 giorni, facendo scorrere molta acqua, pompata dallo stesso piccolo motore che serve per caricare la vasca. Oppure con qualche altro semplice sistema per il quale le spese sono molto basse.

In base ai precedenti dati si può affermare che ogni comunità isolata e in zona arida o comunque in zona priva di acqua dolce potrebbe essere dotata con poca spesa di distillatori solari che rappresenterebbero un apporto di acqua potabile abbastanza costante e comunque maggiore nei periodi caldi, in cui maggiore è la necessità e minime le precipitazioni.

Un altro vantaggio dei distillatori solari sui distillatori a combustibile è dato dal fatto che, mentre i precedenti calcoli valgono per un impianto di grandi dimensioni, perchè un impianto di distillazione con compressione di piccole dimensioni avrebbe delle spese di impianto unitarie molto maggiori, i distillatori solari possono essere costruiti in «unità» riproducibili, il cui costo di impianto unitario è uguale per 10 m^2 come per 10.000 m^2 .

Conclusioni.

I precedenti dati permettono una valutazione delle prospettive economiche degli impianti di distillazione di acqua salmastra o di acque non potabili mediante l'energia solare, per ottenere acqua dolce. Tale valutazione può essere eccessivamente pessimistica o eccessivamente ottimistica, naturalmente sbagliando in entrambi i casi.

In generale gli ingegneri sono più pessimistici dei chimici in questo campo (22). D'altra parte nella letteratura sono esposti già progetti per un'applicazione della distillazione solare su scala addirittura agricola per fornire acqua da irrigazione (18). Ad esempio, se si costruisse un impianto sopraelevato con 1000 m^2 di superficie, si otterrebbe, su un ettaro di terreno sottostante, cioè su una superficie 10 volte più grande, tanta pioggia corrispondente ad una precipitazione annua di circa 200 mm. Questa «pioggia» sarebbe abbondante proprio nei mesi caldi in cui mancano le precipitazioni naturali. Distillatori di questo tipo, montati su sostegni, non interferirebbero con le operazioni agricole in quanto la loro ombra si sposterebbe durante il giorno e non impedirebbe la crescita delle piante; anzi una parziale ombreggiatura proteggerebbe le piante dai raggi brucianti del sole.

Una realizzazione di questo genere, per avere diffusione, richiederebbe comunque prima delle valutazioni di costi e di rendimenti ben precisi, quali possono essere forniti in anni di funzionamento degli impianti sperimentali.

L'Autore peraltro ritiene che la prima applicazione pratica del processo di distillazione solare sia il rifornimento di acqua potabile per la popolazione. Sol tanto quando i distillatori solari avranno qualche anno di funzionamento in questa prima applicazione sarà possibile valutarne le possibilità future.

Istituto di Merceologia dell'Università, Bologna, ottobre 1953.

Giorgio NEBBIA

BIBLIOGRAFIA

- (1) Per una rassegna dei processi di demineralizzazione cfr. U. S. Department of the Interior: « Demineralization of saline waters », Washington, D.C., ottobre 1952.
- (2) Anon., *Eng. Newsrecord*, pag. 30, 11 agosto 1949.
- (3) Anon., *Ind. Eng. Chem.* 45, 9-A, luglio 1953.
- (4) G. CLAUDE, *Mech. Eng.* 52, 1039 (1930).
- (5) C. BEAU e M. NIZERY, *Trans. 4th. World Power Conf.* London, 1950.
- (6) W. W. AULTMAN, *J. Am. Water Works Assoc.* 42, 786 (1950).
- (7) I. F. HAND, *Monthly Weather Review* 69, 95 (1941).
- (8) I. F. HAND, *U. S. Weather Bur. Techn. Paper* n. 11 (1949).
- (9) I. F. HAND, *Heating and Ventilating* 47, 92 (gennaio 1950).
- (10) S. FRITZ, *Heating and Ventilating* 46, 69 (gennaio 1949).
- (11) S. FRITZ, *Heating and Ventilating* 46, 85 (luglio 1949).
- (12) J. HARDING, *Proc. Inst. Civil Engr.* 73, 284 (1883).
- (13) A. BOUTARIC, *Recherches et Inventions* 8, 205 (1927).
- (14) A. BOUTARIC, *Chaleur et Ind.* 11, 59 e 147 (1930).
- (15) J. RICHARD, *Recherches et Inventions* 8, 474 (1927).
- (16) G. LA PAROLA, *Notiz. Econ. Cirenaica*, Bengasi, 1929.
- (17) M. TELKES, *Office of Scientific Research for Defense*, Report n. 5225, OTS, PB 21120 (maggio 1945).
- (18) M. TELKES, *Ind. Eng. Chem.* 45, 1108 (1953).
- (19) E. D. HOWE, *J. Am. Water Works Assoc.* 44, 690 (1952).
- (20) E. D. HOWE, comunicazione privata e « Progress Report, University of California Department of Engineering », 15 settembre 1953.
- (21) F. N. HOLLINGSWORTH, *Heating and Ventilating* 45, 99 (agosto 1948).
- (22) M. R. BLOCH, L. FARKAS e K. S. SPIEGLER, *Ind. Eng. Chem.* 43, 1544 (1951).
- (23) W. F. LANGELIER, *J. Am. Water Works Assoc.* 44, 697 (1952).

Giorgio NEBBIA: Quelques études nouvelles sur les distillateurs solaires.

Après avoir attentivement examiné les études précédentes dans ce domaine, les chercheurs des Universités de Bologne et de Bari ont procédé à la construction de distillateurs d'essai portatifs, ainsi qu'à la récolte des données relatives à leur fonctionnement. L'installation de distillateurs solaires peut résoudre le problème du manque d'eau douce dans plusieurs zones arides. L'eau douce ainsi obtenue coûte comme celle obtenable par les systèmes les plus modernes de distillation par combustion.

Giorgio NEBBIA: New Studies on the Solar Heat Operated Stills.

A research project is under way, at the Institutes of Technological Chemistry of the Universities of Bari and of Bologna, on the distillation of salt water and other non-potable waters, with sun heat.

After a survey of the studies carried out in the field, the production of experimental portable stills has been started, together with the collection of data on their behaviour. The cost of production of distilled water by sun-heat operated stills is close to that of water distilled by conventionally fuel operated stills.

Giorgio NEBBIA: Einige neue Untersuchungen über Sonnendestillatoren.

Die Institute für Warenkunde der Universitäten Bologna und Bari haben eine systematische Prüfung der Destillation von Salz- und nicht trinkbarem Wasser durch Sonnenenergie unternommen. Nach einer Prüfung der bereits auf diesem Gebiete erfolgten Arbeiten wurde der Bau von fahrbaren Sonnendestillatoren zu Versuchszwecken begonnen sowie alle Angaben für deren Betrieb gesammelt. Die Aufstellung von Sonnendestillatoren könnte dem Süßwassermangel in vielen trockenen Gegenden abhelfen. Die Kosten des mittels Sonnendestillatoren gewonnenen Süßwassers liegen in der gleichen Größenordnung wie die in den modernsten Destillationssystemen mittels Brennstoff.