

Cosa bolle in pentola

Cesare Silvi

In California è in costruzione un impianto a concentrazione lineare tipo fresnel da 177 MWe che promette di essere competitivo con la generazione da fonti fossili e nucleari

Nel novembre del 2007 la società Ausra, start up statunitense di Palo Alto, annunciò la costruzione in California di una innovativa centrale solare a concentrazione da 177 MWe nei Carrizo Plains. Un anno dopo, il 23 ottobre 2008, il governatore della California Schwarzenegger e il presidente dell'Ausra Bob Fishman hanno inaugurato a Bakersfield l'impianto solare termoelettrico di Kimberlina. Con una potenza elettrica di 5 MWe, questo impianto è il primo al mondo a produrre energia elettrica termica solare utilizzando le avanzate tecnologie dell'Ausra e rappresenta un'importante tappa per la costruzione della centrale di Carrizo Plains. Un'altra importante tappa l'Ausra l'aveva realizzata alla fine del mese di giugno, con la messa in funzione a Las Vegas nel Nevada del primo centro per la fabbricazione e la distribuzione dei componenti dei suoi impianti, dalla capacità di 700 MW all'anno.

Tutte queste notizie dagli Stati Uniti sono passate quasi inosservate in Italia. Eppure sono relative a una innovativa industria del solare termoelettrico entrata sulla scena mondiale negli ultimi due anni e basata sulla concentrazione lineare fresnel: una tecnologia che potrebbe segnare una svolta nella generazione dell'elettricità termosolare rendendola competitiva, in termini di costi, con quella da combustibili fossili e nucleari.

A differenza della tecnologia fotovoltaica, che converte la radiazione solare direttamente in energia elettrica, il solare termoelettrico la utilizza per produrre vapore ad alta pressione e alimentare una turbina che, a sua volta, aziona un generatore elettrico. Fonte energetica a parte, dunque, gli impianti funzionano in modo analogo alle centrali a carbone, petrolio, gas o combustibili nucleari. Gli aspetti maggiormente innovativi della tecnologia termosolare riguardano, di conseguenza, quindi i sistemi di raccolta e innalzamento della temperatura del calore solare e di im-

magazzinamento per quando il sole non c'è (1). Sistemi che sono riconducibili essenzialmente a due categorie: una prima, in cui gli specchi concentrano la radiazione solare su un tubo, detti pertanto a concentrazione lineare, e una seconda, nella quale la radiazione solare è concentrata in un punto, detti quindi impianti a concentrazione con ricevitore centrale (Figg. 1-4).

Noti da tempo, gli impianti solari termoelettrici a concentrazione hanno riscosso di recente un rinnovato interesse, che è andato crescendo molto rapidamente. Alla potenza di impianti in esercizio (470 MW) e in costruzione (157 MW) si sono aggiunti negli ultimi mesi ben 5.800 MW in programma (2). La prospettiva di installare migliaia di megawatt solari termici è andata rafforzandosi anche, e soprattutto, per gli ambiziosi programmi di società come l'Ausra, che Schwarzenegger, intervenendo all'inaugurazione dell'impianto di Kimberlina, ha detto essere una delle migliori aziende in California e nel mondo.

Le centrali dell'Ausra sono basate sulla tecnologia del Compact Linear Fresnel Reflector (CLFR), combinata con un sistema di immagazzinamento in caverna sotterranea dell'energia termica contenuta nel vapore prodotto, capace di far funzionare continuamente la centrale fino a 20 ore (quindi anche quando il sole è tramontato). Si tratta di due tecnologie sviluppate inizialmente in Australia da David Mills, responsabile scientifico e fondatore di Ausra e ora in fase di perfezionamento per la costruzione dell'annunciata centrale da 177 MWe. I costi previsti per il kWh solare prodotto da questa centrale al momento della sua entrata in esercizio nel 2010 (intorno ai 10 centesimi di dollaro al kWh) sarebbero già ora confrontabili negli Stati Uniti con quelli del kWh da combustibili fossili (intorno a 8 centesimi di dollaro al kWh). E si prevede che possano negli anni successivi scendere ulteriormente, intorno ai 7 centesimi.



L'impianto solare termoelettrico di Kimberlina inaugurato il 23 ottobre 2008 a Bakersfield, California. Si tratta del primo impianto di questo tipo al mondo della potenza di 5 MWe.

Un padre italiano

Prima di entrare in merito alle notizie che vengono dagli Stati Uniti e, in particolare dalla California, ci piace qui ricordare alcuni importanti precedenti storici, tutti italiani, delle tecnologie ora in sviluppo a Palo Alto nella Silicon Valley. Ne fu artefice agli inizi degli anni Sessanta dello scorso secolo Giovanni Francia (Torino, 1911 – Genova, 1980), matematico, inventore, ingegnere, grande pioniere del solare e noto a livello mondiale come il “padre” delle centrali solari termoelettriche (vedi *Sapere*, agosto 2005 e ottobre 2006). L'idea centrale di Francia era che il calore solare, abbondante ma a bassa densità e a bassa temperatura, dovesse essere raccolto in modo da ottenere le temperature necessarie per far funzionare le macchine delle società tecnologicamente e industrialmente avanzate, a cominciare dagli impianti per la produzione di energia elettrica. Per raggiungere questo obiettivo, Francia ricorse alle tecniche note da secoli della concentrazione della radiazione solare con specchi su un ricevitore o caldaia. Dimostrò per la prima volta al mondo che era possibile produrre con il calore del sole vapore ad alte pressioni e alte temperature in sistemi a concentrazione lineare e puntuale di tipo fresnel, vale a dire con campi di specchi quasi piani che possono essere immaginati come ri-

sultanti dal “frazionamento” di un grande specchio parabolico lineare o di un grande specchio parabolico sferico, come illustrato nelle figure citate (1-4). I “campi specchi” utilizzati da Francia nei suoi pionieristici impianti di Marsiglia (1964) e, in Italia, di S. Ilario (1965) vengono chiamati di “tipo fresnel” in quanto ricordano il procedimento che condusse il fisico Augustin-Jean Fresnel a inventare la lente che porta il suo nome, ottenuta “frazionando” una lente sferica in una serie di sezioni anulari concentriche, chiamate anelli di “fresnel” (vedi figura 5). Giovanni Francia introdusse geniali e rivoluzionarie invenzioni negli impianti solari a concentrazione lineare e a concentrazione con ricevitore puntuale o centrale, rispetto a come questi erano stati concepiti fino ad allora. Invenzioni relative sia all'architettura generale di apposite componentistiche, dai cinematismi degli specchi per l'inseguimento del sole all'uso delle celle anti-irraggianti o a nido d'ape nella costruzione dei ricevitori o caldaie, particolari di grandissimo rilievo quest'ultimi che sono stati oggi rimpiazzati con efficienti superficie selettive, capaci di assorbire al massimo e riflettere al minimo la radiazione solare su di loro concentrata dagli specchi. Francia va anche ricordato, oltre che per i suoi pionieristici impianti degli anni Sessanta, per essere stato l'ispiratore di Eurelios, la prima grande centrale solare al mondo a concentrazione con ricevitore cen-

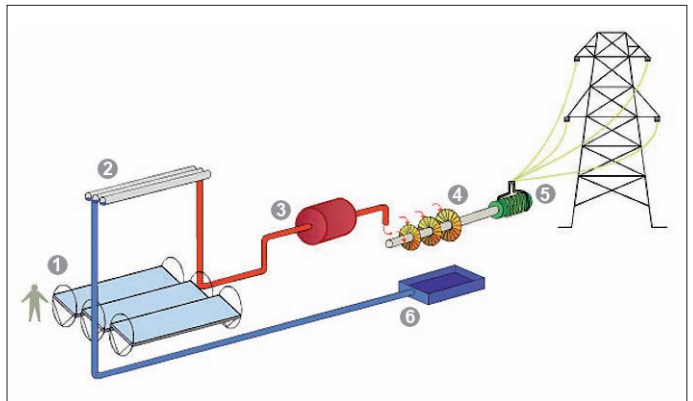
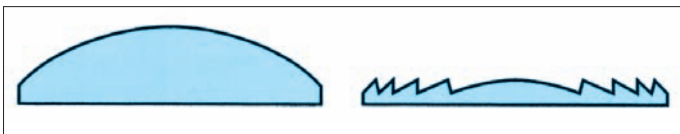
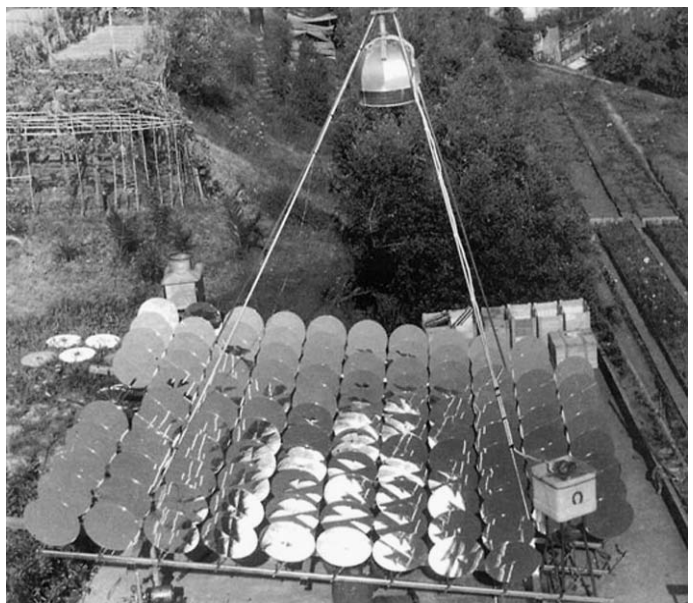
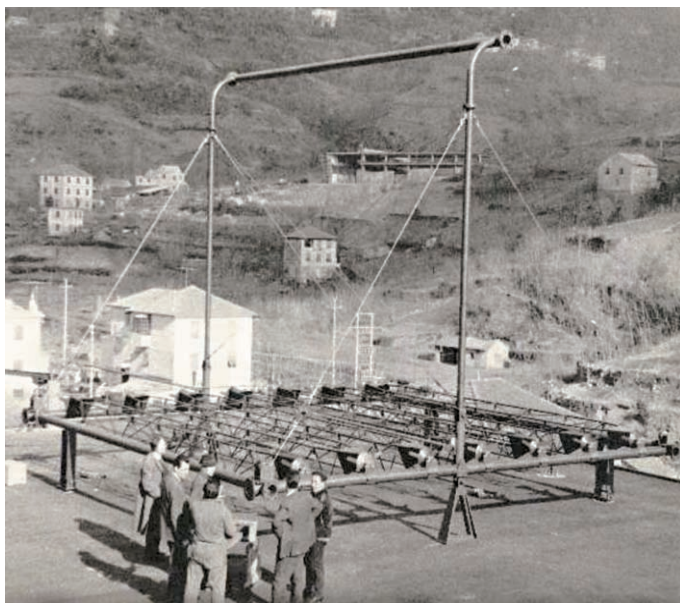
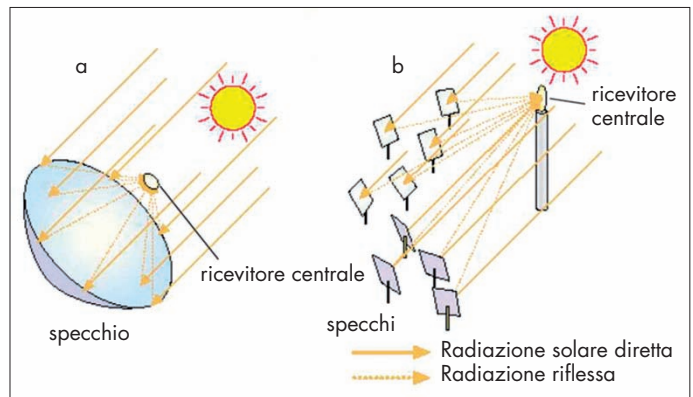
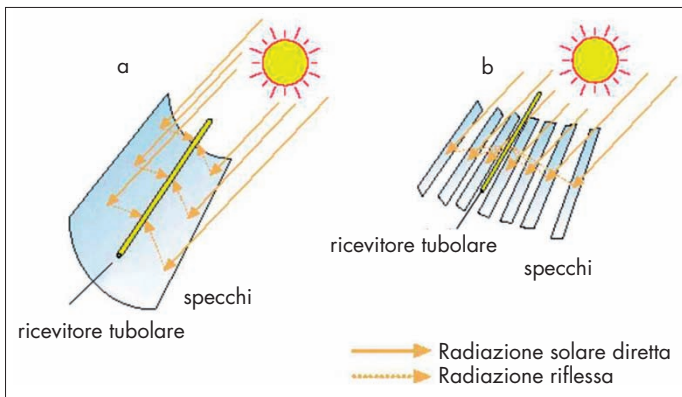


Fig. 1. Sistemi a concentrazione lineare: a) concentratore parabolico lineare; b) concentratore lineare fresnel. Fig 2. Sistemi con ricevitore o caldaia centrale: a) concentratore sferico parabolico puntuale; b) concentratore con ricevitore centrale a torre fresnel. Fig 3. La struttura di appoggio degli specchi e di sostegno del tubo ricevitore del primo impianto al mondo a concentrazione lineare fresnel (tipo b della fig. 1). Questo impianto, progettato a Genova e installato a Marsiglia nel 1964 da Giovanni Francia, dimostrò la possibilità di produrre 38 kg/h di vapore a 100 atm e 450 °C, con un irraggiamento solare di 1.000 W/m² (archivio Giovanni Francia). Fig 4. Primo impianto al mondo con concentratore con ricevitore centrale a torre fresnel (tipo b della fig. 3). L'impianto, progettato e installato a S. Ilario nel 1965 da Giovanni Francia, produceva fino a 21 kg/h di vapore a 500 °C e a 100 atm con un irraggiamento di 900 W/m² (archivio Giovanni Francia). Fig. 5. In alto la sezione trasversale di una lente sferica. In basso la sezione trasversale di una lente di fresnel di uguale capacità di concentrazione. Fig. 6. Schema di funzionamento di un impianto solare termoelettrico Ausra a concentrazione lineare fresnel (da www.ausra.com): 1) Semplici specchi quasi piani inseguono il sole e ruotando ne concentrano il

calore sui sovrastanti tubi ricevitori fissi e contenenti solo acqua; 2) Il calore del sole fa bollire l'acqua e produce vapore a pressioni elevate; 3) Il calore del sole, prodotto in eccesso rispetto a quello necessario per far funzionare l'impianto, viene immagazzinato sotto pressione in un serbatoio per essere utilizzato quando il sole non c'è; 4) Il vapore aziona direttamente una turbina a vapore; 5) La turbina aziona un alternatore e l'energia elettrica prodotta viene immessa nella rete; 6) Il vapore raffreddatosi nell'espansione torna ad essere acqua che viene reimpressa nel ciclo.

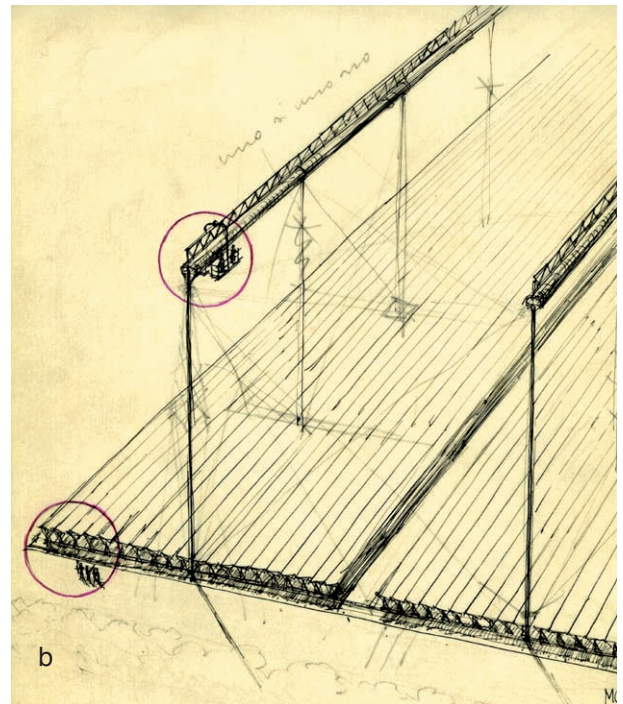
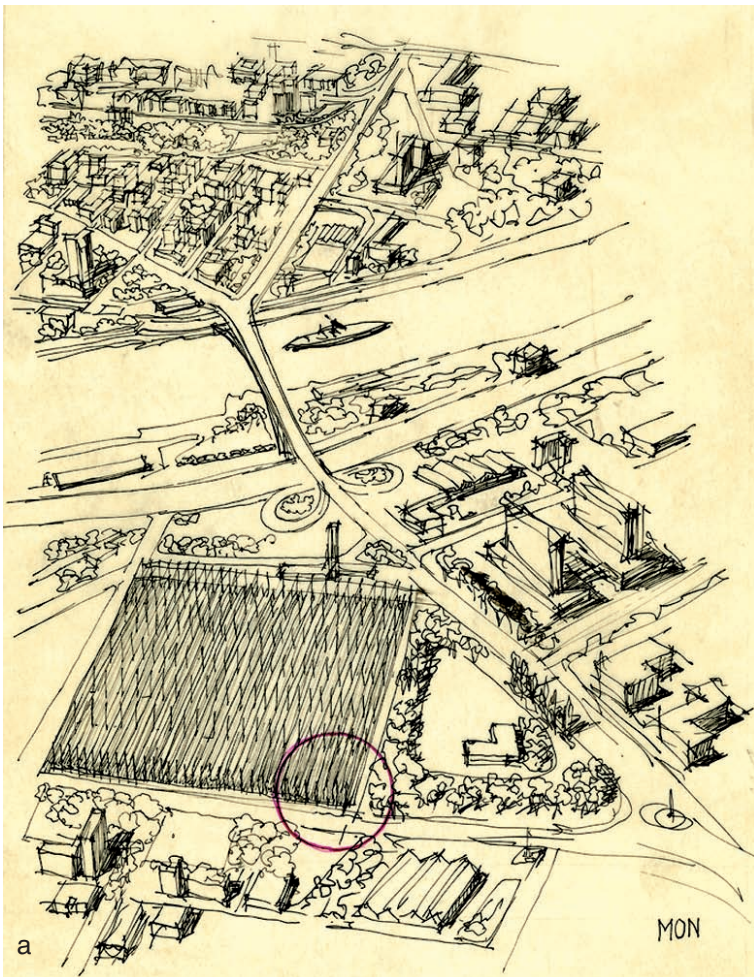
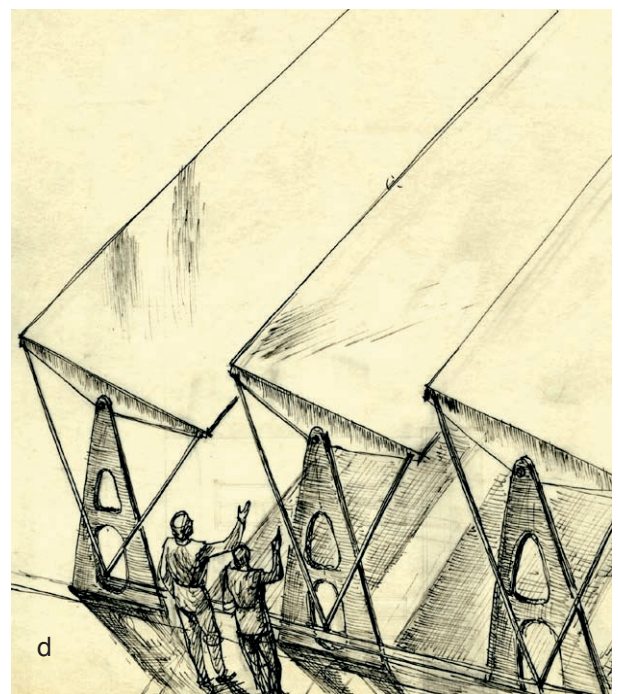
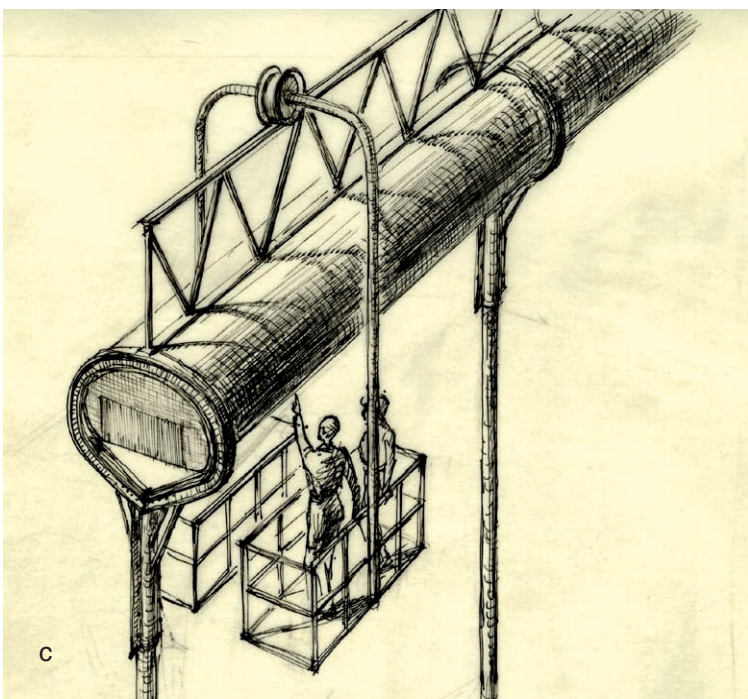


Fig. 7. Schizzi di una grande centrale solare a concentrazione lineare fresnel progettata da Francia (circa 1964): a) la centrale solare integrata in un territorio urbanizzato; b) due campi specchi e i relativi ricevitori lineari montati su alte torri; c) particolare del ricevitore e delle strutture per la sua manutenzione; d) particolare degli specchi e delle relative strutture di sostegno e orientamento (dall'archivio di Giovanni Francia, donato nel 2006 all'Archivio nazionale sulla storia dell'energia solare).



trale fresnel o a torre, costruita e collegata nel 1980 alla rete elettrica da 1 MW, ubicata nelle vicinanze di Adrano in provincia di Catania. Si trattò di un importante primato mondiale presto dimenticato in Italia (3).

Sono poi quasi del tutto dimenticate e sconosciute, anche tra coloro che si occupano di energia solare, le pionieristiche imprese di Francia sugli impianti a concentrazione lineare fresnel, culminate nella costruzione a Marsiglia, con la collaborazione di Marcel Perrot, tra il 1963 e il 1964, del primo impianto al mondo di

questo tipo e i cui fondamentali dell'architettura impiantistica si ritrovano nell'attuale impianto CFLR di Kimberlina (Fig. 6). I risultati ottenuti nella sperimentazione dell'impianto di Marsiglia ispirarono Francia a progettare grandi centrali solari, come si può vedere nei disegni di figura 7, che illustrano un impianto inserito in un contesto urbano e il particolare dei campi specchi e dei ricevitori lineari montati su alte torri. Da questi schizzi è evidente il rivoluzionario approccio alla concentrazione lineare introdotto da Francia rispetto a come era stato concepito fino a quel momento. Si confrontino al riguardo le immagini dell'impianto di Francia con quella di

un campo di specchi a parabole lineari della centrale Andesol 1 in costruzione nel Sud della Spagna (Fig. 8). Si tratta di una tecnologia che ha importanti predecessori. Impianti con concentratori parabolici lineari, per una potenza totale di 354 MW, sono stati costruiti a partire dal 1985 e sono in funzione nel deserto del Mojave in California. Il più famoso predecessore di questo impianto fu costruito nel deserto del Meadi in Egitto (a 20 km dal Cairo) nel 1912 da Frank Shuman (1862-1918) per azionare un motore a vapore per il



Fig. 8. Un concentratore parabolico lineare della centrale solare termoelettrica Andasol 1 di 50 MW, nel sud della Spagna. Si tratta della prima centrale commerciale europea con concentratori parabolici lineari e con accumulo termico a sali fusi.

evidenti riflessi sul suo costo. I paraboloidi curvi, per giunta, devono inseguire il sole muovendosi solidalmente con il ricevitore con una serie di conseguenti implicazioni di carattere costruttivo sullo stesso, per esempio sulle sue dimensioni, necessariamente limitate.

Nell'impianto ideato da Francia il ricevitore o caldaia è invece un componente indipendente rispetto al movimento degli specchi: esso è fisso, può essere sostenuto da robuste torri ed essere dimensionato per raccogliere la radiazione riflessa da un campo specchi di superficie elevata. Il vapore che si genera all'interno del ricevitore, a mano a mano che

l'acqua si scalda, si raccoglie nella sua parte superiore, come quando facciamo bollire una pentola d'acqua sopra il fornello di casa (4). Questo facilita l'estrazione del vapore. A parità di superficie degli specchi che captano la radiazione solare, un campo a concentrazione lineare fresnel occupa metà della superficie richiesta da un impianto con dei grandi paraboloidi. Quest'ultimi, come si può osservare nella figura 8, devono essere opportunamente distanziati l'uno dall'altro per evitare il reciproco ombreggiamento.

Fig. 9. Impianto solare a concentrazione parabolico lineare costruito a Meadi (Egitto) da Frank Shuman nel 1912 (cortesia John Perlin).

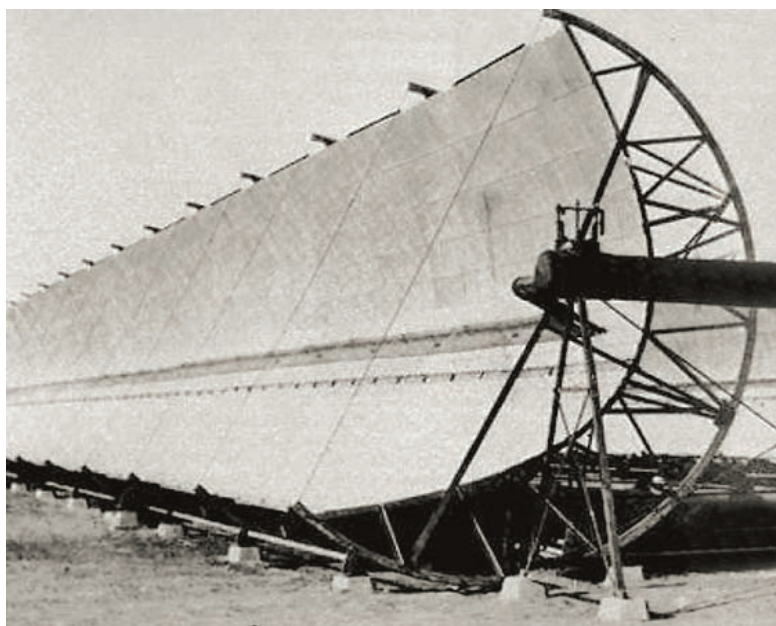




Fig. 10. Primo piano di due campi specchi dell'impianto solare termoelettrico di Kimberlina.

I vantaggi sopra riferiti per i concentratori lineari fresnel non furono tuttavia sufficienti a quel tempo per proseguire nel loro sviluppo e Giovanni Francia passò alla sperimentazione degli impianti a concentrazione puntuale o a torre fresnel, con i quali era possibile produrre vapore a temperature e pressioni più elevate di quelle di un impianto lineare.

L'innovazione di Mills

È certamente anche merito di Francia se oggi importanti società statunitensi di *capital venture* (capitale di rischio) hanno deciso di investire e scommettere su questa tecnologia. Ma è soprattutto merito di chi, come Mills, negli anni Novanta ha riscoperto questa tecnologia e ci ha creduto, investendovi anni di lavoro. Il CLFR fu concepito da Mills presso l'Università di Sydney e commercializzato nel 2004 in Australia dalla Solar Heat and Power Pty Ltd. Nella sua versione attuale consentirebbe di realizzare a basso costo grandi campi solari dell'ordine delle centinaia di MW da ubicare in quelle zone del mondo dove la radiazione solare diretta è molto abbondante. Il CLFR (Fig. 10) consta di componenti e sistemi (i lunghi specchi rettangolari; i relativi so-

stegni per l'inseguimento del sole; le torri di sostegno del ricevitore, ecc.) low-tech, fabbricabili localmente con materiali facilmente reperibili (acciaio, cemento, vetro), e componenti altamente sofisticate (elettronica di controllo; componentistica del ricevitore, dalle lenti di fresnel alle superficie selettive) fabbricati con produzioni di massa. Con i suoi specchi rotanti quasi piani, il CLFR concentra la radiazione solare sul ricevitore e produce vapore con caratteristiche tali da poter essere estratto e inviato per azionare direttamente la turbina, che a sua volta aziona un generatore elettrico. Pertanto nell'impianto inventato da Mills non è necessario un secondo fluido di lavoro, al quale trasferire il calore tramite uno scambiatore, come avviene nelle tradizionali centrali elettriche. L'unico fluido di lavoro è l'acqua/vapore, che, sotto pressione, consente anche l'immagazzinamento del calore per quando non c'è il sole.

Le caratteristiche di semplicità ed economicità delle tecnologie proposte da Mills hanno convinto due investitori, Vinod Khosla e Ray Lane, entrambi partner della potente società di venture capital Kleiner Perkins Caufield & Byers (azienda che a suo tempo ha scommesso e investito in Google, Amazon.com, AOL) a finanziare inizialmente, nel 2007, con

40 milioni di dollari di capitale di rischio la fondazione di Ausra, determinandone così l'avvio e il rapido sviluppo delle attività (oggi ha superato i 100 dipendenti ed è guidata da una leadership che può vantare esperienze uniche nel campo delle start up e della produzione di energia). La costruzione della prima fabbrica dell'Ausra nel Nevada, l'inaugurazione dell'impianto di Kimberlina in California e la programmata centrale da 177 MW di Carrizo Plains, la cui entrata in funzione è in calendario per il 2010, sarebbero solo le primissime tappe di un ambizioso programma dell'Ausra: costruire impianti solari per migliaia di megawatt negli assolati deserti di tutto il mondo, come in parte reso già noto nel settembre 2007 in occasione dell'incontro annuale tenuto a New York dalla Clinton Global Initiative. Ciò che rende le notizie che arrivano dagli Stati Uniti di particolare rilievo è il fatto che le società elettriche statunitensi, quali il gruppo Florida Power and Light e la PG&E, che hanno sottoscritto accordi di collaborazione con l'Ausra per l'acquisto dell'elettricità prodotta dai suoi impianti, sono fiduciose che con detti impianti sarà possibile assicurare un carico di base – vale a dire giorno e notte – a costi competitivi con il carbone e altri combustibili tradizionali (5). Per la prima volta nella storia dell'elettricità solare ci sarebbe quindi una concreta alternativa alle grandi centrali a combustibili fossili e nucleari nell'ambito della generazione elettrica centralizzata. Si potrebbe quindi aprire la strada alla produzione di un'elevata quota dell'energia elettrica da fonte solare non solo negli Stati Uniti ma a livello mondiale. Secondo David Mills interi fabbisogni energetici degli Stati Uniti, in particolare quello elettrico e quello dei trasporti, potrebbero essere soddisfatti dall'installazione di impianti solari termici a concentrazione impegnando un'area degli assolati deserti statunitensi pari a quella di un quadrato di lato di 92 miglia.

Ma quali saranno le tecnologie solari a concentrazione che potrebbero consentire questa grande sfida solare?

In una lettera del 17 gennaio 1962, Giovanni Francia rispondendo al collega francese che gli suggeriva di impiegare nel suo pionieristico impianto di Marsiglia degli specchi parabolici già sperimentati negli Stati Uniti dalla Boeing&Cie, affermava come «solo con gli specchi piani fosse possibile costruire grandi centrali solari» (6). E forse potrebbe non essere un caso che tra le grandi centrali solari a concentrazione per centinaia di megawatt in costruzione in tutto il mondo, il numero di quelle in programma con specchi piani o quasi piani stia aumentando rapidamente. ●

NOTE

(1) Va precisato che, a differenza della tecnologia fotovoltaica, che funziona anche con radiazione solare diffusa, quindi anche in presenza di nubi, le tecnologie della concentrazione utilizzano la radiazione diretta e quindi sono destinate a regioni desertiche maggiormente assolate.

(2) Gli impianti più a lungo provati sono quelli parabolici lineari, di cui 354 MW sono in esercizio nel deserto del Mojave in California sin dagli inizi degli anni Ottanta del Novecento. Mentre l'immissione di energia elettrica termica solare in una rete elettrica fu realizzata per la prima volta, come vedremo di seguito, in Italia nel 1980.

L'Italia, con l'impianto Archimede progettato da Carlo Rubbia nel 2000, vanta ancora una volta un primato, quello di aver introdotto per prima l'uso dei sali fusi, quale fluido di lavoro, nel ricevitore degli impianti a concentrazione lineare.

(3) Versioni evolute dell'architettura a suo tempo adottate per l'impianto di Adrano sono oggi a base di grandi centrali solari in costruzione negli Stati Uniti e in Europa. Tra i programmi più ambiziosi quelli di Brightsource Energy e PG&E (900 MW), eSolar e Southern California Edison (243 MW), Abengoa Solar (30 MW).

(4) La società start up statunitense Sky Fuel propone l'inserimento dei sali fusi nel ricevitore degli impianti solari a concentrazione lineare tipo fresnel, un uso proposto per la prima volta da Carlo Rubbia negli impianti con concentratori parabolici lineari (vedi nota 2).

(5) Il 30 gennaio 2009, nel momento in cui questo articolo va in stampa, l'Ausra ha rilasciato un comunicato nel quale annuncia un cambio di strategia. Le attività dell'azienda saranno concentrate sulla fornitura di tecnologie e impianti per la produzione di vapore, lasciando alle compagnie elettriche la costruzione e gestione di grandi centrali solari termoelettriche, tipo l'impianto di Carrizo Plains da 177 MWe.

(6) Lettera di M. Touchais a Francia (dicembre 1961) «Je m'orient plutôt, suivant en cela les travaux antérieurs, vers l'utilisation des paraboloides qui peuvent être exécuté aujourd'hui selon une technique mise au point par des Usines d'Aviation Américaine (Boeing & Cie) a relativement bas prix de revient». Lettera di Francia a Touchais (17 gennaio 1962) «Je comprend parfaitement l'avantage d'employer une technique déjà mise au point pour construire des miroirs parabolique au lieu de miroirs plans (ou tout au plus tronconiques) pour lesquels des études systématiques manquent encore. Je pense, cependant, que tout en ayant la parité de la mise à point, ces derniers doivent être supérieurs, et, en tout cas, en jugeant aujourd'hui, les seuls qui permettent de construire des centrales solaires de grandes dimensions». I due documenti sono conservati presso il Museo dell'Industria e del Lavoro "Eugenio Battisti" di Brescia dove si trova l'Archivio personale di Giovanni Francia, donato dagli eredi al Museo per l'Archivio nazionale sulla storia dell'energia solare, la cui realizzazione è promossa dal Gruppo per la storia dell'energia solare (GSES) e dal Comitato Nazionale per La storia dell'energia solare (CONASES).

Cesare Silvi

è presidente del Gruppo per la Storia dell'Energia Solare (GSES) e del Comitato Nazionale per La Storia dell'Energia Solare (CONASES).