

## Storia del vapore e dell'elettricità dal calore del sole con specchi piani o quasi piani: possibilità esplorate dagli scienziati italiani sin dall'Ottocento

Cesare Silvi

Gruppo per la storia dell'energia solare (GSES) e Comitato Nazionale "La Storia dell'Energia Solare" (CONASES)<sup>1</sup>

*Negli ultimi due secoli matematici, fisici, ingegneri e studiosi italiani hanno ricercato e sperimentato come produrre dal calore del sole vapore ed elettricità utilizzando specchi piani o quasi piani. Le invenzioni italiane sono oggi applicate in moderni impianti solari termodinamici in costruzione nel mondo*

## History of Steam and Electricity Generation from Solar Heat by using Flat or almost Flat Mirrors: Research by Italian Scientists since the 1800s

*Over the last two centuries Italian mathematicians, physicists, engineers and scientists have been researching and experimenting with steam and electricity generation from solar heat by using flat or almost flat mirrors. Today, Italian inventions are applied in modern solar thermodynamic power plants under construction throughout the world*

1. Il GSES è un'Organizzazione di Volontariato (OdV) senza fini di lucro, considerata ONLUS (Art. 10 Comma 8 D.lgs. 412/97 n. 460), iscritta nel registro della Regione Lazio, sezione Cultura. Costituito nel 2004 per iniziativa di esperti e studiosi di varie discipline, soci di accademie e società scientifiche, ha come scopo quello di:
  - promuovere lo studio e la conoscenza della storia dell'uso dell'energia solare nelle sue forme dirette (radiazione diretta e diffusa) e indirette (delle correnti di acqua e aria, delle foreste e altre biomasse) con finalità di carattere sociale, civile e culturale;
  - promuovere una maggiore consapevolezza sul funzionamento della Terra nonché sull'uso delle sue risorse naturali rinnovabili ai fini dello sviluppo umano e socio-economico.

Il CONASES è un Comitato temporaneo, istituito, su proposta del GSES, con decreto del Ministero per i Beni e le Attività Culturali del 27 aprile 2006, formalmente insediato il 24 luglio 2006. Sarà operativo fino al 31 dicembre 2011.

## Il calore del sole

Il calore del sole, quello che ci arriva ogni giorno, è stato il protagonista di tutte le civiltà umane. L'energia solare rinnovabile, immagazzinata grazie all'intelligente meccanismo della fotosintesi clorofilliana nelle foreste e altre biomasse, ha consentito all'uomo, con la scoperta del fuoco, di riscaldare e illuminare le notti buie e fredde, di cuocere i mattoni, di forgiare i metalli e fornire l'energia per azionare tante altre nostre attività, per millenni e millenni.

La più rivoluzionaria invenzione solare dell'antichità, quella del vetro piano per finestre nella Roma imperiale del I sec. d.C., integrata funzionalmente ed esteticamente negli edifici di tutto il mondo, è stata per centinaia di anni, e lo è tuttora, la principale tecnologia per catturare la luce e il calore del sole per il comfort luminoso e termico dei nostri ambienti di vita e di lavoro.

Tuttavia, negli ultimi 200 anni il ruolo del calore rinnovabile del sole è stato oscurato dal potere dominante del calore prodotto con carbone, petrolio e gas (o fonti energetiche solari fossili), e più recentemente di quello prodotto con l'energia nucleare. Con queste fonti è possibile produrre calore nelle quantità, ma soprattutto con le qualità desiderate in tutte le stagioni e in tutte le ore del giorno, alle basse (<300 °C), medie (300÷500 °C) e alte temperature (> 500 °C): le medie e le alte per alimentare i più avanzati processi industriali, a cominciare da quelli per la produzione di vapore ed elettricità. Con il vapore possiamo azionare una turbina che mette in moto a sua volta un generatore di energia elettrica. Con l'energia elettrica possiamo illuminare artificialmente gli ambienti di lavoro e di vita di giorno e di notte, azionare i motori delle fabbriche e dei treni, far funzionare i nostri elettrodomestici e i nostri computer.

Questi successi nell'uso delle fonti fossili e nucleari hanno finito per farci dimenticare quasi del

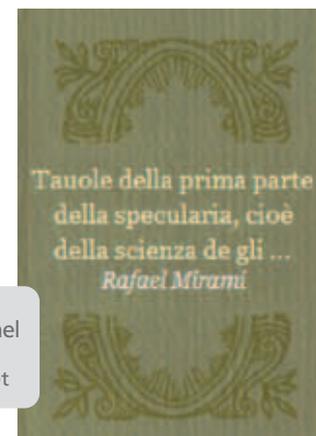
tutto l'importanza che potrebbe avere il calore rinnovabile del sole anche nelle nostre società industrialmente e tecnologicamente avanzate.

## Gli specchi e il sole, da Archimede al terzo millennio

La leggenda degli specchi ustori di Archimede (287-212 a.C.) ha alimentato l'interesse di scienziati di tutte le epoche ad indagare su come concentrare e utilizzare il calore del sole. Si tratta, per l'appunto, di una leggenda, o c'è qualcosa di verosimile nel racconto della difesa di Siracusa dall'assedio delle navi romane del console Marcello messa in atto da Archimede nel 212 a.C.?

Per rispondere a questa domanda si sono mobilitate generazioni e generazioni di matematici e fisici. Nel medioevo la cultura araba contribuì alla diffusione ed al perfezionamento degli studi dell'ottica geometrica del mondo classico greco riferiti alle modalità di funzionamento dei vari tipi di specchi - curvi, piani, sferici, ellittici, iperbolici, parabolici ecc., studi ripresi e approfonditi dagli scienziati del Rinascimento, da Leonardo da Vinci (1452-1519) a Galileo Galilei (1564-1642), a Jerome Cardano (1501-1576), Giovan Battista Della Porta (1540-1615), Bonaventura Cavalieri (1598-1647), con il suo storico trattato su "Lo specchio Ustorio" del 1632<sup>[1]</sup>, a Rafael Mirami con il suo saggio su "La specularia, vale a dire della scienza degli specchi"<sup>[2]</sup> (figura 1).

**Figura 1**  
Copertina del trattato di Rafael Mirami del 1582  
Fonte: immagine tratta da Internet



Sugli specchi ustori, e sugli specchi per concentrare la radiazione solare, c'è una vasta letteratura. Una descrizione essenziale tra le più complete è offerta nel libro *A Golden Thread: 2500 Years of Solar Architecture and Technology* di Butti e Perlin, del quale è attesa una versione aggiornata nel 2010<sup>[3]</sup>.

Le storie raccontate in questo articolo sono riferite all'Italia negli ultimi 200 anni fino alle soglie del 2000.

All'inizio dell'Ottocento, la rapida e crescente diffusione dei combustibili fossili indusse anche alcuni scienziati italiani a porsi la domanda se fosse possibile con il calore del sole fare le stesse cose che altri paesi facevano con il calore prodotto da quei combustibili, dei quali erano ricchi e, invece, l'Italia era ed è povera.

Si tratta di storie spesso poco note, eppure rivelano come esse abbiano contribuito e continuano a contribuire tuttora, a livello mondiale, allo sviluppo di innovativi impianti solari termodinamici (detti anche solari termici a concentrazione o solari termoelettrici), termini utilizzati per indicare gli impianti nei quali il calore del sole è raccolto concentrandolo con degli specchi, per produrre vapore e quindi elettricità, la forma di energia espressione in assoluto della modernità.

## Il solare termodinamico dimenticato dell'Ottocento

### Pasquale Gabelli (1801-1880) e l'Eliostate

L'idea di produrre vapore con il calore del sole per usi industriali fu oggetto di studio nella prima metà dell'Ottocento da parte di Pasquale Gabelli (1801-1882), veneto, matematico e scienziato naturalistico. Nel 1831 Gabelli presentò all'Ateneo di Venezia, dov'era socio corrispondente, una memoria riguardante "il modo di giovare dei raggi solari per mezzo di un eliostate che ne portasse costantemente la corrente calorifica contro una data superficie".

La proposta di Gabelli fu accolta dall'università di Padova con scetticismo, motivato dall'aleatorietà della disponibilità della radiazione solare. Tale ragione fu comunque giudicata "buona per

*il Lombardo-Veneto, ai cui limiti si arrendevano anche scientificamente quei signori, ma non per la Puglia o per la Sicilia, a ogni modo poi per l'Africa"*<sup>[4]</sup>.

Gabelli tornò a presentare il suo progetto solare il 25 agosto 1838 in un manoscritto di 40 pagine e annessi disegni dal titolo *Sopra un nuovo meccanismo per dirigere i raggi solari condensati ad usi speciali*. Del manoscritto, che stiamo ancora cercando, ci sono vari riferimenti in letteratura, a cominciare dalla relazione dei lavori scientifici dell'Ateneo di Venezia durante l'anno accademico 1837-1838, a firma del segretario per le scienze Giacinto Namias: "Intorno al poter colorifico de' raggi solari occupavasi il Socio Corrispondente sig. Pasquale Gabelli descrivendoci un suo congegno per condensarli e volgerli ad uno scopo, ove fosse mestieri di molta quantità di calore. Ei mette un'asta di ferro nella direzione dell'asse del mondo, incurvata semicircularmente nel mezzo, e quivi unita ad altra asta mobile intorno a quel punto, la quale sostiene un paraboloide di rivoluzione, il cui foco prossimamente corrisponda al centro del semicircolo.

*La macchina si fa mediante opportuni ingegni roteare per modo che nel piano delle aste sia compreso il centro del sole, e proseguire uniformemente il suo moto, si che in 4 ore compia un giro intorno al proprio asse in senso contrario a quell'astro. Nel paraboloide sono iscritti alcuni specchi che portano presso al centro del semicircolo le immagini del sole e ne moltiplicano grandemente il calore.*

*In quel cavo semicircolare colloca il Sig. Gabelli qualunque corpo da arroventarsi, oppure una sfera vuota comunicante per mezzo di un tubo con una caldaja, che riposa sur il fornello attaccato alla macchina per potervi far fuoco quando le nubi ci sottraggono allo sguardo del sole. Introdotto il liquido, i vapori che formati nella sfera metallica attraversano quello del tubo e della caldaia portandolo all'ebullizione".*

Terminata la descrizione l'Autore evidenzia come tali studi siano stati influenzati dalle ricerche effettuate da Georges-Louis Leclerc, conte di Buffon (1707-1788) che "con una congerie di

*specchi piani iscritti in una curva bruciava il legno alla distanza di 200 piedi, a quella di 5 fondeva i metalli e rendea così più verosimili i potenti dell'ingegno di Archimede, che vuoi si dall'alto delle mura di Siracusa incendesse le navi della nemica Roma. Decida poi l'esperienza se lo spendio di questa macchina, che potrebbe riuscire proficua nelle regioni della zona torrida e a coloro che navigano in quelle parti darebbe equo compenso fra noi, in onta all'impossibilità di giovare allorchè le nubi ottenebrano il cielo"<sup>[5]</sup>.*

### **Bartolomeo Foratti (n.d.) e il "Pirocatofero"**

L'idea di Gabelli fu ripresa 30 anni dopo da Bartolomeo Foratti e presentata, al cospetto dello stesso Gabelli, sempre presso l'Ateneo di Venezia. Foratti ricordò come il Gabelli fosse stato cronologicamente il primo a porre le basi di un sistema "ch'egli ideava fino dal 1849 e che compiuto e sperimentato nel 1861 veniva privilegiato dal cessato Governo nel 1864".

Presentò quindi una suo sistema che chiamò Pirocatofero, uno strumento atto a "condensare i raggi solari e a indirizzarli ad uno scopo onde aver contro questo una grande, costante e continuata corrente di calorico" da utilizzare per le più svariate applicazioni pratiche<sup>[6][7]</sup>.

Il Pirocatofero sarebbe stato costituito "da una moltitudine di specchi piani, imperniati ciascuno su un peduncolo a snodatura sferica, munito di vite e di pressione. Tutti i peduncoli sono distribuiti ed infissi sopra un gran quadro o graticcio, girevole intorno a due assi perpendicolari, l'uno verticale, l'altro orizzontale in maniera da poterlo disporre nella posizione più acconcia per ricevere sulla sua superficie, ricoperta di specchi, i raggi solari. I raggi ricevuti da ogni singolo specchio, possono in causa di una preliminare disposizione del sistema, venir diretti per riflessione su di una piccola superficie, la quale per questa maniera ricevendo una gran somma di raggi calorifici viene fortemente a riscaldarsi.

Descritto l'apparecchio il dott. Foratti estende il suo principio a dei giganteschi apparati suscettibili di produrre i più potenti effetti tecnici, e quin-

*di termina la sua memoria coll'accennare alle applicazioni che sarebbero il riscaldamento delle caldaie delle macchine a vapore fisse, delle caldaie destinate alle distillazioni e ad altri usi industriali, alla produzione di una elevata temperatura nelle terre coltivabili, nelle serre delle piante, ed alla evaporazione delle acque contenenti sali in soluzione ecc."*

Dopo il 1871 non abbiamo trovato altre notizie sul Pirocatofero. Mentre l'idea di Gabelli di un sistema solare termico a concentrazione è di nuovo ricordata nel 1886 nella commemorazione che ne fece Paulo Fambri nelle pagine pubblicate dall'Ateneo Veneto<sup>[8]</sup>.

Fambri ricorda come il progetto di Gabelli accendesse l'interesse di fisici e matematici che notavano il concetto essere giusto "che 40 anni fa rispondeva alle condizioni e ai mezzi e che oggi andrebbe ripreso in esame tenendo conto dei molti passi in avanti del mondo scientifico e soprattutto industriale". Lo stesso Gabelli, pochi anni prima di morire, osservava che il suo progetto avrebbe dovuto essere ristudiato "sulla base immensamente ampliata dei nuovi mezzi che la scienza somministra oggi allo sperimentatore".

Il manoscritto del Gabelli, come racconta lo stesso Fambri, gli fu consegnato dal prof. Gambari, dopo averlo estratto dall'archivio dell'Ateneo Veneto. Purtroppo Fambri non racconta dove lo abbia messo. E ad oggi, come dicevo sopra, lo stiamo ancora cercando.

### **Alessandro Battaglia (1842-?) e il "Collettore multiplo solare"**

Nei libri di storia, la realizzazione del primo motore termico azionato con vapore solare è attribuita a Augustine Mouchot (1825-1912), un professore di matematica del Liceo di Tours in Francia, il quale nel 1860 cominciò ad esplorare la possibilità di trasformare il calore del sole in energia meccanica.

Nel suo noto libro *La Chaleur Solaire et ses Applications Industrielles* del 1869, Mouchot osservava: "Non si deve credere, nonostante il silenzio negli scritti moderni, che l'idea di trasformare il calore in energia meccanica sia recente.

*Al contrario, va riconosciuto che l'idea è molto antica e nel suo lento evolversi essa ha dato luogo alla realizzazione di vari curiosi apparecchi*"<sup>[9]</sup>. Nel 1878 Mouchot espose alla Mostra Universale di Parigi quella che è comunemente conosciuta come la prima e più grande macchina al mondo per la produzione di vapore solare: uno specchio conico, avente una superficie di circa 20 m<sup>2</sup>, che rifletteva la radiazione solare intercettata su una caldaia posta al centro dello stesso specchio (figura 2).

La macchina di Mouchot, che al tempo attrasse l'attenzione di tutto il mondo per il sibilo del vapore solare in uscita dalla caldaia, fu oggetto nel 1884 di un'attenta analisi e di precise critiche sui suoi limiti operativi da parte di uno scienziato e ingegnere italiano, Alessandro Annibale Battaglia.

Il lavoro di Battaglia, che sembra sia rimasto del tutto sconosciuto nel corso del Novecento, è stato riscoperto negli ultimi due anni dal GSES, che lo ha presentato alla comunità mondiale del solare termico a concentrazione in occasione del congresso *SolarPaces 2009*, tenuto a metà settembre a Berlino<sup>[10]</sup>. Le puntuali critiche mosse da Battaglia alla macchina solare di Mouchot hanno suscitato l'interesse degli oltre 200 esperti in aula. È come se la scoperta del lavoro di Battaglia avesse ridimensionato un mito.

Di Battaglia, persona e professionista, sappiamo ancora molto poco. Nacque ad Acqui Terme nel 1842 da una famiglia proveniente da Germignaga in provincia di Varese. Ci risulta che visse a Genova e in Ascoli Piceno. Il 17 aprile 1884 lo troviamo a Napoli, dove, nel corso di una riunione accademica dell'Istituto di Incoraggiamento di Napoli, presentò i suoi punti di vista sulla macchina di Mouchot e ne evidenziò i limiti in una relazione dal titolo *Sul modo e sulla convenienza di utilizzare il calore solare per le macchine a vapore*, letta dal fisico Eugenio Semmola<sup>[11]</sup>.

Secondo Battaglia l'invenzione di Mouchot non avrebbe condotto a grandi risultati. Poiché la caldaia e lo specchio erano solidali nel movimento per inseguire il sole, sia l'uno che l'altro non potevano che avere dimensioni limitate. Inoltre la cal-

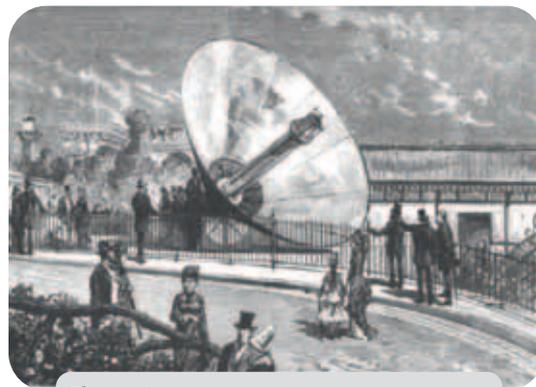
daia era esposta all'aria e pertanto reirraggiava verso l'esterno l'energia che lo specchio aveva concentrata su di essa.

Per superare questi limiti e costruire sistemi a concentrazione capaci di raccogliere calore solare in quantità quali quelle richieste dai processi industriali, Battaglia propose di separare la caldaia dallo specchio.

Progettò un sistema costituito da due sottosistemi del tutto indipendenti in relazione ai movimenti. Il campo solare, di 1.250 piccoli specchi tondi e piani, di un metro quadrato di superficie ciascuno, distribuiti su 42 file di 30 specchi; la caldaia, un tubo di 1 m di diametro, lungo 30 m, posto di fronte al campo solare e isolato all'interno di un forno di mattoni.

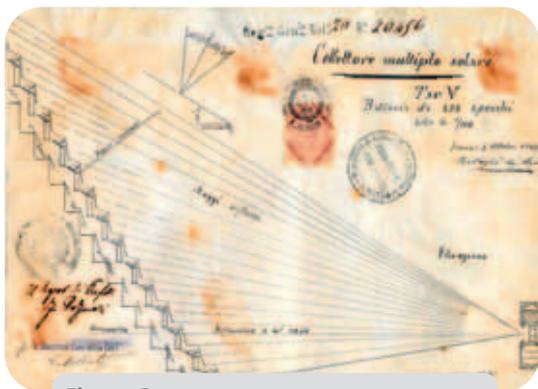
Ogni specchio era orientato in modo da inseguire il sole e rifletterne la radiazione sulla caldaia. Battaglia, che lo descrisse in dettaglio nei suoi vari aspetti economici e tecnici, stimò che il sistema avrebbe avuto una potenza di 37,3 kW e un costo, al tempo, di circa 100.000 lire, pari a circa 420.000 euro 2008.

Nel 1884 Battaglia chiese la registrazione del brevetto relativo a questa sua invenzione con il nome di "Collettore Multiplo Solare", tuttavia di minori dimensioni di quello presentato presso l'Istituto di Incoraggiamento di Napoli. Nel brevetto la caldaia ha una lunghezza di 10 metri e il campo solare è composto da 252 specchi (figura 3).



**Figura 2**

La macchina di Augustine Mouchot, la più grande per il suo tempo, esposta all'Esposizione Universale di Parigi nel 1878  
Fonte: foto cortesia John Perlin



**Figura 3**

Collettore multiplo solare brevettato da Alessandro Battaglia nel 1886 per la produzione di vapore ad alte pressioni e temperature

N.B. Il brevetto è stato ritrovato nel 2007 nel corso delle ricerche promosse dal GSES sui brevetti relativi all'uso dell'energia solare degli ultimi due secoli conservati presso l'Archivio Centrale dello Stato

Fonte: immagine cortesia dell'Archivio Centrale dello Stato<sup>[12]</sup>

Il Collettore Multiplo Solare fu la risposta di Battaglia alla sfida di costruire dei campi solari realizzabili in qualunque dimensione e quindi capaci di far fronte alla domanda di energia dei moderni processi industriali.

Non sappiamo ancora se Battaglia abbia mai costruito e sperimentato il suo Collettore Multiplo Solare come gli fu raccomandato dal fisico Eugenio Semmola durante la presentazione della sua relazione nella sessione accademica presso l'Istituto d'Incoraggiamento di Napoli. Né sappiamo se la sua invenzione e il brevetto da lui registrato siano mai stati notati da altri studiosi e riproposti successivamente. In letteratura al momento non abbiamo ancora trovato tracce.

L'ipotesi è che l'idea di Battaglia di produrre vapore solare per azionare un motore termico potrebbe essere passata in secondo ordine a seguito degli importanti sviluppi che l'Italia andava realizzando nell'uso dell'energia idrica per la produzione elettrica e, quindi, per azionare le sue fabbriche.

Infatti, proprio negli stessi anni nei quali Battaglia era impegnato a sviluppare e a mettere in pratica la sua invenzione, venivano costruiti in Ita-

lia i primi impianti idroelettrici. Per esempio quello di Vesta, vicino a Tivoli, fu inaugurato nello stesso anno, il 1884, durante il quale Battaglia presentò la sua invenzione all'Istituto di Incoraggiamento di Napoli.

### Il solare termodinamico alle basse temperature della prima metà del Novecento

Nella prima metà del Novecento l'energia idrica dei bacini alpini consentì la prima industrializzazione dell'Italia. Ancora prima della II Guerra mondiale, oltre il 90% dell'energia elettrica era di origine idrica e, come accennato sopra, tali sviluppi potrebbero avere fatto dimenticare le invenzioni del solare termico a concentrazione dell'Ottocento per la produzione di vapore e di elettricità.

Nonostante ciò, la possibilità di utilizzare il calore del sole per generare forza meccanica e azionare un motore, continuò ad essere esplorata, ma con la convinzione in alcuni ambiti accademici, per esempio Mario Dornig (1880-1962) del Politecnico di Milano e Luigi D'Amelio (1893-1963) dell'Università di Napoli, che si dovessero evitare le complicazioni derivanti dall'uso di specchi e puntare invece a cicli termodinamici con fluidi bassobollenti, quale l'anidride solforosa, al tempo disponibile in commercio in quanto utilizzata negli impianti frigoriferi e scaldati con un semplice collettore solare termico piano a temperature inferiori ai 100 °C.

Un motore solare, basato su tali concetti, fu ideato agli inizi degli anni trenta da Daniele Gasperini (1895-1960), un artigiano esperto frigorista nato a Rovereto, durante il suo lavoro in Libia. È sotto il sole del deserto che Gasperini ha l'idea del motore solare. Con la collaborazione di Giovanni Andri (n.d.) e il nome di "Elio Dinamic", un primo esemplare fu esposto nella fiera di Tripoli del luglio 1936. La II Guerra mondiale impedì di continuarne lo sviluppo, che Gasperini riprese alla fine del conflitto con la collaborazione di Ferruccio Grassi (1897-1980), un ingegnere di Lecco, dirigente della società Badoni. Insieme inventarono un'ingegnosa pompa solare per il sollevamento dell'acqua dal sottosuolo conosciuta con il nome di pompa SO-

MOR, dal nome della società che la costruì, la quale fu esposta alla prima fiera mondiale dell'energia solare tenuta a Phoenix in Arizona nel 1955 (figure 4 e 5)<sup>[13]</sup>.



**Figura 4**

Da sinistra Enrico Gasperini (figlio di Daniele), Luigi D'Amelio e Mario Dornig alla prima fiera mondiale dell'energia solare, vicino a un paraboloide con nel fuoco una pentola per la cottura del cibo. Phoenix, Arizona, Stati Uniti, 1955

Fonte: foto d'archivio di Vittorio Storelli, donata dagli eredi per l'Archivio nazionale sulla storia dell'energia solare



**Figura 5**

La pompa italiana SOMOR esposta alla fiera di Phoenix

Fonte: foto d'archivio di Ferruccio Grassi, donata dagli eredi per l'Archivio nazionale sulla storia dell'energia solare

## Giovanni Francia (1911-1980) e i sistemi solari termici a concentrazione lineari e puntuali Fresnel con specchi piani o quasi piani

Nella seconda metà del Novecento il solare termico a concentrazione viene rivoluzionato dalle invenzioni di Giovanni Francia, che può essere considerato a livello mondiale uno dei maggiori pionieri del solare in epoca moderna.

Primo di quattro figli, Francia trascorse la giovinezza vicino a Torino, a S. Germano Chisone. A 18 anni perse il padre e allo stesso tempo venne colpito dalla tubercolosi. La malattia lo costrinse ad abbandonare gli studi di ingegneria e studiare da autodidatta presso il sanatorio Agnelli. Nel 1935 si laureò in matematica. Dal 1938 si trasferisce a Genova dove svolge la libera professione e insegna all'Università. A partire dagli anni cinquanta realizza numerose e importanti invenzioni in ambito automobilistico, aeronautico, spaziale, tessile e, negli ultimi vent'anni della sua vita, soprattutto nel settore dell'energia solare.

Francia riteneva 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.

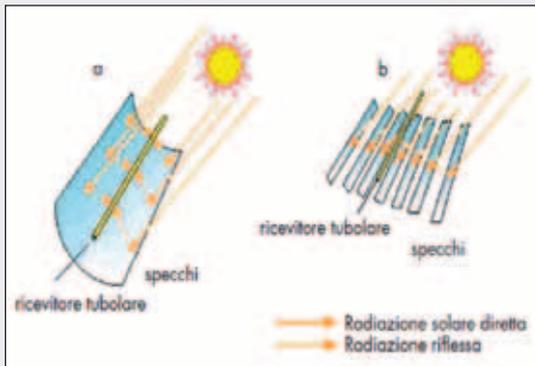
Per raggiungere questo obiettivo, Francia, che non ci risulta abbia mai saputo del lavoro di Alessandro Battaglia, ripercorse concettualmente una strada analoga a quella di quest'ultimo, ovvero di separare lo specchio dalla caldaia.

Tra il 1960 e il 1965 arrivò a dimostrare per la prima volta al mondo che è possibile produrre con il calore del sole vapore ad alte pressioni e alte temperature in sistemi a concentrazione lineare e puntuale di tipo fresnel<sup>2</sup>, vale a dire con campi di specchi piani o quasi piani che possono

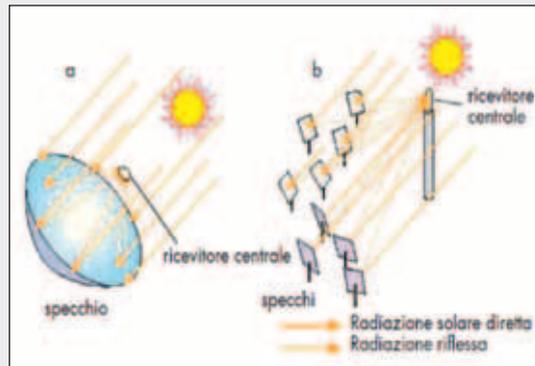
2. I "campi specchi" proposti da Francia vengono chiamati di "tipo fresnel" in quanto ricordano il procedimento che condusse il fisico Augustin-Jean Fresnel a inventare la lente che porta il suo nome, ottenuta "frazionando" una lente sferica in una serie di sezioni anulari concentriche, chiamate anelli di fresnel.

essere immaginati come risultanti dal "frazionamento" di un grande specchio parabolico lineare o di un grande specchio parabolico sferico (figura 6, figura 7)<sup>[14]</sup>.

flessa da un campo solare di superficie di grandi dimensioni. Il vapore che si genera all'interno del ricevitore, a mano a mano che l'acqua bolle, si raccoglie nella sua parte superiore, allo stesso modo



**Figura 6**  
Sistemi a concentrazione con ricevitore lineare o caldaia tubolare:  
a) concentratore parabolico lineare;  
b) concentratore lineare Fresnel  
Fonte: Sapere, febbraio 2009, in articolo di C. Silvi



**Figura 7**  
Sistemi a concentrazione con ricevitore puntuale o caldaia centrale: a) concentratore sferico parabolico puntuale; b) concentratore con ricevitore centrale a torre e campo specchi o puntuale Fresnel  
Fonte: Sapere, febbraio 2009, in articolo di C. Silvi

Giovanni Francia pose a base del solare a concentrazione da lui inventato le seguenti considerazioni. È più facile costruire più specchi piani o quasi piani, anziché un grande specchio curvo. Poiché gli specchi piani sono meno esposti alla forza del vento rispetto ai grandi paraboloidi curvi, la relativa struttura di sostegno è più semplice e, a parità dell'area degli specchi di raccolta della radiazione solare, il suo peso può essere ridotto fino anche a solo il 30% di quello della struttura di sostegno di un campo di specchi paraboloidi, con 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.

Negli impianti ideati da Francia il ricevitore o caldaia è invece un componente indipendente rispetto al movimento degli specchi o riflettori: esso è fisso, può essere sostenuto da robuste torri ed essere dimensionato per raccogliere la radiazione ri-

di quanto accade in una pentola sopra un fornello. Questo facilita l'estrazione del vapore. A parità di superficie degli specchi che captano la radiazione solare, un campo di riflettori fresnel può essere più compatto e occupare una superficie ridotta rispetto a quella occupata da una centrale di pari potenza realizzata con dei concentratori parabolici lineari o a disco, i quali devono essere opportunamente distanziati (figura 8).



**Figura 8**  
Campi solari con concentratori parabolici lineari, deserto egiziano del Meadi, 1912  
Fonte: foto cortesia John Perlin

È sulla base di questi concetti che Giovanni Francia sin dall'inizio intuisce chiaramente una nuova architettura dei futuri impianti solari a concentrazione rispetto a quelli fino ad allora più sperimentati. In una sua lettera del 17 gennaio 1962, rispondendo al collega francese che gli suggeriva di impiegare nel suo pionieristico impianto di Marsiglia degli specchi parabolici lineari già sperimentati negli Stati Uniti dalla Boeing&Cie, affermava: *"solo con gli specchi piani è possibile costruire grandi centrali solari"*<sup>[15]</sup><sup>[16]</sup>.

Le immagini degli impianti costruiti e sperimentati per la prima volta al mondo da Francia ben documentano il suo straordinario lavoro svolto nei primi anni sessanta del Novecento.

**Figura 9**

Primo (al mondo) impianto solare a concentrazione lineare *fresnel*, costruito e sperimentato a Marsiglia (Francia) nel 1963

Fonte: foto da fondo Giovanni Francia, donato dagli eredi e conservato presso il Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia



**Figura 10**

Primo (al mondo) impianto solare a concentrazione a torre e campo specchi (puntuale *fresnel*), costruito e sperimentato a S. Ilario (Nervi, Genova) nel 1965

Fonte: foto da fondo Giovanni Francia, donato dagli eredi e conservato presso il Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia



Dopo il 1965 Francia concentrò la sua attenzione sugli impianti a concentrazione con ricevitore puntuale o centrale o a torre. Realizza e perfeziona altri prototipi. A metà degli anni 70 stabilisce una collaborazione con l'Ansaldo. Partecipa alla realizzazione di un impianto sperimentale presso il Georgia Tech di Atlanta negli Stati Uniti.

Nel dopo *shock* petrolifero del 1973, anche in Italia, il mondo della politica e dell'industria comincia a interessarsi di nuovo all'energia solare determinando la decisione di costruire una centrale solare a concentrazione in base ai principi sviluppati e sperimentati a S. Ilario da Francia.

Eurelios, questo il nome, è la prima grande centrale solare al mondo a concentrazione a torre e campo specchi (tipo Fresnel), da 1 MWe, ad essere collegata ad una rete elettrica nazionale. Ubicata nelle vicinanze di Adrano in provincia di Catania, la sua costruzione fu completata alla fine del 1980 e la sua inaugurazione avvenne nella primavera del 1981. Si trattò di un importante primato mondiale italiano realizzato dall'ENEL con la collaborazione della Comunità Economica Europea, che fu tuttavia presto dimenticato.

**Figura 11**

Impianto solare a concentrazione a torre costruito presso il Georgia Tech Institute di Atlanta, con la collaborazione dell'Ansaldo e di Giovanni Francia

Fonte: foto di G. Parodi, 1979



**Figura 12**

Eurelios: vista del campo eliostati e torre con la caldaia sulla sommità

Fonte: foto cortesia archivio G. Parodi, 1982



**Figura 13**

Vista della 'Stazione solare sperimentale La Capanna' presso il Centro Ricerche ENEA Casaccia

Fonte: foto cortesia ENEA, 1983



Concluse le sperimentazioni di Eurelios nel 1985, l'ENEL ne pubblicò i relativi risultati in un rapporto pubblicato nel 1991.

Nel rapporto si concludeva che il costo del kWh elettrico solare prodotto da Eurelios sarebbe risultato, anche nell'ipotesi di pur possibili riduzioni del costo dell'impianto, comunque ben lontano da valori accettabili. In chiusura la seguente affermazione: *"Questa conclusione, che è condivisa dalla grande maggioranza degli esperti mondiali, fa ritenere che gli impianti solari del tipo a torre e a campo specchi non daranno luogo, anche nel medio e lungo termine, ad applicazioni industriali di qualche rilievo"*<sup>[17]</sup>.

La morte di Giovanni Francia nel 1980, le sopracitate conclusioni dell'ENEL, il calo dei prezzi dei combustibili fossili, l'avvicendamento alla presidenza degli Stati Uniti da Jimmy Carter a Ronald Reagan, con un sostanziale cambio della politica energetica statunitense a partire dal 1981, con i suoi inevitabili riflessi anche sulle politiche energetiche di altri paesi, portarono in generale a una presa di distanza dall'energia solare e, in Italia, in particolare, dagli impianti solari a concentrazione puntuali o a torre e a campo specchi dei quali Francia era stato il pioniere e principale ispiratore a livello mondiale. Presa di distanza che può essere riconosciuta anche in altre scelte fatte in Italia. Presso il centro dell'ENEA della Casaccia fu costruita agli inizi degli anni 80 la "Stazione solare sperimentale de "La Capanna". Nel 1983 vi fu installato un impianto solare a concentrazione a torre per condurvi sperimentazioni di vario tipo (figura 13). Questo impianto fu smantellato e rottamato solo qualche anno dopo, senza che fosse stato mai utilizzato. Di quell'impianto restano oggi solo alcune fotografie e uno specchio recuperato dall'ENEA per il GSES, per la sezione solare del Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia.

Per approfondire il lavoro di Giovanni Francia nel campo dell'energia solare, e non solo in quello specifico della concentrazione, visitare il sito [www.gses.it](http://www.gses.it) alla voce *pionieri in primo piano*.

## Il Nobel Carlo Rubbia e l'immagazzinamento del calore del sole

La chiusura di Eurelios e la rottamazione dell'impianto a torre de "La Capanna" a metà degli anni 90 fecero praticamente dimenticare quasi del tutto il solare a concentrazione in Italia per 15 anni.

È nell'anno 2000 che questa tecnologia viene riproposta con il lancio del progetto Archimede da parte del Nobel Carlo Rubbia.

Quando Rubbia propose l'utilizzo dei sali fusi, vale a dire una miscela di nitrato di potassio e nitrato di sodio, come fluido termovettore nel ricevitore/caldaia di un impianto a concentrazione parabolico lineare, con lo scopo di rendere possibile l'immagazzinamento del calore solare e quindi un più regolare funzionamento degli impianti, la comunità del solare reagì con scetticismo.

I sali fusi, poiché cominciano a solidificare alla temperatura di 240 °C, erano ritenuti inadatti per la circolazione nel ricevitore di un impianto solare a concentrazione parabolico lineare, nel quale la massima temperatura raggiungibile nel tubo era al tempo di circa 400 °C. Un calo della temperatura avrebbe potuto innescare la solidificazione con tutte le conseguenze del caso.

Oggi questo scetticismo ha dovuto essere riconsiderato sia perché è prossima l'entrata in funzione dell'impianto Archimede nel quale, grazie a una serie di innovazioni, i sali sono pompabili per temperature comprese tra 260 e 550 °C, temperatura quest'ultima ora raggiungibile nel tubo ricevitore, sia perché cominciano ad esserci proposte di utilizzo dei sali fusi in altri impianti lineari.

Al riguardo una testimonianza interessante è l'intervista dello scorso dicembre di Arnold Leitner, fondatore e CEO di SkyFuel, una *start-up* con sede in Colorado<sup>[18]</sup>. Per Leitner l'alternativa solare alla produzione di energia elettrica da fonti fossili e nucleare potrebbe concretizzarsi in un impianto a concentrazione lineare tipo Fresnel, che SkyFuel ha chiamato *Linear Power Tower* (LPT), capace di ottenere nel tubo ricevitore temperature sufficientemente elevate per utilizzare i sali fusi sia quale fluido termovettore che per l'immagazzinamento

del calore del sole, come avviene nell'impianto Archimede ideato da Carlo Rubbia.

Rispetto all'impianto Archimede, il LPT ha il ricevitore fisso e indipendente dal movimento dello specchio e combina quindi le innovative idee di Giovanni Francia degli impianti tipo Fresnel degli anni 60 e quelle di Carlo Rubbia del 2000. In altre parole, si tratta di un solare termodinamico in fase di sviluppo realizzato con idee di base italiane.

### Il successo oggi nel mondo del solare termodinamico con specchi piani, o quasi piani, inventato da Giovanni Francia

Gli attuali sviluppi nel mondo del solare termodinamico con gli specchi piani o quasi piani richiederebbe un'illustrazione apposita, in quanto la sua crescita negli ultimi anni è stata e continua ad essere rapida.

In questo articolo richiamo l'attenzione solo su tre tra le decine di società *start-up* nate negli ultimissimi anni, in particolare negli Stati Uniti: Ausra, eSolar e BrightSourceEnergy. Si tratta di imprese nate intorno al 2007, finanziate con capitale di rischio, che negli ultimi mesi hanno colto un suc-

cesso dopo l'altro e che sono impegnate per dimostrare la possibilità di produrre il kWh solare allo stesso costo del kWh prodotto nelle centrali a combustibili fossili e nucleari.

Nel mese di dicembre 2009 la rivista *Power Engineering Magazine* e la PennWell Corporation hanno premiato eSolar per aver costruito nel 2009 il migliore impianto solare<sup>[19]</sup>. Hanno inoltre conferito la menzione onorevole alla società Ausra. L'eSolar è stata poi nominata tra le prime 26 società più innovative al mondo nel 2010 dal World Economic Forum<sup>[20]</sup>. Nello scorso mese di febbraio l'Ausra è stata acquistata al 100% dal colosso nucleare francese Areva<sup>[21]</sup>. Sempre nel mese di febbraio la BrightSourceEnergy ha ricevuto un mutuo garantito dal Dipartimento dell'energia statunitense di 1,37 miliardi di dollari per la costruzione di un impianto da 400 MW nel Sud della California<sup>[22]</sup>.

Le fotografie degli impianti di queste società, nelle quali si può riconoscere l'applicazione dei concetti di base inventati e sperimentati per la prima volta al mondo in Italia, illustrano meglio di qualunque descrizione a parole il contributo dato dal nostro Paese al solare termodinamico con gli specchi piani o quasi piani in sviluppo oggi nel mondo.



**Figura 14**  
Impianto di Kimberlina di Ausra di 5 MWe, messo in esercizio nel 2008  
Fonte: foto cortesia Ausra



**Figura 15**  
Sierra Solar Tower Facility di eSolar di 5 MWe, messo in esercizio nell'agosto del 2009  
Fonte: foto cortesia eSolar



**Figura 16**  
Impianto Luz Power Tower (LPT) di 6 MWt, messo in esercizio dalla BrightSourceEnergy nel deserto del Negev (Israele) nel 2008  
Fonte: foto cortesia BrightSourceEnergy

## Conclusioni

Il racconto fatto non è certamente per gratificarci per una serie di invenzioni italiane tornate attuali e che hanno successo. Con tale racconto si è voluto soprattutto richiamare l'attenzione sull'importanza della storia dell'energia solare, in tutte le sue forme, dirette (radiazione diretta e diffusa) e indirette (delle correnti di acqua e aria, delle foreste e altre biomasse).

È quanto GSES e CONASES cercano di fare dal 2004 con varie iniziative, tra cui:

- La creazione dell'Archivio nazionale sulla storia dell'energia solare, dislocato fisicamente su tutto il territorio nazionale e in parte virtuale e accessibile su Internet. L'inaugurazione dell'archivio è in calendario per il 2011 in occasione delle celebrazioni dei 150 anni dell'Unità d'Italia, nonché dell'anniversario dei 100 anni dalla nascita di Giovanni Frania. Un primo nucleo dell'archivio è già operativo da alcuni anni a Brescia presso il Museo dell'Industria e del Lavoro 'Eugenio Battisti' ([www.musil.bs.it](http://www.musil.bs.it)).
- La realizzazione di una sezione museale sull'energia solare, dove esporre reperti di varia provenienza, all'interno della più ampia sezione sull'energia del Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia. Di recente è stata avviata una collaborazione con l'ENEL per il recupero

di alcuni reperti della centrale solare Eurelios di Adriano, che verranno trasferiti e conservati presso il citato Museo.

- L'inaugurazione della IIa edizione della mostra *Le città solari dal passato al futuro – Scoperte scientifiche e sviluppi tecnologici* in calendario nel mese di ottobre 2010 presso il Museo della Civiltà Romana. La Iª edizione fu tenuta a Genova nel 2006 nell'ambito del Festival della Scienza, proprio in onore di Giovanni Frania, per il suo *Progetto di città solare – Ipotesi di struttura urbana* (1970), nel quale Frania e collaboratori proponevano la realizzazione di un'unità di 100.000 abitanti i cui servizi essenziali – illuminazione, riscaldamento, elettricità – avrebbero potuto essere assicurati in maniera autonoma dall'energia solare<sup>[23]</sup>.

Le iniziative di GSES e CONASES hanno scopi puramente culturali. Mirano a cambiare la percezione che la gente ha su natura e caratteristiche dell'energia solare e sulle sue potenzialità di soddisfare i fabbisogni energetici dell'umanità nella nostra epoca.

Pensiamo sia di buon senso porci la domanda: che idea avrebbero oggi gli italiani se nelle scuole, nelle università, dai programmi televisivi e dai vari media più in generale avessero avuto la possibilità di conoscere da sempre i lavori dei pionieri italiani dell'energia solare degli ultimi 200 anni?

Che idea avrebbero dei pionieristici lavori sul solare a concentrazione con specchi piani o quasi piani realizzati da Pasquale Gabelli, Bartolomeo Foratti, Alessandro Battaglia e, in ultimo, da Giovanni Francia?

Cosa penserebbero dei premi assegnati a eSolar e Ausra? E dell'acquisizione di Ausra da parte del colosso nucleare francese Areva? E ancora, del prestito di oltre un miliardo di dollari alla BrightSourceEnergy?

Il 18 febbraio 2010 a Genova, GSES e CONASES hanno tenuto un incontro presso la locale Camera di Commercio, nel corso del quale hanno presentato il loro programma per ricordare nel 2011, in occasione delle celebrazioni dei 150 anni dell'Unità d'Italia, i pionieri italiani dell'energia solare – inventori, visionari, filosofi, letterati, fisici, matematici, chimici, ingegneri, architetti, artigiani, politici – che hanno aperto con il loro ingegno e la loro determinazione nuove prospettive per l'uso moderno della principale fonte di energia rinnovabile da sempre utilizzata dall'uomo.

Nell'incontro hanno inoltre presentato specifiche iniziative, sempre per il 2011, dedicate a Giovanni Francia a 100 anni dalla nascita.

A Genova, tra i partecipanti all'incontro, c'erano 3 ingegneri venuti da Milano. Alla fine degli anni 70 lavorarono per la costruzione di Eureka, che, come abbiamo già ricordato, fu il primo impianto solare al mondo a immettere energia elettrica in una rete nazionale. I tre ingegneri, trenta anni dopo, sono tornati in "campo" gra-

zie alla loro ultraquarantennale esperienza nella costruzione di caldaie per la produzione di vapore. E silenziosamente, con l'attiva partecipazione di più di un'impresa italiana, hanno progettato e realizzato la caldaia solare dell'impianto pilota della BrightSourceEnergy da 6 MWt, entrato in esercizio nel 2008. Impianto che ha aperto la strada alla realizzazione di una centrale di 400 MW nella Ivanpah Valley nel Sud della California.

Si può capire, quindi, che la storia delle invenzioni italiane del solare termodinamico (o a concentrazione) con gli specchi piani o quasi piani continua, nonostante sia quasi del tutto dimenticata e sconosciuta, proprio in Italia. Come questa storia italiana del solare termodinamico, ce ne sono tante altre, dell'ordine delle decine, dimenticate o del tutto sconosciute. GSES e CONASES vorrebbero, completato il lavoro in corso di documentazione, raccontarle.

Auspichiamo di poterlo fare con il nostro programma storico solare, per il quale, tuttavia, il GSES dovrebbe poter disporre di una somma non inferiore a 1.000.000 di euro al fine di attuarlo come proposto originariamente, nel 2005, al Ministero per i beni e le attività culturali. Vi invitiamo pertanto, in vista delle celebrazioni del 2011, e perché le storie dei pionieri possano essere conosciute da tutti su internet, a cominciare, in particolare, dalle nuove generazioni, a un rinnovato interesse e sostegno per i nostri progetti aderendo alla campagna raccolta fondi del 2010 del GSES<sup>3</sup>.

3. Il GSES è un'Organizzazione di Volontariato (OdV) senza fini di lucro, considerata ONLUS (Art. 10 Comma 8 D.lgs. 412/97 n. 460). Può ricevere il 5 per mille IRPEF e erogazioni liberali deducibili dall'imponibile IRPEF da effettuare in modo tracciabile per poter usufruire dei benefici fiscali (bonifico bancario e carta di credito). Maggiori informazioni al sito <http://www.gses.it>

## Bibliografia

- [1] F. Bonaventura Cavaliere Milanese Giesuato di S. Girolamo, *Lo specchio ustorio ovvero trattato delle Setzioni Coniche et ALCUNI LORO MIRABILI EFFETTI Intorno al Lume, Caldo, Freddo, Suono e Moto ancora. DEDICATO A GL'ILLUSTRISSIMI SIGNORI DI BOLOGNA*, Bologna, Clemente Ferroni, 1632.
- [2] R. Mirami, *Compendiosa introduzione alla prima parte della specularia, cioe della scienza de gli specchi, opera nuova, nella quale brevemente, e con facile modo si discorre intorno agli specchi e si rende cagione, di tutti i loro miracolosi effetti*. In Ferrara: Appresso gli heredi di Francesco Rossi & Paolo Tortorino compagni, 1582.
- [3] K. Butti, J. Perlin, *A Golden Thread – 2500 years of Solar Architecture and Technology*, Cheshire Books, Palo Alto, CA USA, 1980 (Versione aggiornata nel 2010).
- [4] De Gubertains, *Dizionario biografico degli scrittori contemporanei*, Vol. I, 1879.
- [5] *Dei Lavori scientifici dell'ateneo di Venezia durante l'anno accademico 1837-38*. Relazione del Dottor Giacinto Namias Segretario per le Scienze in Esercitazioni scientifiche e letterarie dell'Ateneo Veneto, Tomo III, 1839, pp. 25-26.
- [6] *Atto verbale dell'adunanza ordinaria 8 luglio 1869 in Ateneo Veneto a firma del Presidente Caluci e del segretario G. Zanon*, pp. 243-244, Serie II, volume 6, 1870.
- [7] B. Foratti, *Su d'un suo apparecchio per la concentrazione dei raggi solari e loro applicazione al riscaldamento*, in: Rendiconti di lettere e scienze morali e politiche, Istituto Lombardo di scienze e lettere, 1871.
- [8] *Commemorazione a firma di Paulo Fambri in Ateneo Veneto*. Rivista di scienze, lettere ed arti, Venezia 1886, pp. 209-227.
- [9] A. Mouchot, *La Chaleur solaire et ses applications industrielles*, Nouveau Tirage, Librairie scientifique et technique Albert Blanchard, Paris, 1980.
- [10] C. Silvi, *The Pioneering Work on Linear Fresnel Reflector Concentrators (LFCs) in Italy*, Atti congresso SolarPaces2009, Electricity, fuels and clean water powered by the sun, Berlin, Germany, 15-18 settembre 2009.
- [11] A. Battaglia, *Sul modo e sulla convenienza di utilizzare il calore solare per le macchine a vapore*, relazione letta dal Prof. Eugenio Semmola nella sessione del 17 aprile 1884, Atti dell'Istituto di Incoraggiamento di Napoli, 1884.
- [12] Certificato di brevetto industriale (13 ottobre 1886, Vol. 40, n. 412) valido per tre anni a partire dal 30 settembre 1886, rilasciato in Genova al Sig. Alessandro Battaglia per un sistema chiamato Collettore multiplo solare.
- [13] C. Silvi, *La pompa solare SOMOR: riscoperta di un'invenzione italiana del primo Novecento e sue attuali prospettive*, 2010.
- [14] G. Francia, *Pilot Plants of Solar Steam Generation Systems*, in *Solar Energy* V.12 (1968), pp. 51-64.
- [15] Lettera di M.Touchais a G. Francia, dicembre 1961 (Fondo Giovanni Francia donato dagli eredi e conservato presso il Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia).
- [16] Lettera di G. Francia a M. Touchais, gennaio 1962 (Fondo Giovanni Francia donato dagli eredi e conservato presso il Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia).
- [17] *Progetto Eurelios. Utilizzazione dell'energia solare in impianti elio termoelettrici*. A cura dell'ENEL, Ente Nazionale per l'Energia Elettrica, DSR-CRTN, Centro per la Ricerca Termica e Nucleare, 1991.
- [18] Intervista di CSP Newsletter al CEO di SkyFuel, Newsletter 7-14 dicembre 2009.
- [19] Comunicato stampa eSolar 'eSolar's Sierra Sun-Tower Named Renewable Project of the Year - 5 MW Plant Honored by Power Engineering for Commercializing Breakthrough Solar Thermal Technology. 14 dicembre 2009.
- [20] Comunicato stampa eSolar "eSolar Named World Economic Forum Technology Pioneer 2010 - Award Honors Company's Innovation and Global Impact. 3 dicembre 2009.
- [21] *Electric Light and power: Areva buys solar company Ausra*, Mountain View, Calif., March 2, 2010.
- [22] Erth2Tech, *BrightSource Wins \$1.37B Federal Loan Guarantee Commitment*, February 22nd, 2010.
- [23] Documentazione da fondo Francia, donato dagli eredi e conservato presso il Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia, 1969-1972.