

sazione delle sperimentazioni, la chiusura e l'abbandono dell'impianto Eurelios nel 1985. Tale abbandono avveniva nel mezzo del rilancio dell'uso dell'energia nucleare in Italia, che sarebbe stato bloccato a seguito del referendum sul nucleare del 1987.

Veniamo ora ai nostri giorni. In questo momento ad Adrano, dopo 25 anni di dimenticanza, è in corso lo smantellamento del vecchio impianto Eurelios. In parallelo, il GSES, con la collaborazione della Fondazione Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia e dell'ENEL, sta portando avanti un programma di recupero di alcuni reperti, come la caldaia solare e alcuni specchi (Fig. 3, Fig. 4), per musealizzarli presso le strutture di Brescia.

Lo scopo è lasciare una traccia fisica di manufatti storici del solare termoelettrico realizzato in Italia oltre 30 anni fa.

Così, nello stesso momento in cui in Italia cerchiamo di conservare almeno qualche memoria di Eurelios, negli Stati Uniti viene avviata la costruzione dell'*Ivanpah Solar Electric Generating System* della BrightSource Energy, basato sugli stessi principi dell'impianto costruito ad Adrano.

Di questo moderno impianto solare termoelettrico, con i suoi 392 MW, il più grande in costruzione negli Stati Uniti e, forse, nel mondo, e del contributo dato alla sua realizzazione dall'Italia, in particolare, non a caso, per la progettazione e realizzazione della caldaia solare, ce ne parla, nell'arti-



Fig. 4 – Eurelios – Eliostati tipo francese CETHEL installati su piedistallo in cemento (foto 1980 cortesia Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia)

colo che segue, l'ing. Franco Maria Biancalana, Partner e Amministratore Delegato dell'ESE Srl, Engineering Services for Energy.

IN CALIFORNIA IL PIÙ GRANDE IMPIANTO SOLARE DEL MONDO CON TORRE E SPECCHI PIANI: IL CONTRIBUTO ITALIANO ALLA CALDAIA SOLARE*

Questo articolo si propone di presentare il contributo allo sviluppo dell'energia solare a concentrazione (oggi abbreviata nella nuova sigla STP "Solar Thermal Power" precedentemente più conosciuta come CSP ovvero "Concentrated Solar Power" o "Solare a Concentrazione") dei nuovi sistemi a specchi piani con torre a caldaia solare e della partecipazione italiana a questi sviluppi. Che i primi studi sperimentali siano stati italiani è abbondantemente noto e descritto in varie pubblicazioni¹ ma è importante segnalare che anche il primo impianto solare a concentrazione capace di immettere energia elettrica in rete, è stato interamente

italiano. Si tratta della centrale "Eurelios" installata ad Adrano (Catania) fin dal 1980, basata su un sistema di specchi fresnel e torre centrale. Di concezione e costruzione interamente italiana ebbe come progettista principale

della caldaia solare l'ing. Giancarlo Scavizzi, purtroppo recentemente deceduto e del quale parleremo ancora più oltre, allora dirigente dell'Ansaldo Caldaie. Questa centrale, della potenza elettrica di 1 MWe, ha prodotto



Fig. 1 – Fotografia della caldaia solare di Eurelios trasferita con trasporto speciale dalla Breda Milano ad Adrano (foto cortesia del Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia)

* Ing. Franco Maria Biancalana; Partner e AD della ESE Srl, Engineering Services for Energy – Via Solari, 43 – 20144, Milano – Tel. 02.428797, Fax 02.4229.7576, e-mail: franco.biancalana@esesrl.com

¹ Cesare Silvi: *Che cosa bolle in pentola* (Sapere, febbraio 2009) e altre sue pubblicazioni, vedi <http://www.gses.it>.

energia negli anni fino al 1985 e poi è rimasta abbandonata fino al 2010 ed in questi giorni sta venendo smantellata. Nella foto di Fig. 1 si nota la caratteristica forma della caldaia solare.

Per arrivare comunque alla produzione industriale di energia elettrica da sistemi solari dobbiamo fare necessariamente riferimento alla società *BrightSource Energy Inc.* di Oakland (California) e alla sua controllata israeliana *BrightSource Industries (Israel) Ltd* o *B.S.I.I.*, a quella società, cioè, che è stata e rimane il pioniere dell'energia solare su base industriale, quella società, infine, che riuscì a realizzare in soli sei anni, tra il 1984 e il 1991, il rivoluzionario progetto *SEGS (Solar Energy Generating System)*, prima serie al mondo di ben nove impianti di produzione di energia solare per *354 MW* di potenza complessiva, dislocati nel deserto del Mojave in California.

Questi impianti furono installati, i primi due a Dagget, altri cinque nella località di Kramer Junction e gli ultimi due ad Harper Lake, sempre in California. Sono oggi gestiti dalla *Sunrays Energy Inc.* e dalla *FPL (Florida Power & Light Company)*, e sono tutti quanti tuttora in funzione, collegati alla rete elettrica della California tramite la *Southern California Edison*.



Fig. 2 – Vista dall'alto degli impianti solari di Kramer Junction (SEGS III, IV, V, VI, VII 1 installati dalla LUZ tra il 1986 e il 1988, di potenza pari a 30 MWe ciascuno

La BSII che nel 1984 si chiamava LUZ, creata e guidata da Arnold Goldman è stata quindi la prima azienda industriale a dimostrare la competitività della produzione di elettricità basata su sistemi CSP cioè ad energia solare a concentrazione.

Naturalmente il sistema tecnologico di produzione previsto e attuato fu, all'inizio quello chiamato *"parabolic trough"*, letteralmente *"a truogolo parabolico"* ma conosciuto in italiano come sistema a *"concentratori parabolici lineari"*,

basato appunto sulla raccolta dei raggi solari per mezzo di lunghi collettori di forma parabolica capaci di concentrare gli stessi su di un tubo situato nel fuoco della parabola nel quale circola un fluido diatermico che a sua volta, in appositi scambiatori, produce vapore che viene alimentato alla turbina. Uno schema di questi primi impianti è riportato in Figura 3.

Sull'onda dei nove impianti realizzati da LUZ un gran numero di aziende americane ed europee si mossero contribuendo a svilup-

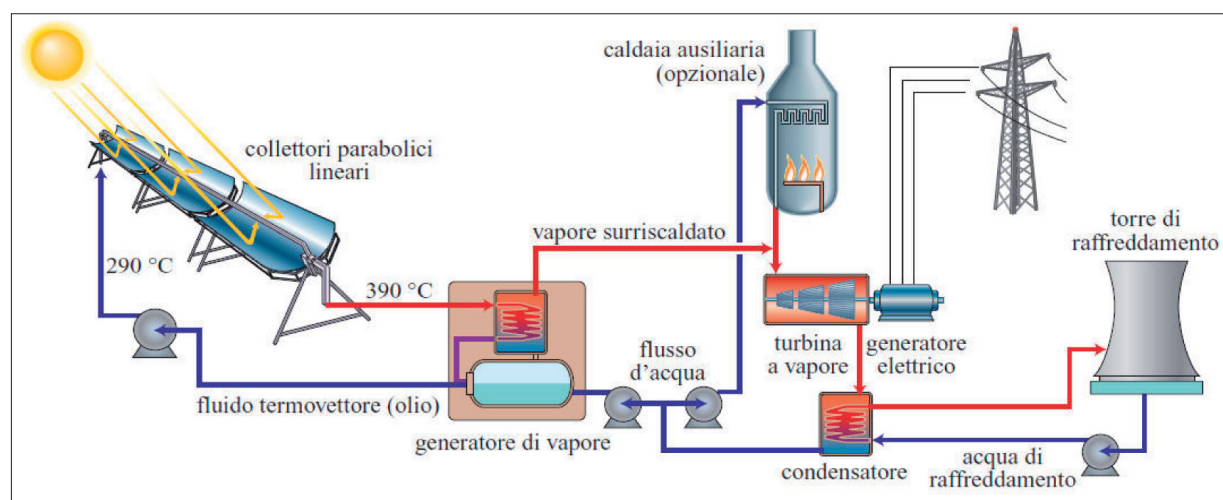


Fig. 3 – Schema di funzionamento di un impianto SEGS (da Enciclopedia degli idrocarburi, Treccani)

pare questo tipo di processo, in particolare in Spagna dove oggi esistono centrali solari per almeno 432 MW di potenza CSP installata, basate per la quasi totalità sulla tecnologia “parabolic trough”.

Al contrario i tecnici della LUZ, proprio i primi utilizzatori industriali di quella tecnologia cioè, optarono per quel completo cambio di filosofia progettuale che ha portato la LUZ II (società israeliana che ha fatto seguito alla LUZ proprio per sviluppare la nuova tecnologia solare) a passare drasticamente dalla tecnologia dei collettori parabolici a quella degli impianti a specchi piani con torre di potenza.

La tecnologia BrightSource Energy a torre contiene importantissimi elementi di economicità che vanno ben oltre il rendimento di conversione solare/termica del 40% rispetto al 36% dei parabolici e inoltre si realizza con maggiore semplicità sia dal punto di vista del processo che della struttura meccanica.

I raggi solari, riflessi dagli specchi ed indirizzati per mezzo di un software assai sofisticato si concentrano sulla caldaia solare chiamata “receiver” o ricevitore e della quale parleremo in seguito e qui producono direttamente vapore surriscaldato a temperature (nel modello 550) di circa 540°C e 160 bar. Il vapore viene direttamente alimentato ad una turbina. La Figura 4 mostra uno schema semplificato del funzionamento degli specchi e della torre solare. Qui a destra viene presentata una tabella (ricavata dalla relazione citata in appendice di Yoel Gilon) nella quale si vedono gli sviluppi tecnico-economici di questo sistema in confronto con l'impianto SEGS VI per il modello d'impianto a torre DPT 550 cioè il modello che BrightSource Energy sta installando a Ivanpah (California), e lo sviluppo ulteriore DPT 1200 che dovrà combinare il campo solare ad alta temperatura con la produzione elettrica tramite turbine a gas.

Luz Power Tower (LPT 550) – the Basics

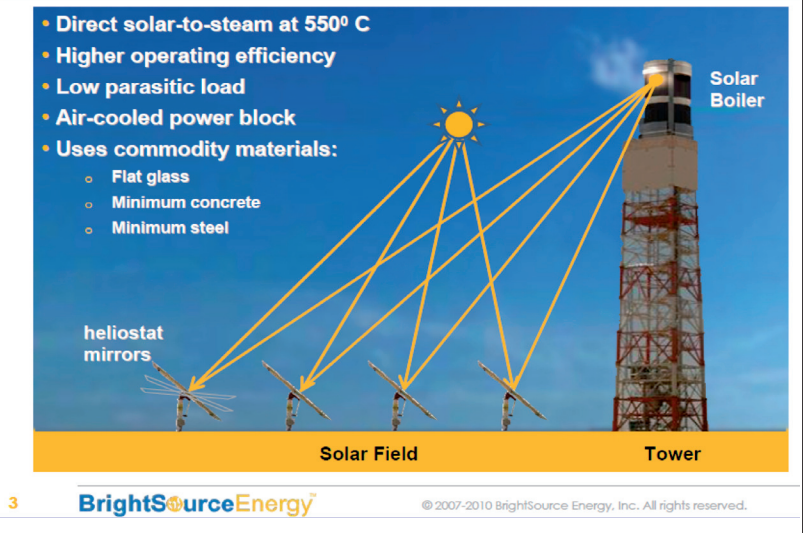


Fig. 4 – In questo schema, per il quale ringraziamo BrightSource Energy, si osserva come i raggi solari vengano riflessi dagli eliostati sulla caldaia solare in maniera diretta, con alta efficienza, basse perdite termiche, producendo vapore a 550 °C. L'impianto è semplice ed usa materiali assai comuni come specchi piani, un minimo di calcestruzzo e di acciaio

La nuova tecnologia dell'impianto a torre è sintetizzata nelle seguenti caratteristiche:

- Trasmissione ottica diretta dell'energia dei raggi solari dagli specchi alla caldaia senza utilizzo di fluidi intermedi.
- Alta efficienza di trasferimento termico dovuta alla mobilità di ogni specchio su due assi, all'eliminazione del fluido intermedio e alle basse perdite parassitiche.
- Limitata struttura civile per il campo solare: ogni specchio è

singolarmente fissato su un palo indipendente.

- Specchi piani di limitate dimensioni (eliostato da circa 14 m² in 2 pezzi) ciascuno regolato indipendentemente dagli altri, con supporti metallici snelli e leggeri e con motori alimentati da piccoli pannelli fotovoltaici singoli. Inoltre anche i cavi di comando sono eliminabili negli sviluppi in corso.
- Alto rapporto di concentrazione che permette di raggiungere temperature del vapore estre-

Tab. 1 – Costi comparati delle varie tecnologie

	SEGS 6	Parabolico ottimale	DPT 550	DPT 1200 Seconda generazione
Temperatura °C	370	400	550	1200
Efficienza solare/termica	35%	40%	50%	48%
Efficienza termica/elettrica	37%	39%	43%	51%
Perdite parassitiche	14%	12%	5%	3%
Efficienza solare/elettrica	11%	14%	20%	24%
Costo campo solare \$/m ²	280	250	160	150
Costi relativi per KWh	100	90	70	55

mamente alte (circa 550 °C al presente).

- Sistema di regolazione e controllo del puntamento tramite un software brevettato di estrema precisione.
- Minori perdite termiche.
- Maggiore semplificazione di tutto l'impianto.
- Specchi piani anziché curvi costano meno e i piccoli specchi hanno una migliore resistenza al vento.
- Gli specchi possono essere installati anche su terreni moderatamente inclinati.

Il receiver o ricevitore è il cuore di questo tipo d'impianto sia perché è il luogo di trasformazione dell'energia solare in energia termica sia perché la sua progettazione e la sua costruzione presentano difficoltà di ordine superiore. Basti pensare che le sue dimensioni pressappoco cubiche di 16,5 m di lato comportano un peso a pieno carico di diverse migliaia di tonnellate e la torre che lo sostiene, in un progetto previsto per 100 MW di potenza elettrica è alta oltre 150 m. Tale altezza è resa necessaria per captare anche i raggi solari riflessi dagli specchi più lontani che si trovano in qualche caso a oltre 1 Km dalla torre stessa. Sempre per la stessa potenza netta gli specchi, di area circa 14 m² sono almeno 50.000, dipendentemente dal livello di irraggiamento della zona.

A questo punto è giunto il momento di parlare della *ESE Srl, Engineering Services for Energy* e della sua partecipazione ai progetti della BrightSource Israel.

La *ESE* è una società d'ingegneria milanese, derivata nel 1974 dalla *PROTECMA* sempre controllata dagli stessi partners, che, in una struttura assai semplice, è riuscita a raccogliere ingegneri e tecnici, i più anziani dei quali con la comune origine della progettazione della Centrale Nucleare di Latina, dotati di grandi esperienze di progettazioni termo meccaniche in particolare nel campo delle caldaie, delle turbine e dei relativi cicli.

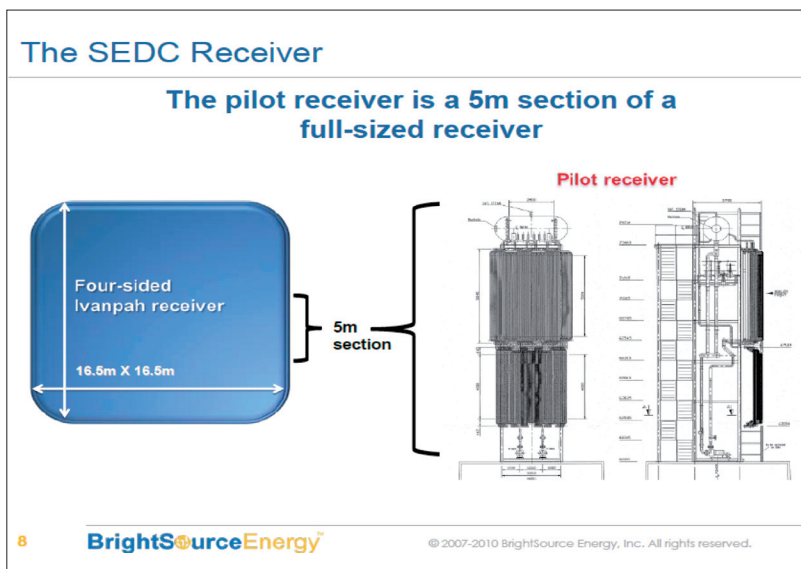


Fig. 5 – Questa figura, ricavata dalla presentazione della BrightSource Energy di Benjamin Koretz, mostra il ricevitore ESE/Ansaldo dell'impianto pilota del Negev da 6 MW termici e, alla sua sinistra, la proiezione schematica del ricevitore (circa 280 MW termici) previsto per il grande impianto di Ivanpah da 120 MW elettrici, che è un cubo di lato 16,5 m

Nel 2005 ESE fu chiamata a progettare una centrale a ciclo combinato da 200 MWe per l'azienda cartaria *American Israeli Paper Mills (AIPM)* del gruppo israeliano *Hadera* e, in quell'occasione, gli esperti della società entrarono in stretto contatto con uno dei consulenti AIPM, *Israel Kroizer* che in seguito passò alla LUZ II appena costituita da Arnold Goldman e ne divenne poi l'Amministratore Delegato.

Quando LUZ II si trovò a dover progettare la caldaia solare per l'impianto pilota di Rotem nel deserto del Negev in un centro sperimentale chiamato *SEDC (Solar Energy Development Center)*, Kroizer si ricordò della capacità dei tecnici della ESE e chiamò quella società per la progettazione del receiver.

L'esperto ESE in quel campo era proprio l'ing. Giancarlo Scavizzi, di cui si è già parlato. Scavizzi che, dopo una lunga militanza in Ansaldo Caldaie, si era unito agli amici della ESE per portare la sua esperienza ed il suo insegnamento ai giovani. La ESE produsse quindi il progetto di base

del primo receiver della LUZ II (Fig. 5), ne seguì la costruzione effettuata dall'Ansaldo Caldaie di Gallarate e ne verificò l'expediting e la gestione della qualità.

L'impianto pilota (Fig. 6) fu inaugurato nel giugno del 2008 e continuò la sua operazione per tutto il 2009 e parte del 2010 raggiungendo e superando tutti gli obiettivi prefissi, cioè i seguenti:

- Produzione di vapore diretto da solare a 540°C e 140 bar.
- Potenza termica realizzata 6,04 MW.
- Verifiche di puntamento perfettamente realizzate.

Le altre caratteristiche di base dell'impianto pilota di Rotem nel Negev sono:

- Altezza torre – 60 m;
- Heliostati – 1.640 da 7,3 m² per circa 12.000 m² di area riflettente.

A seguito del successo dell'impianto pilota, *BSII sottoscrisse con ESE un accordo di assistenza tecnica*, tuttora in vigore, che ha condotto allo svolgimento di altre importantissime realizzazioni come le seguenti:

- Progetto di base per l'offerta di un impianto solare di tipo parabolico da 50 MWe a Iberdrola Sevilla nella località di Aznocolar (Spagna). ESE si è occupata del power block e ha seguito le offerte di STC ed Europower (2007). Questa offerta non ha avuto seguito.
- Studio preliminare per il receiver ed il boiler dell'impianto solare a torre da 29 MW termici realizzato da BrightSource Energy Inc. per la *Chevron a Coalinga* in California (2008). Questo impianto, con un receiver situato a 98 m d'altezza produce vapore a media pressione che, a sua volta, in un apposito ribollitore produce acqua e vapore da iniettare nei pozzi petroliferi per scaldare olio pesante e diminuirne la viscosità, facilitandone l'estrazione.
- Analisi, basic design e consulenza generale del receiver da 120 MWe (quindi circa 280 MW termici) per il primo impianto Brightsource Energy a torre di Ivanpah (California) (2009). Questo oggetto è adesso in costruzione presso la Babcock Riley (USA).

Inoltre nel 2008 – 2009, questa volta come *Project Engineer della Dalkia* (Francia):

- ESE ha effettuato la completa preprogettazione, inclusa la preparazione delle specifiche e le richieste ai subfornitori, per tutto il Power Block della centrale solare di Ashalim da 100 MWe posta in gara dallo Stato di Israele. La Dalkia faceva parte del raggruppamento di aziende includenti la BrightSource Industries (Israel) interessate a tale offerta. Tale lavoro è tuttora in corso.

Nel frattempo la BrightSource Energy si avvia a completare il primo dei nuovi impianti del deserto del Mojave, appunto quello di Ivanpah da 120 MWe, sul totale dei 3 già approvati dalla Commissione per l'Energia della California per una potenza installata complessiva di 392 MW.



Fig. 6 – Impianto sperimentale nel deserto del Negev (Israele)

Questi 3 impianti, dotati complessivamente di 173.500 eliostati e di 3 torri da oltre 150 m di altezza, sorgeranno, per la prima volta nella storia degli Stati Uniti, su terreno di proprietà federale pubblica, anche se sottoposti ad una sorta di affitto oltre ad una tassa sul MW, balzelli che vengono considerati non indifferenti. La figura in copertina mostra una suggestiva simulazione, tratta dal sito internet della BrightSource Energy, del gruppo di impianti di Ivanpah (<http://ivanpahsolar.com>).

Altri impianti per oltre 600 MW di tecnologia molto innovativa, basati sul sistema "Stirling Engine", sono stati recentemente approvati in California a favore della società Tessera Solar's.

È importante sottolineare, a dimostrazione della fiducia che il sistema a torre sta raccogliendo, che nel maggio del 2010, la grande società francese *Alstom* ha investito oltre 55 milioni di dollari nella BrightSource Energy Inc. divenendo così uno dei maggiori azionisti della stessa. Giova ricordare che tra gli azionisti oltre alla Morgan Stanley e alla Vantage Point Venture Partners c'è addirittura il Fondo Pensione degli Insegnanti (*California State Teachers Retirement System*). Anche *Chevron* e *Goldman Sachs* e *Google* sono divenuti recenti azionisti.

I Rapporti di Bloomberg indicano che il miglioramento continuo delle tecnologie relative al Solare a Concentrazione insieme all'ingrandimento delle dimensioni degli impianti potrebbe portare, entro il 2020, ad un costo del kWh solare inferiore a quello delle centrali a carbone, dell'ordine di circa 5 centesimi di dollaro.

L'ingresso di *Alstom* tra gli azionisti della BrightSource Energy ha recentemente dato luogo (ottobre 2010) ad un importantissimo accordo per lo sviluppo congiunto di impianti solari BSII in particolare nell'anello mediterraneo e in Africa.

BIBLIOGRAFIA

- <http://cleaninvest.wordpress.com>.
- <http://brightsourceenergy.com>.
- *Benyamin Koretz: BrightSource Eilat Presentation*.
- *Yoel Gilon – NREL CSP Workshop*.
- *BrightSource presentation, maggio 2008*.
- <http://latimesblogs.latimes.com>.
- <http://www.mercurynews.com>.
- <http://www.ecotraders-global.com>.
- *Cesare Silvi: "Il futuro del Solare Termodinamico, Specchi piani o curvi?" (FV Fotovoltaici, aprile 2009)*
- *Cesare Silvi: "Che cosa bolle in pentola?" (Sapere, febbraio 2009)*.