

Il contributo del solare a concentrazione nel percorso di decarbonizzazione

Il solare a concentrazione può fornire un contributo sostanziale al perseguimento degli obiettivi di decarbonizzazione fissati dal Green Deal Europeo. In particolare, si può prevedere un ampio sviluppo di impianti di piccola-media potenza nell'area euro-mediterranea, in zone ad alta intensità di radiazione quali Spagna, Grecia, Portogallo, Italia meridionale e insulare ed in Nord Africa. In questo contesto, ENEA ricopre un ruolo di primo piano a livello nazionale e internazionale, portando avanti attività di ricerca e sviluppo, progettazione, realizzazione e dimostrazione di impianti e sistemi integrati con le risorse e le specificità del territorio.

DOI 10.12910/EAI2020-039

di **Michela Lanchi, Walter Gaggioli**, Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili, ENEA (*)

La tecnologia solare a concentrazione, intrinsecamente idonea alla generazione elettrica on-demand, può fornire un contributo sostanziale al perseguimento degli ambiziosi obiettivi di decarbonizzazione fissati dal Green Deal Europeo, che prevede entro il 2030 una riduzione delle emissioni di gas serra di almeno il 50% ed entro il 2050 la neutralità ambientale. Nella tecnologia solare a concentrazione la radiazione solare diretta viene con-

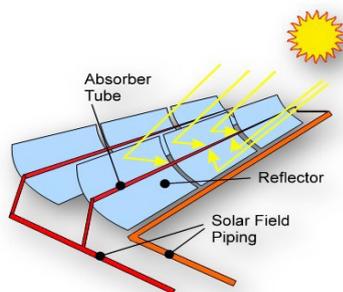


Fig. 1 Schema concettuale di collettori solari a concentrazione

centrata da opportune superfici riflettenti (specchi) su un sistema ricevitore, e successivamente assorbita da un fluido termovettore sotto forma di calore ad alta temperatura (Figura 1). Il calore può essere utilizzato direttamente – e in questo caso si parla di *Concentrated Solar Thermal*, CST – o convertito in energia elettrica analogamente a quanto avviene nelle centrali termo-elettriche convenzionali alimentate da combustibili fossili. In questo caso si parla di *Concentrating Solar Power*, CSP, ovvero di sistemi che possono essere accoppiati a cicli termodinamici cogenerativi, nei quali il calore solare viene utilizzato per produrre acqua dissalata o alimentare sistemi distribuiti di raffreddamento.

Grandi prospettive applicative

La caratteristica peculiare dei sistemi CSP è la possibilità di immagazzinare il calore solare attraverso sistemi convenzionali di accumulo

(*Thermal Energy Storage*, TES), consentendo di programmare la produzione di energia elettrica e rispondere alle richieste della rete, in un'ottica di generazione dispacciabile, ad oggi non perseguibile attraverso altre tecnologie energetiche rinnovabili.

Grazie alla disponibilità di soluzioni commerciali per l'accumulo termico, il solare a concentrazione è una tecnologia intrinsecamente flessibile, che può supportare nel prossimo futuro una maggiore penetrazione nel mix energetico anche delle fonti rinnovabili non programmabili come eolico e fotovoltaico (PV) [1].

Di fatto, nei prossimi decenni si prevede un sostanziale incremento della quota di energia prodotta da CSP che, secondo lo scenario *hi-Ren* dell'IEA, al 2050 coprirà più del 10% del fabbisogno globale di energia primaria [2]. A completamento di questo scenario si può considerare che il calore a media/alta temperatura prodotto dal CST può essere vantag-

giosamente utilizzato per alimentare i processi endotermici dell'industria, e per produrre combustibili "green" e idrogeno da biomasse e/o acqua, con grandi prospettive applicative. Basti pensare che il consumo energetico dell'industria rappresenta circa il 32% di tutta l'energia globalmente richiesta e di questa quota solo il 26% è attribuibile ai consumi elettrici, mentre il restante 74% è riferibile a consumi termici [3]; il 70% di questi ultimi è associato a processi endotermici a media/alta temperatura ($>150\text{ }^{\circ}\text{C}/400\text{ }^{\circ}\text{C}$) e può essere soddisfatto da impianti CST opportunamente integrati al processo industriale.

Lo scenario internazionale e lo stato dell'arte della ricerca

Attualmente, a livello mondiale, la capacità installata equivalente degli impianti CSP è pari a 5,5 GW, di cui il 61% localizzata in Spagna e il 18% negli USA, mentre la capacità degli impianti in via di realizzazione e in via di progettazione è, rispettivamente, pari a 1,2 e 2,7 GW [4]. Negli ultimi anni si è registrata una rapida crescita del mercato anche in Marocco, Cina, Sud Africa, Emirati Arabi e Cile, che ospitano la maggior parte dei progetti attualmente in fase di sviluppo.

La distribuzione degli impianti riflette in parte le caratteristiche geografiche favorevoli alla tecnologia (latitudini non troppo elevate, clima secco con scarsa nuvolosità e piovosità durante



Fig. 2 Tubo ricevitore evacuato con assorbitore selettivo realizzato su brevetto ENEA [6]

l'anno) e, specialmente, nel caso della Spagna, la presenza di politiche di incentivazione da parte dei governi. La maggior parte degli impianti commerciali è dotata di sistemi di accumulo termico, con capacità equivalente variabile da 3 a 15 ore (ore di produzione a pieno carico). Ad esempio, nel caso dell'impianto CSP Gemasolar (20 MW_e, Siviglia), è stato realizzato un sistema di accumulo termico che durante il periodo estivo garantisce l'operatività dell'impianto per 24 ore continuative. A livello internazionale, considerando l'area euro-mediterranea, si può prevedere nel futuro un ampio sviluppo del solare termico a concentrazione nelle aree ad alta intensità di radiazione con impianti di piccola-media potenza (Spagna, Grecia, Portogallo, Italia meridionale e insulare), oltre che un'espansione del potenziale energetico rinnovabile europeo attraverso l'importazione di energia dai paesi del Nord Africa che,

ovviamente, presentano costi di produzione di energia elettrica attraverso tecnologie CSP di gran lunga inferiori rispetto alle più favorevoli zone dell'Europa meridionale.

Nell'ultimo decennio il settore del solare a concentrazione ha conosciuto rilevanti progressi in termini di incremento dell'affidabilità, efficienza impiantistica e riduzione dei costi grazie all'esercizio degli impianti commerciali esistenti e la costruzione di nuove installazioni, ma anche allo sviluppo di soluzioni tecnologiche innovative per i componenti di impianto (collettori/ricevitori/sistemi di accumulo).

La principale sfida per il solare termodinamico attualmente risiede nella riduzione del costo di produzione dell'energia elettrica, ad oggi concorrenziale con le altre tecnologie energetiche solo in specifici contesti geografici e finanziari, quali, ad esempio, Cile, Marocco ed Emirati Arabi Uniti, dove sono stati raggiunti prezzi di poco superiori ai 7 centesimi di dollaro per kWh [5]. La riduzione dei costi, che passa attraverso l'incremento dell'efficienza degli impianti, richiede l'ottimizzazione dei principali componenti, dal campo solare al sistema di accumulo termico; per tale motivo la ricerca a livello internazionale è orientata su nuovi fluidi termovettori, basso-fondenti e termicamente stabili ad elevate temperature ($>400\text{ }^{\circ}\text{C}$), nuovi materiali e configurazioni di sistema per l'accumulo termico, nuovi materiali e tecniche di realizzazione dei coating selettivi dei tubi ricevitori.

Le attività di R&S dell'ENEA



Fig. 3 Impianti dimostrativi realizzati da ENEA: a) Impianto PCS (Centro Ricerche ENEA Casaccia); b) Impianto MATS (Borg-El Arab, Egitto)

In Italia, la ricerca sul CSP è stata avviata da ENEA all'inizio degli anni 2000, portando allo sviluppo di una tecnologia innovativa basata sull'impiego di sali fusi, sia come fluido termovettore che come materiale di accumulo per l'energia termica, e sull'utilizzo di nuovi collettori solari lineari operativi fino ad una temperatura di $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ (contro i "conven-

zionali 400 °C”), ottenendo un conseguente aumento dell’efficienza globale di sistema e una riduzione del costo dell’accumulo termico, oltre che una diminuzione dell’impatto ambientale. Il percorso di sviluppo tecnologico, avviato con l’ideazione e la messa a punto di un nuovo rivestimento del tubo ricevitore, protetto con brevetto internazionale esclusivo ENEA (Figura 2), ha condotto, attraverso un progressivo coinvolgimento dell’industria, alla realizzazione di un impianto di *Prova Collettori-Solari a sali fusi* (Impianto PCS) presso il Centro Ricerche ENEA della Casaccia (Figura 3.a), e alla costruzione dei seguenti impianti dimostrativi: i) **impianto Archimede**, con capacità di circa 12 MW termici, accoppiato alla centrale a ciclo combinato Enel presso Priolo Gargallo (SR) [7]; ii) **impianto MATS** (Figura 3.b), con capacità di 1 MWe, installato presso Borg El Arab - Alessandria d’Egitto [8, 9].

In particolare, nell’ambito del **progetto EU MATS** (Multipurpose Applications by Thermodynamic Solar), ENEA ha coordinato un partenariato di aziende e centri di ricerca europei ed egiziani per la progettazione e successiva costruzione di un impianto solare termodinamico dotato di un innovativo serbatoio di accumulo termico con generatore di vapore immerso (brevetto ENEA-Ansaldo Nucleare), capace di alimentare un ciclo termodinamico per la generazione di

1 MW di elettricità e 250 m³/giorno di acqua dissalata, utilizzando l’energia solare integrata con fonti energetiche localmente disponibili.

Partendo dall’esperienza e dalle competenze maturate nell’ambito di progetti nazionali e europei (FP7 e H2020), ENEA ha intrapreso, negli anni, nuove attività di ricerca sul CSP, anche in collaborazione con diverse realtà industriali nazionali (Eni SpA, Magaldi Power SpA, ESE Engineering, C.&C. Consulting Engineering Srl ecc.), puntando allo sviluppo di innovativi sistemi CSP che si adattano alle necessità del mercato energetico «dell’area del Mediterraneo». Questo mercato richiede flessibilità nella generazione di energia elettrica, possibilità di cogenerare energia elettrica e termica, e soluzioni tecniche per la produzione distribuita sul territorio. Infatti, se a livello internazionale lo sviluppo della tecnologia CSP è principalmente indirizzato alla produzione elettrica in sistemi centralizzati di grande taglia (>100 MW_e) per beneficiare dell’economia di scala e ridurre il costo dell’elettricità (target di 7 c€/kWh entro il 2050 [5]), in parallelo si sta delineando un potenziale mercato basato sulla poli-generazione distribuita per applicazioni industriali, civili e residenziali.

I progetti europei

L’Agenzia è attivamente coinvolta anche in questo secondo ambito e, tra le esperienze più significative, si possono citare i **progetti europei ORC-PLUS, STS-MED e REslag**. In particolare, il **progetto ORC-PLUS**, (Organic Rankine Cycle - Prototype Link to Unit Storage) coordinato da ENEA rappresenta **un altro esempio vincente di collaborazione tra Europa e Paesi della sponda sud del Mediterraneo**. Nell’ambito del progetto è stato realizzato presso il “Green Energy Park” di Ben Guerir (Marocco), in un’area semidesertica a 80 km

a nord di Marrakech, un innovativo sistema di accumulo termico, capace di immagazzinare fino a 19 MWh termici ed in grado di incrementare di 4 ore la produzione a pieno carico dell’esistente impianto CSP, dotato di una turbina ORC da 1 MW_e, e quindi di coprire nelle ore serali il picco di assorbimento della locale rete di Media Tensione [10-11]. Nell’ambito del Progetto STS-MED, è stato sviluppato un sistema di stoccaggio termoclineo basato sull’utilizzo di sali fusi ternari come materiale di accumulo, installato in due differenti taglie prototipali nel Centro Ricerche ENEA Casaccia e presso l’Università di Palermo [12]. Sempre riguardo alla tematica dell’accumulo termico, nell’ambito del **progetto EU REslag** (Turning waste from steel industry into a valuable low cost feedstock for energy intensive industry), è stato di recente realizzato presso il Centro ENEA della Casaccia un sistema prototipale che coniuga il **solare termodinamico con l’economia circolare**, grazie all’utilizzo di scorie di acciaieria opportunamente riprocessate come materiale di accumulo [13]. **Alle attività di ricerca a livello nazionale ed europeo coordinate o promosse dall’Agenzia coinvolgendo partner del mondo accademico e industriale, ENEA affianca la fornitura di servizi e consulenze tecniche ad aziende ed industrie del settore per promuovere e consolidare lo sviluppo della filiera CSP in Italia (attualmente Eni, SOL.IN.PAR, Stromboli Solar).**

Il contesto nazionale

Nel contesto nazionale è importante segnalare che, a partire dal 2019, il solare a concentrazione è stato incluso tra le tematiche strategiche oggetto della **Ricerca di Sistema Elettrico finanziata dal MiSE**. In questo ambito ENEA ha presentato un piano triennale di ricerca finalizzato, tra le altre cose, allo **studio di nuovi fluidi termovettori, allo sviluppo di innovativi materiali di rivestimento su-**



Fig. 4 Impianto commerciale CSP in fase di realizzazione presso Partanna (Trapani)

perficiale per tubi ricevitori, e alla realizzazione di sistemi di accumulo termico avanzati, in collaborazione con il mondo accademico nazionale. Inoltre, sempre nell'ambito dell'Accordo di Programma ENEA-MiSE sulla Ricerca di Sistema Elettrico, entro il 2021 è prevista la realizzazione, presso il Centro Ricerche ENEA Casaccia, di una piattaforma sperimentale per la caratterizzazione di componenti di impianti solari termici asserviti alla fornitura di calore industriale a media ed alta temperatura. Il mercato del calore di processo, in cui la competizione con altre tecnologie energetiche rinnovabili è meno forte, può infatti rivelarsi un efficace strumento di promozione della tecnologia, ampliandone significativamente gli scenari applicativi, e

consentendo di innescare il circuito virtuoso dell'economia di scala, anche nel breve-medio periodo. Il contesto applicativo è sostanzialmente quello della generazione termica ed elettrica distribuita, in linea con le prospettive di sviluppo della tecnologia CST/CSP in Italia, dove, a causa di condizioni geografiche specifiche e di vincoli di carattere autorizzativo e di tipo burocratico, gli impianti di grande taglia (superiori ai 50 MW) sono di difficile realizzazione.

Ciononostante, nel nostro Paese esiste una realtà industriale che sta investendo sulla tecnologia e sta portando avanti progetti concreti. A questo proposito vale la pena menzionare due progetti commerciali attualmente in corso, che prevedono la realizzazione di impianti CSP in Sicilia,

nella provincia di Trapani: il primo, con potenza pari 4,26 MW_e, è in fase di completamento (Partanna, Figura 4), mentre il secondo, con una potenza di 4,0 MW_e, ha terminato l'iter autorizzativo (Stromboli). Entrambi i progetti, ai quali collabora ENEA per la supervisione tecnica, coinvolgono soggetti industriali nazionali nel ruolo di *owner* (SOL.IN.PAR. Srl e Stromboli Solar Srl), di EPC (FATA SpA del gruppo Danieli) e, per l'impianto di Partanna, di fornitori di componenti-chiave come i tubi ricevitori e la turbina.

(*) *Michela Lanchi, Responsabile Laboratorio Sviluppo Componenti e Impianti Solari – Walter Gaggioli, Responsabile Laboratorio Ingegneria delle Tecnologie Solari*

BIBLIOGRAFIA

1. Estela 2016, The value of thermal storage (online), https://www.estelasolar.org/Docs/2016_ESTELA_STE-Storage-Value_Final.pdf
2. IEA Technology Roadmap Solar Thermal Electricity, 2014 (online), <http://www.solarconcentra.org/wp-content/uploads/2017/06/Technology-Roadmap-Solar-Thermal-Electricity-2014-edition-IEA-1.pdf>
3. Solar Payback - Solar Heat for Industry, 2017
4. CSP Project Around the World (online), <https://www.solarpaces.org/csp-technologies/csp-projects-around-the-world>
5. Irena, Renewable Power Generation Costs in 2018 (online), https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf?la=en&hash=99683CDDBC40A729A5F51C20DA7B6C297F794C5D
6. A. Antonaia, S. Esposito, M.L. Addonizio, A. Guglielmo, Assorbitore Solare Selettivo a Base di Materiali Cermet del Tipo Doppio Nitrato, e Relativo Procedimento di Fabbricazione, Brevetto n. 1406233, 15-06-2011
7. Impianto Archimede (online), <https://www.enea.it/it/seguici/le-parole-dellenergia/solare-termodinamico/impianto-archimede>
8. R. Liberatore, A. Giaconia, G. Petroni, G. Caputo, C. Felici, E. Giovannini, M. Giorgetti, R. Branke, R. Mueller, M. Karl, T. Fluri, "Analysis of a procedure for direct charging and melting of solar salts in a 14 MWh thermal energy storage tank", AIP Conference Proceedings 2126 (2019), 200024
9. MATS Project (online), <http://www.mats.enea.it/>
10. R. Liberatore, M. Falchetta, W. Gaggioli, D. Mazzei, V. Russo, "Power production of an ORC System using a stratified molten salt as thermal energy storage integrated in a CSP plant", AIP Conference Proceedings 2126 (2019), 140003
11. V. Russo, D. Mazzei, R. Liberatore, "Thermal energy storage with integrated heat exchangers using stratified molten salt system for 1 MWe CSP", AIP Conference Proceedings, vol. 2033 (2018), 090025
12. STS MED Project (online), <http://www.stsmed.eu/>
13. REslag Project (online), <http://www.reslag.eu/>