

IL SOLE IN UN UNICO SERBATOIO

La radiazione solare concentrata consente di raggiungere temperature molto elevate. Con l'impiego di vettori termici e turbine è possibile generare elettricità dal calore solare ad alta temperatura. Nella maggior parte dei casi, queste centrali eliotermiche vengono utilizzate in combinazione con un accumulatore di calore ad alta temperatura che consente di rendere pianificabile la produzione di energia elettrica (fornitura del carico di base). Nel progetto transnazionale NEWCLINE, cofinanziato dall'UFE, è stata studiata una nuova soluzione di accumulo per ridurre i costi di tali sistemi.

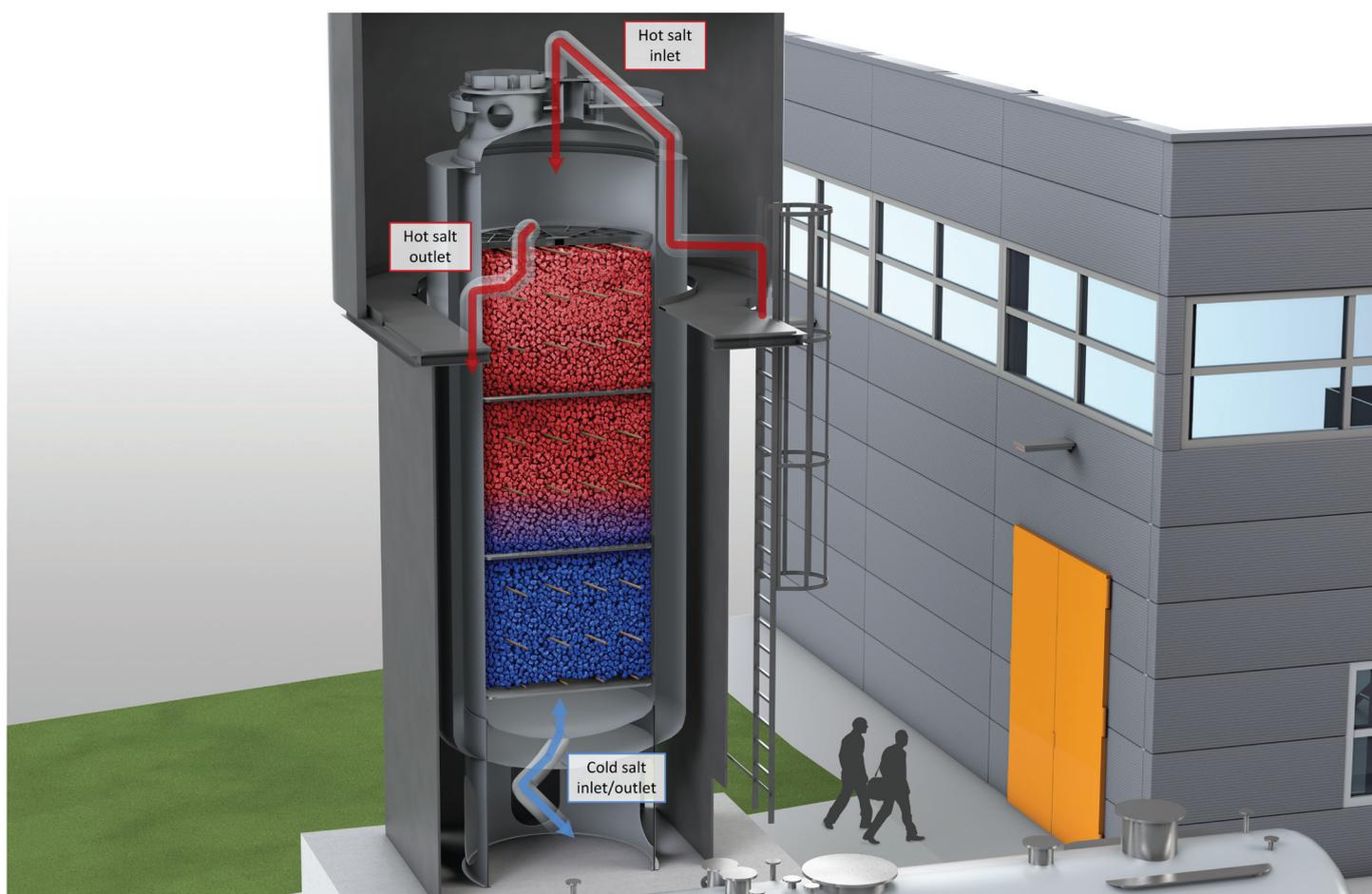


Illustrazione del serbatoio pilota utilizzato per testare la soluzione di accumulo a serbatoio singolo presso il Centro Aerospaziale Tedesco di Colonia. Il sale fuso a temperatura di 560 °C (rosso) e il sale fuso a temperatura di 290 °C (blu) sono tenuti separati da uno strato di transizione sottile («termoclino»). Illustrazione: DLR



Tre tipi di centrale elettrica a concentrazione solare (in inglese: Concentrated Solar Power/CSP): collettori parabolici con riflettore e tubo assorbitore (a sinistra); centrale elettrica a torre solare con eliostati e torre centrale con assorbitore (centro); collettori Fresnel costituiti da specchi lineari, specchi secondari e tubi assorbenti (a destra). Foto: Shutterstock

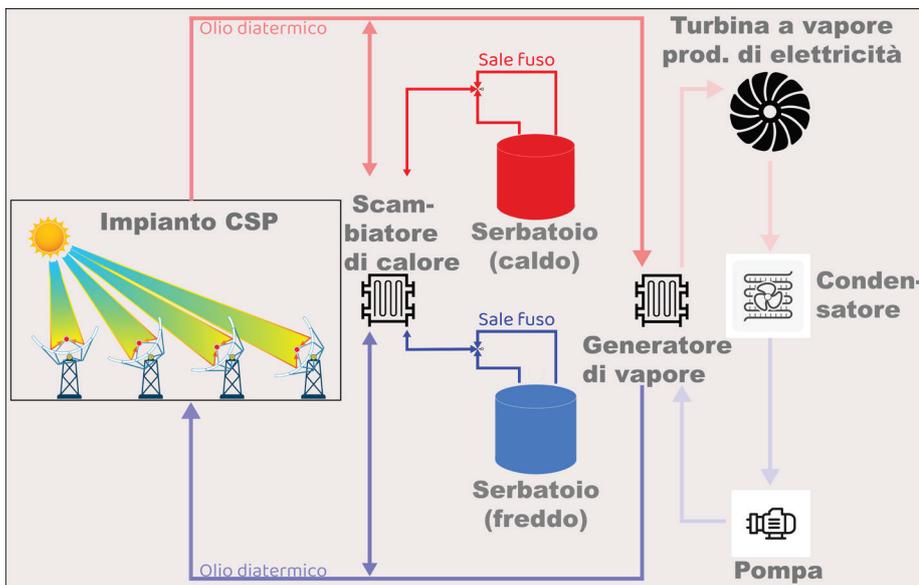
Concentrando la luce del sole in un punto con una lente si riesce ad accendere un fuoco. Le centrali elettriche a concentrazione solare (in inglese: Concentrated Solar Power, CSP) funzionano secondo lo stesso principio. Centrali CSP sono già state realizzate in regioni soleggiate della Spagna e degli Stati Uniti, oltre che in Africa, Cina e India. Negli Emirati Arabi (EAU), dal 2013 è in costruzione un grande parco solare che comprende nell'attuale fase di ampliamento una centrale CSP, «Noor Energy 1», con una potenza installata di 700 MW, pari alla produzione di circa 100 grandi centrali eoliche. 600 MW provengono da un complesso di bacini parabolici, altri 100 MW da 70.000 specchi rotanti (eliostati), che concentrano la luce solare su un ricettore centrale situato su una torre alta 260 metri.

Nelle applicazioni esistenti, i bacini parabolici raggiungono temperature comprese tra 300 e 400 °C, mentre le centrali solari a torre arrivano fino a 560 °C. Questo calore viene

utilizzato per generare vapore, che viene a sua volta impiegato nelle turbine a vapore per generare elettricità (cfr. Fig. in basso). Immagazzinando temporaneamente i liquidi riscaldati dal sole (acqua, oli termici, sali fusi), le centrali CSP possono continuare a generare elettricità anche in assenza di sole. Il progetto della centrale CSP negli Emirati Arabi citato sopra prevede un grande impianto di stoccaggio che, secondo i costruttori, disporrà di una capacità di stoccaggio di 5.900 MWh e garantirà la produzione di energia elettrica per 15 ore. In questo modo sarà possibile produrre energia elettrica 24 ore su 24 e la produzione, disaccoppiata dalla luce solare, potrà essere utilizzata per coprire il carico di base.

Sale fuso come mezzo di stoccaggio

Nei sistemi solari termici a bassa temperatura, il calore solare viene solitamente immagazzinato in serbatoi d'acqua. Tuttavia, con l'aumento della temperatura, sono necessarie pressioni elevate per evitare l'ebollizione dell'acqua, che comport-



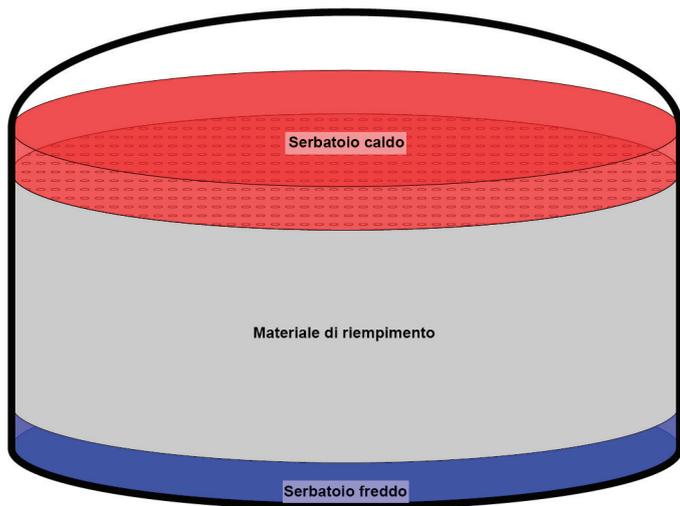
Rappresentazione schematica di un impianto CSP a doppio serbatoio per lo stoccaggio intermedio del calore solare. Quest'ultimo - convertito in vapore - aziona una turbina a vapore, che viene utilizzata per generare energia elettrica tramite un generatore collegato. Illustrazione: B. Vogel/Shutterstock

ano spesso costi aggiuntivi per i tubi in acciaio e i serbatoi di stoccaggio. Al di sopra di un certo livello di temperatura, questi sistemi non sono più economicamente vantaggiosi. Le centrali CSP utilizzano pertanto altri materiali come vettori o mezzi di accumulo del calore, come il sale fuso che rappresenta al giorno d'oggi la scelta più diffusa.

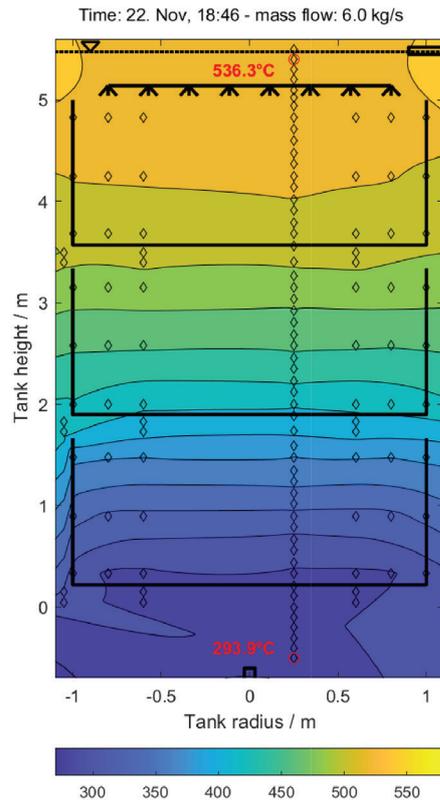
Gli accumulatori di calore degli impianti CSP utilizzano solitamente un sistema a doppio serbatoio (two-tanks). Durante il giorno, quando il sole splende, l'energia solare viene utilizzata sia per produrre energia elettrica che per immagazzinare energia per la notte. Nel sistema a doppio serbatoio, l'energia in eccesso viene immagazzinata riscaldando il sale fuso prelevato da un serbatoio «freddo» per poi pomparlo nel serbatoio «caldo». Durante la notte, il sale fuso caldo viene utilizzato nel generatore della centrale elettrica per produrre energia elettrica; il liquido raffreddato viene poi pompato nel serbatoio «freddo». I grandi serbatoi di accumulo basati su questo principio a doppio serbatoio sono già utilizzati commercialmente nel parco solare negli Emirati Arabi e in altri paesi. I serbatoi possono avere un diametro di 40 metri e un'altezza di gran lunga superiore a 10 metri.

Due temperature, un serbatoio

Un consorzio di ricerca europeo chiamato NEWCLINE si è posto l'obiettivo di migliorare questo concetto di stoccaggio per le centrali CSP. L'idea di base consiste nello stoccare



Rappresentazione schematica di un sistema di accumulo a serbatoio singolo con materiale di riempimento. Lo strato di transizione tra caldo e freddo si sposta verso l'alto o verso il basso (non mostrato nell'illustrazione) a seconda dello stato di carica del serbatoio. Illustrazione: CTTC (UPC)/modificata da B. Vogel



Rappresentazione delle temperature all'interno del serbatoio sperimentale. Le temperature sono state misurate nei punti indicati con rombi neri; in base ai valori misurati è stata determinata mediante interpolazione 2D la distribuzione spaziale delle temperature, rappresentata in figura con colori diversi. I tre cestelli con all'interno i mattoni sagomati sono indicati in modo schematico. Illustrazione grafica dei valori di misura: DLR

il sale fuso caldo e freddo in un unico serbatoio anziché in due. Chi non è del mestiere potrebbe pensare che il principio possa non funzionare perché caldo e freddo si miscelerebbero immediatamente. Ma non è così: il sale fuso caldo ha

CONSORZIO DI RICERCA

Il consorzio di ricerca NEWCLINE riunisce partner provenienti da Spagna, Germania e Svizzera: l'Università Politecnica della Catalogna a Terrassa (vicino Barcellona), l'agenzia spaziale tedesca DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, a Colonia), la società di ingegneria Empresarios Agrupados (Madrid), l'azienda di sviluppo di materiali compositi Kraftblock (Saarbrücken), fondata nel 2014, e l'Istituto per la tecnologia solare SPF (con sede a Rapperswil) dell'Università di scienze applicate della Svizzera Orientale.

NEWCLINE fa parte di CSP ERANET, una partnership internazionale che ha lo scopo di supportare la ricerca e l'innovazione di soluzioni CSP per fornire un contributo alla produzione di energia solare. NEWCLINE terminerà nella primavera del 2024 dopo quattro anni di lavori.

➔ <https://csp-eragnet.eu/>

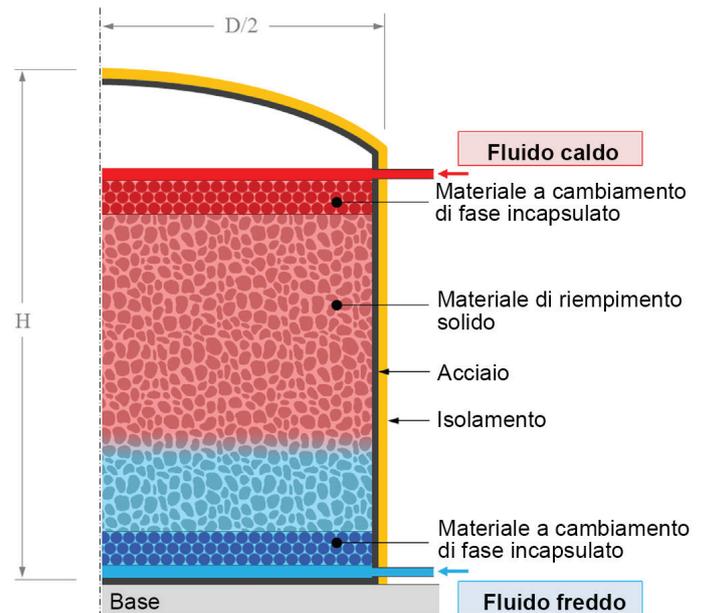
una densità notevolmente inferiore a quella del sale liquido freddo e quindi rimane in alto. Ciò significa che cariche di sale fuso a temperature diverse possono essere conservate per ore in un unico serbatoio praticamente senza mescolarsi, tenute separate da uno strato di transizione relativamente sottile (tecnicamente noto come «termoclino»). I sistemi di accumulo termico a termoclino sono adatti a stoccare liquidi con temperature diverse nelle centrali CSP per ore e addirittura giorni.

Una delle domande principali di NEWCLINE era se fosse possibile ridurre la quantità di sale fuso - molto costoso - aggiungendo un materiale solido - più economico - nel serbatoio di accumulo termico a termoclino. I ricercatori hanno inizialmente effettuato test di 2000 ore in laboratorio presso il Centro Aerospaziale Tedesco (DLR) di Colonia per individuare i materiali adatti. Questi sono quei materiali solidi che, in virtù di una grande superficie, assorbono rapidamente molto calore dal sale fuso senza che il sale induca in essi un processo di decomposizione chimica. Sono stati identificati due candidati promettenti: uno in ceramica, l'altro in scorie d'altoforno solidificate. Nella fase successiva, tali materiali sono stati testati su scala più ampia presso l'impianto sperimentale TESIS di Colonia (impianto di prova per l'accumulo di calore in sale fuso). L'impianto consiste in un serbatoio alto sei metri con un volume di 20 m³ e una capacità di 4 MWh.

Test sui materiali di riempimento

In passato sono stati effettuati dei test riempiendo il serbatoio con pietre di basalto. Si è osservato tuttavia che quando la temperatura nel serbatoio cambiava, si verificava un effetto indesiderato di costipamento del materiale. Per ovviare al problema, i ricercatori di NEWCLINE hanno scelto di sperimentare materiali di riempimento di forma solida, in particolare mattoni impilabili. Questi sono stati inseriti nel sistema di accumulo a serbatoio singolo all'interno di tre cestelli (cfr. Fig. p. 5). Come fluido termovettore viene impiegata una miscela binaria di sali fusi (solar salt) formata al 60% da nitrato di sodio e al 40% da nitrato di potassio (punto di fusione: 260 °C). All'interno del serbatoio di prova il sale fuso presenta una temperatura di 290 °C nella parte inferiore e di 560 °C nella parte superiore. Gli scienziati hanno utilizzato questo impianto per studiare il comportamento termico del serbatoio di accumulo confrontando i risultati con modelli di simulazione sviluppati in precedenza.

«I nostri esperimenti hanno dimostrato che i sistemi di ac-



Rappresentazione schematica di un sistema di accumulo a serbatoio singolo con materiale di riempimento solido a cui è stato aggiunto del materiale a cambiamento di fase per stabilizzare la temperatura nell'area superiore e inferiore del serbatoio. Illustrazione: CTTC (UPC)/modificata da B. Vogel

cumulo a serbatoio singolo carichi con materiali di riempimento adeguati sono un'opzione promettente», commenta Christian Odenthal, ricercatore del DLR. «Saranno tuttavia necessarie ulteriori ricerche e prove su lunghi periodi per tro-



Mattoni sagomati fatti con scorie d'altoforno, testati sperimentalmente come materiale di riempimento (qui all'esterno del serbatoio). Una volta inseriti nel serbatoio, il sale fuso penetra attraverso i fori aumentando il trasferimento di calore al materiale di riempimento. Foto: Kraftblock



Vista dei cestelli con, al loro interno, mattoni sagomati in ceramica (argilla cotta; in basso a sinistra e a destra) e i mattoni sagomati della ditta Kraftblock (fatti di polvere di scorie che viene pressata con un legante fosfatico e successivamente cotta a temperature relativamente basse; in alto al centro). I cestelli hanno un fondo permeabile e vengono impilati l'uno sull'altro nel serbatoio sperimentale. Foto: DLR

vare un materiale di riempimento ottimale. Inoltre, potrebbero rivelarsi efficaci anche altre soluzioni, come quella in cui il materiale di riempimento venga solo irrorato con sale fuso termovettore».

Un contributo alle simulazioni dall'OST

Un importante contributo al progetto NEWCLINE è fornito dall'Istituto per la tecnologia solare SPF dell'Università di scienze applicate della Svizzera Orientale (OST). L'obiettivo è comprendere meglio gli stati e le variazioni all'interno dei sistemi di accumulo, nonché i fattori che li influenzano, comprese le centrali solari associate. A tal fine, sono state effettuate delle simulazioni utilizzando il software TRNSYS/pytrnsys. Le simulazioni sono un prerequisito per la costruzione di futuri sistemi di accumulo che assicurino il massimo rendimento con perdite minime. «I nostri modelli e le nostre simulazioni aiutano a comprendere e a migliorare l'integrazione di questi futuri sistemi di accumulo nelle centrali CSP, al fine di renderle un investimento economicamente redditizio», spiega Ignacio Gurruchaga, assistente di ricerca presso l'SPF di Rapperswil.

Nelle loro simulazioni, i ricercatori dell'OST hanno simulato anche un sistema di accumulo che non è ancora stato testato sperimentalmente nell'impianto pilota di Colonia: in questo caso, come materiali di riempimento in aggiunta ai mattoni di ceramica vengono impiegati cosiddetti materiali a cambiamento di fase o PCM (Phase Change Material). I PCM sono

materiali che, grazie alle loro proprietà fisiche, impediscono o ritardano variazioni indesiderate della temperatura nei flussi energetici in entrata e in uscita del serbatoio di accumulo. Questi materiali consentono potenzialmente di aumentare il rendimento del sistema di accumulo a serbatoio singolo. «Ci aspettiamo di poter ridurre il costo dei sistemi di accumulo a serbatoio singolo del 20% grazie alle migliorie messe a punto con il progetto NEWCLINE», afferma Gurruchaga. «Questo è importante perché accumulatori di calore più performanti aumentano il tempo di funzionamento e, di conseguenza, la redditività delle centrali solari». Il ricercatore dell'OST sottolinea che saranno ancora necessari notevoli sforzi di ricerca prima che la nuova soluzione di accumulo possa essere utilizzata a livello commerciale.

- Per **informazioni** sul progetto è possibile contattare Stefan Oberholzer (stefan.oberholzer@bfe.admin.ch), responsabile del programma di ricerca Energia solare ad alta temperatura dell'UFE.
- Altri **articoli specialistici** su progetti di ricerca, progetti pilota, di dimostrazione e faro in materia di Energia solare ad alta temperatura sono disponibili all'indirizzo www.bfe.admin.ch/ec-solar.