

**PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2022-2024 - RICERCA DI SISTEMA  
ELETTRICO NAZIONALE**

**Progetti di ricerca di cui all'art. 10 comma 2, lettera a) del decreto 26 gennaio 2000**

**AFFIDATARIO: Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico  
sostenibile [ENEA]**

**Tema - Titolo del progetto: 1.9 “Solare termodinamico”**

**Durata: 36 mesi**

**Semestre n. 4 – Periodo attività: 01/07/2023 – 31/12/2023**

**ABSTRACT ATTIVITA' SEMESTRALE:**

Il Progetto 1.9 “Solare termodinamico”, che prevede 1 work package (WP1), è organizzato in 3 tematiche scientifico-applicative, ognuna delle quali comprende diverse linee di ricerca che si sviluppano in linee di attività (LA) in carico all'affidatario ENEA o alle Università co-beneficiarie; per la comunicazione e disseminazione dei risultati sono previste 2 ulteriori LA.

Nel 2° semestre 2023 risultano in fase di esecuzione 15 LA, in carico sia a ENEA che alle 6 Università co-beneficiarie. Nella fattispecie, nel 2° semestre 2023 sono proseguite 7 LA (LA1.3, LA1.4, LA1.8, LA1.10, LA1.11, LA1.19, LA1.20) e iniziate 8 LA (LA1.2, LA1.5, LA1.14, LA1.17, LA1.18, LA1.23, LA1.24, LA1.26). Delle 15 LA in esecuzione, è stata portata a termine 1 LA (LA1.8) mentre 1 LA (LA1.4) non è stata completata entro il termine previsto del 31/12/2023; inoltre, non è stata ancora ultimata 1 LA (LA1.11) che aveva già subito ritardi nel precedente 1° semestre 2023 e la cui mancata conclusione non ha consentito di iniziare, a differenza di quanto previsto, 1 LA (LA1.13) a questa strettamente consequenziale.

Le 15 LA in esecuzione hanno interessato tutte le 3 tematiche scientifico-applicative, nonché l'attività di comunicazione e disseminazione.

In particolare, con riferimento alla tematica “materiali e componenti avanzati per impianti CSP”, le attività svolte hanno riguardato le linee di ricerca (i) sui coating innovativi per tubi ricevitori evacuati di impianti CSP a collettori lineari (LA1.2, in carico a ENEA, e LA1.3, in carico all'Università di Palermo), (ii) sulla tecnologia micro-CSP basata su sistemi di tipo micro-PTC per la generazione distribuita di energia in contesti civili e industriali (LA1.4, in carico all'Università degli Studi di Firenze, e LA1.5, in carico a ENEA), (iii) sulle superfici riflettenti autopulenti con sensoristica integrata per impianti CSP (LA1.8, in carico a ENEA) e (iv) sui sistemi di accumulo termo-chimico a zeoliti per applicazioni distribuite a media temperatura del CSP (LA1.10, in carico a ENEA).

Inoltre, con riferimento alla tematica “ibridizzazione del CSP con altre tecnologie energetiche rinnovabili”, le attività svolte hanno riguardato le linee di ricerca (i) sui sistemi di accumulo termico, di tipo termoclino, ibridizzati alimentabili da CSP e da altre tecnologie energetiche rinnovabili, per la produzione di calore per processi industriali (LA1.11, in carico a ENEA, e LA1.14, in carico al Politecnico di Torino), (ii) sui sistemi innovativi di riscaldamento elettrico dei sali fusi per

l'ibridizzazione del CSP con altre tecnologie energetiche rinnovabili (LA1.17, in carico a ENEA, e LA1.18, in carico al Politecnico di Torino) e (iii) sulla simulazione e ottimizzazione di impianti ibridi CSP/PV/Eolici di scala medio-piccola operanti sui mercati MGP e MSD (LA1.19, in carico al Politecnico di Milano).

In aggiunta, con riferimento alla tematica “soluzioni tecniche e procedure operative per il settore industriale del CSP”, le attività svolte hanno riguardato le linee di ricerca (i) sulle tecnologie ad ultrasuoni per sistemi di rilevazione di occlusioni solide all'interno del piping di impianti CSP utilizzando miscele di sali fusi come fluido termovettore (LA1.20, in carico all'Università degli Studi di Napoli Federico II) e (ii) sulle procedure operative per impianti CSP con fluido termovettore costituito da miscele di sali fusi bassofondenti e studio della compatibilità dei materiali a contatto con le miscele in condizioni reali di funzionamento (LA1.23, in carico a ENEA, e LA1.24, in carico all'Università degli Studi di Roma Tor Vergata).

Infine, anche l'attività di comunicazione e disseminazione è stata regolarmente svolta (LA1.26, in carico a ENEA).

In generale, nel corso del 1° semestre 2023, non sono state riscontrate significative criticità nello svolgimento delle LA in esecuzione e che proseguiranno nel successivo semestre; per queste LA sussistono le condizioni perché i risultati attesi, come da capitolato di Progetto, siano ottenuti. Per quanto attiene alla LA conclusa, questa ha ottenuto i risultati attesi. In merito al perdurare del mancato completamento della LA1.11 (che, con tutta probabilità, sarà ultimata entro il mese di gennaio 2024) e al conseguente ritardo nell'inizio della LA1.13 (in carico a ENEA), con riferimento alla specifica linea di ricerca cui queste LA afferiscono (“sistemi di accumulo termico, di tipo termoclineo, ibridizzati, ecc.”) non si prevedono ripercussioni né in termini di ottenimento degli obiettivi specifici e dei risultati attesi, né di sviluppo dei prodotti previsti. Inoltre, in merito al mancato completamento della LA1.4 (che, comunque, si prevede di portare a termine nei primi mesi del 2024), questo non avrà ripercussioni sulla LA1.5 (in corso di regolare esecuzione) e sulla successiva LA1.6 (in carico all'Università degli Studi di Firenze e il cui inizio è previsto a gennaio 2024) e, più in generale, sull'ottenimento degli obiettivi specifici e dei risultati attesi della linea di ricerca di riferimento (“tecnologia micro-CSP basata su sistemi di tipo micro-PTC, ecc.”). Inoltre, ci sono tutte le condizioni perché i ritardi nell'ultimazione delle LA1.11 e LA1.4 non comportino scostamenti tecnico-economici di rilievo e né influenzino il conseguimento degli obiettivi generali del Progetto nel suo complesso. Infine, per le attività di ricerca svolte non è ancora possibile indicare ricadute sul sistema energetico e produttivo che saranno valutabili nella parte finale del triennio di Progetto, quando le diverse linee di ricerca saranno prossime alla conclusione e si prevede saranno disponibili non solo i risultati/prodotti intermedi della ricerca ma anche gran parte dei risultati/prodotti finali.

**ATTIVITA' SVOLTE**

<b><i>AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO</i></b>	<b><i>SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO</i></b>
ENEAS	<p>Facendo riferimento alla struttura del Progetto 1.9 “Solare termodinamico”, sono di seguito descritte le attività svolte nel 2° semestre 2023 da ENEA.</p> <p>Tematica scientifico-applicativa “materiali e componenti avanzati per impianti CSP”.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Nell’ambito della linea di ricerca sui “coating innovativi per tubi ricevitori evacuati di impianti CSP a collettori lineari”, nel 2° semestre 2023 è iniziata la LA1.2 avente per oggetto la “realizzazione di coating innovativi per tubi ricevitori evacuati di impianti micro-PTC a media temperatura e di coating innovativi per tubi ricevitori evacuati di impianti CSP ad alta temperatura”.</li></ul> <p>Nella LA1.2, nel corso del 2° semestre 2023, sono stati progettati otticamente e fabbricati coating innovativi a elevate prestazioni fototermiche e ad alta stabilità per tubi ricevitori solari evacuati di impianti micro-CSP di tipo micro-PTC a media temperatura (<math>\leq 350</math> °C), mediante l’utilizzo dei materiali metallici (W, Ag), dei CERMET a base di doppio nitruro (WN-AlN) e dei materiali ceramici (AlN, SiO<sub>2</sub>) sviluppati nell’ambito della precedente LA1.1. Nello specifico, la stima dei parametri ottici effettuata sui singoli materiali che partecipano alla formazione del coating mediante la tecnica spettrofotometrica e la tecnica ellissometrica, accoppiata all’utilizzo di software di simulazione ottica di strutture multistrato hanno permesso di progettare i coating solari dalle prestazioni fototermiche ottimizzate. Nella fattispecie, è stata effettuata la progettazione ottica di 4 coating per applicazioni alle temperature massime di 200, 250, 300 e 350 °C. I quattro coating progettati presentavano un’assorbanza solare maggiore del 96%, indipendentemente dalla temperatura massima dell’applicazione, e un’emissività termica del 4.75% a 200 °C, 5.40% a 250 °C, 6.19% a 300 °C e 7.15% a 350 °C. Dei quattro progetti ottici, è stato realizzato il coating con parametri fototermici ottimizzati per la temperatura massima di 350 °C che ha presentato un’assorbanza solare del 96.44% e un’emissività termica del 7.12% a 350 °C. Infine, è stato realizzato un prototipo di coating per tubo ricevitore evacuato destinato all’innovativo sistema solare a concentrazione con collettore di tipo micro-PTC proposto dall’Università degli Studi di Firenze (UniFI), idoneo ed efficace per applicazioni fino alla temperatura massima di 350 °C. Il prototipo di coating è stato depositato su un tubo d’acciaio di diametro esterno 10 mm, spessore di parete 1 mm e lunghezza di 500 mm. Riguardo all’attività di realizzazione dei film ceramici di silice prodotti mediante sol-gel e depositati per spin coating, nel corso nel 2° semestre 2023 è stata effettuata la realizzazione di questi film utilizzando l’apparecchiatura acquistata nel 1° semestre 2023, al fine</p>

di verificare il loro fattibile impiego come strati antiriflesso dei coating solari sviluppati nell'ambito del presente triennio di Progetto.

- Nell'ambito della linea di ricerca sulla "tecnologia micro-CSP basata su sistemi di tipo micro-PTC per la generazione distribuita di energia in contesti civili e industriali", nel 2° semestre 2023 è iniziata la LA1.5 avente per oggetto la "caratterizzazione sperimentale di un prototipo di sistema micro-PTC innovativo sviluppato da UniFI". Nella LA1.5, nel corso del 2° semestre 2023, ENEA, con il supporto dell'Università degli Studi di Firenze (UniFI), ha iniziato l'attività di predisposizione delle facility sperimentali per testare il prototipo di sistema micro-PTC proposto da UniFI che sarà consegnato e installato presso il C.R. ENEA di Casaccia nei primi mesi del 2024. In particolare, è stata individuata e studiata la modalità di accoppiamento del collettore micro-PTC con il circuito già esistente dell'impianto sperimentale Fresnel "ENEA-SHIP" del C.R. ENEA di Casaccia.
- Nell'ambito della linea di ricerca sulle "superfici riflettenti autopulenti con sensoristica integrata per impianti CSP", nel 2° semestre 2023 è proseguita ed è stata portata a termine la LA1.8 avente per oggetto la "realizzazione e caratterizzazione di un prototipo di specchio solare dotato di un innovativo rivestimento autopulente predisposto all'integrazione di idonea sensoristica". Nella LA1.8, nel corso del 2° semestre 2023, 2 diversi specchi solari autopulenti sono stati collocati nel campo solare dell'impianto sperimentale Fresnel "ENEA-SHIP" del C.R. ENEA di Casaccia e caratterizzati "on field". In particolar modo è stata verificata la stabilità chimico-fisica dei rivestimenti precedentemente nota solo da aging su scala laboratoriale. E' stata, inoltre, avviata una campagna di monitoraggio periodico della riflettanza speculare con un riflettometro portatile, a valle della quale un terzo specchio dotato di rivestimento autopulente inorganico è stato fabbricato e posizionato in una posizione analoga al suo omologo nella parte nord del campo solare, in modo da poter studiare gli effetti dello sporco su specchi della stessa tipologia situati in punti differenti del campo e raccogliere il maggior numero di dati sperimentali da adoperare per reportistica interna e articoli scientifici.
- Nell'ambito della linea di ricerca sui "sistemi di accumulo termo-chimico a zeoliti per applicazioni distribuite a media temperatura del CSP", nel 2° semestre 2023 è proseguita la LA1.10 avente per oggetto l'"analisi, implementazione delle facility di test e sperimentazione in campo di sistemi di accumulo termo-chimico a zeoliti per applicazioni distribuite a media temperatura". Nella LA1.10, nel corso del 2° semestre 2023, si è passati alla fase di progettazione del nuovo circuito sottovuoto (per la condensazione ed evaporazione del vapore da estrarre e immettere nel reattore a zeoliti) e degli adattamenti da apportare al circuito termo-idraulico a servizio sia del condensatore che dell'evaporatore per la fornitura di acqua fredda e calda durante le fasi di desorbimento e adsorbimento di vapore nel reattore a zeoliti. Contestualmente è stata predisposta la specifica tecnica per la fornitura ed installazione delle

apparecchiature (termo-idrauliche, elettriche, ecc.) e degli strumenti di misura necessari all'upgrade dell'impianto SUNSTORE per adeguarlo alle nuove condizioni operative. Inoltre, sono state avviate le attività di sviluppo modellistico, sia a livello di componenti (mediante simulazioni FEM-CFD in ambiente Comsol del solo reattore a zeoliti) sia a livello di sistema (mediante lo sviluppo in ambiente Matlab di modelli numerici a parametri concentrati applicati all'intero sistema costituito da reattore, unità di generazione/condensazione del vapore, circuito HTF di carica/scarica del calore), finalizzate allo studio delle dinamiche di carica/scarica del serbatoio, all'analisi dei profili termici che si instaurano all'interno del serbatoio in diverse condizioni operative e all'interfacciamento del sistema di accumulo con le unità di generazione e utilizzo del calore.

Tematica scientifico-applicativa “ibridizzazione del CSP con altre tecnologie energetiche rinnovabili”.

- Nell'ambito della linea di ricerca sui “sistemi di accumulo termico, di tipo termoclino, ibridizzati alimentabili da CSP e da altre tecnologie energetiche rinnovabili, per la produzione di calore per processi industriali”, nel 2° semestre 2023 è proseguita e non è stata ancora completata la LA1.11 avente per oggetto l’“analisi e progettazione preliminare di un prototipo di sistema di accumulo termoclino ibridizzato alimentabile da CSP e altre tecnologie FER, asservito all'impianto ENEA-SHIP, per la produzione di calore per processi industriali”.

Nella LA1.11, nel corso del 2° semestre 2023, si è proceduto all'aggiudicazione dell'Appalto avente per oggetto “lavori per la realizzazione della sezione di prova PTR Ibrido”; sulla base del progetto preliminare completato nella LA1.11 nel corso del precedente 1° semestre 2023, l'Appalto prevede la realizzazione e fornitura del prototipo di sistema di accumulo termoclino ibridizzato e la sua implementazione nell'impianto sperimentale “ENEA-SHIP” opportunamente modificato. L'aggiudicazione dell'Appalto ha avuto tempi più lunghi del previsto principalmente per problematiche amministrative inerenti all'espletamento della procedura di gara. Ad ogni modo, nel mese di gennaio 2024 sarà stipulato il relativo Contratto di Appalto, nonché predisposto il pagamento dell'anticipo contrattuale e avviata l'esecuzione del Contratto, in modo da portare a termine la LA1.11 e dare inizio alla successiva LA1.13 (in carico a ENEA) che prevede la realizzazione e sperimentazione del dimostratore tecnologico costituito dall'impianto Fresnel “ENEA-SHIP” ibridizzato mediante l'innovativo prototipo di sistema di accumulo termoclino. Ad oggi, comunque, si valuta che il ritardo accumulato per l'espletamento della LA1.11 non pregiudicherà il completo raggiungimento degli obiettivi/risultati finali sia della linea di ricerca di riferimento che del Progetto nel suo complesso, rimanendo un tempo adeguato alla sperimentazione prevista dal capitolato di Progetto.

- Nell'ambito della linea di ricerca sui “sistemi innovativi di riscaldamento elettrico dei sali fusi per l'ibridizzazione del CSP con

altre tecnologie energetiche rinnovabili”, nel 2° semestre 2023 è iniziata la LA1.17 avente per oggetto la “realizzazione e sperimentazione di un dispositivo su scala di laboratorio per il riscaldamento elettrico dei sali fusi”.

Nella LA1.17, nel corso del primo semestre 2023, sono state messe in atto opportune azioni per la realizzazione del dispositivo sperimentale “proof of concept”, su scala di laboratorio, per la verifica della fattibilità tecnica del riscaldamento a micro-onde dei sali fusi. In particolare, per il dispositivo sperimentale, progettato nella precedente LA1.15 e costituito da un piccolo serbatoio contenente sali fusi e dotato di girante, termocoppie e resistenza elettrica esterna, è stata completata la procedura di acquisto ed è stato emesso l’ordine di fornitura. Inoltre, sulla base delle specifiche elaborate nella LA1.15, è stata avviata e completata la gara per l’acquisizione del sistema di generazione delle micro-onde, corredato dei necessari accessori (regolatore dell’impedenza, guida d’onda, ecc.); tale sistema di generazione è stato consegnato presso il C.R. ENEA di Casaccia e verrà accoppiato al dispositivo sperimentale.

Tematica scientifico-applicativa “soluzioni tecniche e procedure operative per il settore industriale del CSP”.

- Nell’ambito della linea di ricerca sulle “procedure operative per impianti CSP con fluido termovettore costituito da miscele di sali fusi bassofondenti e studio della compatibilità dei materiali a contatto con le miscele in condizioni reali di funzionamento”, nel 2° semestre 2023 è iniziata la LA1.23 avente per oggetto le “prove di circolazione delle miscele di sali fusi bassofondenti per applicazioni a media e ad alta temperatura, messa a punto di procedure operative per la gestione delle miscele e prove di compatibilità dei materiali”.

Nella LA1.23, nel corso del 2° semestre 2023, sono state condotte le prove funzionali del circuito sperimentale “MoSE” (Molten Salt Experiments) del C.R. ENEA di Casaccia, dopo averlo riempito con la miscela quaternaria Na/K/Ca/Li/NO<sub>3</sub>, selezionata per applicazioni a media temperatura, e si è studiato il comportamento del sistema al fine di ottimizzare le operazioni da svolgere durante le prove di corrosione. Sono stati iniziati i cicli termici, così come definiti in precedenza per la miscela bassofondente operante a media temperatura, per valutare l’effetto della corrosione sui provini, saldati e non, dell’acciaio al C ASTM A516-70.

Infine, nel 2° semestre 2023 è iniziata la LA1.26 avente per oggetto la “comunicazione e disseminazione dei risultati da Luglio 2023 a Dicembre 2024”.

Nell’ambito della LA1.26, nel corso del 2° semestre 2023 l’attività di comunicazione e disseminazione è stata realizzata, tra l’altro, mediante: partecipazione a una conferenza internazionale (“Conferenza SolarPACES 2023”); partecipazione a un meeting di un comitato internazionale di riferimento del settore del CSP (“Comitato Esecutivo IEA TCP SolarPACES”); partecipazione a 2 eventi divulgativi aperti ai cittadini (“Notte europea dei ricercatori 2023”, a cui hanno aderito ricercatori del Progetto presso il C.R. ENEA di Portici, ed evento fieristico “European Maker Faire 2023”). Inoltre, è stato sottomesso un

	<p>paper (risultante dall'attività di ricerca svolta nella LA1.19 dal Politecnico di Milano) per la pubblicazione sugli atti della "Conferenza SolarPACES 2023". Infine, è in fase di organizzazione un evento di disseminazione rivolto, oltre che al settore della ricerca sul CSP, principalmente agli stakeholder industriali nazionali e ai Ministeri/Istituzioni competenti. Nel contesto dell'evento, che si svolgerà a Roma il 29 gennaio 2024, sarà data ampia visibilità oltre che ai risultati intermedi di Progetto, alle opportunità per il settore del CSP connesse all'organizzazione in Italia della "Conferenza SolarPACES 2024" che, peraltro, costituirà una "vetrina" importante per il Progetto 1.9 "Solare termodinamico".</p>
<p>Politecnico di Milano [PoliMI] Dipartimento di Energia</p>	<p>Facendo riferimento alla struttura del Progetto 1.9 "Solare termodinamico", sono di seguito descritte le attività svolte nel 2° semestre 2023 dal Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano (PoliMI).</p> <p>Tematica scientifico-applicativa "ibridizzazione del CSP con altre tecnologie energetiche rinnovabili".</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nell'ambito della linea di ricerca sulla "simulazione e ottimizzazione di impianti ibridi CSP/PV/Eolici di scala medio-piccola operanti sui mercati MGP e MSD", nel 2° semestre 2023 è proseguita la LA1.19 avente per oggetto la "simulazione e ottimizzazione di impianti ibridi CSP/PV/Eolici di scala medio-piccola operanti sul Mercato del Giorno Prima (MGP) e sul Mercato dei Servizi di Dispacciamento (MSD)".</li> </ul> <p>Nella LA1.19, nel corso del 2° semestre 2023, il Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano ha continuato il lavoro di ottimizzazione di impianti ibridi CSP/PV/Eolici all'interno del contesto del mercato elettrico italiano. In particolare, considerando un prezzo orario dell'elettricità pari al Prezzo Unico Nazionale (PUN) è stato possibile massimizzare, tramite il modello di ottimizzazione basato sulla tecnica MILP, i ricavi annuali degli impianti ibridi e di conseguenza il ritorno sull'investimento. Questa analisi ha permesso di comprendere il livello di incentivazione necessario per ogni configurazione analizzata affinché la gestione dell'impianto sul mercato elettrico attuale diventi profittevole. Nel 2° semestre 2023 sono stati inoltre sviluppati modelli di cicli di potenza di tipo ORC per applicazioni di scala medio-piccola (fino a 5MW). Tali cicli sono stati modellizzati tramite il software Thermoflex, considerando diversi fluidi di lavoro tra quelli suggeriti dalle industrie di settore. L'efficienza delle turbomacchine in funzione del fluido selezionato e dell'architettura del ciclo è stata stimata con un software dedicato, al fine di ottenere risultati più aderenti alla realtà. I modelli sviluppati sono stati quindi utilizzati per studiare diverse configurazioni di ciclo rigenerativo (saturato, surriscaldato) e per ogni configurazione si è stimato il trade-off tra efficienza e costo, investigando diverse superfici degli scambiatori (rigeneratore, evaporatore, surriscaldatore, condensatore). I risultati tecno-economici ottenuti sono stati presentati ad aziende del settore per una loro analisi critica. Infine, nel 2° semestre 2023 è stato sottomesso un paper, risultante</p>

	<p>dall'attività svolta nell'ambito della LA1.19, per la pubblicazione sugli atti della "Conferenza SolarPACES 2023".</p>
<p>Politecnico di Torino [PoliTO] Dipartimento Energia</p>	<p>Facendo riferimento alla struttura del Progetto 1.9 "Solare termodinamico", sono di seguito descritte le attività svolte nel 2° semestre 2023 dal Dipartimento Energia del Politecnico di Torino (PoliTO).</p> <p>Tematica scientifico-applicativa "ibridizzazione del CSP con altre tecnologie energetiche rinnovabili".</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nell'ambito della linea di ricerca sui "sistemi di accumulo termico, di tipo termoclino, ibridizzati alimentabili da CSP e da altre tecnologie energetiche rinnovabili, per la produzione di calore per processi industriali", nel 2° semestre 2023 è iniziata la LA1.14 avente per oggetto lo "sviluppo di un modello numerico di un sistema di accumulo termoclino ibridizzato con due serpentine e resistenze elettriche immerse nei sali: confronto con il sistema termoclino ibridizzato con tre serpentine e caldaia elettrica". L'attività di ricerca svolta dal Dipartimento Energia del Politecnico di Torino nel corso del secondo semestre 2023, nell'ambito della LA1.14, risulta in accordo con quanto previsto nel capitolato di Progetto. L'obiettivo della LA 1.14 è la simulazione dei transistori di interesse per il sistema di accumulo termoclino ibridizzato con tre serpentine, per mezzo del modello sviluppato nella precedente LA1.12. Inoltre, si intende sviluppare un modello termo-fluidodinamico di un innovativo sistema di accumulo termico di tipo termoclino con resistenze elettriche immerse. Per quanto attiene al primo punto, in questo semestre si sono definite le simulazioni da realizzare nel successivo 1° semestre 2024, le quali dovranno fornire supporto alla pianificazione della campagna sperimentale (LA1.13). In particolare, si intende determinare la portata nei canali che realizza la migliore stratificazione termica all'interno del termoclino, agendo sulla potenza termica e sulla girante presente in ognuno dei canali. In contemporanea, si è studiato il problema delle resistenze elettriche direttamente immerse nei sali, identificando le configurazioni più promettenti per l'installazione delle resistenze. La prima configurazione consiste in una resistenza a serpentina conica disposta sotto la serpentina di carica connessa all'impianto CSP; la seconda configurazione consiste in resistenze elicoidali disposte in una regione anulare tra la parete del serbatoio ed una parete interna, aperta nella parte alta e bassa del serbatoio. Il passo della serpentina e delle eliche è stato definito mediante simulazioni CFD dedicate, con l'obiettivo di massimizzare lo scambio termico per convezione tra la resistenza e i sali.</li> <li>- Nell'ambito della linea di ricerca sui "sistemi innovativi di riscaldamento elettrico dei sali fusi per l'ibridizzazione del CSP con altre tecnologie energetiche rinnovabili", nel 2° semestre 2023 è iniziata la LA1.18 avente per oggetto l'"analisi numerica del</li> </ul>

	<p>potenziale applicativo di una tecnologia innovativa di riscaldamento elettrico dei sali fusi”.</p> <p>L’attività di ricerca svolta dal Dipartimento Energia del Politecnico di Torino nel corso del secondo semestre 2023, nell’ambito della LA1.18, risulta in accordo con quanto previsto nel capitolato di Progetto. In particolare, si è portata avanti l’attività di modellazione di dettaglio del dispositivo sperimentale, sulla base di quanto già fatto nella precedente LA1.16. A tale riguardo, si è modificato il modello elettromagnetico, includendo la presenza della girante immersa nella miscela di sali. La girante si rende necessaria per uniformare la temperatura dei sali, così come evidenziato dalle conclusioni della LA1.16. In accordo con le prime simulazioni effettuate, la presenza della girante perturba il campo elettromagnetico portando ad una riduzione della potenza elettromagnetica dissipata nei sali che, tuttavia, non pregiudica l’efficienza di dissipazione della potenza elettrica nei sali. In aggiunta, si sono valutate, mediante un modello semplificato, le perdite termiche attese dalle superfici del dispositivo sperimentale al variare dello spessore dell’isolante. Infine, si sono iniziate ad esplorare le possibili soluzioni per implementare la tecnologia del riscaldamento elettrico dei sali, mediante microonde, applicata a sistemi di accumulo termico ad alta temperatura (fino a 550 °C) di dimensioni reali. Tra le soluzioni identificate, verrà scelta quella da studiare nei successivi semestri, nell’ambito della LA1.18, per mezzo di un modello numerico dedicato.</p>
<p>Università degli Studi di Firenze [UniFI] Dipartimento di Ingegneria Industriale</p>	<p>Facendo riferimento alla struttura del Progetto 1.9 “Solare termodinamico”, sono di seguito descritte le attività svolte nel 2° semestre 2023 dal Dipartimento di Ingegneria Industriale dell’Università degli Studi di Firenze (UniFI).</p> <p>Tematica scientifico-applicativa “materiali e componenti avanzati per impianti CSP”.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nell’ambito della linea di ricerca sulla “tecnologia micro-CSP basata su sistemi di tipo micro-PTC per la generazione distribuita di energia in contesti civili e industriali”, nel 2° semestre 2023 è proseguita ma, a differenza di quanto previsto, non è stata completata la LA1.4 avente per oggetto l’“analisi del potenziale applicativo della tecnologia micro-CSP basata su sistemi di tipo micro-PTC per la generazione distribuita di calore, elettricità ed energia frigorifera in contesti civili e industriali”.</li> </ul> <p>Nella LA1.4, nel corso del 2° semestre 2023, il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell’Università degli Studi di Firenze ha supportato ENEA che, nella LA1.5, sta predisponendo le facility sperimentali per testare il prototipo di sistema micro-PTC di UniFI che sarà consegnato presso il C.R. ENEA di Casaccia nei primi mesi del 2024. Inoltre, con riferimento all’analisi prevista nella LA1.4, questa non è stata del tutto ultimata in quanto, sebbene le attività riguardanti la generazione di calore con sistemi a micro-concentrazione per soluzioni PED (residenziali) siano state portate a termine, per la parte industriale ci sono limitati ritardi fondamentalmente derivanti dal fatto che servono dati affidabili per</p>

	<p>condurre valutazioni significative, ripetibili ed estendibili a tutti i settori. Ad ogni modo, si valuta di riuscire a completare la LA1.4 nei primi mesi del 2024 e che il limitato delay nel termine della LA1.4, rispetto a quanto previsto dal capitolato di Progetto, non comporterà alcun impatto sui risultati e tempi delle altre LA della linea di ricerca di riferimento (LA1.5 e LA1.6) e, più in generale, non avrà alcuna ripercussione sull'ottenimento dei risultati intermedi e finali di Progetto.</p>
<p>Università degli Studi di Napoli Federico II [UniNA] Dipartimento di Ingegneria Industriale</p>	<p>Facendo riferimento alla struttura del Progetto 1.9 “Solare termodinamico”, sono di seguito descritte le attività svolte nel 2° semestre 2023 dal Dipartimento di Ingegneria Industriale dell’Università degli Studi di Napoli Federico II (UniNA).</p> <p>Tematica scientifico-applicativa “soluzioni tecniche e procedure operative per il settore industriale del CSP”.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nell’ambito della linea di ricerca sulle “tecnologie ad ultrasuoni per sistemi di rilevazione di occlusioni solide all’interno del piping di impianti CSP utilizzando miscele di sali fusi come fluido termovettore”, nel 2° semestre 2023 è proseguita la LA1.20 avente per oggetto l’“utilizzo di tecnologie ad ultrasuoni per la rilevazione di occlusioni solide all’interno del piping di impianti CSP utilizzando miscele di sali fusi come fluido termovettore”.</li> </ul> <p>Nel corso del 2° semestre 2023, il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell’Università degli Studi di Napoli Federico II ha proseguito lo studio inerente alla LA 1.20 e, partendo dai risultati delle attività svolte durante il 1° semestre 2023, è stato costruito un modello numerico FEM che è in grado di tener conto, in funzione della frequenza e della temperatura della miscela binaria di sali fusi, dell’attenuazione complessiva, per unità di lunghezza, del campo ultrasonoro propagantesi nella miscela. Il modello di simulazione numerica è stato, preliminarmente, validato eseguendo delle analisi considerando le specifiche proprietà chimico-fisiche di fluidi come l’acqua pura e l’acqua con una fissata percentuale di sale disciolto per i quali, da dati disponibili in letteratura, si conosce il coefficiente di attenuazione complessiva del campo ultrasonoro. Il modello FEM così realizzato è stato, poi, impiegato, con riferimento, inizialmente, alla configurazione geometrica rettilinea a sezione costante, per la valutazione della modifica della conformazione spaziale del campo di pressione prodotto da un trasduttore ad ultrasuoni nella miscela di sali fusi in presenza di formazione di occlusioni solide di diversa dimensione rispetto all’assenza di fenomeni di solidificazione. Successivamente il modello FEM sviluppato è stato impiegato per svolgere analoghe valutazioni numeriche in prossimità di curve del sistema di tubazioni dell’impianto CSP, dal momento che in corrispondenza di tale discontinuità di natura geometrica, rispetto alla configurazione geometrica costituita da una tubazione rettilinea a sezione costante, sia gli effetti derivanti dai processi dissipativi sia quelli derivanti da fenomeni di diffusione sono significativamente modificati, comportando non solo un sostanziale cambiamento sull’attenuazione complessiva dell’intensità dell’onda ultrasonora,</p>

	<p>ma, soprattutto, una significativa modifica della struttura spaziale del campo di pressione prodotto da un generatore di ultrasuoni nella miscela di sali fusi.</p>
<p>Università degli Studi di Palermo [UniPA] Dipartimento di Ingegneria</p>	<p>Facendo riferimento alla struttura del Progetto 1.9 “Solare termodinamico”, sono di seguito descritte le attività svolte nel 2° semestre 2023 dal Dipartimento di Ingegneria dell’Università degli Studi di Palermo (UniPA).</p> <p>Tematica scientifico-applicativa “materiali e componenti avanzati per impianti CSP”.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nell’ambito della linea di ricerca sui “coating innovativi per tubi ricevitori evacuati di impianti CSP a collettori lineari”, nel 2° semestre 2023 è iniziata la LA1.3 avente per oggetto lo “studio morfologico, strutturale e compositivo di materiali e strutture multistrato per coating innovativi per tubi ricevitori evacuati di impianti micro-PTC a media temperatura e di impianti CSP ad alta temperatura”.</li> </ul> <p>Nella LA1.3, nel corso del 2° semestre 2023, il Dipartimento di Ingegneria dell’Università degli Studi di Palermo ha eseguito misure SEM/EDAX di sezioni di campioni depositati da ENEA su acciaio, vetro e silicio cristallino (c-Si) per verificare se la tecnica di taglio impiegata per ridurre le dimensioni iniziali dei campioni permetta di mantenere la rappresentatività della struttura multistrato realizzata. Le analisi hanno consentito di osservare che per i campioni supportati in vetro il taglio realizzato per frattura fragile non è uniforme ma randomico, ed inoltre la casualità con cui viene effettuato il taglio comporta un prolungamento del tempo di analisi senza garanzie di trovare una zona rappresentativa. Quando è stato utilizzato l’acciaio come materiale di supporto, le analisi morfologiche hanno consentito di osservare che se il taglio viene effettuato per tranciatura la sezione appare distrutta. Durante le caratterizzazioni dei campioni supportati in c-Si è stato visto che il taglio effettuato per frattura fragile consente studiare la morfologia delle sezioni in maniera efficace ed in più punti. In tutti i casi, sia con vetro che con acciaio che con c-Si si è osservato inoltre che se si caratterizza la sezione con taglio industriale è necessaria la schermatura prima dello sputtering perché altrimenti questo avviene anche sulla sezione.</p>
<p>Università degli Studi di Roma Tor Vergata [UniRM2] Centro Interdipartimentale Nanoscienze, Nanotecnologie e Strumentazione Avanzata</p>	<p>Facendo riferimento alla struttura del Progetto 1.9 “Solare termodinamico”, sono di seguito descritte le attività svolte nel 2° semestre 2023 dal Centro Interdipartimentale Nanoscienze, Nanotecnologie e Strumentazione Avanzata dell’Università (NAST) degli Studi di Roma Tor Vergata (UniRM2).</p> <p>Tematica scientifico-applicativa “soluzioni tecniche e procedure operative per il settore industriale del CSP”.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nell’ambito della linea di ricerca sulle “procedure operative per impianti CSP con fluido termovettore costituito da miscele di sali fusi bassofondenti e studio della compatibilità dei materiali a contatto con le miscele in condizioni reali di funzionamento”, nel 2° semestre 2023</li> </ul>

è iniziata la LA1.24 avente per oggetto la “verifica in condizioni reali di funzionamento delle miscele di sali fusi bassofondenti operanti a media temperatura e ad alta temperatura: analisi metallografiche dei materiali sottoposti a test di compatibilità”.

Nel corso del 2° semestre del 2023, nell’ambito della LA 1.24, che si configura come la prosecuzione della precedente LA1.22 (ultimata nel precedente 1° semestre 2023), l’attività del Centro Interdipartimentale Nanoscienze, Nanotecnologie e Strumentazione Avanzata dell’Università degli Studi di Roma “Tor Vergata” è stata focalizzata sull’ottimizzazione e sulla messa a punto delle tecniche di caratterizzazione che verranno utilizzate per studiare il meccanismo di corrosione sui provini metallici sottoposti a prove di compatibilità della LA1.23 (in carico a ENEA) con le due miscele di sali fusi bassofondenti, di cui una operante a media temperatura (200-400 °C) e una operante ad alta temperatura (400-600 °C). In particolare, sono state approfondite e perfezionate le tecniche di rimozione dei prodotti di corrosione mediante descaling chimico seguendo i protocolli ISO dei provini metallici che saranno forniti da ENEA a seguito dei test, e studiati modelli dettagliati per la corretta interpretazione dei risultati sperimentali, per fornire una corretta descrizione dei fenomeni di corrosione che avverranno sui materiali esposti.