

**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. 3 – Periodo attività: 01/01/2023 – 30/06/2023**

**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 1° semestre 2023 si è entrati nel vivo del Progetto con un elevato numero di LA in fase di esecuzione (14 LA su 26 complessive del Progetto), in carico sia a ENEA che alle 6 Università co-beneficiarie le quali hanno tutte iniziato a lavorare alle attività di ricerca del Progetto nel presente semestre. Nella fattispecie, come previsto dal capitolato di Progetto, nel 1° semestre 2023 sono proseguite 5 LA (LA1.1, LA1.11, LA1.15, LA1.21, LA1.25) e iniziate 9 LA (LA1.3, LA1.4, LA1.8, LA1.10, LA1.12, LA1.16, LA1.19, LA1.20, LA1.22); inoltre, delle 14 LA in esecuzione, sono state portate a termine 7 LA (LA1.1, LA1.12, LA1.15, LA1.16, LA1.21, LA1.22, LA1.25) mentre 1 LA (LA1.11) non è stata completata entro il termine previsto del 30/06/2023.

Le 14 LA in esecuzione nel 1° semestre 2023 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 (LA1.1, 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), (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 termocline, 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 LA1.12, 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 (LA1.15, in carico a ENEA, e LA1.16, 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 (LA1.21, in carico a ENEA, e LA1.22, in carico all'Università degli Studi di Roma Tor Vergata).

Infine, anche l'attività di comunicazione e disseminazione è stata regolarmente svolta (LA1.25, 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 alle LA concluse, queste hanno tutte ottenuto i risultati attesi. In merito al mancato completamento della LA1.11: (i) con riferimento alla specifica linea di ricerca cui questa afferisce (“sistemi di accumulo termico, di tipo termocline, ibridizzati, ecc.”), non si prevedono ripercussioni né in termini di ottenimento di obiettivi specifici e risultati attesi, né di sviluppo dei prodotti previsti; (ii) con riferimento al Progetto nel suo complesso, non comporterà scostamenti tecnico-economici di rilievo e non ne influenzerà il conseguimento degli obiettivi generali. 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

<i><b>AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO</b></i>	<i><b>SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO</b></i>
ENEA	<p>Facendo riferimento alla struttura del Progetto 1.9 “Solare termodinamico”, sono di seguito descritte le attività svolte nel 1° 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 1° semestre</li> </ul>

2023 è proseguita ed è stata portata a termine la LA1.1 avente per oggetto lo “sviluppo di materiali e processi di deposizione per coating innovativi per tubi ricevitori evacuati di impianti micro-PTC a media temperatura e per coating innovativi per tubi ricevitori evacuati di impianti CSP ad alta temperatura”.

Nella LA1.1, nel corso del 1° semestre 2023, sono stati sviluppati processi e materiali con l’obiettivo di realizzare un coating per tubi ricevitori solari evacuati di impianti CSP operanti fino alla temperatura massima di 550 °C con prestazioni fototermiche migliorate rispetto allo stato dell’arte. Per raggiungere questo obiettivo non si poteva prescindere dall’utilizzo, in qualità di riflettore a IR, dell’Ag che è uno dei metalli con le proprietà più alto riflettenti nell’IR. Tuttavia, l’Ag è un metallo particolarmente instabile alle alte temperature per cui il suo utilizzo è ipotizzabile solo ricorrendo a strutture in grado di stabilizzarne il comportamento alle alte temperature senza alterarne significativamente le proprietà riflettenti nell’IR. Nello specifico, uno strato di W è stato selezionato per stabilizzare termomeccanicamente la struttura formata dal substrato d’acciaio e dal riflettore a IR d’Ag e per svolgere la funzione di barriera nei confronti della diffusione elementare da e verso lo strato d’Ag. Invece, strati ceramici di AlN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e di CERMET W-AlN a basso contenuto metallico sono stati selezionati per essere inseriti tra il riflettore a IR d’Ag e l’assorbitore solare multistrato al fine di garantire una buona stabilità termomeccanica del riflettore a IR d’Ag e di bloccare la diffusione dell’Ag verso l’assorbitore solare. Coating dalle prestazioni fototermiche non ottimizzate sono stati realizzati mediante la tecnica dello sputtering su tubi d’acciaio di 70 mm di diametro utilizzando come riflettore a IR l’Ag inserito nelle suddette strutture stabilizzanti, un multistrato di CERMET W-AlN come assorbitore solare e AlN, SiO<sub>2</sub> e W-AlN a basso contenuto di W come strati del filtro antiriflesso. I diversi coating realizzati sono stati sottoposti a test accelerati di ageing in vuoto a 620 °C e a 690 °C per valutarne la durabilità alla temperatura di 550 °C. Il risultato dell’attività sperimentale ha evidenziato che le barriere di AlN e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> erano le più idonee a stabilizzare l’Ag fino alla temperatura di 550 °C in modo che il coating risultante avesse una vita utile di 25 anni. Riguardo all’attività di realizzazione degli strati di silice mediante tecnica sol-gel e deposizione per spin-coating, alla luce dei risultati ottenuti nel corso del primo anno di Progetto, è stato finalizzato l’acquisto, nel corso di questo semestre, di un nuovo spin-coater con specifiche tecniche idonee per lo sviluppo dei materiali ceramici d’interesse depositati mediante tecniche da soluzione. Sempre con riferimento all’attività di ricerca sulla silice, il lavoro scientifico sottomesso nel precedente 2° semestre 2022 è stato pubblicato sulla rivista Applied Research (<https://doi.org/10.1002/appl.202200117>).

- Nell’ambito della linea di ricerca sulle “superfici riflettenti autopulenti con sensoristica integrata per impianti CSP”, nel 1° semestre 2023 è iniziata 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 1° semestre 2023, è stata espletata la procedura di acquisto di una strumentazione per la caratterizzazione elettrica sia di film sottili che di dispositivi. Lo strumento in questione è un analizzatore di parametri elettrici integrato, un Mainframe modello 4200A-SCS della Keithley che consente di effettuare caratterizzazioni volt- amperometriche in regime di corrente continua e in corrente alternata. In parallelo sono stati realizzati diversi prototipi di superficie riflettente con rivestimento autopulente di dimensioni compatibili per l'esposizione outdoor nell'impianto sperimentale Fresnel "ENEA-SHIP" del C.R. ENEA di Casaccia. Sono stati rivestiti due specchi solari dell'impianto: uno con un rivestimento organico, un polimero (mediante tecniche stampa drawdown, HVLP spray), e uno inorganico, un politipoide di nitruro di alluminio. Il rivestimento di politipoide di AlN è stato applicato mediante tecnica di sputtering. Le dimensioni dello specchio del campo solare Fresnel non sono compatibili con la macchina di sputtering in dotazione al laboratorio. Pertanto, tale rivestimento è stato depositato su specchi solari piani (nelle disponibilità del laboratorio) di dimensioni 50x40 cm applicati mediante incollaggio sullo specchio dell'impianto "ENEA-SHIP". Le specifiche chimico-fisiche dei materiali e le condizioni di deposizione adoperate sono il frutto dell'ottimizzazione svolta nella LA1.7 nel corso dei semestri precedenti.

- Nell'ambito della linea di ricerca sui "sistemi di accumulo termo-chimico a zeoliti per applicazioni distribuite a media temperatura del CSP", nel 1° semestre 2023 è iniziata 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".

Si premette che durante il precedente PTR 2019-2021, sono state condotte attività di sperimentazione su un prototipo di reattore a zeoliti di taglia significativa (circa 1 m<sup>3</sup>) accoppiato ad un campo solare del tipo Linear-Fresnel operante con acqua pressurizzata fino a 150 °C. I risultati ottenuti hanno evidenziato solo in parte le potenzialità di sfruttamento di tale tecnologia di accumulo del calore in termini di efficienza e densità di accumulo. A tal fine, nell'ambito della presente LA1.10, si intendono potenziare le facility di test presenti presso il C.R. ENEA di Trisaia con l'obiettivo di analizzare le performance di tali sistemi di accumulo termo-chimico in un range di temperature compreso tra 150 e 250 °C. Pertanto, nella LA1.10, nel corso del 1° semestre 2023 sono state analizzate le problematiche impiantistiche di interfacciamento tra le facility di test costituite dall'impianto SUNSTORE e dall'impianto di test ad olio diatermico. In particolare, mediante l'uso di modelli di calcolo semplificati, è stato analizzato preliminarmente il comportamento in diverse condizioni operative del nuovo sistema prototipale, costituito da: accumulo termico, sistema ausiliario di produzione/estrazione del vapore, circuito di scambio termico ad olio diatermico necessario alle operazioni di carica/scarica del calore accumulato nel reattore a zeoliti. Tali analisi preliminari hanno consentito di dimensionare, in termini di potenze e range operativi, la nuova componentistica da installare.

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

- Nell’ambito della linea di ricerca sui “sistemi di accumulo termico, di tipo termocline, ibridizzati alimentabili da CSP e da altre tecnologie energetiche rinnovabili, per la produzione di calore per processi industriali”, nel 1° semestre 2023 è proseguita ma, a differenza di quanto previsto, non è stata completata la LA1.11 avente per oggetto l’“analisi e progettazione preliminare di un prototipo di sistema di accumulo termocline 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 1° semestre 2023, la fase di progettazione preliminare del prototipo di sistema di accumulo termocline ibridizzato tra CSP e altre FER “elettriche” si è prolungata a causa di ulteriori approfondimenti tecnico-scientifici sulla miscela di sali necessari per superare alcune criticità relative alla sicurezza. È stata quindi completata tutta la documentazione necessaria all’avviamento della procedura amministrativa per la pubblicazione del bando di gara per l’assegnazione del Contratto di Appalto di fornitura/realizzazione dell’impianto sperimentale costituito dal prototipo di sistema di accumulo termocline ibridizzato asservito all’impianto Fresnel “ENEA-SHIP” del C.R. ENEA di Casaccia (realizzato nel precedente PTR 2019-2021) da modificarsi opportunamente nell’ambito dell’Appalto.

- 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 1° semestre 2023 è proseguita ed è stata portata a termine la LA1.15 avente per oggetto l’“analisi preliminare di sistemi innovativi di riscaldamento elettrico dei sali fusi e progettazione di un dispositivo sperimentale”.

Al fine di verificare l’effettiva efficacia della soluzione tecnica selezionata nel precedente semestre, ossia il riscaldamento elettrico dei sali fusi attraverso le micro-onde, nel corso del 1° semestre 2023 è stato definito, col supporto dei risultati dell’attività modellistica della contemporanea LA1.16 in carico al Politecnico di Torino, il progetto di massima di un dispositivo sperimentale dedicato allo scopo. Tale dispositivo è costituito da un volume di controllo dei sali fusi (circa 6 l), da integrare con un generatore di microonde disponibile in commercio: a questo scopo è stato studiato il sistema di interfacciamento tra il serbatoio ed il generatore di micro-onde (guida d’onda da realizzarsi su progetto) e sono stati definiti parti e componenti-accessori per il controllo e la regolazione della potenza scaricabile nel sistema.

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 1° semestre 2023

è proseguita ed è stata portata a termine la LA1.21 avente per oggetto la “selezione di miscele di sali fusi bassofondenti per applicazioni a media e ad alta temperatura; adeguamento del circuito MoSE per prove sperimentali di funzionamento e di compatibilità dei materiali con le miscele”.

Nella LA1.21, nel corso del 1° semestre 2023, è stata testata e avviata, sul circuito sperimentale “MoSE” (Molten Salt Experiments) del C.R. ENEA di Casaccia, la procedura di primo riempimento e fusione della miscela di sali fusi prescelta per applicazioni a media temperatura (miscela quaternaria Na/K/Ca/Li//NO<sub>3</sub>, range di temperatura 200-400 °C); è stato verificato che la suddetta procedura risulta valida per serbatoi di stoccaggio di piccola taglia, dove non è conveniente ingegnerizzare le operazioni creando dei circuiti e componenti dedicati. Anche per la seconda miscela di sali bassofondenti (miscela ternaria Na/K/Li//NO<sub>3</sub>) che opera nel range di alta temperatura (400-600 °C) sono stati verificati sperimentalmente i punti di congelamento e di liquidus; le proprietà termofisiche sono state stimate utilizzando modelli validati e riportati nell’ambito del precedente PTR 2019-2022.

Infine, nel 1° semestre 2023 è proseguita ed è stata portata a termine la LA1.25 avente per oggetto la “comunicazione e disseminazione dei risultati da Gennaio 2022 a Giugno 2023”.

Nell’ambito della LA1.25, nel corso del 1° semestre 2023 l’attività di comunicazione e disseminazione è stata realizzata, tra l’altro, mediante: partecipazione a 2 workshop del settore del CSP, di cui uno organizzato da ENEA; partecipazione a un meeting di un comitato internazionale di riferimento del settore del CSP (“Comitato Esecutivo IEA TCP SolarPACES”); organizzazione di un meeting intermedio di Progetto; messa a disposizione di tutti i contributi relativi al Progetto 1.9 per l’aggiornamento della sezione dedicata alla Ricerca di Sistema elettrico del sito web ENEA. Inoltre, sono stati pubblicati/accettati alcuni lavori scientifici: un articolo pubblicato su rivista scientifica internazionale indicizzata (lavoro scaturito da alcuni risultati ottenuti da ENEA nella LA1.1 e sottomesso a rivista nel precedente 2° semestre 2022); 2 abstract sottomessi e accettati a conferenza internazionale (“Conferenza SolarPACES 2023”) risultanti, uno, dall’attività di ricerca congiunta delle LA1.16 (in carico al Politecnico di Torino) e LA1.15 (in carico a ENEA) e, l’altro, dall’attività di ricerca della LA1.19 (in carico al Politecnico di Milano); un poster sottomesso e accettato a conferenza internazionale (“Conferenza SolarPACES 2023”) risultante dall’attività di ricerca congiunta delle LA1.16 e LA1.15. Infine, la divulgazione dei risultati intermedi di Progetto è stata effettuata mediante l’emissione, in occasione del SAL-1 di Progetto, di 8 report specifici per le diverse LA svolte e completate nei primi 18 mesi del triennio di Progetto. Tali report saranno resi pubblici, dopo valutazione degli Esperti, nella sezione dedicata alla Ricerca di Sistema elettrico del sito web ENEA.

Le modalità di realizzazione dell’attività di comunicazione e disseminazione nei primi 3 semestri di Progetto (1° e 2° semestre 2022 e 1° semestre 2023) hanno consentito di ottenere i seguenti risultati:

- è stata data buona visibilità al Progetto e ne è stata pubblicizzata la fonte di finanziamento;

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- è stata curata la condivisione di informazioni su attività e risultati intermedi della ricerca tra il personale (ENEA e delle Università co-beneficiarie) che lavora al Progetto;</li> <li>- è stata avviata la disseminazione dei risultati della ricerca di Progetto, partendo da alcuni dei risultati intermedi ottenuti nei primi 18 mesi di attività;</li> <li>- è stata rafforzata la presenza in network specialistici di esperti (es. SolarPACES) e l'interazione e lo scambio di informazioni e conoscenze sui temi di ricerca specifici con le principali organizzazioni e associazioni internazionali di riferimento (es. IEA, EERA), anche partecipando a comitati e gruppi di lavoro specifici (es. ExCo IEA TCP SolarPACES) e con programmi e progetti internazionali (es. IEA TCP SolarPACES, EERA JP CSP);</li> <li>- è stato curato il costante aggiornamento sulle problematiche attuali e sulle nuove esigenze connesse all'evoluzione delle tecnologie CSP in ambito internazionale;</li> <li>- si è interagito con gli stakeholder industriali in merito alla percezione del valore aggiunto e dell'innovatività dei risultati attesi della ricerca di Progetto (con particolare riferimento a quelli maggiormente applicativi) e alle problematiche che ostacolano una più ampia diffusione delle tecnologie CSP nel Paese.</li> </ul> <p>Un ulteriore risultato dell'attività di comunicazione e disseminazione a cui si è lavorato in modo proficuo nei primi 18 mesi (LA1.25) e che si vuole ottenere al termine del triennio (LA1.26), è consolidare la rete italiana degli stakeholder del settore che, dopo lo scioglimento nel 2019 dell'Associazione Nazionale per l'Energia Solare Termodinamica (ANEST), ha recentemente ripreso a incontrarsi in occasione di una serie di eventi promossi da ENEA tra cui, è di rilievo, il workshop organizzato da ENEA, nel presente 1° semestre 2023, nell'ambito del Progetto.</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 1° 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 1° semestre 2023 è iniziata 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 1° semestre 2023, il Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano, in continuità con quanto svolto nel precedente PTR 2019-2021, ha iniziato l'analisi di alcuni casi studio di impianti ibridi CSP/PV/Eolici. Per gli impianti eolici è stato implementato un modello semplificato di turbina eolica da 3.45 MW (taglia rilevante per il contesto italiano) utilizzato per produrre profili di generazione oraria per il sito di Priolo Gargallo (SR). Per gli impianti PV e per il campo specchi sono stati invece utilizzati profili di produzione specifica precedentemente generati a partire dai dati meteo</p>

	<p>della località selezionata. Partendo da questi profili di produzione e utilizzando i modelli degli altri componenti precedentemente sviluppati (blocco di potenza, accumulo termico, resistenze elettriche), è stato formulato un problema di ottimizzazione volto a minimizzare il costo totale annualizzato del sistema ibrido CSP/PV utilizzando la tecnica di programmazione lineare mista-intera (Mixed-Integer Linear Programming, MILP) in grado di ottimizzare contemporaneamente il design dei diversi componenti dell'impianto (numero di turbine eoliche, taglia dei campi specchi, del campo fotovoltaico, del blocco di potenza e dei sistemi di accumulo termico ed elettrico) e di fornire la strategia di gestione ottima dell'impianto lungo l'orizzonte di ottimizzazione. Nel modello di ottimizzazione è possibile tenere conto di alcuni vincoli progettuali (per es. terreno disponibile) e tecnici legati al funzionamento dei componenti (carico minimo blocco di potenza, efficienza a carico parziale, ecc.). Inoltre, imponendo come vincolo il soddisfacimento di frazioni crescenti della domanda elettrica selezionata, è possibile ottenere il mix migliore di tecnologie da installare in funzione di tali frazioni. Per una domanda elettrica pari alla domanda elettrica nazionale riscaldata (con picco pari a 50 MW), si è verificato come l'ibridizzazione CSP/PV/Eolica permetta di garantire una dispacciabilità (ovvero una frazione del soddisfacimento della domanda elettrica) più elevata a costi inferiori rispetto agli impianti CSP/PV e rispetto agli impianti CSP o PV.</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 1° 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 1° semestre 2023 è iniziata ed è stata portata a termine la LA1.12 avente per oggetto lo “sviluppo di un modello numerico di un prototipo di sistema di accumulo termoclino ibridizzato con tre serpentine immerse per il riscaldamento dei sali sia con calore solare che con caldaia elettrica”.</li> </ul> <p>L'attività di ricerca svolta dal Dipartimento Energia del Politecnico di Torino nel corso del 1° semestre 2023, nell'ambito della LA1.12, consiste nello sviluppo di un modello termo-fluidodinamico (CFD) del sistema di accumulo di tipo termoclino, ibridizzato alimentabile da CSP e da altre tecnologie FER, progettato da ENEA nella LA1.11. I risultati ottenuti, ovvero lo sviluppo del modello, coincidono con i risultati attesi in accordo con il capitolato di Progetto. Scopo del modello è la simulazione dei transitori di carica e scarica del termoclino. La simulazione di questi transitori sarà svolta nell'ambito della successiva LA1.14, come previsto dal capitolato di Progetto. Il sistema di accumulo oggetto di questo studio consta di tre serpentine immerse nel mezzo di accumulo (una miscela di sali ternari) e collegate ad altrettanti circuiti di olio diatermico. In particolare, si hanno due</p>

	<p>circuiti per la carica: uno per il campo solare a concentrazione (CSP) e uno collegato ad una caldaia elettrica alimentabile, ad esempio, da un campo fotovoltaico (PV). Il terzo circuito è per la scarica dell'accumulo termico. Il modello termo-fluidodinamico è stato sviluppato con l'obiettivo di raggiungere un compromesso soddisfacente tra accuratezza della soluzione e costo computazionale. A tal fine, si è ridotto il dominio computazionale al solo volume del mezzo di accumulo (sali fusi), adottando opportune condizioni al contorno per rappresentare le dissipazioni termiche dal bordo del dominio dei sali. Inoltre, le serpentine sono state sostituite da mezzi porosi, la cui impedenza idraulica è stata opportunamente caratterizzata.</p> <ul style="list-style-type: none"> <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 1° semestre 2023 è iniziata ed è stata portata a termine la LA1.16 avente per oggetto lo “sviluppo di modelli numerici di sistemi innovativi di riscaldamento elettrico dei sali fusi”.</li> </ul> <p>L'attività di ricerca svolta dal Dipartimento Energia del Politecnico di Torino nel corso del 1° semestre 2023, nell'ambito della LA1.16, consiste nello sviluppo di un modello numerico semplificato di supporto alla progettazione del dispositivo sperimentale in carico a ENEA (LA1.15) per il riscaldamento elettrico dei sali fusi mediante microonde. I risultati ottenuti, ovvero lo sviluppo del modello, coincidono con i risultati attesi in accordo con il capitolato di Progetto. Il modello, sviluppato in ambiente COMSOL, consiste in un modello elettromagnetico accoppiato ad uno termo-fluidodinamico. Il primo risolve le equazioni di Maxwell applicando la forzante data dal generatore di microonde (3 kW, 2.45 GHz) al fine di calcolare la potenza dissipata nei sali. Tale potenza rappresenta il carico termico volumetrico imposto nel modello termo-fluidodinamico, che risolve le equazioni di conservazione della massa, della quantità di moto e dell'energia. Il modello elettromagnetico è stato utilizzato per supportare il dimensionamento del dispositivo sperimentale. In particolare, il modello ha permesso di identificare la configurazione dei parametri di progetto che massimizza la potenza elettrica dissipata nei sali. Una volta identificata la configurazione più performante, si è realizzata una prima simulazione termo-fluidodinamica per valutare la distribuzione di temperatura dopo un breve transitorio. I risultati suggeriscono l'adozione di una girante per uniformare la temperatura dei sali.</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 1° 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</li> </ul>

	<p>in contesti civili e industriali”, nel 1° semestre 2023 è iniziata 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”.</p> <p>Nel corso del 1° semestre 2023, il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell’Università degli Studi di Firenze ha avviato l’analisi prevista nella LA1.4 (tuttora in corso) con particolare riferimento alle attività riguardanti la generazione di calore con sistemi a micro-concentrazione per soluzioni PED (residenziali). Per la parte industriale sono in corso la selezione degli ambiti e le acquisizioni di dati e informazioni per la modellazione e contestualizzazione. Al momento, oltre al settore “High-Urbanized-Area” si stanno prendendo in considerazione ambiti quale FOOD, tessile e industria pesante.</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 1° 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 1° semestre 2023 è iniziata 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>Nella LA1.20, nel corso del 1° semestre 2023, il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell’Università degli Studi di Napoli Federico II ha iniziato lo studio inerente all’utilizzo delle tecnologie ad ultrasuoni per l’applicazione in oggetto. Inizialmente l’attività si è focalizzata sulla individuazione delle proprietà chimico-fisiche delle miscele di sali fusi impiegate come fluido termovettore, sulle caratteristiche geometriche e funzionali delle parti dell’impianto CSP in cui si manifesta la solidificazione della miscela di sali fusi, nonché sulle caratteristiche dei materiali impiegati per l’isolamento termico del piping. A valle della suddetta attività, si è deciso di eseguire le valutazioni prendendo in considerazione una miscela binaria di sali fusi, considerata la maggiore temperatura di solidificazione della stessa, e di concentrare le analisi in corrispondenza degli stacchi posti nei tratti del piping in ingresso nel collettore e in uscita dallo stesso sui quali sono posizionate le valvole di drenaggio e di sfogo nonché in corrispondenza di tratti curvi del piping. A valle delle suddette scelte, la prima fase della presente LA1.20 è stata finalizzata a valutare e quantificare, mediante analisi numeriche FEM, gli effetti derivanti dai processi dissipativi di natura termica, viscosa e di rilassamento molecolare, nonché dai fenomeni di diffusione che si manifestano in una miscela di sali fusi binaria durante la propagazione al suo interno di un campo ultrasonoro. Tale attività è stata condotta considerando un</p>

	<p>tratto di tubazione rettilinea a sezione costante ed utilizzando la piattaforma COMSOL MULTIPHYSICS per le simulazioni numeriche nonché programmi in ambiente MATLAB per le elaborazioni dei risultati delle simulazioni numeriche.</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 1° 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 1° 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 1° semestre 2023, il Dipartimento di Ingegneria dell’Università degli Studi di Palermo ha condotto uno studio che ha riguardato l’analisi di parametri tecnici funzionali all’effettuazione di analisi SEM/EDAX in sezione per la caratterizzazione di campioni sviluppati da ENEA nella LA1.1 (e, a partire dal 2° semestre 2023, nella LA1.2) nell’ambito della quale diversi materiali (metallici, ceramici e metallo-ceramici) sono stati depositati in sequenza mediante tecniche di sputtering. Sono state eseguite misure SEM/EDAX preliminari di sezioni di campioni multistrato depositati su vetro e acciaio. Tali analisi hanno consentito di acquisire i seguenti risultati preliminari, fondamentali per la prosecuzione delle attività: (i) la dimensione del campione da analizzare non deve superare 1 cm per lato; (ii) il tipo di taglio impiegato per ridurre la dimensione dei campioni non deve danneggiare la sezione precludendo la possibilità di effettuare le analisi di caratterizzazione; (iii) il materiale utilizzato come base influisce sulla scelta dei parametri per la metallizzazione dei campioni prima di effettuare le analisi.</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 1° semestre 2023 dal Centro Interdipartimentale Nanoscienze, Nanotecnologie e Strumentazione Avanzata (NAST) dell’Università 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 1° semestre 2023 è iniziata ed è stata portata a termine la LA1.22 avente per oggetto le “analisi metallografiche dei materiali sottoposti a test di compatibilità</li> </ul>

con miscele di sali fusi bassofondenti: definizione e ottimizzazione delle procedure sperimentali”.

Nel corso del 1° semestre 2023, l'attività svolta dal Centro Interdipartimentale Nanoscienze, Nanotecnologie e Strumentazione Avanzata dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata, nell'ambito della LA 1.22, ha avuto come obiettivo lo studio delle proprietà di compatibilità fra fluidi termovettori costituiti da miscele di sali fusi bassofondenti e i materiali da costruzione dell'impianto CSP. Lo studio condotto è volto alla caratterizzazione dei materiali mediante l'esecuzione di analisi metallografiche in Diffrazione di Raggi X (XRD), Microscopia Elettronica (SEM) accoppiata all'Analisi a Dispersione di Energia (EDS) e la conseguente elaborazione dei risultati ottenuti, su provini e sulle parti saldate, di acciai vergini, non corrosi, non trattati e non ancora sottoposti ai test di corrosione dinamica. Tali provini verranno successivamente utilizzati nella LA1.23 da ENEA per due test di compatibilità con 2 miscele di sali fusi bassofondenti, una miscela operante a medie temperature (200-400 °C) e una operante ad alte temperature (400-600 °C), da effettuare nell'impianto sperimentale denominato “MoSE” del C.R. ENEA di Casaccia. La finalità di tale caratterizzazione iniziale deriva dalla necessità di avere un “bianco” di riferimento da confrontare nella successiva LA1.24, in carico a UniRM2, nella quale le analisi verranno eseguite sugli stessi provini dopo diverse ore a contatto con le miscele in condizioni reali di funzionamento, che dovranno evidenziare i processi di corrosione che potrebbero avvenire sulle superfici. Sono stati quindi caratterizzati, con le suddette tecniche, i provini di acciaio selezionati nella LA1.21 in carico a ENEA. Per tutti i tipi di acciaio le caratterizzazioni si sono svolte anche su provini saldati, per studiare il comportamento alla corrosione sul punto di saldatura. Di seguito le tipologie di acciaio selezionate: (i) acciaio AISI 304; (ii) acciaio AISI 347H; (iii) acciaio al C 516 Gr.70 (P355NH). Per queste tre categorie di acciai, le analisi avvalorano le composizioni delle certificazioni accompagnatorie del materiale e dall'indagine delle superfici non si sono rilevate criticità. Si nota lo scorrimento dovuto al taglio del materiale, e le superfici degli acciai AISI 304 e AISI 347H non presentano ossidazioni, mentre è presente un disomogeneo strato di Carbonio sull'acciaio al C 516 Gr.70 (P355NH), come normalmente avviene in questa tipologia di materiale. Le strutture degli acciai sulle parti saldate invece, presentano un'ossidazione importante con presenza di Magnetite  $Fe_3O_4$  che potrebbe mostrare un diverso comportamento alla corrosione. I modelli cinetici necessari per descrivere il comportamento dei fenomeni di corrosione eventualmente presenti, sono stati elaborati e presentati.