

**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. 2 – Periodo attività: 01/07/2022 – 31/12/2022**

**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 2022, come previsto dal capitolato di Progetto, sono proseguite le 6 LA (LA1.1, LA1.7, LA1.11, LA1.15, LA1.21, LA1.25) iniziate nel precedente semestre e, tra queste, 1 LA (LA1.7) è stata portata a termine. Tali LA, in carico solo a ENEA, 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 sui coating innovativi per tubi ricevitori evacuati di impianti CSP a collettori lineari (LA1.1) e sulle superfici riflettenti autopulenti con sensoristica integrata per impianti CSP (LA1.7).

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) e (ii) sui sistemi innovativi di riscaldamento elettrico dei sali fusi per l'ibridizzazione del CSP con altre tecnologie energetiche rinnovabili (LA1.15).

In aggiunta, con riferimento alla tematica “soluzioni tecniche e procedure operative per il settore industriale del CSP”, le attività svolte hanno riguardato la 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 (LA1.21).

Infine, anche l'attività di comunicazione e disseminazione è stata regolarmente svolta (LA1.25).

In generale, nel corso del 2° semestre 2022, non sono state riscontrate 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 (LA1.7), sono stati ottenuti i risultati attesi. Infine, tenuto conto che il Progetto è stato da poco avviato, per le attività di ricerca svolte non è 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 2° semestre 2022 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 2022 è proseguita 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”.</li> </ul> <p>Nella LA1.1, nel corso del 2° semestre 2022, sono stati realizzati una serie di coating per tubi ricevitori di impianti micro-CSP di tipo micro-PTC dalle prestazioni fototermiche non ottimizzate, utilizzando i materiali sviluppati nella LA1.1 nel precedente 1° semestre 2022. I coating realizzati sono stati sottoposti a test accelerati di ageing in vuoto alla temperatura di 615 °C in un forno programmabile e a test in aria in camera climatica per stimarne la stabilità, rispettivamente, in vuoto e in aria. I risultati dei test hanno evidenziato l’idoneità dei materiali sviluppati per la fabbricazione di coating stabili per applicazione solari in tubi ricevitori solari evacuati di impianti micro-CSP di tipo micro-PTC operanti fino alla temperatura massima di 350 °C. Per quanto riguarda la realizzazione di film di silice mediante tecnica sol-gel e deposizione per spin coating, i risultati dell’attività sperimentale ottenuti nella LA1.1 nel precedente 1° semestre 2022 hanno dimostrato che lo strato di silice migliore, in termini di proprietà ottiche e microstruttura, era quello con la porosità più bassa. Tale materiale è stato impiegato, nel corso del 2° semestre 2022, come ultimo strato del filtro antiriflesso dei coating sviluppati nell’ambito del precedente PTR 2019-2021, al fine di verificare la stabilità degli</p>

stessi in aria ad alta temperatura (fino a 600 °C). I risultati ottenuti sono stati presentati come contributo orale al “Symposium A - Materials, components and characterization of energy harvesters for self-powered electronics” nell’ambito della conferenza internazionale “2022 E-MRS (European Materials Research Society) Fall Meeting and Exhibit” e, inoltre, sono stati oggetto di un lavoro scientifico sottomesso per la pubblicazione sulla rivista Applied Research.

- Nell’ambito della linea di ricerca sulle “superfici riflettenti autopulenti con sensoristica integrata per impianti CSP”, nel 2° semestre 2022 è proseguita ed è stata portata a termine la LA1.7 avente per oggetto l’“ottimizzazione dei metodi di fabbricazione di nanocompositi ibridi a bagnabilità modulabile idonei alla realizzazione di prototipi di specchi autopulenti di dimensioni reali”.

Nella LA1.7, nel corso del secondo 2022, sono state risolte alcune criticità intrinseche al trasferimento su larga scala dei processi di sputtering, di spray e di stampa drawdown. In particolare, per quanto concerne lo sputtering su lastra frontale sono stati studiati i margini di uniformità delle proprietà chimico-fisiche dei rivestimenti ottenibili con l’impianto in dotazione al laboratorio e per quanto riguarda lo spray sono stati confrontati diversi procedimenti finalizzati a riprodurre le proprietà ottiche ottenute su piccola scala nei rivestimenti ottenuti in precedenza attraverso lo spinning. È stato inoltre valutato/ottimizzato il processo della stampa drawdown come metodo per fabbricare sensori polimerici e sono stati predisposti schemi per integrare aree sensorizzate negli specchi. L’individuazione delle condizioni operative di deposizione spray e/o di sputtering su larga scala, compatibili coi requisiti ottici richiesti, ha consentito di risolvere le criticità che connotano lo scaling-up ed il trasferimento tecnologico dei risultati della ricerca, gettando solide basi per la produzione di specchi di dimensioni reali da alloggiare e testare nell’ impianto sperimentale Fresnel “ENEA-SHIP” del C.R. ENEA di Casaccia.

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 2022 è proseguita 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 2022, è stato sviluppato il progetto preliminare del sistema ibridizzato (oggetto di studio della LA1.11 nel 1° semestre 2022) in tutte le sue parti. In particolare, è stato definito il nuovo lay-out del circuito, è stato realizzato il P&ID e sono stati prodotti i disegni dei componenti. Sono stati sviluppati dei codici per la simulazione degli scambiatori di carica e scarica, è stato studiato il design del serbatoio di accumulo termoclino con gli scambiatori integrati all’interno e ne è stata eseguita la progettazione preliminare dal punto di vista meccanico e termofluidodinamico. Parallelamente

alla progettazione meccanica è stata completata la progettazione della parte elettrica per l'intero impianto ibridizzato costituito dall'impianto sperimentale Fresnel "ENEA-SHIP" del C.R. ENEA di Casaccia (realizzato nell'ambito del precedente PTR 2019-2021) con asservito il prototipo di sistema di accumulo termoclineo ibridizzato. Sono state definite quindi tutte le sonde e gli strumenti da installare sul nuovo impianto al fine di monitorarne e valutarne il comportamento e l'efficienza. Infine, è stato progettato un nuovo sistema di acquisizione e controllo per il nuovo impianto.

- 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 2022 è proseguita la LA1.15 avente per oggetto l'"analisi preliminare di sistemi innovativi di riscaldamento elettrico dei sali fusi e progettazione di un dispositivo sperimentale".

Nella 1.15, attraverso l'applicazione dei modelli numerici sviluppati nel precedente semestre e basati su dati disponibili in letteratura, nel corso del 2° semestre 2022 è stata svolta un'analisi teorica delle prestazioni ottenibili dai sistemi di riscaldamento considerati, al fine di individuare la soluzione tecnica più promettente in termini di flessibilità operativa (ampia variabilità della potenza elettrica scaricabile e ampio range di temperature operative dei sali) e rapidità di risposta (tempi di caricamento adeguati alla disponibilità della sorgente energetica). È stata inoltre attentamente considerata la realizzabilità pratica delle soluzioni tecniche proposte. Dall'analisi è emerso che la potenza elettrica scaricabile attraverso il riscaldamento per effetto Joule, ossia con resistenze elettriche, è soggetta a limitazioni in corrispondenza di elevate temperature operative dei sali (~500 °C). La fenomenologia del riscaldamento dei sali per induzione è stata analizzata con un dettagliato modello fisico, concludendo che (i) l'induzione diretta è inadatta al riscaldamento dei sali fusi, (ii) l'induzione indiretta presenta vantaggi marginali rispetto al riscaldamento a resistenze e (iii) altre possibili soluzioni (come l'uso di particelle in sospensione suscettibili all'induzione) non sono esplorabili nei tempi e costi previsti dalla presente attività di ricerca. La fenomenologia del riscaldamento con microonde è stata analizzata sulla base delle proprietà dielettriche dei sali alle frequenze delle microonde, concludendo che il riscaldamento volumetrico è fattibile e che si presta a test sperimentali su scala di laboratorio.

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 2022 è proseguita 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 2° semestre 2022, si è proceduto all'adeguamento del circuito sperimentale "MoSE" (Molten Salt Experiments) del C.R. ENEA di Casaccia per renderlo idoneo alla sperimentazione prevista; in particolare è stata realizzata la sezione di prova per i test di corrosione, sono stati realizzati i portacampioni in materiale ceramico che sono stati poi inseriti nei tronchetti di tubazioni facenti parte del circuito "MoSE". Sono state, inoltre, definite le condizioni della prova di corrosione dinamica relativa alla miscela operante a media temperatura, si è deciso di impostare un ciclo termico con i sali che operano tra una temperatura minima pari a 150 °C ed una massima pari a 300 °C. La portata e la velocità del flusso verranno fissate pari ad un valore tale da avere moto turbolento completamente sviluppato all'interno della sezione che ospita i provini. Sono state effettuate le analisi di cromatografia ionica e MP-AES sui componenti puri che compongono le miscele per determinarne la purezza chimica. È stata quindi preparata la miscela di sali quaternaria bassofondente selezionata (Na/K/Ca/Li//NO<sub>3</sub>) per verificarne 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 2° semestre 2022 è proseguita 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 2° semestre 2022 l'attività di comunicazione e disseminazione è stata realizzata, tra l'altro, mediante: partecipazione a 2 conferenze internazionali (tra cui la "Conferenza SolarPACES 2022"); 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"). Inoltre, da alcuni risultati ottenuti da ENEA nell'attività di ricerca della LA1.1 è scaturito un articolo sottomesso per la pubblicazione su una rivista scientifica internazionale indicizzata.