

**PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2019-2021 DELLA RICERCA DI SISTEMA
ELETTRICO NAZIONALE**

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

1.9 Solare termodinamico

Durata: 36 mesi

ENTI	
Affidatario	Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile
Cobeneficiario 1	Politecnico di Milano - Dipartimento di Energia
Cobeneficiario 2	Politecnico di Torino - Dipartimento Energia
Cobeneficiario 3	Università Campus Bio-Medico di Roma
Cobeneficiario 4	Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"
Cobeneficiario 5	Università di Palermo - Dipartimento di Ingegneria, Sezione Chimica Ambientale Biomedica e Materiali
Cobeneficiario 6	Università di Perugia - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale
Cobeneficiario 7	Università La Sapienza - Dip. Ingegneria Chimica, Materiali, Ambiente

PTR_19_21_ENEA_PRG_8_C AP1	1.9 Solare termodinamico	Dati generali	pag. 1 / 1
-------------------------------	--------------------------	---------------	------------

DATI GENERALI DEL PROGETTO

Titolo del progetto: **1.9 Solare termodinamico**

Durata in mesi: **36**

ENTI

Nome dell' Affidatario: ENEA - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Nome del Cobeneficiario (1): PoliMI - Politecnico di Milano - Dipartimento di Energia

Nome del Cobeneficiario (2): PoliTO - Politecnico di Torino - Dipartimento Energia

Nome del Cobeneficiario (3): UNICBM - Università Campus Bio-Medico di Roma

Nome del Cobeneficiario (4): UNIRM2 - Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

Nome del Cobeneficiario (5): UNIPA - Università di Palermo - Dipartimento di Ingegneria, Sezione Chimica Ambientale Biomedica e Materiali

Nome del Cobeneficiario (6): UNIPG - Università di Perugia - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

Nome del Cobeneficiario (7): UNIRM1 - Università La Sapienza - Dip. Ingegneria Chimica, Materiali, Ambiente

COSTO

Costo complessivo del progetto: **€ 2.000.000,00**

PTR_19_21_ENEA_PRG_8_C AP1	1.9 Solare termodinamico	Descrizione del progetto	pag. 1 / 11
-------------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------

DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Abstract del progetto

(in lingua italiana)

L'attività di ricerca proposta si pone come obiettivi: (i) il perseguimento di una maggiore flessibilità della tecnologia solare a concentrazione e dei sistemi di produzione di energia di tipo co-generativo; (ii) lo studio di materiali e componenti innovativi per il miglioramento delle prestazioni e la riduzione dei costi; (iii) lo sviluppo di soluzioni per l'integrabilità della tecnologia solare a concentrazione con altre risorse energetiche. La flessibilità richiesta è intesa in termini di maggiore semplicità operativa, capacità di fornire energia da fonte solare in modo stabile e controllato, integrabilità con altre risorse e tecnologie energetiche (in particolare fonti rinnovabili non programmabili), ampliamento degli scenari applicativi e riduzione dei costi di installazione, esercizio e manutenzione.

Tenuto conto di tali obiettivi, la prima linea di ricerca proposta riguarda lo sviluppo di nuovi fluidi per il trasporto e la conservazione dell'energia termica negli impianti CSP, con specifica attenzione alle formulazioni innovative di fluidi termici (miscele di sali fusi bassofondenti), di cui saranno investigate le proprietà termofisiche e i meccanismi di interazione con i materiali e i componenti di impianto. Occorre, infatti, determinare le relazioni tra la composizione delle miscele e le condizioni operative del loro utilizzo che permettano una più efficiente e semplice gestione degli impianti solari a concentrazione. Verranno, inoltre, esplorate nuove soluzioni per migliorare le performance e la compattezza dei sistemi di accumulo a sali fusi combinati con materiali a cambiamento di fase (PCM) le cui proprietà termo-fisiche possano essere incrementate tramite l'aggiunta di nanoparticelle.

Parallelamente allo sviluppo dei fluidi termici, saranno analizzate soluzioni avanzate in termini di componentistica: dai tubi ricevitori con coating solari innovativi ad alta stabilità sia in vuoto sia in aria, agli specchi riflettenti trattati con nuovi processi superficiali per il controllo dello sporco, allo sviluppo di componenti per applicazioni di piccola e media taglia con appositi sistemi di accumulo termico per la generazione energetica distribuita.

Verrà, inoltre, studiata l'integrazione del CSP con la tecnologia fotovoltaica per favorire l'incremento della quota di energia solare nel sistema elettrico nazionale, sfruttando al meglio le caratteristiche delle suddette tecnologie, ovvero i minori costi del fotovoltaico e la maggiore programmabilità della produzione energetica da CSP con accumulo termico. Verranno sviluppate anche apposite metodologie di analisi e previsione dei dati di radiazione solare a supporto della progettazione, gestione e controllo di impianti integrati CSP/PV.

In linea con il processo di transizione energetica verso la decarbonizzazione del settore industriale, verranno studiate soluzioni e configurazioni ad hoc di impianti solari a concentrazione che prevedano la produzione di calore a temperatura medio-alta per alimentare processi industriali. In tal caso, particolare attenzione verrà prestata allo sviluppo di configurazioni di impianto flessibili, compatte e modulari allo scopo di favorirne l'utilizzo in diverse applicazioni industriali, e saranno, inoltre, elaborate specifiche strategie di esercizio, gestione ed integrazione per garantire la stabilità di funzionamento del processo industriale, allineando l'offerta tecnologica da CSP con le richieste e le esigenze dei comuni processi industriali. Infine, sarà realizzata presso il C.R. ENEA Casaccia una piattaforma sperimentale per la generazione di calore di processo, allo scopo di analizzarne le prestazioni, sviluppare e validare specifiche metodologie di gestione e controllo, nonché definire e sperimentare le configurazioni ottimali di sistema in relazione alle specifiche dei processi industriali esaminati.

Abstract del progetto

(in lingua inglese)

The Concentrating Solar Power (CSP) project aims at (i) increasing the flexibility of CSP technology and co-generative production systems; (ii) investigating materials and components, to improve performances and reduce technology costs; (iii) developing innovative solutions to combine CSP with other renewable energy technologies. The pursued flexibility is intended as: enhanced operational simplicity, capability to generate energy at a controlled/stable rate, integrability with other resources and energy technologies (specifically with other renewable non-programmable sources), expansion of the application scenarios and reduction of the

PTR_19_21_ENEA_PRG_8_C AP1	1.9 Solare termodinamico	Descrizione del progetto	pag. 2 / 11
-------------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------

costs for Construction, Operation and Maintenance (O&M).

The first line of research deals with new Heat Transfer Fluids (HTF) for CSP applications. Specifically, activities will be focused on the investigation of new molten salt mixtures with low freezing temperatures that will be experimentally characterized to determine physical and chemical properties as well as their interaction with construction materials (alloys), with the objective of evaluating the effect of the HTF mixture composition on the material resistance in different operating conditions. Additionally, new solutions to improve the performance and compactness of energy storage systems based on the use of Phase Change Materials (PCM) for CSP applications, whose properties could be improved by the addition of nanoparticles, will be explored.

Furthermore advanced components for CSP applications will be developed, including solar receiver tubes with innovative coatings characterized by high stability (either under vacuum or in air) and solar receiver tubes for small scale application, mirrors with surface treatment to reduce fouling (dusting) effects, compact solar collectors and efficient storage systems for distributed energy production.

In addition, the integration of CSP with Photovoltaic (PV) technology will be investigated in order to increase the solar energy footprint in the electric energy system, to combine the primary benefits of the two solar technologies: lower costs of the PV and the dispatchability (energy storage capability) of CSP. Suitable methodologies for solar radiation analysis and forecast will also be developed to support the design, management and control of hybrid CSP/PV plants.

Furthermore, innovative co-generative solutions to supply Solar Heat for Industrial Processes (SHIP) will be developed to support the decarbonization policies of the industrial sector: new concentrating solar plant configuration will be investigated for the production of heat at medium-high temperatures in order to drive industrial processes. The main objective are: (1) to develop highly flexible, compact and modular solar systems to be easily adapted and integrated with industrial processes; (2) to elaborate relevant SHIP strategies to guarantee the stability and controllability of the endothermic process; and (3) to align the offer of CSP technology with the demand of common industrial processes. Finally, an experimental CSP platform for the process heat generation will be built at the ENEA-Casaccia Research Center, with the aim of analysing performances, developing and validating operation methodologies and defining optimal plant configurations to match the specifications of industrial processes.

Attività svolte nel triennio precedente

Il Tema di Ricerca "Solare Termodinamico" non presenta attività svolte nel triennio precedente.

Inquadramento del Progetto nello stato dell'arte

Stato dell'arte nazionale e internazionale relativamente alle attività previste dalla proposta di progetto

Il progetto Solare Termodinamico si articola in diverse Linee di Attività (LA) ognuna delle quali si colloca in uno specifico settore scientifico-applicativo.

Nell'ambito dei fluidi termici per CSP è attualmente diffuso l'utilizzo di olii diatermici e, in alternativa, di una miscela binaria di sali fusi (Solar Salt) per la quale si dispone di adeguate informazioni sulle proprietà termofisiche e sulla compatibilità con i materiali da costruzione anche per temperature superiori ai 500°C. Tuttavia, la letteratura scientifica risulta ancora carente di informazioni riguardanti le proprietà delle miscele di sali fusi con composizione differente rispetto al Solar Salt. Sono disponibili, infatti, pochi dati relativi alla stabilità, alle proprietà termofisiche ed alla corrosione di tali miscele nell'intervallo operativo di di temperature tra i 200°C e i 500°C. Inoltre, la misura della conducibilità termica per miscele di sali fusi rappresenta, attualmente, ancora una sfida tecnologica.

Per quanto riguarda l'utilizzo di miscele di sali fusi combinate con materiale a cambiamento di fase (PCM), le cui proprietà possono essere incrementate tramite l'aggiunta di nanoparticelle, tale applicazione ha destato, soprattutto nell'ultimo decennio, l'interesse del mondo scientifico e, a riguardo, l'ENEA e l'Università di Perugia hanno studiato e sviluppato soluzioni avanzate per l'incremento della capacità e della conducibilità termica di tali fluidi in particolare per basse temperature di esercizio (sino a 300°C).

Nel caso dello sviluppo di nuovi coating solari per tubi ricevitori, il coating prodotto, su licenza ENEA, dalla società Archimede Solar Energy presenta ottime prestazioni foto-termiche e di stabilità per l'applicazione in

PTR_19_21_ENEA_PRG_8_C AP1	1.9 Solare termodinamico	Descrizione del progetto	pag. 3 / 11
-------------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------

impianti solari a collettori lineari a sali fusi operanti a 550°C. Per applicazioni in aria ENEA ha sviluppato e testato un coating stabile a temperature operative inferiori a 300°C.

L'analisi dello sporco delle superfici riflettenti dei collettori solari e lo sviluppo di soluzioni tecnologiche per la mitigazione di tale fenomeno, costituiscono un tema di notevole interesse nel settore del CSP. Infatti, i principali produttori di specchi per impianti CSP (ad es. Rioglass) stanno studiando ed investigando soluzioni idonee a ridurre i costi di "operazione e manutenzione" (O&M) del campo solare, con particolare riferimento alla realizzazione di specchi autopulenti e/o a basso consumo di acqua di lavaggio.

Anche la produzione scientifica relativa all'analisi teorico-sperimentale di ricevitori solari per applicazioni a media temperatura presenta uno stato dell'arte lacunoso, sia in relazione agli aspetti ottici legati all'intensità e alla distribuzione del flusso solare concentrato, sia a quelli energetici relativi alle dinamiche di scambio termico tra i vari componenti di impianto.

L'utilizzo dei sistemi CSP per la fornitura di calore di processo all'industria (nei settori alimentare, cementizio, ecc.) può rivestire un ruolo cruciale a livello nazionale ed internazionale per l'affermazione e l'ampia diffusione della tecnologia solare e, a testimonianza di ciò, si evidenzia l'istituzione di diversi comitati internazionali nell'ambito dello SHIP (Solar Heat for Industrial Processes) con la partecipazione dei principali enti di ricerca europei e degli operatori industriali del settore. Diverse analisi metodologiche sono state proposte per l'applicazione della tecnologia solare nell'ambito del calore di processo per applicazioni industriali, ma non è stato ancora sviluppato un approccio sistematico in termini di individuazione di trade-off ottimale tra tecnologia CSP e processo industriale.

Riguardo alla ibridizzazione del CSP con altre tecnologie energetiche (rinnovabili e convenzionali), esistono esperienze effettuate nel contesto di progetti europei ai quali ENEA ha partecipato anche con ruoli di primo piano (ad es. progetti 7PQ HYSOL e MATS) che hanno consentito di realizzare e sperimentare dimostratori di soluzioni integrate CSP/combustibili gassosi. L'ibridizzazione del CSP con il PV, sebbene sia una tematica di grande attualità, non è ancora supportata dalla sperimentazione su impianti dimostrativi. Inoltre, pur essendo i singoli componenti di impianto (moduli PV, componentistica CSP, sistemi di accumulo energetico, ecc.) relativamente maturi, è necessario affrontare in modo approfondito le diverse opzioni tecnologiche praticabili in relazione ai possibili scenari applicativi reali.

Obiettivi scientifici e tecnologici e progressi attesi rispetto allo stato dell'arte

Il raggiungimento dei risultati attesi dalle attività proposte permetterà di ottenere benefici per operatori ed utenti nel settore.

Nel caso dello sviluppo di fluidi termici avanzati per CSP, si prevede di conseguire i seguenti obiettivi specifici: (i) sviluppo di modelli predittivi per la valutazione delle proprietà termofisiche e di stabilità di miscele di nitrati/nitriti; (ii) studio dei fenomeni di corrosione in condizioni statiche e dinamiche; (iii) sviluppo di un sistema idoneo a misurare la conducibilità termica del fluido in funzione della temperatura. Il raggiungimento di tali obiettivi consentirà di eseguire sia un dimensionamento accurato della componentistica di impianto, sia una valutazione più affidabile dei costi di investimento, esercizio e gestione di impianto.

Per quanto riguarda le miscele di sali fusi combinati con PCM, si prevede che l'utilizzo delle nanoparticelle, l'analisi della loro compatibilità con il fluido base e l'ottimizzazione del processo di sintesi, possano condurre ad un incremento della capacità di assorbimento, trasporto e conservazione del calore, con conseguente miglioramento dell'efficienza dei sistemi CSP e della compattezza dei principali componenti di impianto.

La disponibilità di nuovi coating di tubi ricevitori per applicazioni in vuoto a 550 °C, con performance e stabilità migliorate, e per applicazioni in aria a temperature fra 300 e 500 °C, superiori allo stato dell'arte, fabbricati con processi industriali (alta produttività e basso costo), contribuirà al miglioramento delle performance di impianto ed all'affermarsi della tecnologia CSP.

Inoltre, le attività proposte consentiranno di accrescere le conoscenze scientifiche sulle dinamiche di scambio termico in ricevitori solari non evacuati operanti a media temperatura attraverso l'implementazione e la validazione di modelli ottici e termo-fluidodinamici, finalizzati allo sviluppo ed all'ottimizzazione energetica delle diverse tecnologie CSP proposte.

Lo sviluppo di specchi solari con superfici riflettenti autopulenti e/o a basso consumo di acqua di lavaggio contribuirà in maniera determinante, anche in considerazione della localizzazione dei siti di maggiore interesse in termini di disponibilità della fonte primaria, al contenimento dei costi di O&M del campo solare.

PTR_19_21_ENEA_PRG_8_C AP1	1.9 Solare termodinamico	Descrizione del progetto	pag. 4 / 11
-------------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------

Per quanto riguarda lo sviluppo di componentistica avanzata per l'accumulo dell'energia solare, si prevede di sviluppare specifici tool a servizio della progettazione e della valutazione delle prestazioni energetiche, che risulteranno fondamentali per lo scale-up del componente avanzato, dalla scala di laboratorio a quella di sviluppo industriale. Inoltre, la realizzazione di componenti innovativi per l'accumulo termico potrà contribuire alla riduzione sia dei costi di investimento di impianto CSP, sia dei costi di installazione e di esercizio.

L'impiego dei sistemi CSP per la fornitura di calore in processi industriali consentirà di investigare nuovi scenari applicativi, in linea con il processo di transizione energetica verso la decarbonizzazione del sistema produttivo grazie alla sostituzione (parziale o totale) dei combustibili tradizionali con la fonte solare. Tale applicazione presenterà ricadute positive anche in termini di accettazione sociale della tecnologia CSP, per effetto della significativa riduzione delle emissioni inquinanti caratterizzanti aree e distretti industriali.

Riguardo alla ibridizzazione del CSP con il PV verranno sviluppate metodologie e modelli integrati di impianti ibridi CSP/PV per lo studio delle soluzioni tecnologiche proposte su diverse scale e scenari applicativi reali. Tali metodologie permetteranno di identificare il posizionamento delle tecnologie ibride nell'attuale sistema energetico, evidenziando i benefici offerti da tale integrazione rispetto ai sistemi CSP o PV (con rispettivi sistemi di accumulo energetico) in termini di costi, servizi ancillari e capacità di dispacciamento dell'energia solare nella rete elettrica.

Eventuali collegamenti con altri progetti/soggetti relativamente alle attività previste dalla proposta di progetto

Alcune delle Linee di Attività proposte si basano sull'esperienza maturata da ENEA e dai co-beneficiari coinvolti nel contesto di progetti di Ricerca e Sviluppo realizzati nell'ambito di programmi nazionali e internazionali, e si pongono l'obiettivo di accrescere le conoscenze e le competenze acquisite, nonché di sviluppare soluzioni tecnologiche e di sistema avanzate per il trasferimento tecnologico alla filiera produttiva nazionale di settore e di indotto.

Nel caso dello sviluppo di fluidi termici avanzati per CSP, ENEA è coinvolta nella messa a punto di metodologie e strumenti per la misurazione della corrosione nell'ambito del progetto europeo H2020 SFERA III. Lo sviluppo e lo studio della stabilità termica di nuove miscele di sali fusi è stato affrontato da ENEA nei progetti europei H2020 ORC-PLUS e In Power.

I fluidi termici con proprietà termiche incrementate, oltre ad essere utilizzati nei sistemi CSP per il trasporto e l'accumulo di energia termica, possono trovare impiego anche in altri ambiti applicativi (civile, industriale) come, ad esempio, nel settore della produzione di calore sensibile e latente (Tema 1.2).

Nel caso dello sviluppo di nuovi coating solari per tubi ricevitori e di superfici riflettenti per specchi autopulenti, le attività di ricerca proposte potranno essere condotte in modo complementare e sinergico con il progetto SolarGrid, Programma Nazionale della Ricerca 2015-2020. Per quanto riguarda lo sviluppo di componentistica avanzata per l'accumulo dell'energia solare in impianti CSP, l'analisi dei sistemi di accumulo di energia termica termoclini con scambiatore di calore integrato verrà effettuata anche sulla base dell'esperienza maturata da ENEA nell'ambito dei progetti europei STS-Med (ENPI CBC MED) e ORC-PLUS (H2020), che hanno visto la realizzazione di prototipi su scala ridotta.

Le attività sull'utilizzo dei sistemi solari a concentrazione per la fornitura di calore di processo in applicazioni industriali permetteranno di rafforzare, capitalizzare e sviluppare ulteriormente i risultati ottenuti da ENEA nell'ambito dei progetti europei MATS (7PQ) e STS-Med, principalmente con riferimento alle analisi tecnico-economiche di impianti di dimensioni medio-grandi (> 5 MW termici) e medio-piccole (< 5 MW termici).

Per quanto attiene l'attività relativa all'ibridizzazione del CSP con altre tecnologie energetiche verranno valorizzati, messi a sistema e potenziati i risultati conseguiti nell'ambito di progetti europei quali MATS (per impianti con ciclo termoelettrico Rankine a vapore), ORC-PLUS e STS-Med (per impianti con ciclo termoelettrico Rankine tipo ORC), nei quali sono state studiate soluzioni di integrazione della fonte solare con combustibili fossili e configurazioni di impianto di tipo poli-generativo. Inoltre, le attività di integrazione CSP/PV si avvarranno anche della sinergia, in termini di attività di ricerca, che potrà essere attuata nell'ambito del progetto WOW SUN finanziato dalla Regione Sicilia (POR FESR 2014-20).

Infine, il piano triennale di ricerca previsto per il progetto Solare Termodinamico consentirà di rafforzare ed incrementare l'interazione dell'intera filiera nazionale di settore (EPR, Università, industria, associazioni di categoria) con gli organismi internazionali operanti nel settore del solare a concentrazione, quali ad esempio i

PTR_19_21_ENEA_PRG_8_C AP1	1.9 Solare termodinamico	Descrizione del progetto	pag. 5 / 11
-------------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------

TCP (Technology Collaboration Programme) dell'IEA (International Energy Agency) ed in particolare IEA SolarPACES per la quale ENEA è referente nazionale, nonché EERA – European Energy Research Alliance.

Bibliografia stato dell'arte

Non presente in allegato

Obiettivi e risultati

Obiettivi finali del progetto

L'obiettivo generale del progetto è lo sviluppo di soluzioni innovative di componenti, materiali e configurazioni di impianto idonei a determinare avanzamenti tecnologici e ricadute positive per l'utente finale e l'industria nazionale di settore, attraverso: (1) il miglioramento delle performance energetiche e la riduzione dei costi; (2) la semplificazione operativa (esercizio, installazione e manutenzione) e l'incremento della flessibilità di impianto; e (3) il miglioramento dell'affidabilità, della programmabilità della generazione elettrica e l'ampliamento dell'offerta applicativa; (iv) l'individuazione di soluzioni cogenerative e di integrazione dell'energia solare con risorse energetiche locali. Riguardo i fluidi termovettori, l'obiettivo specifico è lo sviluppo e la caratterizzazione di nuovi fluidi basati su miscele ternarie e quaternarie di sali fusi con proprietà chimico-fisiche tali da migliorarne le prestazioni nello scambio termico e ampliarne il campo di utilizzo in termini di temperature di lavoro. Verranno studiati anche "nano-fluidi" e "nano-enhanced PCM" con proprietà tali da incrementare l'efficienza e la compattezza dei sistemi CSP e sarà verificata la compatibilità tra fluidi termici e materiali e componenti di impianto in diverse condizioni di esercizio.

Riguardo la componentistica, le attività di R&D previste riguarderanno gli elementi chiave degli impianti CSP. In primo luogo verranno sviluppati coating innovativi per tubi ricevitori solari, sia di tipo evacuato, sia operativi in aria, al fine di aumentarne la stabilità e la vita utile, riducendo i relativi costi di O&M. Verranno, inoltre, studiate e validate soluzioni innovative per specchi autopulenti e/o a basso consumo di acqua di lavaggio per diminuire i costi operativi degli impianti solari. Infine, verranno analizzati sistemi di accumulo termico compatti per il rilascio controllato dell'energia solare raccolta. In particolare, saranno investigati sia sistemi innovativi di accumulo termico che utilizzano sali fusi stratificati in temperatura (termoclini) integrati con scambiatori di calore, sia sistemi di accumulo a base di zeoliti per la generazione distribuita.

Un ulteriore obiettivo riguarda l'utilizzo e l'integrazione della tecnologia CSP nei processi industriali, anche nell'ottica di una parziale sostituzione dei combustibili tradizionali con l'energia solare, per identificare soluzioni atte all'integrazione della fonte solare con i più comuni processi industriali endotermici. La principale sfida risiede nell'individuazione e nello sviluppo di tecnologie e sistemi di tipo modulare, facilmente espandibili e replicabili in contesti simili, e nella identificazione di specifiche strategie di integrazione e gestione, idonee ad assicurare stabilità di funzionamento del processo e ridotti costi operativi. A tal fine si prevede di realizzare presso il C.R. ENEA Casaccia un'infrastruttura sperimentale polifunzionale, costituita da collettori solari lineari, per investigare soluzioni e configurazioni ottimizzate per la fornitura di calore di processo a temperature compatibili con i più comuni processi industriali.

Infine verranno studiate soluzioni "ibride" in cui il CSP è integrato con altre tecnologie energetiche rinnovabili non programmabili, in particolare PV. L'obiettivo è valorizzare l'intrinseca flessibilità operativa della tecnologia CSP (con accumulo termico) capace di controllare e programmare la generazione di energia elettrica bilanciando e compensando la produzione energetica da PV, contenere il costo del kWh elettrico prodotto nonché, al tempo stesso, aumentare la "capacità" di immissione di energia elettrica da fonte solare nel sistema energetico nazionale e la flessibilità in termini di servizi di rete. Al fine di supportare le attività di gestione e controllo di impianti CSP (ibridi e non) verranno, inoltre, effettuate caratterizzazioni meteorologiche e saranno sviluppate apposite metodologie di previsione della radiazione solare.

Principali risultati attesi

PTR_19_21_ENEA_PRG_8_C AP1	1.9 Solare termodinamico	Descrizione del progetto	pag. 6 / 11
-------------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------

I risultati attesi saranno di diversa natura a seconda delle specifiche Linee di Attività in cui si articola il progetto. Dove non espressamente indicato (ad es. nel caso della realizzazione di prototipi) i risultati verranno presentati all'interno di specifici report tecnici di progetto.

Si prevede che lo studio delle miscele innovative di sali fusi (da impiegarsi come fluidi termovettori) consentirà di sviluppare un modello predittivo per il calcolo delle proprietà termofisiche delle miscele, che verrà validato mediante specifiche caratterizzazioni sperimentali che riguarderanno, tra l'altro, la stabilità chimica e la conducibilità termica. L'attività proposta sarà completata con la realizzazione di un database open-source idoneo a consentire una immediata valutazione delle proprietà delle miscele e identificare le formulazioni più promettenti per applicazioni in diverse condizioni operative.

Oltre alle miscele innovative di sali fusi, si prevede di sviluppare nuovi "nano-fluidi" o "nano-Enhanced PCM", in cui siano state incrementate sia la diffusività sia l'effusività termica al fine di rendere più efficiente lo scambio termico nei sistemi operativi a media e alta temperatura. La caratterizzazione termica di tali materiali avverrà anche con l'ausilio di prototipi asserviti allo studio dei fenomeni di trasporto del calore.

Un altro risultato atteso è rappresentato dalla identificazione dei materiali e componenti di impianto compatibili con le miscele di sali fusi investigate che presentino, nelle condizioni operative, costi inferiori rispetto allo stato dell'arte. Lo studio di compatibilità dei materiali verrà effettuato sperimentalmente in condizioni statiche e dinamiche.

Le attività sul coating solare condurranno alla realizzazione di prototipi avanzati di tubi ricevitori solari come di seguito descritto:

- tubo ricevitore operante in vuoto a 550°C, depositato su tubo di acciaio con diametro esterno 70 mm, spessore di parete 2 o 3 mm e lunghezza 60 cm;
- tubo ricevitore operante in aria alla temperatura massima di 500°C, depositato su tubo di acciaio con diametro esterno 70 mm, spessore di parete 2 o 3 mm e lunghezza 60 cm.

Le attività di ricerca e sviluppo delle superfici riflettenti porteranno alla realizzazione di un prototipo di specchio solare autopulente e/o a basso consumo d'acqua di lavaggio.

I risultati della caratterizzazione di tali componenti su scala prototipale verranno presentati nei corrispondenti report di progetto. Per l'analisi dello sporco degli specchi sarà anche sviluppata una metodologia "on-field".

Inoltre, verranno elaborati modelli teorici abbinati alla misura in campo del flusso solare concentrato e ai parametri termo-fluido dinamici del collettore, che consentiranno di sviluppare un programma di calcolo, validato sperimentalmente, per l'analisi e l'ottimizzazione di nuove soluzioni costruttive rispetto a configurazioni standardizzate.

Verranno anche definite metodologie di integrazione tra sistemi CSP per la fornitura di calore di processo ed impianti industriali operanti a diversi livelli di temperatura. A tal fine, verrà effettuata una analisi tecnico-economica e saranno condotte specifiche verifiche sperimentali. Inoltre, verrà realizzata presso il C.R. ENEA Casaccia una infrastruttura CSP da utilizzarsi per lo studio delle soluzioni proposte per la produzione di calore di processo per applicazioni industriali.

Verranno, inoltre, definite metodologie di ibridizzazione di impianti CSP con impianti PV, e sviluppati modelli numerici per simulare e ottimizzare sistemi integrati CSP/PV dotati di unità di accumulo di energia. Anche in tal caso, sarà effettuata una analisi tecnico-economica per ottimizzare il sistema ibrido CSP/PV e valutarne potenzialità applicative e prospettive future.

Verrà infine effettuata una caratterizzazione meteorologica dei siti di potenziale interesse per le suddette applicazioni e sviluppata una metodologia di previsione della radiazione solare a 24/48 ore.

Diffusione risultati

Il progetto Solare Termodinamico prevede Linee di Attività finalizzate alla diffusione dei risultati conseguiti. Oltre a ottenere ampia visibilità delle attività svolte e dei risultati raggiunti nell'ambito delle Linee di Attività in cui si articola il Piano di Lavoro triennale del Progetto Solare Termodinamico, la diffusione dei risultati permetterà di rafforzare network specialistici di esperti già esistenti, e di promuovere la creazione di nuove iniziative.

E' prevista la partecipazione a diverse iniziative internazionali nelle quali si potranno illustrare le attività e acquisire informazioni sui programmi e sulle attività internazionali dedicate alla tecnologia solare a

PTR_19_21_ENEA_PRG_8_C AP1	1.9 Solare termodinamico	Descrizione del progetto	pag. 7 / 11
-------------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------

concentrazione ed alle sue applicazioni. Tale partecipazione sarà anche propedeutica al ruolo di supporto tecnico, scientifico e programmatico svolto dall'Affidatario (ENEA) nei confronti dei Ministeri competenti. Inoltre, la partecipazione permetterà anche di estrapolare informazioni utili all'industria nazionale. E', inoltre, prevista la partecipazione a diversi eventi, quali congressi o workshop, nei quali presentare i risultati ottenuti all'interno del Programma di Ricerca. I risultati più significativi saranno divulgati tramite la pubblicazione su riviste scientifiche con il metodo della "peer review".

In particolare, l'attività di diffusione dei risultati avverrà attraverso le seguenti modalità:

- preparazione e diffusione di materiale divulgativo sotto forma di articoli scientifici su riviste tecniche specializzate (nazionali e internazionali), capitoli di libri, poster e brochure;
- organizzazione di workshop ed eventi tematici con la partecipazione di tutti gli attori coinvolti a vario titolo e livello nel settore del solare a concentrazione (EPR, Università, Industria, Associazioni di categoria, Decisori politici, ecc.);
- interazione tra l'ENEA e i co-beneficiari (Università Italiane);
- partecipazione a conferenze e workshop;
- partecipazione a gruppi di lavoro specifici nell'ambito dei principali organismi nazionali ed internazionali di riferimento (CEI, UNI, IEA - International Energy Agency TCP (Technology Collaboration Programmes), EERA - European Energy Research Alliance, IEC, etc).

Ricercatori ENEA ed Universitari saranno impegnati nella preparazione degli elaborati divulgativi. Risorse umane ed economiche verranno, pertanto, destinate alla partecipazione a conferenze e workshop nazionali ed internazionali per la presentazione dei risultati della ricerca (incluse le spese di missione e di iscrizione) ed alla pubblicazione dei risultati più significativi su riviste specializzate.

TRL iniziale

2

TRL finale

7

Livelli di Maturità Tecnologica (TRL) secondo la Commissione Europea

Il progetto Solare Termodinamico si articola in diverse Linee di Attività (LA) ciascuna delle quali presenta un proprio specifico piano di sviluppo nel corso dell'intero progetto. Nella maggior parte dei casi, si parte da formulazioni concettuali (TRL 2) che verranno analizzate e validate sperimentalmente in laboratorio e/o attraverso la realizzazione di prototipi su scala ridotta (TRL 4-6). Verranno, inoltre, sviluppati modelli e strumenti per analizzare le performance, la rilevanza delle tecnologie e delle soluzioni investigate e la loro fattibilità in specifici contesti applicativi, al fine di favorirne il trasferimento tecnologico e la successiva industrializzazione, nonché l'integrazione con altri sistemi energetici (ad es. ibridizzazione solare a concentrazione e fotovoltaico).

Nel caso delle LA riguardanti i fluidi termici avanzati per CSP (Concentrated Solar Power), di particolare interesse scientifico ed industriale è lo sviluppo di nuovi fluidi termovettori che presentino migliori proprietà termofisiche, agevole applicazione su scala industriale, compatibilità con i materiali e componenti di impianto, e minori costi. A tale riguardo, saranno condotte specifiche caratterizzazioni a livello di laboratorio al fine di creare un data-base con dati e informazioni utili all'implementazione di tool predittivi idonei alla valutazione dell'applicabilità dei fluidi selezionati. Per quanto riguarda i fluidi termici con proprietà incrementate tramite aggiunta di opportune nanoparticelle, dapprima si effettuerà la sintesi e la caratterizzazione in laboratorio (TRL 3) e, successivamente, la validazione in un ambiente con caratteristiche operative simili a quelle reali (prova di scambio termico mediante l'impianto ATES presente presso il C.R. ENEA Casaccia, TRL = 4-5).

Con riferimento allo sviluppo di nuovi coating solari per tubi ricevitori, la prima fase dell'attività riguarderà la validazione in laboratorio delle soluzioni tecnologiche più idonee per applicazioni in vuoto a 550 °C e in aria tra 300 e 500 °C (TRL 4). L'attività proseguirà con la realizzazione di alcuni prototipi di coating solari fabbricati con processi di deposizione d'interesse industriale su substrato tubolare (TRL 7).

Nel caso dello sviluppo di nuove superfici riflettenti per collettori solari, a partire dalla elaborazione

PTR_19_21_ENEA_PRG_8_C AP1	1.9 Solare termodinamico	Descrizione del progetto	pag. 8 / 11
-------------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------

concettuale più idonea alla realizzazione di specchi autopulenti e/o a basso consumo di acqua di lavaggio (TRL 2) si proseguirà con la validazione sperimentale in laboratorio della soluzione più promettente sino a realizzare un prototipo su scala ridotta (TRL 4-5).

Per quanto riguarda lo sviluppo di componentistica avanzata per l'accumulo dell'energia solare per impianti CSP, l'attività di ricerca avrà inizio con l'esecuzione di prove di concetto sperimentale (TRL 3) per analizzare e validare le tecnologie in condizioni operative rilevanti per applicazioni industriali (TRL = 4-5).

Le attività di sviluppo dei sistemi solari a concentrazione per la fornitura di calore di processo prevedono, dapprima, elaborazioni concettuali (TRL 2), successivamente la validazione della tecnologia, dei componenti e dei processi selezionati mediante l'esecuzione di specifiche prove sperimentale in laboratorio e, infine, la realizzazione di una infrastruttura prototipale presso il C.R. ENEA Casaccia per la produzione di calore di processo asservito ad applicazioni industriali (TRL 5).

Infine, le attività di ricerca sull'ibridizzazione del CSP con il PV si svilupperanno a partire dalla conoscenza e dall'esperienza acquisita da ENEA con la sperimentazione, gestione ed esercizio di dimostratori CSP realizzati nell'ambito di diversi progetti europei (TRL 4-6), per elaborare, successivamente, soluzioni, strategie e configurazioni idonee all'integrazione CSP/PV su scala rilevante (TRL 7), sebbene in assenza di una dimostrazione sperimentale.

Impatto sul sistema elettrico e benefici attesi

Impatto sul sistema elettrico nazionale

La modernizzazione del sistema elettrico è indispensabile per rispondere alle sfide che derivano da una sempre crescente penetrazione delle FER nella rete elettrica, dall'incremento della domanda di energia elettrica, e dalla richiesta di flessibilità del sistema di generazione e del carico. Il settore elettrico è, dunque, al centro di questo processo, grazie all'efficienza intrinseca del vettore elettrico e alla maturità tecnologica delle FER.

L'incremento delle FER, per loro natura non programmabili, la dismissione degli impianti termoelettrici ed i cambiamenti climatici hanno impatti significativi sulle attività di gestione della rete in termini di possibili disservizi, regolazione della tensione e adeguatezza del sistema. In questo contesto la sfida degli operatori di rete è di garantire, in ogni istante, il bilanciamento tra produzione e domanda di energia elettrica così da assicurare il trasporto dell'energia lungo la filiera in modo sicuro, adeguato, efficiente, costante e affidabile. In questo contesto gli impianti CSP con accumulo termico, così come l'integrazione con altre fonti energetiche, possono dare un importante contributo grazie alle loro caratteristiche intrinseche di dispacciabilità e flessibilità.

Il progetto, nel suo complesso, punta a minimizzare i costi di investimento, di esercizio e manutenzione, nonché ad accrescere la flessibilità, l'affidabilità, l'eco-compatibilità e l'efficienza delle innovazioni proposte in termini di tecnologie, prodotti e configurazioni di sistema, anche nell'ottica di ampliare l'offerta di servizi ancillari erogabili al sistema elettrico.

In particolare, i risultati ed i prodotti della ricerca potranno essere di utilità in termini di servizi funzionali al sistema elettrico, considerato il ruolo che la tecnologia CSP può svolgere per garantire la dispacciabilità dell'energia prodotta ed il bilanciamento del binomio produzione-domanda.

A riguardo il progetto intende studiare soluzioni ibride CSP/PV e le relative strategie operative per incrementare l'immissione di energia solare nella rete elettrica, in modo programmabile e, quindi, con un ridotto impatto sulla gestione della rete stessa e con costi contenuti ed inferiori rispetto a quelli di un sistema PV con accumulo elettrochimico.

Un ulteriore beneficio, anche in termini di riduzione delle emissioni inquinanti, potrà essere ottenuto con la decarbonizzazione del settore industriale mediante l'utilizzo di calore prodotto da sistemi CSP per applicazioni in processi industriali energivori (tecnologie SHIP).

Inoltre, lo sviluppo e la diffusione delle tecnologie di produzione di calore di processo consentiranno applicazioni nel campo del tele-riscaldamento/raffrescamento di distretti civili e industriali con una conseguente riduzione dei carichi sulla rete elettrica per il condizionamento ambientale. Va evidenziato come le tecnologie proposte permettano anche la raffinazione/produzione di combustibili ad elevato valore energetico (rispetto alle materie prime trattate) mediante processi di conversione che utilizzano fonte termica solare; tale approccio consentirebbe, infatti, di generare ed accumulare combustibili sintetici come back-up stagionale in un'ottica di ibridizzazione, introducendo in tal modo una maggiore flessibilità e stabilità del

PTR_19_21_ENEA_PRG_8_C AP1	1.9 Solare termodinamico	Descrizione del progetto	pag. 9 / 11
-------------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------

sistema energetico.

Infine, il sistema elettrico nazionale potrà beneficiare delle ricadute positive derivanti dall'avanzamento tecnologico associato alle attività del progetto ed inerente allo sviluppo di nuovi materiali e componenti, alla definizione di configurazioni innovative di sistema e di soluzioni co-generative e ibride che possano favorire l'ulteriore penetrazione delle FER in rete, e valorizzare le specificità, potenzialità e funzionalità (in termini di servizi) della tecnologia solare a concentrazione in un contesto energetico sempre più basato sulla generazione distribuita e l'utilizzo delle FER.

Benefici per gli utenti

I benefici attesi per gli utenti sono legati, in generale, ad una maggiore disponibilità di sistemi di produzione di energia e servizi più performanti che potrebbero ridurre e/o differire gli investimenti in infrastrutture, ed incrementare al tempo stesso i livelli di flessibilità e affidabilità della rete e del sistema energetico nel suo complesso. In particolare, le attività di ricerca e sviluppo proposte nel progetto Solare Termodinamico puntano sinergicamente alla riduzione dei costi, al miglioramento delle performance (efficienza, affidabilità e semplificazione operativa), all'erogazione di servizi ed all'ampliamento degli ambiti applicativi (co-generazione di energia, processi industriali, sistemi ibridi, etc.) della tecnologia proposta. Tali azioni concorreranno alla riduzione del costo dell'energia (€/kWh) per l'utente finale, che potrà determinarsi anche attraverso una maggiore diffusione della tecnologia nell'ambito di nuovi scenari applicativi, come quello della generazione di calore di processo per applicazioni industriali.

Oltre alla riduzione nel medio-lungo termine del costo dell'energia, le attività proposte nel progetto Solare Termodinamico concorreranno a soddisfare le esigenze degli utenti in termini di accesso alle FER non programmabili (solare) anche in fasce orarie con carenza delle stesse risorse energetiche. Tali benefici potranno infatti essere conseguiti attraverso lo sviluppo e l'applicazione di sistemi avanzati per l'accumulo dell'energia solare e dalla ibridizzazione del CSP con la tecnologia fotovoltaica. Ulteriori benefici per gli utenti saranno di tipo ambientale. In primo luogo, l'introduzione di nuovi fluidi termovettori a base di sali fusi comporterà (rispetto all'utilizzo dei comuni olii diatermici) benefici di tipo ambientale nei siti presso cui verranno realizzati gli impianti CSP. L'utilizzo di materiali e fluidi con basso impatto ambientale è infatti requisito essenziale per l'accettabilità sociale della tecnologia solare. Inoltre, il progetto supporterà l'introduzione di tecnologie solari termiche più efficienti in grado di ridurre il ricorso all'energia elettrica in applicazioni distribuite di piccola taglia destinate sia alla climatizzazione degli ambienti, sia alla produzione di calore di processo per uso industriale senza emissioni inquinanti nei siti industriali considerati. La totale o parziale sostituzione dei combustibili tradizionali con la fonte termica solare concorrerà alla riduzione delle emissioni inquinanti locali (monossido di carbonio, ossidi di azoto, polveri sottili, ecc.) migliorando così l'ambiente in prossimità degli impianti di generazione energetica.

Previsione delle ricadute applicative

Il progetto Solare Termodinamico consentirà lo sviluppo di nuove conoscenze e competenze nel settore dei materiali, dei componenti e dell'ingegneria di sistema, nonché di prodotti e configurazioni di impianti, che potranno contribuire ad accrescere la competitività internazionale dell'intera filiera nazionale (ricerca e industria) del settore.

ENEA ed i soggetti co-beneficiari coinvolti nel PTR 2019-2021 svilupperanno competenze e know-how specifici (anche in termini di metodologie, modelli, tool, database, ecc.) che potranno essere successivamente capitalizzate attraverso il trasferimento tecnologico al settore industriale per la loro valorizzazione in campo applicativo. Alla fine del triennio (2019-21) è, quindi, auspicabile che alcuni risultati e prodotti della ricerca possano essere oggetto di un'ulteriore fase di ingegnerizzazione, in collaborazione con partner industriali, al fine di orientare al meglio le innovazioni prodotte verso possibili scenari applicativi.

La multidisciplinarietà ed interdisciplinarietà delle attività di ricerca e sviluppo proposte nell'ambito del progetto (dalla scienza dei materiali all'ingegneria di sistema, dall'integrazione tra fonti energetiche all'immissione di energia programmata in rete, ecc.), nonché la varietà delle opzioni applicative studiate ed analizzate

PTR_19_21_ENEA_PRG_8_C AP1	1.9 Solare termodinamico	Descrizione del progetto	pag. 10 / 11
-------------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------

(co-generazione distribuita, calore di processo per applicazioni industriali, configurazioni ibride, ecc.) permetteranno di ottenere ricadute positive in diversi settori applicativi nell'ambito dei quali sarà possibile valorizzare la capacità della filiera produttiva nazionale, principalmente basata su Piccole-Medie Imprese (PMI), per l'industrializzazione dei prodotti. E' da osservare come il settore del Solare Termodinamico può avvalersi di un tessuto industriale nazionale di aziende che producono alcuni dei componenti chiave di tipo "HiTech" (tubi ricevitori, specchi, collettori, ecc.) dei sistemi CSP, e che potrebbero beneficiare dei risultati conseguiti dal progetto per ampliare la propria offerta con prodotti innovativi rafforzando, in tal modo, la competitività internazionale dell'industria nazionale in questo settore.

Durante lo svolgimento del progetto si trasferiranno, inoltre, mediante l'organizzazione di workshop tematici e la partecipazione a congressi nazionali ed internazionali di settore, informazioni di dettaglio sullo stato di avanzamento dei risultati e dei prodotti della ricerca, e sulle soluzioni ritenute più promettenti dal punto di vista del trasferimento tecnologico e della successiva industrializzazione.

Verifica dell'esito del Progetto

Oggetti e documentazione dei risultati finali

I risultati del progetto Solare Termodinamico, ottenuti nell'ambito delle specifiche Linee di Attività proposte, verranno documentati attraverso report tecnici (comprendenti linee guida, manuali operativi, specifiche tecniche, business model) e/o prodotti e/o prototipi realizzati. Complessivamente verranno prodotti 50 report tecnici con la descrizione dei risultati ottenuti, classificabili nel seguente modo:

- caratterizzazione sperimentale delle miscele di sali fusi (n. 5 report)
- modelli predittivi delle proprietà chimico-fisiche delle miscele di sali fusi (n. 2 report)
- database open-source con le proprietà delle miscele dei sali fusi (n. 1 report)
- compatibilità tra sali fusi e materiali da costruzione (n. 4 report)
- sintesi e caratterizzazione di materiali tipo "nano enhanced PCM" (n. 6 report)
- sviluppo di coating innovativi per tubi ricevitori (n. 5 report)
- sviluppo di specchi autopulenti e/o a basso consumo di acqua di lavaggio (n. 3 report)
- metodologie di analisi e caratterizzazione di collettori solari (n. 3 report)
- analisi e modellazione di sistemi avanzati di accumulo dell'energia solare (n. 5 report)
- sviluppo di sistemi solari a concentrazione per la fornitura di calore di processo (n. 4 report)
- realizzazione di un prototipo di sistema solare a concentrazione per la fornitura di calore di processo (n. 3 report)
- sviluppo, analisi e modellazione di tecnologie ibride CSP/PV (n. 4 report)
- analisi e caratterizzazione meteorologica (n. 3 report)
- disseminazione dei risultati della ricerca (n. 2 report)

Ai report di progetto si aggiungono i diversi componenti e prototipi di impianto che saranno sviluppati durante il progetto, tra cui:

- tubo ricevitore solare con coating operante in vuoto a temperatura di 550°C, depositato su tubo di acciaio;
- tubo ricevitore solare con coating operante in aria a temperatura massima pari a 500°C, depositato su tubo di acciaio;
- campioni di superficie riflettente autopulente e/o a basso consumo d'acqua di lavaggio (2021);
- impianto sperimentale per la fornitura di calore di processo (2021);
- tool software per il calcolo della producibilità di impianti ibridi CSP/PV;
- tool predittivi per la valutazione dell'applicabilità dei fluidi termovettori innovativi selezionati;
- prototipo di radiometro totalmente automatizzato per la misura della radiazione solare concentrata su sistemi a concentrazione con ricevitore a geometria cilindrica, dotato di funzionalità avanzate.

Elementi per la verifica finale del progetto

Gli elementi per la verifica finale del progetto sono rappresentati dai risultati e dai prodotti delle attività di ricerca previste nell'ambito del progetto triennale. Il primo aspetto riguarda la valutazione obiettiva dei risultati ottenuti nel corso del piano triennale di attuazione, in termini di azioni realizzate, destinatari raggiunti, risorse

PTR_19_21_ENEA_PRG_8_C AP1	1.9 Solare termodinamico	Descrizione del progetto	pag. 11 / 11
-------------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------

coinvolte e modalità di gestione rispetto a quanto preventivato in fase di ammissibilità. Il secondo riguarda, invece, l'analisi dell'efficacia dei risultati, cioè la corrispondenza dei risultati ottenuti con quelli previsti all'inizio del progetto. Questa verifica potrebbe essere effettuata tramite una analisi dei dati/informazioni basata sulle concordanze/discordanze dei diversi interlocutori: beneficiari diretti, referenti, gestori del progetto, docenti universitari, ecc.

La verifica dei risultati finali del progetto potrà essere effettuata nel dettaglio attraverso la valutazione dei report tecnici elaborati, nei quali sarà riportata in modo esaustivo e completo la descrizione dei risultati ottenuti, e dei prodotti e prototipi realizzati e caratterizzati sperimentalmente.

In particolare, nel caso dei prodotti, prototipi e strumenti sviluppati, sarà possibile effettuare verifiche prestazionali e/o funzionali presso i luoghi (centri di ricerca, laboratori, etc.) dove gli stessi sono stati sviluppati e caratterizzati e dove saranno resi disponibili per verifiche ed eventuali ulteriori validazioni sperimentali.

Coordinamento tra gli affidatari

Il progetto prevede attività in sovrapposizione con gli altri affidatari?

NO

Coordinamento tra gli affidatari

Immagini allegate:

Non presenti in allegato

Coordinamento affidatari:

Non presente in allegato