

PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2019-21 - RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE
Progetti di ricerca di cui all'art. 10 comma 2, lettera a) del decreto 26 gennaio 2000

AFFIDATARIO 1

Tema - Titolo del progetto: **1.9 Solare Termodinamico**

Durata: **36 mesi**

Semestre n. 3 – Periodo attività: 01/01/2020 – 30/06/2020

ABSTRACT ATTIVITA' SEMESTRALE:

L'attività di ricerca svolta nel primo semestre del 2020, nell'ambito del progetto 1.9 "Solare Termodinamico", ha permesso di iniziare nuove linee di attività all'interno delle macro-tematiche in cui è strutturato il progetto. Alcune di queste attività di ricerca iniziate a Gennaio 2020 sfruttano i risultati ottenuti in corrispondenti linee di attività concluse nel 2019. Nel primo semestre del 2020 sono anche iniziate linee di attività su nuove tematiche che, oltre all'ENEA, hanno coinvolto, come co-beneficiari, sette Università Italiane.

In primo luogo, fin da Gennaio 2020 sono proseguite le attività di sviluppo di materiali e componenti innovativi, tra cui: fluidi termici, tubi ricevitori, superfici riflettenti, sistemi di accumulo termico. Ulteriori sviluppi sono stati prodotti sugli studi d'integrazione di sistema, riguardanti l'introduzione della tecnologia in casi applicativi d'interesse Nazionale, tra cui i contesti industriali energivori e l'ibridizzazione con fonti e tecnologie rinnovabili "non programmabili" come il fotovoltaico; sono inoltre proseguiti gli studi di caratterizzazione e previsione meteo climatica, per la validazione di metodologie utili all'analisi delle prestazioni e alla gestione d'impianti solari a concentrazione.

Dalla prima metà di Marzo 2020, le attività di ricerca iniziate a Gennaio 2020, da parte di ENEA e dei co-beneficiari, hanno subito un brusco rallentamento a causa dell'emergenza sanitaria. Ciononostante è stato possibile conseguire risultati parziali utili al raggiungimento degli obiettivi previsti nel semestre successivo.

ATTIVITA' SVOLTE	
AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO	SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO
ENEA	<p>Durante il 1° semestre del 2020 sono proseguiti gli studi di ENEA sulla tematica riguardante lo sviluppo di fluidi termici avanzati per CSP.</p> <p>La prima linea di attività sui fluidi termici innovativi svolta da ENEA nel 1° semestre del 2020 ha trattato la "caratterizzazione termodinamica e chimico-fisica di nuove miscele bassofondenti di sali fusi" (LA1.2). Obiettivo iniziale era quello di sviluppare modelli che permettano di determinare le proprietà termofisiche delle miscele (calore specifico, viscosità, conducibilità termica, densità) a partire da quelle dei singoli componenti di cui sono costituite. E' stato pertanto necessario scegliere il numero e la natura di questi componenti, focalizzandosi su composti di maggiore interesse applicativo nel campo CSP, quali nitrati di sodio, potassio, litio e</p>

calcio e il sodio nitrito. Sono state pertanto individuate le tecniche e le apparecchiature necessarie, ed è stato stimato il conseguente tempo di analisi. È stata anche raccolta la letteratura scientifica già presente su questi argomenti.

La seconda linea di attività sui fluidi termici innovativi svolta da ENEA nel 1° semestre del 2020 ha riguardato la “valutazione della stabilità chimica di nuove miscele di sali fusi bassofondenti” (LA1.3). La prima parte del lavoro è stata dedicata alla scelta dell'apparecchiatura sperimentale da utilizzare: è stata identificata una facility, sviluppata nell'ambito di un precedente progetto europeo, che consente, attraverso agitazione meccanica, di omogeneizzare le miscele in maniera tale da effettuare test a temperatura costante e controllata. Prima di iniziare l'attività sperimentale, è stato anche necessario pianificare i necessari interventi sull'apparecchiatura, per permettere un funzionamento a elevate temperature per lunghi periodi.

Un'altra linea importante e nuova linea di attività iniziata da ENEA nel 1° semestre del 2020 consisteva in “studi di compatibilità di nuove miscele di sali fusi con leghe metalliche in condizioni statiche” (LA1.5). Come attività propedeutica all'inizio effettivo dei test previsti, il primo periodo di attività è stato dedicato all'approvvigionamento di provini di acciaio da testare. Inoltre, sono stati definiti i metodi di preparazione, tra cui la definizione delle dimensioni e del numero di campioni da inserire nell'apparecchiatura sperimentale. Un'altra parte dell'attività svolta nel primo semestre è stata svolta in collaborazione con l'Università di Tor Vergata (LA1.7) per la definizione delle procedure di pre e post trattamento dei campioni, e del tipo di analisi metallografici da effettuare. Infine, è stata sviluppata l'apparecchiatura necessaria per i test in condizioni statiche, includendo un sistema appositamente costruito per l'alloggio dei provini, che permette di effettuare in tempi rapidi l'inserimento e il prelievo degli stessi campioni.

Infine, sempre sui fluidi termici avanzati, e in continuità con le attività svolte nel 2019, da Gennaio 2020 è stata avviata una linea di attività sulla “realizzazione di dispositivi per l'analisi dello scambio termico in Nano Fluidi e/o Nano Enhanced PCM” (LA1.15). In particolare, è stato studiato un prototipo di dispositivo elementare di accumulo termico con capsule a base di Nano Enhanced PCM (NEPCM), con lo scopo di analizzare le modalità di scambio termico tra fluido termovettore e NEPCM. Per la realizzazione della sperimentazione, è stata inoltre svolta un'analisi delle possibili condizioni operative ed effettuato il dimensionamento geometrico delle capsule e le verifiche di tenuta meccanica per sovrappressione interna dovuta alle dilatazioni termiche dei sali nel cambiamento di fase. È stato quindi dimensionato un dispositivo elementare (a una e tre file di capsule) con valutazione delle perdite di calore, delle condizioni fluidodinamiche e il calcolo della coibentazione necessaria. Infine, è stata effettuata un'analisi FEM del comportamento termico di una singola capsula con verifica delle dinamiche di trasmissione del calore (tempi di carico e scarico).

Oltre allo sviluppo di fluidi termici avanzati per CSP, nel 1° semestre del 2020 sono proseguite le attività di sviluppo di specifici componenti avanzati per CSP, tra cui tubi ricevitori e specchi.

Per quanto riguarda i **tubi ricevitori**, a Gennaio 2020 è stata avviata una linea di attività sullo sviluppo di “materiali innovativi per coating ad alta stabilità in aria in tubi ricevitori non evacuati” (LA1.18), ossia per applicazioni in aria nell'intervallo di temperatura 300-500°C. Nel 1° semestre 2020 è quindi iniziato lo sviluppo del processo di fabbricazione, ad alta velocità di deposizione, di materiali a base di leghe metalliche auto-passivanti da impiegarsi nel riflettore a infrarosso, mediante processo di sputtering a partire da un target di tungsteno (W), cromo (Cr) e titanio (Ti). Quattro film di W-Cr-Ti di diverso spessore sono stati depositati, analizzati (XRF, XRD e morfologica SEM/AFM) e sottoposti a trattamento termico in aria a 500 °C per 29 giorni. L'analisi ottica ha mostrato che la riflettanza dei quattro campioni si abbassava dopo ogni trattamento termico, a testimonianza di un fenomeno di ossidazione. Il passo successivo è stato quello di ricoprire i film di W-Cr-Ti con un film di allumina (Al_2O_3): è stato depositato un film di Al_2O_3 (100 nm) al di sopra dello strato W-Cr-Ti (500 nm). In tal caso, dopo aver sottoposto la struttura ottenuta a trattamento termico in aria a 500°C per 19 giorni, l'analisi ottica ha fornito risultati incoraggianti.

Per quanto riguarda gli **specchi**, nel 2020 sono proseguiti gli sviluppi iniziati nel 2019 con lo sviluppo di “tecniche di trattamento e/o fabbricazione di rivestimenti per specchi autopulenti”

(LA1.23). In particolare, nel 1° semestre del 2020 è stato messo a punto il protocollo di fabbricazione di film sottili idrofobici trasparenti di polisilsesquiosani a contenuto variabile di gabbie poliedriche (deposizione per spinning e casting dei polimeri selezionati e loro caratterizzazione chimico-fisica). E' stato inoltre messo a punto il protocollo di fabbricazione di film sottili idrofilici trasparenti di polimeri poli-conduttivi a bagnabilità elettro-modulabile e/o fotocatalitici. Infine, nel 1° semestre del 2020 è stata svolta un'attività di caratterizzazione delle proprietà autopulenti (fotocatalitiche) di nitruri, ossinitruri di alluminio e CERMET ottenuti per sputtering.

Nel 1° semestre del 2020 l'ENEA ha inoltre iniziato alcune attività mirate alla "messa a punto dispositivo per la misura del flusso solare concentrato in collettori a media temperatura" (LA1.26). Si tratta di un dispositivo prototipale per la mappatura del flusso solare concentrato in collettori di piccola taglia a media temperatura, caratterizzati da ricevitori a geometria cilindrica.

Oltre allo sviluppo di materiali e componenti innovativi per CSP, fin dall'inizio del 2020 sono proseguite le attività di ENEA sull'integrazione della tecnologia del Solare Termodinamico nel sistema energetico Nazionale.

Sono pertanto proseguiti gli studi riguardanti l'applicazione della tecnologia CSP alla fornitura di **calore di processo per applicazioni industriali**, per la "determinazione del costo del kWh termico per taglie d'impianto e livelli termici differenti" (LA1.33). Nel 1° semestre del 2020, ai fini della determinazione del costo del calore di processo prodotto (€/kWh termico), sono stati selezionati e analizzati alcuni settori e processi industriali in cui è richiesto calore a temperatura alta (HT: 400-550 °C) e media (MT: 200-400°C). In particolare l'analisi è stata avviata considerando le seguenti applicazioni: i) gesso, per la calcinazione (HT) ed essiccamento (MT); ii) ceramica, per l'atomizzazione (HT); iii) raffinazione dell'olio, per la deodorizzazione, con la fornitura di vapore ad alta (HT) e media pressione (MT). La taglia degli impianti analizzati è compresa nell'intervallo tra 5 e 10 MW termici. Per ogni applicazione sono stati elaborati gli schemi di processo, è stato effettuato il dimensionamento dell'impianto solare e delle apparecchiature di accoppiamento (scambiatori di calore e/o evaporatori) e sono state condotte analisi tecnico-economiche considerando diversi scenari geografici.

Sempre nell'ambito della macro-tematica della fornitura di calore di processo per applicazioni industriali, nel 2020 sono iniziati i lavori per la realizzazione di "un impianto solare a concentrazione sperimentale dedicato presso ENEA-Casaccia" (LA1.36). A tal fine, nel 1° semestre del 2020 è stata effettuata la progettazione preliminare dell'impianto denominato "ENEA-SHIP", comprensiva di una ricognizione dei potenziali fornitori dei componenti e sotto-sistemi d'impianto. E' stato inoltre avviato il bando di gara per la creazione dell'interfaccia funzionale tra la nuova infrastrutturale sperimentale e il preesistente impianto PCS. Inizialmente è stata definita l'architettura di sistema, tenendo conto sia degli obiettivi specifici dell'attività (simulazione del funzionamento d'impianti solari a media temperatura connessi con utenza industriale), sia di potenziali future applicazioni (predisposizione all'integrazione di nuovi collettori/stoccaggi termici/interfacce di processo). Successivamente è stata effettuata una progettazione di massima dei singoli componenti d'impianto e dei sotto-sistemi elettrici/elettronici/acquisizione dati.

Sempre nell'ambito dell'integrazione della tecnologia CSP nel tessuto energetico nazionale, nel 2020 sono proseguite le attività di "analisi tecnico-economica preliminare di **impianti ibridi CSP/PV**" (LA1.39). Sulla base della metodologia d'integrazione tra le due tecnologie sviluppata dall'ENEA nel 2019, sono stati analizzati alcuni casi studio d'interesse Nazionale. Sono stati presi in esame i profili orari di carico elettrico su base nazionale (forniti da Terna) ed è stata ottimizzata l'integrazione CSP/PV in modo tale da massimizzare la copertura dello stesso carico (su base annuale) con la fonte solare. Nel 1° semestre del 2020 tale metodologia è stata quindi testata, considerando un "anno tipico" con la radiazione solare su un sito di riferimento situato in Sicilia. In quest'analisi preliminare sono stati presi in esame impianti ibridi CSP/PV con potenza installata complessiva di 40-50 MWe e tecnologia a sali fusi in collettori parabolici lineari fino a 550°C, secondo esperienza ENEA. I risultati preliminari hanno mostrato come

	<p>l'impianto ibrido CSP/PV, ottimizzato, permette di coprire con la sola fonte solare fino al 67% di un tipico profilo di carico (variabile) richiesto dal gestore di rete. Tale risultato è particolarmente interessante in considerazione della forte variazione stagionale, in Italia, dell'intensità della fonte solare (ad es. tra inverno ed estate) e della variazione giorno/notte del carico elettrico.</p> <p>Infine, nel 2020 sono proseguite le attività di ricerca sulla tematica della caratterizzazione meteoroclimatica, iniziate nel 2019, con la "definizione di anni tipici per la caratterizzazione meteoroclimatica (LA1.43). Per stabilire il potenziale solare radiativo di una località prescelta per l'installazione di un impianto energetico che sfrutti la fonte solare, è utilizzabile la serie temporale di 12 anni di dati dell'irradianza globale orizzontale (GHI), diretta normale (DNI) e di quella diretta riferita all'orientazione della superficie captante con diverse risoluzioni temporali (oraria, giornaliera, giornaliera media, mensile, annuale) estratti dalle mappe d'irradianza prodotte dall'ENEA, elaborando le immagini satellitari di copertura nuvolosa. Tali mappe sono acquisite dall'European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT) con frequenza di una ogni quarto d'ora; per i propri scopi l'ENEA utilizza un ritaglio che copre l'intera superficie del territorio italiano. Nel 1° semestre del 2020, sono state scelte 12 di località Italiane del centro-sud. Per 6 di queste è stato calcolato l'anno tipo meteorologico che rappresenta la base per la stima della produttività energetica di un impianto CSP.</p>
<p>Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"</p>	<p>Nel 1° semestre del 2020, l'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" ha iniziato la propria linea di attività riguardante le "analisi metallografiche dei materiali esposti a nuove miscele di sali fusi in condizioni statiche" (LA1.7). Il primo periodo di attività è stato dedicato alla pianificazione, in collaborazione con ENEA (LA1.5), delle procedure di pretrattamento e post-analisi per i campioni metallici da sottoporre a prove di compatibilità con miscele di sali fusi in condizioni statiche (acciaio inox austenitico, acciaio inox ferritico, acciaio a contenuto intermedio di cromo, acciaio al carbonio). Le metodologie individuate includono il lavaggio con acqua dei provini per eliminare il sale, l'asciugatura degli stessi e il trattamento di una cross-section con acidi diluiti per avere una misurazione efficace dello spessore e della natura dello strato di ossido eventualmente formatosi. In particolare, si è verificato che in questo modo possono essere rilevati fenomeni di descaling, disomogeneità dello strato protettivo ed eventuali attacchi intergranulari. Nello stesso periodo, sono state identificate le apparecchiature e i tipi di analisi da effettuare con SEM/EDS e analisi diffrattometrica XRD.</p>
<p>Università "La Sapienza" Dip. Ing. Chimica, Materiali, Ambiente</p>	<p>Nel 1° semestre del 2020, il Dipartimento di Ingegneria Chimica, Materiali, Ambiente dell'Università "La Sapienza" ha iniziato la propria linea di attività sull'"ottimizzazione geometrica di un dispositivo sperimentale per la misura della conducibilità termica" (LA1.9) riferita ai fluidi termici per CSP. In primo luogo, rispetto a quanto proposto in letteratura, mediante tecniche CFD è stato proposto un miglioramento della metodologia di stima della conducibilità termica a partire dal dato sperimentale. Inoltre, sono state determinate geometria e dimensioni della cella di misura al fine di garantire l'assenza di fenomeni convettivi e al tempo stesso ottenere rapidi tempi di misura, facile assemblaggio e agevole pulizia della cella stessa. Sono stati individuati i materiali adatti alla realizzazione, a costi contenuti, dell'apparecchiatura in grado di operare alle temperature d'interesse dei sali fusi: il vetro è stato pertanto sostituito con quarzo fuso (che può lavorare ad temperature fino 1000°C) che è anche un ottimo isolante elettrico per l'isolamento elettrico dello strato scaldante. Infine, sono stati individuati i punti di misura di temperatura più adatti per il conseguente sviluppo e messa a punto di modelli dettagliati (CFD) e semplificati per la corretta interpretazione del dato sperimentale.</p>
<p>Università di Perugia Dip. Ing. Civile e Ambientale</p>	<p>Nel 1° semestre del 2020, il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Perugia ha iniziato la propria linea di attività sulla "sintesi e caratterizzazione di Nano Fluidi e/o Nano Enhanced PCM per applicazioni a medio-bassa e media temperatura" (LA1.13). In particolare, sulla base di quanto ottenuto da ENEA nel 2019 (LA1.12), è stata svolta una caratterizzazione termica dei sali di base da utilizzare (KNO_3, $NaNO_3$, $LiNO_3$) tramite analisi al DSC con 2 cicli di riscaldamento/raffreddamento tra $-10^\circ C$ e $+370^\circ C$, con calcolo delle temperature caratteristiche e delle entalpie di trasformazione. Sono inoltre state reperite le cariche di metalli/ossidi da utilizzare come additivi alle miscele di sali individuate: nello specifico sono state indagate nanoparticelle di rame, bronzo, titanio/ossido con satelliti e titanio. Le cariche reperite sono state oggetto di caratterizzazione morfologica micrografica.</p>

<p>Politecnico di Torino Dip. Energia</p>	<p>Nel 1° semestre del 2020, il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino ha iniziato due linee di attività a supporto dello sviluppo di componentistica avanzata per CSP: tubi ricevitori solari e sistemi innovativi di accumulo termico.</p> <p>Per quanto riguarda lo sviluppo dei tubi ricevitori, il Politecnico di Torino ha iniziato l'attività di "analisi delle prestazioni termiche di ricevitori con coating selettivi a bassa emissività in vuoto" (LA1.20). Questa linea di ricerca si propone di valutare le perdite termiche dalla superficie esterna del tubo ricevitore, ovvero dalla superficie rivestita con il coating selettivo. A tal fine sono stati sviluppati due modelli numerici: un modello CFD bidimensionale (sezione del tubo) e un modello a parametri concentrati che determina lo scambio termico lungo la direzione radiale del tubo. Entrambi i modelli determinano le perdite termiche tra il tubo ricevitore e l'ambiente esterno. Dal confronto tra i due modelli emerge che il modello a parametri concentrati è in grado di riprodurre i risultati del modello CFD (più accurato) in modo soddisfacente, ma con un tempo di calcolo significativamente inferiore. Il modello a parametri concentrati sarà quindi utilizzato per convalidare il modello rispetto ai dati sperimentali forniti dall'ENEA e per ottimizzare l'efficienza fototermica di una stringa di collettori.</p> <p>Riguardo l'analisi di sistemi di accumulo termico innovativi, nel 1° semestre del 2020 il Politecnico di Torino ha iniziato un'attività di "modellazione di sistema di accumulo termico termoclino a sali fusi a singolo scambiatore" (LA1.29). L'attività si proponeva di analizzare un sistema di accumulo di tipo "termoclino" installato presso il centro ENEA-Casaccia, consistente in un serbatoio integrato con uno scambiatore composto da due serpentine elicoidali piatte posizionate rispettivamente nella parte inferiore (per la carica) e superiore (per la scarica) all'interno di un canale isolato termicamente dal resto dei sali fusi contenuti nello stesso serbatoio. E' stato sviluppato un modello CFD dinamico del termoclino con un dominio di calcolo bidimensionale. Si è quindi proceduto al confronto con i dati sperimentali in termini di stratificazione della temperatura dei sali all'interno del termoclino: il modello è stato convalidato con successo sotto opportune ipotesi.</p>
<p>Università Campus Bio-Medico di Roma</p>	<p>Nel 2020 l'Università Campus Bio-Medico di Roma ha iniziato un'attività di "modellazione di sistema di accumulo termico termoclino a sali fusi a doppio scambiatore" (LA1.28) precedentemente sviluppato e validato sperimentalmente dall'ENEA. Nel 1° semestre del 2020 sono stati analizzati i dati sperimentali disponibili e la letteratura tecnico-scientifica sulla modellazione di sistemi di stoccaggio termico termoclini. E' stata quindi definita una strategia di modellazione di tipo analitico, di natura empirica o semi-empirica, e di tipo termofluidodinamico/computazionale. Infine, è stata effettuata una prima stesura del modello di scambio termico. Questa prima fase del lavoro ha permesso di definire il contesto dell'attività, di comprenderne le complessità e di pianificare il lavoro per i mesi successivi, identificando le tipologie di modellazione matematica che meglio si adattano alle esigenze del progetto.</p>
<p>Università di Palermo Dip. Ing. Sezione Chimica Ambientale Biomedica e Materiali</p>	<p>Nel 2020 il Dipartimento di Ingegneria (Sezione Chimica Ambientale, Biomedica e Materiali) dell'Università di Palermo ha iniziato uno "studio di processi industriali potenzialmente integrabili alla tecnologia solare a concentrazione" (LA1.34). In particolare, nel corso del 1° semestre del 2020 sono state analizzate le specifiche tecniche di processi industriali chimici ad alto consumo di energia termica, al fine di stimarne i profili di carico giornalieri, medi e stagionali. Tale analisi ha consentito di individuare alcuni processi (ad es. il topping, la deidrogenazione dell'etilbenzene e la termolisi del dicloroetano) quali candidati a essere utilizzati come casi di riferimento per studiare l'adattabilità delle operazioni unitarie più significative nell'ambito della tecnologia SHIP alle specifiche di funzionamento degli impianti solari.</p>
<p>Politecnico di Milano Dip. Energia</p>	<p>Nel 2020, il Dipartimento Energia del Politecnico di Milano, nell'ambito della tematica dell'ibridizzazione del CSP con il fotovoltaico, ha iniziato lo "sviluppo di modelli per la simulazione d'impianti CSP/PV" (LA1.40). In particolare, nel 1° semestre del 2020 è stata effettuata una review bibliografica relativa al design dei componenti per impianti ibridi CSP/PV (collettori solari, blocco di potenza, storage, pannelli fotovoltaici). Per i collettori solari e per i pannelli fotovoltaici si sono identificate le performance e le caratteristiche geometriche per un successivo confronto con i modelli sviluppati. Per il generatore termoelettrico (Power Block) sono stati identificati i layout più utilizzati sia per i cicli ORC di piccola scala che per i cicli a vapore di media scala (50 MWe) in funzione della temperatura massima del vapore (370°C e</p>

	<p>540°C). Per impianti PV stand-alone e per impianti CSP a collettori lineari Fresnel sono stati sviluppati con SAM (System Advisor Model) dei modelli preliminari per lo studio delle performance in funzione delle condizioni operative (DNI, temperatura ambiente) e per una prima stima della produttività annua. Il modello sviluppato per l'impianto PV stand-alone è stato inoltre utilizzato per investigare il miglior ground-cover-ratio e il miglior tilt dei pannelli per la massimizzazione della produzione elettrica annuale.</p>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------