

**PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2022-24 - RICERCA DI SISTEMA
ELETTRICO NAZIONALE**

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

ENEA

Tema 1.6 Titolo del progetto: Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali

Durata: 36 mesi

Semestre n. 5 – Periodo attività: 01/01/2024 – 30/06/2024

ABSTRACT ATTIVITA' SEMESTRALE:

L'obiettivo generale del progetto è sviluppare metodi, strumenti e soluzioni per incrementare l'efficacia delle azioni di efficientamento energetico in ambito industriale favorendo un approccio analitico e integrato che vada dal singolo prodotto/macchinario al processo produttivo, distretto industriale, filiera produttiva fino al comparto/settore, con focus specifici sull'efficientamento dei processi termici, delle PMI, delle industrie hard to abate e sulle filiere dell'Off-Site Construction per la riqualificazione del parco immobiliare e del riutilizzo idrico. I risultati del progetto andranno a costituire una "cassetta per gli attrezzi" per le aziende nazionali per aiutarle a rafforzare la leadership industriale, l'autonomia e la resilienza in catene di valore strategiche e in aree di potenziali alleanze industriali, avvicinandole sempre più al paradigma di ecosistemi dinamici di innovazione. Le attività del quinto semestre entrano a pieno nella fase più applicativa e dimostrativa del terzo anno di attività, e, per ciascuna delle tematiche affrontate nel progetto, sono descritte nel dettaglio nella tabella seguente.

ATTIVITA' SVOLTE

<i>AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO</i>	<i>SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO</i>
ENEA	<u>LA1.2</u> Supporto a MASE/MiMiT per la discussione delle proposte di Regolamenti di ecodesign/etichettatura energetica per forni, piani cottura, asciugatrici domestiche, PC, low power modes. Partecipazione ai Gruppi ADCO Ecodesign/Energy labelling. Tavolo Italiano per l'analisi del Regolamento 2024/1781. Tre eventi di diffusione. Partecipazione all'IEC SC59D & SC59M, CENELEC TC59x e CEI TC59/61G&61C.
ENEA	<u>LA2.2</u> L'attività di ricerca ha riguardato l'analisi delle diagnosi energetiche dei settori industriali oggetto di studio, al fine di reperire dati utili a quantificare le cause delle variazioni temporali dei processi industriali (ad es., variazioni stagionali di produzione, fattori ambientali e gestionali). Sulla base di tali informazioni e di quelle contenute nel

	database di caratterizzazione dei processi industriali, è stata ideata una metodologia per la creazione di profili tempo-dipendenti delle richieste di energia termica per riscaldamento e raffrescamento dei processi industriali.
ENEA	<u>LA2.5</u> Implementazione della metodologia MVEE in un foglio di calcolo, per supportare le decisioni aziendali. I processi analizzati includono la pastorizzazione di succhi di arancia con PEF e la sterilizzazione dei fagioli in scatola con riscaldamento ohmico in diverse condizioni operative. Applicazione dell'analisi costi-benefici, MVEE ed integrazione dei dati delle diagnosi energetiche 2023. Redazione di linee guida pratiche per la divulgazione delle buone pratiche aziendali.
ENEA	<u>LA2.8</u> Si è condotta un'analisi energetica dettagliata dei processi produttivi, considerando sia la produzione dei componenti che le soluzioni isolanti utilizzate nei sistemi OSC. Sono stati quantificati gli IPE e identificati i consumi significativi. È stata implementata una metodologia basata per valutare i consumi specifici, definendo casi studio per stimare il peso energetico dei componenti. E' stato realizzato il questionario relativo alla produzione di materiali coibenti termici, ETICS e OSC, mirato a indagare gli aspetti vincolanti per la commercializzazione dei prodotti.
ENEA	<u>LA2.13</u> Nel corso del semestre, si è proceduto con l'interazione strutturata con IRVO attraverso riunioni di coordinamento e operative. In stretta collaborazione con IRVO, si è concretizzata l'individuazione di aziende tipo (casi studio) rilevanti per l'analisi. Sono state altresì condotte riunioni con le cantine pilota al fine di raccogliere dati e informazioni. Infine, si è provveduto alla pianificazione e all'organizzazione di un evento di disseminazione dei risultati ottenuti.
ENEA	<u>LA2.14</u> Nel semestre si è proceduto alla raccolta e valutazione dei consumi energetici tramite questionari e all'analisi di diagnosi energetiche in aziende vitivinicole siciliane. I dati energetici sono stati elaborati e si sono analizzati gli indici di prestazione. È stata effettuata l'elaborazione grafica dei dati e sono state condotte interviste sulla gestione energetica. L'attività ha portato a individuare le Best Practice e valutare le tecnologie efficienti. Sono stati previsti eventi di disseminazione.

ENEA	<u>LA2.16</u> Nel primo semestre 2024 della LA 2.16 al fine di migliorare le proprietà del materiale composito è stato messo a punto un processo meccanochimico che garantisse omogeneità del materiale e buone capacità funzionali. Il composito è stato prodotto utilizzando le nanoparticelle fornite da UNIFI_DCUS. Il materiale prodotto CALF-20/Fe3O4 è stato caratterizzato nelle proprietà strutturali, morfologiche, nella capacità di adsorbimento di CO2 e N2 e nelle proprietà di riscaldamento mediante induzione.
ENEA	<u>LA3.2</u> ENEA nel primo semestre 2024 ha continuato l'attività sulle analisi settoriali, e ha portato a conclusione due quaderni dell'efficienza energetica UFFICI e ALBERGHI e completato in modalità bozza il quaderno ALBERGHI. Parallelamente ha lavorato all'avanzamento dei TOOL IPE_DB e TOOL_PMI e al coordinamento con le UNI di Bologna e Tor Vergata e con le società SW per l'implementazione dei TOOL_EM e TOOL_MATURITA'. È proseguita una intensa attività di coordinamento con tutte le UNI coinvolte.
ENEA	<u>LA4.2</u> L'attività svolta ha riguardato: i) la sintesi di materiali sorbenti catalizzatori su supporto di mayenite e la granulazione delle polveri mediante granulatore/sferonizzatore; ii) la formulazione di biomasse (sansa di olive, gusci di nocciola e gusci di mandorla) e sorbenti/catalizzatori per test SEG su impianto pilota Valchiria; ii) test di catalizzatori per il SESR; iii) deposizione di membrane mediante sputtering a radiofrequenza ed elettroforesi; iv) modifica al reattore DBD per l'alloggiamento di membrane per separazione di ossigeno, test di riscaldamento e tenuta membrana.
ENEA	<u>LA5.2</u> Prosecuzione sperimentazione MBBR con reflui misti civili-industriali; analisi dei risultati. Prove di disinfezione UV con validazione parametri operativi per Reg. UE 741/2020. Comparazione efficienza membrane vs UV nell'abbattimento contaminanti emergenti. Analisi dati delle filiere di riuso agricolo dei reflui depurati. Test per lo sviluppo di un sistema gestione automatizzato del processo di upgrading biologico del biogas. Analisi tecnico economica essiccamento fanghi in serre solari.
UNIVAQ_DIIIE1	<u>LA2.3</u> Nel terzo semestre, l'Università degli studi dell'Aquila ha svolto principalmente attività volta allo sviluppo di modelli per la valutazione del recupero di energia termica da processi di tipo batch. È stata elaborata una piattaforma software sulla quale sono stati implementati i modelli TAM e TSM per la valutazione del recupero diretto attraverso scambiatori di calore e indiretto. Una subroutine specifica è stata

	adattata al fine di procedere alla progettazione della rete di scambiatori secondo la pinch technology.
UNISA_DIIN1	<u>LA2.6</u> Elaborazione degli schemi di massima dei processi tradizionali e innovativi per la produzione di pomodori pelati e per l'estrazione di licopene e cutina dai residui di lavorazione del pomodoro. Risoluzione dei bilanci di materia ed energia dei processi tradizionali e innovativi per determinare rese di produzione, scarti, acque reflue, consumi di energia (termica ed elettrica), acqua e solventi, emissioni di CO2 e costi operativi.
POLIMI_DIG1	<u>LA2.9</u> E' proseguito il lavoro legato alla conduzione di interviste ad attori operanti nel comparto OSC relativamente a principali soluzioni offerte (caratterizzazione basata su tecnologia e/o tipologia di materiale), di business model e filiera, e di barriere e driver percepiti relativamente alla diffusione delle soluzioni nel mercato e allo sviluppo del comparto in senso lato. È stata condotta un'analisi delle soluzioni OSC di isolamento termico per l'ambiente costruito basata su vari assi, tra cui elementi costruttivi, proprietà e prestazioni.
POLIMI_DABC	<u>LA2.10</u> L'attività ha definito una metodologia di mappatura della filiera "Off-site", organizzata in tre ambiti di indagine: letteratura scientifica; ricerca finanziata dalla Commissione Europea; aziende operanti nel settore e dei sistemi da loro prodotti a livello nazionale/europeo. Tali dati, organizzati in specifici database (formato excel), sono classificati secondo opportuni indicatori, rendendo possibile definire un framework di trasferimento delle conoscenze tra le filiere.
UNIVPM_DIISM	<u>LA2.11</u> Il gruppo di ricerca, a partire dai risultati raggiunti nel primo anno di progetto, ha sviluppato lo strumento di calcolo relativo all'implementazione dell'Energy Value Mapping a livello di filiera. Lo strumento è stato sviluppato in modalità web e customizzato per la particolare filiera produttiva dell'OSC. L'applicazione web, compresa di backend, è stata sviluppata utilizzando il framework Angular 16, il moderno formato suggerito single-page application e avendo come base node.js 20.18. Il database è stato creato utilizzando MySQL 8.3, e supporta l'intero set di query SQL.
UNIBO_DA	<u>LA2.12</u> Nell'ambito della LA 2.12, si è delineata la procedura specifica per la mappatura dei materiali: è stato definito un primo step metodologico per mappare in maniera speditiva la presenza dei materiali di scarto sul territorio, tramite corrispondenza con i codici CER/ATECO; quindi, è stata impostata una scheda tipo per l'analisi dei materiali, affinata a

	seguito di alcune necessità emerse con le prime mappature di dettaglio. Si è poi avviata la mappatura, reperendo informazioni quantitative e qualitative sui materiali identificati nella fase precedente.
UNIFI_DCUS	<u>LA2.17</u> Il partner UNIFI ha fornito ad ENEA un altro batch di NPM funzionalizzate con acido trimesico da incorporare nel CALF20 mediante ball milling. In seguito alla formulazione del nuovo MFC da parte di ENEA, UNIFI si è occupato della relativa caratterizzazione. Parte dell'attività è stata rivolta alla sintesi idrotermale in autoclave di NPM di Fe₃O₄, una tecnica alternativa alla decomposizione termica, ecosostenibile e facilmente scalabile, che ha permesso di ottenere NPM cristalline e monodisperse.
UNIROMA1_DC	<u>LA2.18</u> Nel primo semestre 2024 della LA 2.18 è stata selezionato il processo di sintesi a basso impatto ambientale migliore tra i vari investigati, selezionando la tipologia e concentrazione migliore di precursori, il rapporto tra i solventi etanolo: acqua pari a 1:1, temperatura e pressione ambiente come parametri di sintesi ottimali. È stata anche conclusa la caratterizzazione chimica, termica, morfologica e strutturale del prodotto CALF-20 sintetizzato, confermando l'efficienza del processo nell'ottenere il composto metallo-organico CALF-20 con le proprietà strutturali desiderate. E' stato anche sintetizzato il CALF-20 a partire da ligando organico idrofobo e caratterizzato a livello strutturale.
POLIMI_DIG2	<u>LA3.3</u> Il team Polimi ha allargato lo spettro di analisi circa le tecnologie e le metodologie più efficienti da poter applicare agli ambiti oggetto dello studio. Sono state indagate ulteriori fonti di reportistica e di letteratura per andare a ricercare maggiori risultanze quantitative in termini di costi operativi, impatti ambientali e benefici ottenibili dall'implementazione delle Best Available Techniques (BAT) nei settori tessile e calzaturificio.
UNIFI_DII	<u>LA3.4</u> Nel 1° semestre 2024 UNIFI ha condotto un'analisi della letteratura per identificare il grado di utilizzo dei Digital Twin nei settori immobiliare, banche, alberghi, plastica e aeroporti. Per ciascun settore, sono stati individuate le tipologie di Digital Twin impiegate e i loro scopi. Inoltre, è stato analizzato dal punto di vista economico ed energetico un intervento nel settore immobiliare. In particolar modo è stata analizzata l'installazione di una pompa geotermica.
UNIBO_DIN	<u>LA3.5</u> Sviluppo dei modelli di calcolo per il dimensionamento preliminare delle tecnologie di efficientamento energetico individuate. Per ciascuna

	tecnologia, è definito il modello di calcolo utile a prevedere le prestazioni del sistema, la taglia ottimale da installare ed il corrispondente risparmio di energia conseguibile. Stima preliminare del risparmio di emissioni conseguibili all'implementazione della tecnologia/soluzione selezionata e del tempo di rientro dell'investimento.
UNIROMA3_DE	<u>LA3.6</u> Attività di coordinamento per l'elaborazione di linee guida per la costruzione del database integrato con dati ENEA, dati di impresa AIDA e dati socio-economici ISTAT. Riunioni di coordinamento per la realizzazione di un metodo econometrico di analisi dei dati sulle diagnosi energetiche. Analisi dei risultati preliminari determinati dall'applicazione di stime lineari con metodi OLS al fine di evidenziare le variabili di impresa rilevanti. Costruzione di matrici geo-referenziate per l'avvio dell'applicazione di metodi di stima spaziali.
UNIROMA2_DII	<u>LA3.7</u> Il questionario preliminare sviluppato è stato condiviso con alcune imprese per testare la logica di percorrenza e la rappresentatività delle valutazioni generate. È stata condotta un'analisi per valutare l'inclusione di risultati di progetti precedenti sviluppati da ENEA come risorse di supporto ad azioni raccomandate nel piano d'azione. Una prima logica di generazione del piano d'azione è stata definita insieme alle specifiche tecniche per lo sviluppo del tool online finale.
UNISA_DIIN2	<u>LA3.8</u> Nel periodo gen24–giu24, nel WP3 - Progetto 1.6 del Piano Triennale 2022-2024, “Efficienza energetica dei prodotti e dei processi”, il DIIN-UNISA ha effettuato l'analisi energetica dei processi produttivi dei settori di produzione della Plastica, codice ATECO 22.22, 22.21 e 20.16. Tramite l'analisi delle diagnosi energetiche è stato analizzato l'uso energetico delle diverse fasi produttive e servizi ausiliari, individuati i vettori energetici più energivori e realizzate le mappature energetiche.
UNITUS_DEIM	<u>LA3.9</u> Le attività svolte nell'ambito dell'accordo di collaborazione sono: identificazione del settore su cui concentrare l'analisi. L'attività è stata svolta in collaborazione con l'Università degli Studi di Salerno e con ENEA ed ha identificato il settore della plastica; identificazione, dei processi maggiormente energivori. L'attività è stata svolta in collaborazione con l'Università degli Studi di Salerno e con ENEA ed ha identificato processo di “pressure molding”.
UNIBAS_SI	<u>LA3.10</u>

	Sviluppo dei seguenti sistemi di calcolo per l'efficienza energetica e analisi ambientale: raccolta ed elaborazione dei dati di consumi energetici delle PMI; inventario energetico; indici di prestazione energetica (IPE); questionario concernente l'efficienza energetica dei sistemi produttivi all'interno delle PMI; 20 schede di calcolo d'interventi di efficienza energetica suddivise in tre categorie (interventi elettrici, termici, settore trasporti/altro); calcolo dei consumi idrici di un'azienda in riferimento al singolo processo/sottoprocesso dell'azienda.
UNIVAQ_DIIIE2	<u>LA4.3</u> L'attività ha riguardato la simulazione del processo di gassificazione con cattura della CO₂ con il software Aspen Plus utilizzando dati di letteratura. I risultati delle simulazioni sono stati utilizzati per la valutazione delle portate di vapore e biomassa in gioco. Tali risultati, combinati a considerazione relative alla fluidodinamica, hanno condotto al pre-dimensionamento del reattore di gassificazione in pressione ed alla creazione del modello 3D necessario alle simulazioni CPFD.
POLITO_DENERG	<u>LA4.4</u> Sono state effettuate analisi di processo, ambientali ed economiche per l'integrazione di un sistema di cattura della CO₂ ad ammine in cementifici considerando anche l'eventuale combustione nello stabilimento di combustibili solidi da rifiuti (RDF). La combustione di RDF in contemporanea alla cattura della CO₂ permette di raggiungere emissioni zero di CO₂, senza la compensazione di emissioni con tecnologie di rimozione della CO₂ dall'aria, e con costi promettenti nell'intorno dei 35 € per tonnellata di CO₂ evitata.
UNIROMA1_DICMA 1	<u>LA4.5</u> Sono stati testati sorbenti solidi sintetizzati via co-precipitazione con ossidi di Fe, Zn e Ni, aggiungendo Al₂O₃ (10 wt%) come promotore per migliorarne la resistenza. I test con gas campione, N₂ e 100 ppm H₂S, (400-650 °C) mostrano che Fe, prima di disattivarsi, è stabile fino a 550 °C con abbattimento del 85%. Zn è stabile fino a 600 °C con abbattimento dell'80%, mentre Ni mantiene l'80% di abbattimento. I materiali mostrano buona stabilità termica e capacità di rimozione dell'H₂S.
UNIBO_DICAM	<u>LA5.3</u> Si è completata una approfondita analisi bibliografica sul tema del recupero e riuso delle acque meteoriche, dei sistemi di early warning e sull'invarianza idraulica. Sono inoltre stati raccolti e studiati i dati relativi ai due casi di studio oggetto di una successiva modellazione numerica tramite il codice di calcolo EPA SWMM. Si sono inoltre raccolti e analizzati i dati relativi alla pluviometria e ai bollettini di allerta meteo di ARPAE Emilia-Romagna.

UNITN_DICAM	<u>LA5.4</u> Durante il terzo semestre è stata revisionata la selezione degli impianti benchmark, identificando due impianti idonei. È stata completata la “shortlist” delle tecnologie in linea acque e linea fanghi e sono state identificate le filiere tecnologiche di adeguamento dell’impianto satellite e di quello Hub. Il processo Ephyra è stato selezionato al posto di un processo termochimico per il significativo incremento della capacità di trattamento dei digestori esistenti.
UNINA_DICEA	<u>LA5.5</u> I batteri-idrogeno ossidanti (HOB) sono stati anche utilizzati in un consorzio foto-chemioautotrofo insieme alle microalghe, in fotobioreattori in batch, per l’assimilazione di N-NH₄⁺, la riduzione della somministrazione di ossigeno e la riduzione delle emissioni di CO₂ nel contesto del trattamento delle acque reflue. La mixotrofia è risultata vantaggiosa nel consorzio HOB-microalghe portando ad una concentrazione di biomassa totale di circa 5 g SSV/L
UNIROMA1_DICMA 2	<u>LA5.6</u> Sono state individuate le condizioni di temperatura e tempo tali da ottenere la massima resa in bio-olio mediante HTL sul fango di supero. Le condizioni definite sono le seguenti: temperatura: 330 °C; tempo: 20 min; resa in bio-olio: 22% wt db; recupero energetico: 47 %. Sul bio-olio prodotto da HTL sono stati eseguite prove di upgrading in condizioni idrotermali in presenza di catalizzatori di hydrotreating e metalli zero-valenti che in condizioni idrotermali sono in grado di generare idrogeno.