

**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. 6 – Periodo attività: 01/07/2024 – 31/12/2024

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 sesto semestre concludono le attività di progetto e la 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 imaging equipment, trasformatori e PC. Partecipazione ai Gruppi ADCO Ecodesign/Energy labelling. Nomina a rappresentante nazionale all'Ecodesign Forum e all'Experts Group del Regolamento 2024/1781 sui prodotti sostenibili. Due 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 il perfezionamento e l'implementazione in Excel-VBA della metodologia di creazione dei profili tempo-dipendenti delle richieste di energia termica per riscaldamento e raffreddamento. Tale modello è stato integrato con il database di caratterizzazione dei processi industriali. Il database risultante è stato

	integrato con il database sviluppato da UNIVAQ_DIIIE1. Infine, gli strumenti sviluppati da ENEA e UNIVAQ_DIIIE1 nelle LA 2.1-2.3 sono stati applicati a casi di studio reali o di letteratura per la validazione ed il perfezionamento.
ENEA	<u>LA2.5</u> Valutazione del potenziale di diffusione delle tecnologie non termiche e innovative nel settore alimentare, con dati aggiornati dalle diagnosi energetiche 2023 e casi studio. Analisi dell'applicazione da parte delle aziende in Italia dei PEF per la pastorizzazione dei succhi e l'igienizzazione del latte. Sviluppo di una guida pratica per illustrare i benefici energetici e non energetici delle alternative ai processi termici tradizionali.
ENEA	<u>LA2.8</u> L'osservatorio OFFICIO ha esteso la rete degli stakeholder e il questionario è stato diffuso e i risultati analizzati. Sono stati individuati benchmark per la competitività dei prodotti "innovativi" o "non convenzionali". È stato definito un set di KPI per caratterizzare le aziende della filiera e integrare la prospettiva degli stakeholder. Sono state inoltre elaborate due pubblicazioni informative e organizzata la conferenza finale del progetto, garantendo così la massima diffusione dei risultati e delle strategie per l'adozione dell'OSC nella riqualificazione edilizia.
ENEA	<u>LA2.13</u> Nel corso del semestre, si è proceduto alla redazione del rapporto tecnico. Tale attività ha comportato l'elaborazione e la stesura di un documento dettagliato, finalizzato alla presentazione e alla formalizzazione delle analisi e delle conclusioni derivanti dall'attività svolta.
ENEA	<u>LA2.14</u> Durante il semestre, l'attività si è focalizzata sulla redazione del rapporto tecnico, finalizzato alla documentazione delle analisi svolte. Parallelamente, è stata completata la guida sull'efficientamento energetico delle cantine vitivinicole, strumento operativo per il settore. Infine, si è provveduto alla disseminazione dei risultati progettuali attraverso canali dedicati.
ENEA	<u>LA2.16</u> Nel secondo semestre 2024 della LA 2.16 la polvere di composito CALF-20/Fe₃O₄ è stata trasformata in granuli sviluppando un processo di granulazione che ha previsto l'uso di un legante. Il materiale ottenuto è stato testato in un dispositivo scala banco mediante misure di

	adsorbimento dinamico di CO ₂ e N ₂ . La rigenerazione del sorbente è stata studiata mediante riscaldamento convenzionale e mediante induzione ed è stata effettuata una valutazione dei dati energetici associati alla tecnologia.
ENEA	<u>LA3.2</u> Nel secondo semestre 2024 sono state completate tutte le attività previste dal progetto. Sono state completate le analisi settoriali anche di Plastica, concerie, data center. Sono stati analizzati i questionari fatti per settore plastica e uffici sul tema dei Benefici multipli. Sono stati completate ulteriori tre quaderni: Aeroporti, Plastica, Tessile; ai quali si aggiunge quello sui benefici multipli. Sono stati completati i 4 TOOL previsti: IPE_DB; TOOL_PMI; TOOL_EM; TOOL_MATURITA'.
ENEA	<u>LA4.2</u> L'attività svolta ha riguardato: i) test SEG su tamburo a letto ruotante e doppio letto fluidizzato per individuare le condizioni operative per la ottimizzazione del syngas; ii) test di separazione di CO₂ nel reattore DBD con membrana di ossigeno e test di dissociazione di CO₂ con metano per la produzione di CO; iii) allestimento setup e test in autoclave di mineralizzazione di brine provenienti da scarti industriali; iv) test di gassificazione in pressione su banco e bilancia termogravimetrica; v) valutazione tecnico-economica dei processi SEG e mineralizzazione.
ENEA	<u>LA5.2</u> Completamento sperimentazione MBBR e modellazione energetica. Finalizzazione analisi impianto centralizzato trattamento fanghi con bilanci energetici. Ultimazione prove co-pirolisi e caratterizzazione bio-olio. Definizione delle possibili logiche di controllo automatizzato del processo di upgrading biologico del biogas. Completamento software DEES con integrazione moduli e validazione su casi reali. Stesura report tecnico finale con valutazione integrata dei risultati.
UNIVAQ_DIIE1	<u>LA2.3</u> Nel quarto semestre, l'Università degli studi dell'Aquila ha svolto principalmente attività volta al reperimento di casi studio da diagnosi energetica e da letteratura per l'implementazione e la validazione dei modelli sviluppati nel precedente semestre. I casi studio individuati sono stati analizzati anche dal punto di vista economico, implementando all'interno del modello correlazioni di costo per gli scambiatori di calore e le utilities calde e fredde grazie ad una revisione della letteratura scientifica.

UNISA_DIIN1	<u>LA2.6</u> Comparazione tra processi tradizionali e innovativi utilizzando indicatori energetici, economici e ambientali per valutare la sostenibilità complessiva. Analisi del ciclo di vita (Life Cycle Assessment, LCA) per valutare l'impatto ambientale delle diverse soluzioni tecnologiche considerate. Identificazione delle tecnologie più promettenti e definizione di linee guida per la loro applicazione industriale, oltre alla valorizzazione degli scarti.
POLIMI_DIG1	<u>LA2.9</u> I risultati ottenuti dalle precedenti attività sono stati analizzati e corroborati. Sono state portate a termine azioni di comunicazione e disseminazione a livello nazionale ed internazionale, anche puntando a costruire una rete di contatti. In base all'analisi dei risultati sono state definite delle linee guida per lo sviluppo del comparto off-site construction in Italia.
POLIMI_DABC	<u>LA2.10</u> L'attività ha raccolto, analizzato e rielaborato i dati di aziende, prodotti e progetti, consolidando trend e buone pratiche della filiera "Off-site" in Europa e Italia. Sono state prodotte specifiche schede di sintesi (formato pdf), per ciascuno dei progetti e dei prodotti identificati, contenenti le principali caratteristiche riassunte in KPI di performance. Tali schede permettono il popolamento di due specifici atlanti di sintesi, contribuendo al know-how della filiera.
UNIVPM_DIISM	<u>LA2.11</u> Il gruppo di ricerca, dopo lo sviluppo dello strumento ha portato avanti attività di test del software, per identificare eventuali mancanze o discrepanze tra la specifica del software e ottimizzarne le funzionalità. All'attività di testing sono conseguite successive attività di correzione di problematiche (bugfixing) e miglioramento di funzionalità (tweaking), incluse nella macroattività dello sviluppo software. Gli utenti coinvolti nel test dello strumento sono stati 7, appartenenti a differenti categorie. Le principali criticità emerse sono state affrontate e risolte.
UNIBO_DA	<u>LA2.12</u> Nell'ambito della LA 2.12, si è conclusa la mappatura specifica dei 25 materiali identificati come potenzialmente presenti sul territorio, e si è avviata una fase di analisi critica complessiva rispetto ai risultati emersi. Ciò ha portato alla catalogazione dei materiali per livello di priorità rispetto alla loro possibile introduzione sul mercato italiano, in base ad una serie di criteri dipendenti dalle quantità disponibili, le prestazioni tecniche dei prodotti ad essi connessi, e la presenza di barriere all'impiego.
UNIFI_DCUS	<u>LA2.17</u> L'attività di UNIFI si è focalizzata sulla sintesi e caratterizzazione di

	NPM funzionalizzate con acido ossalico, un legante più affine dell'acido trimesico alla matrice del MOF CALF20. Il campione è stato quindi spedito ai partner ENEA (polvere) ed Uniroma1 (dispersione acquosa) per lo sviluppo dei compositi a base di CALF20. Il partner UNIFI si è infine occupato della caratterizzazione morfologica, strutturale, magnetica e calorimetrica del composito sviluppato da ENEA tramite ball milling.
UNIROMA1_DC	<u>LA2.18</u> Nel secondo semestre 2024 della LA 2.18 sono stati sviluppati e caratterizzati materiali compositi ottimizzati mediante incorporazione di nanoparticelle magnetiche, a base di ossidi di ferro forniti dall'Università di Firenze, per ottenere un sorbente magnetico da rigenerare mediante tecnologia MISA (Magnetic Induction Swing Adsorption). È stata impiegata una procedura di sintesi one-pot variando la quantità di nanoparticelle magnetiche inserite, la concentrazione dei reagenti precursori e il rapporto tra i solventi etanolo:acqua al fine di individuare i parametri di sintesi migliori per l'incorporazione delle nanoparticelle magnetiche e il mantenimento della struttura cristallina porosa del CALF-20.
POLIMI_DIG2	<u>LA3.3</u> A completamento delle analisi precedentemente svolte, il team di ricerca Polimi ha indagato le più recenti metodologie e tecniche di efficientamento dei settori tessile e calzaturificio, integrando ulteriori casistiche e analisi quantitative. L'obiettivo principale di tale lavoro è stato quello di finalizzare e validare i dati circa i consumi energetici e, soprattutto, circa i costi in conto capitale medi di determinate tecniche e tecnologie efficienti utili per i settori in esame.
UNIFI_DII	<u>LA3.4</u> Nel 2° semestre 2024 UNIFI ha condotto un'analisi economica ed energetica di interventi di risparmio energetico rilevanti nei settori plastica e aeroporti. In particolar modo, per il settore plastica è stato analizzato un intervento di elettrificazione di una pressa, essendo questo tra gli interventi più comunemente adottati. Invece, per gli aeroporti è stata analizzata l'installazione di una centrale di trigenerazione.
UNIBO_DIN	<u>LA3.5</u> Messa a punto, verifica e validazione dei modelli di calcolo sviluppati: per ogni tecnologia selezionata, il modello di calcolo sviluppato è stato testato e validato ricorrendo al confronto con casi studio reali se disponibili (installazione delle tecnologie in aziende manifatturiere) o dati/software disponibili in letteratura. Il confronto effettuato ha permesso di verificare l'accuratezza dei modelli sviluppati.
UNIROMA3_DE	<u>LA3.6</u> Definizione metodi di stima con utilizzo di tecniche geo-referenziate con matrici di distanza differenziate. Riunioni di coordinamento per

	predisporre i codici in R per analisi georeferenziate sulle diagnosi energetiche connesse con i dati di impresa. Produzione del Rapporto finale completo e predisposizione linee guida per utilizzo dei codici R per la replicabilità. Produzione del Rapporto Sintetico e presentazione dei risultati al Convegno del 26/11/2024 presso Centro Frentani.
UNIROMA2_DII	<u>LA3.7</u> Sono state definite le azioni raccomandate per ognuna delle domande del questionario finale. Sono state sviluppate risorse supplementari di supporto ad hoc da associare alle stesse (video formativi, documenti di supporto, fogli di calcolo). Per lo sviluppo del tool online, le funzionalità sono state testate progressivamente durante la loro implementazione, collaborando con l'azienda esterna incaricata. Infine, è stata condotta una validazione raccogliendo feedback da un campione di imprese.
UNISA_DIIN2	<u>LA3.8</u> Nel periodo lug24–dic24, nel WP3 del Piano Triennale 2022-2024 “Efficienza energetica dei prodotti e dei processi”, il DIIN-UNISA ha analizzato i processi produttivi dei settori di produzione della plastica, ATECO 22.22, 22.21 e 20.16. La collaborazione con UNITUSCIA ha permesso di calcolare gli indicatori di prestazione utilizzati nella realizzazione di un cruscotto di monitoraggio con analisi di scenario utile alle singole aziende per controllare e gestire le proprie performance energetiche.
UNITUS_DEIM	<u>LA3.9</u> Le attività svolte nell'ambito dell'accordo di collaborazione sono: elaborazione del modello fisico-matematico per il calcolo del consumo ideale di riferimento per il processo; identificazione della catena di misure necessaria alla valutazione del consumo reale e, di conseguenza dell'efficienza del processo e delle opportunità di miglioramento.
UNIBAS_SI	<u>LA3.10</u> Sviluppo e implementazione di 20 schede di calcolo d'interventi di efficienza energetica suddivisi in tre categorie (interventi elettrici, termici, settore trasporti/altro); calcolo dei risparmi di emissione di CO2; calcolo dei consumi idrici di un'azienda per singolo prodotto. Contatti con le associazioni di categoria del territorio della Basilicata e predisposizione di questionari, interviste dirette e visite in loco con sviluppo di modelli di calcolo per interventi specifici nel settore PLASTICHE.
UNIVAQ_DIIIE2	<u>LA4.3</u> L'attività ha riguardato la caratterizzazione della fase di devolatizzazione della biomassa effettuando test con un reattore a letto fluidizzato a scala di laboratorio. È stata ricavata la cinetica del processo

	e la distribuzione dei prodotti (gas, chat, tar). I dati ottenuti e le cinetiche delle reazioni di gassificazione sono stati implementati nel modello CPFD del reattore. È stato effettuato il tuning delle cinetiche utilizzando dati di letteratura per la validazione.
POLITO_DENERG	<u>LA4.4</u> La CO₂ prodotta da sistemi di cattura può essere riconvertita in combustibili sintetici tramite idrogenazione (processi CCU). I costi di conversione tramite un impianto CCU di larga scala sono principalmente legati ai costi di produzione di idrogeno verde consumato, e quindi dei del prezzo dell'elettricità. Considerando un impianto Fischer-Tropsch per riconversione della CO₂ da cementificio sono stati stimati dei costi lordi totali per la produzione di gasolio sintetico di circa 8 €/kg.
UNIROMA1_DICM A1	<u>LA4.5</u> Il processo è stato testato con una miscela di syngas (30% H₂, 20% CO₂, N₂ e 100 ppm H₂S), mostrando risultati simili alla miscela N₂-H₂S. Per Fe e Ni, il tasso di abbattimento è calato al 60% oltre 600 °C per la presenza di metallo in forma ridotta. È stato testato il fango rosso, scarto dell'alluminio, trattato con acido e calcinato a 900 °C. Con N₂-H₂S ha ridotto l'H₂S a 23 ppm a 500 °C, ma l'efficacia è diminuita a T più alte per la scarsa stabilità di FeS e CaS.
UNIBO_DICAM	<u>LA5.3</u> Si è provveduto a eseguire le simulazioni numeriche dei casi di studio nei diversi scenari analizzati. Sono stati quindi individuati gli indicatori di prestazione in grado di descrivere l'efficacia dell'utilizzo di invasi di laminazione anche per recuperare e riutilizzare le acque meteoriche per scopi non potabili e si sono realizzati dei fogli di calcolo in Excel per tale analisi. Sono inoltre state studiate serie pluviometriche future di scenari di cambiamento climatico.
UNITN_DICAM	<u>LA5.4</u> Durante il quarto semestre sono state condotte simulazioni per verificare la progressiva introduzione nei due impianti di una filiera di sistemi di efficientamento, valutando per ogni scenario il rispetto dei limiti allo scarico ed il livello di riduzione dei consumi energetici. L'ultima attività è stata la valutazione del fabbisogno energetico residuo da autoproduzione con fonti rinnovabili in loco o da impianti esterni per il raggiungimento della neutralità energetica a scala di bacino.
UNINA_DICEA	<u>LA5.5</u> Durante l'avvio (giorni 0-23), il sistema EGSB ha mostrato difficoltà nella formazione dei granuli aerobici. La sedimentabilità è aumentata dal 70 al 90% e il COD rimosso ha raggiunto il 75%. Nella seconda fase (giorni 24-62), riducendo l'HRT da 3 a 1 giorno, la rimozione del COD è migliorata (90%), ma N ha mostrato fluttuazioni (70-85%). Nella fase

	finale (giorni 63-95), un rapporto C/N di 4 ha ottimizzato le rese (COD 92%, N 85%, P 80%) e la biomassa ha dimostrato potenziale per biodiesel.
UNIROMA1_DICM A2	<u>LA5.6</u> Sulla base dei risultati ottenuti nell'upgrading del bio-olio da HTL (hydrocrude) sono state eseguite analoghe prove di upgrading sul bio-olio ottenuto mediante processo di pirolisi (olio di pirolisi) e fornito da Enea. I risultati dell'upgrading eseguito sui due bio-oli sono stati confrontati in termini di resa in bio-olio, abbattimento delle concentrazioni di azoto e ossigeno, potere calorifico dei prodotti ottenuti, loro caratterizzazione composizionale e recupero energetico.