

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

ENEA

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

Durata: 36 mesi

Semestre n. 6 – Periodo attività: 01/07/2021 – 31/12/2021

ABSTRACT ATTIVITA' SEMESTRALE:

L'obiettivo generale del progetto è la realizzazione di strumenti e metodologie per la promozione e diffusione delle tecnologie ad alta efficienza energetica, allo scopo di favorire il mercato di prodotti più performanti sia a livello di componenti sia a livello di sistemi energetici e contribuire alla riduzione della bolletta energetica nazionale aumentando la competitività del settore produttivo rispetto ai mercati internazionali. Le attività del sesto semestre concludono la fase applicativa e dimostrativa e con essa il triennio, e, per ciascuna delle tematiche affrontate nel progetto, si sono concentrate su: realizzazione di campagne informative, conclusione dei lavori relativi alla realizzazione e raccolta/elaborazione dati dei dimostratori, conclusione delle attività sperimentali di laboratorio, conclusione dello sviluppo di prodotti software.

Per quanto riguarda il WP1, il cui obiettivo è promuovere uno sviluppo tecnologico in linea con i target comunitari, proteggere l'industria dalla concorrenza sleale delle importazioni di prodotti non-conformi a basso prezzo, assicurare il consumatore-utente del sistema elettrico nazionale sulle reali prestazioni energetiche, funzionali e dell'efficienza dei materiali dei prodotti acquistati e supportare il Paese nel raggiungimento degli obiettivi di miglioramento dell'efficienza energetica pianificati in risposta agli obblighi comunitari, ENEA ha realizzato un'indagine sulla presenza delle etichette in 337 negozi e supportato il MiSE/TE nella discussione a livello europeo delle proposte di Regolamenti applicativi di prodotto. Ha inoltre contribuito alla preparazione di nuovi standard per gli apparecchi del lavaggio.

Nell'ambito del WP2, il cui obiettivo è l'ottimizzazione dei processi di costruzione e gestione dell'ambiente costruito attraverso la standardizzazione di soluzioni di off-site construction, ENEA ha completato le attività di realizzazione e analisi del dimostratore in scala reale, nonché il perfezionamento della metodologia di ottimizzazione. UNIROMA1 ha completato la realizzazione del dimostratore e le relative indagini, il CINTEST ha completato il Business Process Reengineering per i processi analizzati, UNIME ha implementato il sistema di monitoraggio video per la fase di cantiere, mentre POLIMI ha completato lo studio, disegno e analisi delle soluzioni d'involucro, e implementato del catalogo di soluzioni tecniche.

Il WP3 è invece caratterizzato da un triplice obiettivo, ovvero: (i) il design, la sintesi e il testing funzionale di un materiale composito a base di metal organic framework e nanoparticelle magnetiche e il design della componente magnetica; (ii) la definizione e valutazione degli indici prestazione per l'ottimizzazione del processo di decarbonizzazione, la sintesi e caratterizzazione di materiali avanzati per la separazione di gas, l'accumulo di eccessi di energia e la valorizzazione del carbonio; (iii) la realizzazione di strumenti di supporto alle decisioni per una maggiore diffusione dei progetti di recupero del calore. Per quanto riguarda il sotto-obiettivo (i), ENEA ha testato il composito HKUST-1 Fe₃O₄ in un dispositivo dimostratore e effettuato misure

di adsorbimento di N₂ e CO₂ sui materiali prodotti da UNIROMA1. Ha inoltre caratterizzato il composito sviluppato da UNIROMA1. UNIFI ha realizzato la sintesi e caratterizzazione chimico-fisica di due campioni di nanoparticelle di magnetite funzionalizzati con acido trimesico con proprietà controllate e messo a punto un processo sintetico. UNIROMA1 ha sviluppato un MOF composito magnetico ottenuto mediante sintesi assistita da microonde e stabile in acqua e realizzato due ulteriori sperimentazioni focalizzate sullo sviluppo di MOF bimetallici e sulla realizzazione di una modifica post-sintesi idrofobizzante. Per quanto riguarda il sotto-obiettivo (ii) ENEA ha completato le attività sperimentali legate ai banchi prova per la cattura e valorizzazione della CO₂. DENERG ha completato l'analisi tecnico-economica che ha permesso di valutare tramite diversi indicatori il processo di decarbonizzazione tramite cattura della CO₂ con CaL dei processi di produzione del cemento e acciaio, UNIROMA1 ha condotto una sperimentazione dedicata all'interazione di CO₂ con un letto fisso di ferro e svolto una simulazione con il software Aspen Plus. DIIEUNIVAQ ha completato le campagne sperimentali per valutare la portata di solido in uscita dal calcinatore. Nell'ambito del sotto-obiettivo (iii) invece ENEA ha completato le attività di realizzazione del software integrato e di interazione con i principali attori del settore, mentre UNIROMA2 ha completato il testing degli strumenti sviluppati e portato avanti le attività di interazione con le parti interessate e DIIEUNIVAQ ha terminato le attività di testing dei propri output legate a un caso di studio individuato nel settore caseario. Infine, anche DPIA-UNIUD ha portato a termine le attività legate alla realizzazione di casi studio.

Nell'ambito del WP4, il cui obiettivo è la determinazione e valutazione di indici di riferimento affidabili per il settore produttivo manifatturiero, ENEA completato l'analisi dei vari settori produttivi, la realizzazione delle relative linee guida e del software di "energy management", CINTEST ha completato l'analisi dei processi principali per i settori farmaceutico, della fonderia e dell'incenerimento dei rifiuti, analizzandone parametri di influenza e flussi di energia coinvolti, UNIROMA2 ha completato le attività di raccolta e valutazione dei risultati sulla maturità nella gestione energetica delle aziende ottenuti dal questionario erogato attraverso il portale web ENEA la valutazione degli indicatori di prestazione energetica delle diagnosi del 2015 e del 2019, DIIN-UNISA ha completato la caratterizzazione energetica dei processi produttivi dei settori Fonderia, Incenerimento Rifiuti e Farmaceutico e la realizzazione di un cruscotto di monitoraggio, mentre UNIFI ha stilato una lista di soluzioni tecnologiche "energy-saving" per i settori delle fonderie, farmaceutico e trattamento rifiuti sulla base dello studio di documenti scientifici e studio delle diagnosi energetiche. Infine, DICAM-BO ha calcolato indicatori energetici settoriali, in particolare per le fasi di atomizzazione, smaltatura e per le operazioni di fine linea, e valutato i benefici di diverse opzioni di efficientamento energetico.

Per quanto riguarda il WP5, il cui obiettivo è la messa a punto di strumenti in grado di favorire la conversione degli impianti di depurazione (ID) in strutture in grado di assicurare il recupero di risorse e principalmente di energia elettrica e termica, garantendo la qualità degli effluenti allo scarico, ENEA ha realizzato una valutazione degli effetti del recupero termico in fognatura sui processi depurativi e definito le rese del processo di produzione di biometano, mentre DICAM-BO ha completato lo sviluppo di Performance Indicators per le reti di drenaggio urbano. Inoltre, DICEA ha investigato la rimozione di carbonio e azoto in reattore UASB/EGSB con fango aerobico e testato un processo di side-stream dell'NH₃ durante DA termofila ad alto tenore di solidi, POLIMI ha realizzato misure sperimentali dell'attività specifica idrogenotrofa (SHMA), e calibrato e validato il modello con i dati sperimentali raccolti da due impianti pilota, mentre DICAM-TN ha realizzato test sperimentali atti a verificare le performance del processo combinato di digestione anaerobica (AD) e carbonizzazione idrotermica (HTC) in termini di riduzione della produzione di fango, incremento della produzione di biogas e miglioramento della disidratabilità

ATTIVITA' SVOLTE

AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO	SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO
ENEA	<u>LA1.3</u> Convegni e interviste sulla nuova etichetta energetica; indagine sulla presenza delle etichette in 337 negozi. Supporto al MiSE per discussione delle proposte di Regolamenti applicativi di prodotto per bollitori elettrici, unità di ventilazione, smartphone e tablet, condizionatori d'aria e ventilatori, stufe e caminetti, caldaie, scaldacqua, BACS. Sorveglianza del mercato: riunioni Gruppi ADCO etichettatura ed ecodesign e sottogruppi "EPREL" e "ICSMS". Partecipazione ai lavori (i) dell'IEC TC59/WG18 sull'incertezza dei metodi di misura e (ii) dell'IEC SC59D, del CLC TC59x e del CEI TC59/61G per la preparazione di nuovi standard per gli apparecchi del lavaggio. <u>LA2.3</u> L'attività ha previsto 21 simulazioni energetiche sia in regime semi-stazionario che con l'obiettivo di verificare i parametri caratteristici degli edifici post intervento. La tipologia edilizia sottoposta a simulazione ha avuto come destinazione d'uso il settore residenziale. Ulteriore attività ha riguardato l'analisi di una soluzione reale con allestimento di sistemi di misura e verifica al fine di poter verificare la facilità di posa, le tempistiche e le condizioni dell'area di cantiere. <u>LA3.3</u> Il composito HKUST-1/Fe3O4 UNIFI sviluppato nella precedente annualità è stato testato in un dispositivo dimostratore. Sono state effettuate misure di adsorbimento di N2 e CO2 sui materiali prodotti da UNIROMA1 al fine di migliorarne la capacità di adsorbimento e la stabilità in acqua rispetto al sistema HKUST-1. Sul materiale più promettente, UNIROMA1 ha sviluppato un composito ed ENEA ne ha caratterizzato le sue proprietà termiche, morfologiche e funzionali. <u>LA3.10</u> Produzione di materiale sorbente e catalizzatori mediante granulatore industriale. Test di produzione di H2 su impianto pilota a tamburo rotante intensificata dalla cattura di CO2. Realizzazione di un banco prova a doppio letto fluido per la cattura di CO2 con sorbenti solidi. Realizzazione di un banco prova per la valorizzazione di CO2 mediante plasma freddo. Raggiunta la conversione del 50% di CO2 in CO. Replicata la prova di dissociazione di CO2 in presenza di sfere rivestite di perovskite. <u>LA3.20</u> Nel secondo semestre del 2021 l'attività si è focalizzata su: implementazione della metodologia di valutazione degli interventi di recupero di calore in ambiente Excel; organizzazione e conduzione di interviste a fornitori di tecnologie di recupero di calore e a rappresentanti di progetti europei sulla tematica del recupero di calore per raccolta dati di prestazione delle relative tecnologie sviluppate; sviluppo finale dell'interfaccia utente del software integrato formato dai moduli sviluppati da ciascun partner di progetto; conclusione del caso studio per la validazione della metodologia e del relativo software sviluppato; attività di disseminazione (scrittura articoli, convegni). <u>LA4.3</u> Nel secondo semestre 2021 ENEA ha completato l'analisi dei vari settori produttivi, andando ad individuare, laddove possibile, indici di prestazione di primo e secondo livello e facendo un'analisi degli interventi realizzati e proposti in diagnosi energetica. Sono stata completate le linee guida settoriali per i settori delle fonderie, industria farmaceutica ed incenerimento. È stato realizzato uno tool di "energy management". È stata svolta una intensa campagna di disseminazione dei risultati.

	<u>LA5.3</u> Integrazione del software DEES con moduli per l'efficientamento energetico, il riuso idrico e valutazioni di sostenibilità e circolarità. Casi studio. Valutazione degli effetti del recupero termico in fognatura sui processi depurativi. Caso studio riuso energia termica per essiccazione fanghi. Definizione delle rese del processo di produzione di biometano, a partire da substrati gassosi e quantificazione dei CAPEX e OPEX del sistema di upgrading biologico del biogas in modalità ex-situ.
UNIROMA1 (CITERA)	<u>LA2.6</u> L'attività di ricerca ha riguardato la realizzazione della soluzione prefabbricata di isolamento a cappotto della chiusura verticale dell'edificio dimostratore e la valutazione delle prestazioni energetiche ante e post-intervento di efficientamento sia attraverso simulazioni che con monitoraggio in situ. Le prestazioni del sistema sono state testate in termini di efficientamento, modularità, tempi di posa per lo sviluppo di una filiera industriale basata sui principi dell'edilizia off-site.
CINTEST	<u>LA2.9</u> La metodologia utilizzata nella LA2.9 è la Business Process Reengineering (BPR), la reingegnerizzazione dei processi distributivi della supply chain dei sistemi ETICS. Nel secondo semestre del 2021 si sono approfondite e concluse le analisi che hanno portato all'applicazione delle best practices individuate ai processi as-is e quindi all'identificazione di strategie per il miglioramento dell'efficienza dei processi analizzati. <u>LA2.14</u> È stata sviluppata una metodologia, per il confronto dei processi di realizzazione di diversi sistemi ETICS, basata sul concetto di ciclo di vita e che consente di determinare la soluzione economicamente ed ambientalmente più sostenibile a parità di resistenza termica raggiunta. Tale metodologia è stata implementata all'interno di un foglio di calcolo che può consentire di migliorare la conoscenza da parte degli operatori del settore delle performance economico-ambientali dei sistemi ETICS, individuando facilmente quali sono le fasi del ciclo di vita maggiormente impattanti e sui cui può essere utile intervenire per migliorare la sostenibilità dell'intero sistema. <u>LA4.12</u> Il gruppo di ricerca ha finalizzato l'analisi dei settori i settori farmaceutico, dell'incenerimento dei rifiuti e delle fonderie, analizzandone fasi principali, parametri di influenza e flussi di energia. Dopo un'analisi della letteratura tecnico-scientifica si è arrivati alla definizione delle formulazioni per gli indicatori ideali di prestazione energetica per i processi e sistemi più rilevanti, identificando le principali linee d'azione per ridurre i consumi energetici nei tre settori.
UNIME	<u>LA2.11</u> Le attività sono state volte alla verifica e controllo del software del sistema di videoregistrazione EneaMonitor e sono stati elaborati due documenti a supporto dello stesso: il Manuale di installazione ed il Manuale d'uso del software basato sulla tecnologia Java Web Start (JWS) che fornisce agli operatori un'interfaccia semplice e intuitiva per la gestione del sistema di videoregistrazione per monitorare le condizioni pre-, in- e post- installazione del dimostratore.

POLIMI (LECCO)	<u>LA2.13</u> Le fasi metodologiche principali in cui è stato organizzato il lavoro di ricerca prevedevano come risultato finale l'implementazione dell'atlante della tecnologia S/R che era stato prodotto come output delle attività dell'annualità precedente. Le attività svolte nel periodo luglio 21 – dicembre 21 in particolare possono essere così riassunte: studio, disegno e analisi delle soluzioni d'involucro, implementazione del catalogo di soluzioni tecniche, elaborazione e stesura del report finale.
UNIFI (UGO SCHIFF)	<u>LA3.5</u> Sintesi e caratterizzazione chimico-fisica di due campioni di nanoparticelle (NP) di magnetite funzionalizzati con acido trimesico con proprietà controllate. Studio delle proprietà magnetiche ed ipertermiche dei nanocompositi NP/MOF, che ha mostrato la maggiore efficienza ipertermica di MFC UNISAM a causa del diverso ruolo delle interazioni. Messa a punto di un processo sintetico delle NP facilmente scalabile alla produzione industriale, a basso costo e basso impatto ambientale.
UNIROMA1 (CHIMICA)	<u>LA3.7</u> Le attività di ricerca hanno riguardato lo sviluppo di un MOF composito magnetico (MFC) ottenuto mediante sintesi assistita da microonde e stabile in acqua, denominato MFC-UNISAM. Il materiale ottenuto ha mostrato un pattern di diffrazione (PXRD) che evidenzia le fasi cristalline relative alla magnetite e al MOF. Parallelamente sono state realizzate due ulteriori sperimentazioni focalizzate sullo sviluppo di MOF bimetallici e sulla realizzazione di una modifica post-sintesi idrofobizzante.
DENERG	<u>LA3.14</u> Il processo CaL può essere integrato con un EAF con indice di SPECCA di 4.1- 0.1 MJ/kgCO₂ e costi della CO₂ evitata di 250-179 €/tCO₂. L'applicazione del CaL solare al cementificio tradizionale comporta indici SPECCA di circa 1.4-0.2 MJ/kgCO₂ e costi della CO₂ evitata di 53-62 €/tCO₂. La CO₂ catturata può essere utilizzata in sistemi Fischer Tropsch per la produzione di idrocarburi sintetici con consumi di energia primaria e costi della CO₂ evitata e convertita di 22-33 MJ/kgCO₂ e 543-914 €/tCO₂.
UNIROMA1 (INGEGNERIA)	<u>LA3.17</u> È stata condotta una sperimentazione dedicata all'interazione di CO₂ con un letto fisso di ferro. Al diminuire della portata si è riscontrato un aumento della conversione. Con una portata pari ad 1 NL/min, sono state condotte prove tra 850°C e 1050°C, con conversione massima del 46.62%. Inoltre, è stata svolta una simulazione con il software Aspen Plus, che ha evidenziato una producibilità di 350 kg/h di metanolo da 386.7 kg/h di syngas (75% H₂, 25% CO) ottenuto con processi redox (Fe₂O₃/FeO).
UNIROMA2	<u>LA3.23</u> Nel secondo semestre della terza annualità il gruppo di ricerca dell'università di Roma "Tor Vergata" si è dedicato alla validazione e contestualizzazione degli strumenti sviluppati. In particolare, è stata conclusa l'attività di interviste ai fornitori di tecnologie di recupero di calore e progetti di ricerca simili, ed è stata conclusa l'attività di sperimentazione degli strumenti sviluppati affrontando tre casi di studio relativi a grandi aziende operanti nel settore industriale italiano.

	<u>LA4.6</u> Il gruppo di ricerca ha finalizzato l'analisi di campione significativo di aziende per valutare la variazione del loro livello di maturità e dello sviluppo nel tempo della prestazione energetica, analizzando gli scostamenti degli indicatori di prestazione energetica di livello A e B attraverso l'utilizzo di strumenti statistici. È stata valutata anche la correlazione tra la variazione della prestazione energetica delle aziende soggette all'obbligo e la variazione del loro livello di maturità.
DIIEUNIVAQ	<u>LA3.12</u> Test di circolazione del materiale solido sono stati effettuati sul modello freddo del calcinatore, in funzione delle portate di gas in ingresso. È emerso che, con portate di gas simili a quelle di progetto, è possibile ottenere una circolazione di solido 2,5 volte maggiore rispetto alla minima necessaria. Sono state inoltre portate avanti le simulazioni CPFD del calcinatore, utilizzando un modello cinetico più adatto per le particelle solide e considerando un regime non isoterma; le simulazioni aggiornate hanno fornito conversioni finali pari a 92%. <u>LA3.26</u> L'attività svolta ha riguardato lo sviluppo di una procedura per l'integrazione di tecnologie di recupero del calore in reti di scambiatori di calore. Sono state considerate tecnologie quali ORC e pompe di calore a compressione per la produzione di energia elettrica e termica a partire da sorgenti a bassa temperatura. Si è proceduto all'analisi di un caso studio relativo a un processo di trattamento del latte dove sono state evidenziate le opportunità di efficientamento del processo.
DPIA-UNIUD	<u>LA3.28</u> Nel periodo luglio-dicembre 2021 per la linea di attività 3.28 si è validato il modello di calcolo delle prestazioni economiche, applicandolo a profili tipo del settore caseario. Si sono sviluppati due casi di studio (utenti: aziende casearie, serre di orticoltura) studiando potenziale recupero termico da azienda che produce surgelati. Si sono svolte attività di disseminazione e comunicazione, contribuendo all'organizzazione di eventi con potenziali aziende utenti o fornitrici di tecnologie, e realizzando articoli scientifici.
DIIN-UNISA	<u>LA4.9</u> Nel periodo lug21–dic21, nel WP4- Progetto 1.6 del Piano Triennale 2019-2021 della RdS elettrico nazionale, il DIIN-UNISA ha effettuato l'analisi energetica dei processi produttivi dei settori Fonderie, Incenerimento Rifiuti e Farmaceutico. La collaborazione con le associazioni ha permesso di reperire i dati per il calcolo di indicatori di prestazione utilizzati nella realizzazione di un cruscotto di monitoraggio utile alle singole aziende per il controllo delle proprie performance energetiche.
UNIFI (DIEF)	<u>LA4.15</u> Nel 2° semestre del 2021 UNIFI ha stilato una lista di soluzioni tecnologiche "energy-saving" per i settori delle fonderie, farmaceutico e trattamento rifiuti sulla base dello studio di documenti scientifici e studio delle diagnosi energetiche. Suddetta lista è stata poi validata da esperti di settore. Inoltre, sono stati individuati i trend di investimento passati e futuri dei tre settori. Infine, è stato realizzato un modello di assessment multi-criterio più avanzato rispetto al precedente.
DICAM-BO	<u>LA4.17</u> Elaborazione dei dati e calcolo di indicatori energetici settoriali, in particolare per le fasi di atomizzazione, smaltatura e per le operazioni di fine linea. Descrizione del processo produttivo e

	dello sviluppo impiantistico per le fasi analizzate. Implementazione delle tecnologie per la riduzione dei consumi nei reparti produttivi e ausiliari. Definizione dei benefici attesi dall'implementazione delle principali strategie di efficientamento, relative a tre casi studio reali. <u>LA5.12</u> Sulla base degli Indicatori individuati, sito- specifici e di prestazione, è stato realizzato un foglio di calcolo per comparare le soluzioni NBS applicabili ad un determinato contesto. Questo strumento permette al gestore/pianificatore/progettista, di individuare la soluzione tecnicamente ed economicamente più idonea ed efficiente al fine di ridurre l'impatto quali-quantitativo che le acque meteoriche hanno sui corpi idrici ricettori, sulla rete stessa e sui sistemi di depurazione di valle.
DICEA	<u>LA5.7</u> È stata investigata la rimozione di carbonio e azoto in reattore UASB/EGSB con fango aerobico granulare raggiungendo rimozioni $\geq 70\%$ per carbonio e $N-NH_4^+$. È stato testato l'effetto della microaerazione sulla digestione anaerobica (DA) di fanghi scarsamente biodegradabili, mostrando effetti positivi di basse dosi di aria. È stato testato un processo di side-stream dell'NH_3 durante DA termofila ad alto tenore di solidi utilizzando un evaporatore a film sottile, evitando l'inibizione del processo.
POLIMI (INGEGNERIA)	<u>LA5.9</u> Nell'ultimo semestre, le attività svolte nella LA 5.9 hanno riguardato in prima parte lo svolgimento di misure sperimentali dell'attività specifica idrogenotrofa (SHMA), valore inserito successivamente nel modello sviluppato sempre nella LA 5.9. Infine, il modello è stato calibrato e validato con i dati sperimentali raccolti da due impianti pilota. I risultati hanno dimostrato che combinare modello matematico e misura di SHMA può essere utile per ottimizzare il processo di upgrading biologico.
DICAM-TN	<u>LA5.11</u> L'attività di ricerca svolta ha riguardato l'esecuzione di test sperimentali atti a verificare le performance del processo combinato di digestione anaerobica (AD) e carbonizzazione idrotermica (HTC) in termini di riduzione della produzione di fango, incremento della produzione di biogas e miglioramento della disidratabilità. Risultati significativi sono stati osservati con il test HTC alimentato con una miscela di digestato e FORSU e il successivo ricircolo in AD dello slurry prodotto.