

# PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2022-2024 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

## Tema di ricerca 1.6

### Titolo del progetto

#### Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali

- Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]
- Dipartimento di Architettura Alma Mater Studiorum Università di Bologna [UNIBO\_DA]
- Dipartimento di architettura ingegneria delle costruzioni e ambiente costruito Politecnico di Milano [POLIMI\_DABC]
- Dipartimento di Chimica "Ugo Schiff" Università degli Studi di Firenze [UNIFI\_DCUS]
- Dipartimento di Chimica Università degli Studi di Roma La Sapienza [UNIROMA1\_DC]
- Dipartimento di Economia Ingegneria Società e Impresa Università degli Studi della Tuscia [UNITUS\_DEIM]
- Dipartimento di Economia Università degli Studi Roma Tre [UNIROMA3\_DE]
- Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica Università di Trento [UNITN\_DICAM]
- Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali Università di Bologna [UNIBO\_DICAM]
- Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale Università degli Studi di Napoli Federico II [UNINA\_DICEA]
- Dipartimento di Ingegneria dell'Impresa "Mario Lucertini" Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" [UNIROMA2\_DII]
- Dipartimento di Ingegneria Gestionale Politecnico di Milano

- [POLIMI\_DIG1]
- Dipartimento di Ingegneria Gestionale Politecnico di Milano [POLIMI\_DIG2]
- Dipartimento di Ingegneria Industriale Alma Mater Studiorum Università di Bologna [UNIBO\_DIN]
- Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e di Economia Università degli Studi dell'Aquila [UNIVAQ\_DIIIE1]
- Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e di Economia Università degli Studi dell'Aquila [UNIVAQ\_DIIIE2]
- Dipartimento di Ingegneria Industriale Università degli Studi di Firenze [UNIFI\_DII]
- Dipartimento di Ingegneria Industriale Università degli Studi di Salerno [UNISA\_DIIN1]
- Dipartimento di Ingegneria Industriale Università di Salerno [UNISA\_DIIN2]
- Dipartimento Energia Politecnico di Torino [POLITO\_DENERG]
- Dipartimento Ingegneria Chimica Materiali Ambiente Università degli Studi di Roma Sapienza [UNIROMA1\_DICMA1]
- Dipartimento Ingegneria Chimica Materiali Ambiente Università degli Studi di Roma Sapienza [UNIROMA1\_DICMA2]
- Dipartimento Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche Università Politecnica delle Marche [UNIVPM\_DIISM]
- Scuola di Ingegneria Università degli Studi della Basilicata [UNIBAS\_SI]

**Durata del progetto: 36 mesi**

**Costo proposto: 8.700.000,00 €**

## 2. DATI GENERALI DEL PROGETTO

### 2.1 Dati progetto

**Titolo del progetto**

Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali

**Durata del progetto**

36 mesi

### 2.2 Descrizione progetto

**Abstract del progetto**

Negli anni recenti l'intensità energetica dell'industria nazionale è andata progressivamente diminuendo, sia per la delocalizzazione delle produzioni più energy intensive, sia per il costante incremento dell'efficienza energetica. I dati ricavati dall'analisi delle diagnosi energetiche eseguite ai sensi dell'articolo 8 del D.lgs. 102/2014 e le informazioni derivanti dai progetti di efficienza energetica eleggibili ai sensi del meccanismo dei certificati bianchi offrono una panoramica dei possibili interventi di efficientamento del processo produttivo, evidenziando la mole di investimenti attivabili nel settore delle costruzioni e della produzione di componenti e impianti ad alta efficienza, prevalentemente fornita da industrie nazionali. L'attivazione di tali investimenti richiede però ancora, in moltissimi casi, la realizzazione di attività di ricerca e sviluppo preliminari come la predisposizione di adeguate politiche per l'assicurazione dell'efficienza energetica dei prodotti, lo sviluppo di efficaci metodologie di analisi, controllo e gestione per l'efficienza energetica e il perfezionamento di tecnologie più efficienti. Il progetto si inserisce quindi in tale contesto, andando ad arricchire un filone di ricerca nazionale e internazionale molto prolifico negli ultimi anni, come testimoniato dalla grande attenzione rivolta a questi argomenti dalle più recenti call for proposal a livello europeo (Horizon Europe). In particolare, si evidenzia l'interesse sempre più spinto verso l'efficientamento dei processi termici industriali, inteso principalmente come applicazione di tecnologie per l'elettificazione dei processi, recupero e riuso del calore di scarto, lo sviluppo di metodi e strumenti per l'efficientamento energetico con focus su cluster e filiere d'impres e sulle PMI, lo sviluppo di tecnologie efficienti per la decarbonizzazione dei settori hard to abate e l'efficientamento della filiera del riutilizzo idrico.

Il progetto, in linea con quanto indicato in documenti di indirizzo quali Clean Energy Package, PNIEC, PNRR e negli obiettivi nazionali di riduzione delle emissioni, ha quindi l'obiettivo generale di 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.

Rispetto allo stato dell'arte e alle attività svolte da ENEA e dai cobeneficiari nell'ambito del PTR 19-21, gli obiettivi scientifici e tecnologici del progetto consentiranno (in misura diversa per ciascun WP a seconda della tipologia di attività previste, più o meno sperimentali), se raggiunti: (i) di incrementare l'impatto di misure di efficientamento energetico note alla comunità scientifica ma in molti casi poco esplorate da un punto di vista ingegneristico, e che presentano notevoli barriere alla diffusione industriale di tipo conoscitivo, gestionale ed economico (WP1, WP2 LA 2.1-2.14, WP3); (ii) di sviluppare strumenti che facilitino il trasferimento di conoscenze e competenze relative all'efficienza energetica nei processi industriali e l'adozione di misure di efficientamento energetico note alla comunità scientifica a specifici settori/distretti/catene del valore (WP2 LA 2.4-2.14, WP3); (iii) di incrementare il grado di sviluppo/ingegnerizzazione di tecnologie per l'efficienza energetica in ambito industriale (WP2 LA 2.15-2.18, WP4, WP5).

Per quanto riguarda il WP1, gli obiettivi principali della proposta progettuale sono: (i) proteggere l'industria nazionale ed europea dalla concorrenza sleale delle importazioni di prodotti non-conformi; (ii) assicurare il consumatore sulle reali prestazioni energetiche, funzionali e dell'efficienza dei materiali per i beni acquistati; (iii) supportare il Paese nel raggiungimento degli obiettivi di miglioramento dell'efficienza energetica pianificati in risposta agli obblighi comunitari, e ai più recenti obiettivi di sostenibilità dell'economia circolare (durabilità, riparabilità, riciclabilità, ecc).

Per quanto riguarda il WP2, l'obiettivo generale è quello di realizzare studi e sviluppare soluzioni per l'efficientamento e l'ottimizzazione di processi, distretti e filiere industriali. Il WP è caratterizzato da una serie di obiettivi specifici, dettagliati nel seguito.

- (i) Sviluppare strumenti per la caratterizzazione termica dei processi industriali, la valorizzazione del calore di scarto e la gestione ottimale dei flussi termici ad essi associati.
- (ii) Favorire la diffusione di tecnologie non termiche e termiche innovative che possono essere impiegate come alternativa o complemento ai processi termici tradizionali nel settore alimentare attraverso la realizzazione di specifici strumenti di supporto alle decisioni.
- (iii) Caratterizzare la filiera di produzione e fornitura delle soluzioni OSC per l'isolamento termico degli edifici, andando a fornire degli

strumenti per la sua ottimizzazione energetica e integrazione.

(iv) Identificare e favorire l'adozione di best practices e best available technologies nel settore vitivinicolo.

(v) Sviluppare un materiale composito a base di MOF e nanoparticelle magnetiche con proprietà ottimizzate per la separazione di miscele post-combustione CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> mediante tecnologia MISA.

Per quanto riguarda il WP3, gli obiettivi principali sono guidare le imprese nel passaggio da un approccio all'efficienza a progetto o dettato da esigenze contingenti a un approccio di miglioramento continuo, e fornire ai decisori politici/istituzionali elementi per valutare con maggiore consapevolezza politiche volte al risparmio e alla gestione energetica.

Per quanto riguarda il WP4, l'obiettivo principale è la dimostrazione della produzione in pressione di H<sub>2</sub> gas gassificazione di biomasse residuali ad emissioni negative di CO<sub>2</sub>.

Infine, le attività del WP5 hanno l'obiettivo di sviluppare e validare tecnologie e metodologie per l'efficientamento energetico del settore idrico, dalle reti di raccolta fognarie agli impianti di trattamento delle acque reflue, con ulteriore estensione alle infrastrutture dedicate al riutilizzo finale dei reflui come fonti idriche non convenzionali.

### Abstract del progetto ENG

In recent years, the industrial energy intensity in Italy has been gradually decreasing, both due to the relocation of more energy-intensive production and the steady increase in energy efficiency. Data obtained from the analysis of the energy diagnoses carried out by large and energy intensive companies pursuant to Article 8 of Legislative Decree 102/2014 and the information deriving from the energy efficiency projects eligible under the Energy Efficiency Certificates mechanism offer an overview of the possible interventions to improve the efficiency of production process, highlighting the amount of investment that can be activated in the construction sector and in the production of high-efficiency components and plants, mainly provided by Italian industries. However, the activation of these investments often requires the implementation of preliminary research and development activities such as the preparation of adequate policies for energy efficiency of different products, the development of effective analyses and management and control methodologies for energy efficiency, and the further development of more efficient technologies. The project therefore fits into this context, adding to a strand of national and international research that has been very prolific in recent years, as witnessed by the great attention paid to these topics by the most recent call for proposals at European level (Horizon Europe). In particular, there is a growing interest in the efficiency of industrial thermal processes, mainly understood as the application of technologies for the electrification of processes, the recovery and reuse of waste heat, the development of methods and tools for energy efficiency with a focus on clusters and supply chains of companies and SMEs, the development of efficient technologies for the decarbonisation of hard-to-abate sectors, and the efficiency of the water reuse chain.

The project, in line with what is indicated in guiding documents such as the Clean Energy Package, PNIEC, PNRR and in the national emission reduction targets, has the overall objective of developing methods, tools and solutions to increase the effectiveness of energy efficiency actions in the industrial context by favouring an analytical and integrated approach ranging from the individual product/machinery to the production process, industrial district, production chain up to the sector, with specific focus on the efficiency enhancement of thermal processes, SMEs, hard-to-abate industries and the Off-Site Construction chains for the renovation of the building stock and water reuse. The project results will form a 'toolbox' for national companies to help them strengthen industrial leadership, autonomy and resilience in strategic value chains and areas of potential industrial alliances, bringing them closer to the paradigm of dynamic innovation ecosystems.

With respect to the state of the art and to the activities carried out by ENEA and the co-beneficiaries within the framework of PTR 19-21, the scientific and technological objectives of the project will allow (to a different extent for each WP, depending on the type of activities envisaged, more or less experimental), if achieved: (i) to increase the impact of energy efficiency measures known to the scientific community but in many cases little explored from an engineering point of view, and which present significant cognitive, managerial and economic barriers to industrial implementation (WP1, WP2 LA 2. 1-2.14, WP3); (ii) to develop tools that facilitate knowledge and skills transfer in relation to energy efficiency in industrial processes and the adoption of energy efficiency measures known to the scientific community within specific sectors/districts/value chains (WP2 LA 2.4-2.14, WP3); (iii) to increase the degree of development/engineering of energy efficiency technologies in the industrial context (WP2 LA 2.15-2.18, WP4, WP5).

As far as WP1 is concerned, the main objectives of the project proposal are: (i) to protect the national and European industry from unfair competition from imports of non-compliant products; (ii) to inform the consumer in relation to actual energy, functional and efficiency performances of the materials; (iii) to support the national achievement of planned energy efficiency improvement objectives in response to EU obligations, and of the most recent circular economy sustainability objectives (durability, reparability, recyclability, etc.).

As far as WP2 is concerned, the general objective is to carry out studies and develop solutions for the efficiency improvement and optimisation of processes, clusters and industrial supply chains. The WP is characterised by a number of specific objectives, which are detailed below.

(i) Developing tools for the thermal characterisation of industrial processes, the valorisation of waste heat and the optimal management of associated heat flows.

(ii) Foster the dissemination of innovative non-thermal and thermal technologies that can be used as an alternative or complement to traditional thermal processes in the food sector through the development of specific decision support tools.

(iii) Characterise the production processes and supply chain of OSC solutions for the thermal insulation of buildings by providing tools for

its energy optimisation and integration.

(iv) Identifying and fostering the adoption of best practices and best available technologies in the wine production sector.

(v) To develop a composite material based on MOF and magnetic nanoparticles with optimised properties for the separation of CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> post-combustion mixtures by means of MISA technology.

Concerning WP3, the main objectives are to guide companies in moving from a project-based or needs-driven approach to efficiency to a continuous improvement approach, and to provide policy/institutional decision-makers with elements to better evaluate energy saving and energy management policies.

Concerning WP4, the main objective is the demonstration of the pressurised production of H<sub>2</sub> gasification of residual biomass with negative CO<sub>2</sub> emissions.

Finally, the activities of WP5 aim to develop and validate technologies and methodologies for energy efficiency in the water treatment sector, from sewage collection networks to wastewater treatment plants, with further extension to infrastructures dedicated to the final reuse of wastewater as non-conventional water sources.

## 2.3 TRL progetto

TRL iniziale: 5

TRL finale: 7

Il TRL di progetto va da un valore iniziale di 5 ("Technology validated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)" per la Commissione Europea, ovvero "Tecnologia convalidata in un ambiente rilevante (un ambiente industrialmente rilevante nel caso di tecnologie abilitanti fondamentali)") ad un valore finale di 7 ("System prototype demonstration in operational environment", ovvero "Dimostrazione del prototipo del sistema in ambiente operativo").

I valori indicati sono leggermente più alti rispetto a quelli che caratterizzavano il progetto 1.6 di ENEA nel triennio precedente (Piano Triennale di Realizzazione, PTR, 19-21) in quanto risultanti da una media tra attività che vedono in questo triennio una continuazione e quindi un ulteriore sviluppo e attività di nuova proposta con TRL generalmente più basso.

I valori forniti si riferiscono all'intero progetto, e vengono necessariamente da un'azione di mediazione tra due differenti tendenze che connotano la proposta progettuale di ENEA per il Tema 1.6: una più vicina alla ricerca sperimentale di base, caratterizzata quindi da valori di TRL tendenzialmente più bassi, e una più vicina alla ricerca applicata in ambiente industriale, caratterizzata quindi da valori di TRL tendenzialmente più elevati.

Benché la presenza di queste due tendenze distinte nello stesso progetto ne complichino in parte la gestione, introducendo problematiche e necessità differenti, si sottolinea come questa scelta favorisca il dialogo con il mondo dell'industria e l'allineamento del gruppo di lavoro verso una maggiore applicabilità dei risultati finali anche in quelle fasi della ricerca che sono tradizionalmente meno vicine all'industrializzazione dei prodotti.

Per le attività a TRL più alto (WP1, parte del WP2, WP3), l'incremento del valore di TRL si concretizza attraverso la realizzazione di azioni finalizzate all'ottenimento di una maggiore penetrazione di tecnologie e metodologie sviluppate nel mercato e tra gli utenti finali (ad es. una maggiore diffusione dell'etichettatura energetica e dei principi di sostenibilità come efficienza, durabilità, riparabilità/smontabilità per i prodotti connessi all'energia, la realizzazione di strumenti di supporto alle decisioni che aiutino le aziende nell'identificazione, valutazione e adozione di best practice e best available technologies energetiche, l'ottimizzazione della filiera produttiva per la riqualificazione energetica dell'ambiente costruito al fine di incrementare la diffusione degli interventi di recupero del patrimonio edilizio). Inoltre, sono previsti per queste attività dei tavoli di lavoro che saranno organizzati periodicamente e che includeranno rappresentanti industriali della domanda e dell'offerta delle tecnologie rilevanti con la finalità di avviare confronti costruttivi con i principali stakeholders e quindi di favorire l'implementazione in ambiente industriale dei risultati del progetto, recependo anche le necessità e i requisiti da loro espressi.

Per le attività più sperimentali, a TRL più basso (parte del WP2, WP4, WP5), l'incremento del valore di TRL si concretizza invece attraverso l'ingegnerizzazione delle tecnologie di interesse e la realizzazione di prototipi adatti al test in ambiente industriale e in condizioni comparabili con quelle reali di funzionamento. A tale scopo saranno allestiti appositi banchi prova che permetteranno di ricreare le condizioni reali di utilizzo delle tecnologie realizzate, testarne le prestazioni in uso e dimostrarne le principali proprietà. Saranno inoltre realizzati prototipi che consentiranno l'esecuzione di prove e la validazione in ambiente rilevante di tecnologie e metodologie sviluppate.

## 2.4 Inquadramento del progetto nello stato dell'arte

### a) Stato dell'arte nazionale e internazionale relativamente alle attività previste nel progetto

Il progetto si inserisce in un contesto di ricerca nazionale e internazionale molto prolifico soprattutto nell'ultimo decennio. Sono stati individuati una serie di ambiti di ricerca promettenti per il futuro, focalizzati sulla definizione di politiche per l'assicurazione dell'efficienza

energetica dei prodotti, sullo sviluppo di metodologie e strumenti per l'efficienza energetica e sul perfezionamento di tecnologie più efficienti.

Nell'ambito del WP1 ci si concentrerà su sviluppo e diffusione di standard per l'ecoprogettazione e l'efficienza energetica dei prodotti connessi all'energia nei settori industriale, professionale e domestico, e politiche di efficienza energetica, principalmente etichettatura energetica ed ecodesign. Questi sono presenti a livello mondiale in molti paesi e macroregioni: UE [1, 2], Usa [3, 4], Australia [5], Cina [6, 7], Giappone [8], America latina [9], bacino del Mediterraneo [10], ecc., e sono intese da un lato a disciplinare le caratteristiche per l'accesso dei prodotti ai relativi mercati e dall'altro ad informare i consumatori/utenti finali mediante informazioni standardizzate. Queste misure politiche sono aggiornate dai rispettivi governi tenendo conto dello sviluppo tecnologico di ciascun prodotto, di misure simili adottate dagli altri paesi e del risultato che si vuole ottenere dall'aggiornamento della legislazione dove il termine "efficienza" viene sempre più inteso non solo come efficienza energetica e delle altre risorse utilizzate nella fase d'uso (acqua e materiali di consumo), ma anche più recentemente come "efficienza dei materiali", o "material efficiency" in inglese, dell'intero ciclo di vita di un prodotto: durata della vita utile, riparabilità, recuperabilità delle materie prime a fine vita, ecc. In parallelo negli ultimi anni è risultato sempre più evidente da un lato il ruolo critico della sorveglianza del mercato per garantire la conformità dei prodotti immessi sui rispettivi mercati, e dall'altro l'importanza di metodi di misura (standard) aggiornati, accurati e il più possibile armonizzati a livello mondiale. Infatti, utilizzare uno specifico metodo di misura e relative condizioni di prova può dare vantaggi competitivi ad un certo prodotto, e all'industria di un paese, rispetto allo stesso prodotto misurato in condizioni di prova diverse. L'ENEA è il principale ente di ricerca attivo in Italia in questo ambito, e riveste anche un ruolo istituzionale di supporto ai Ministeri competenti e di confronto con le altre realtà europee.

Nell'ambito del WP2 ENEA e i cobeneficiari si occuperanno della valorizzazione del calore di scarto e dell'ottimizzazione degli scambi termici (LA 2.1-2.3), i quali rappresentano un'importante opportunità per il conseguimento della piena sostenibilità dei processi industriali [11-13]. Questi ultimi sono caratterizzati da fluttuazioni temporali dei flussi di energia termica richiesta e resa disponibile, a causa delle loro caratteristiche intrinseche e di altri fattori responsabili di variazioni nei livelli di produzione [14, 15]. Gli studi di simulazione finora condotti in tale campo hanno riguardato principalmente la ricerca di soluzioni di efficientamento energetico rivolte a specifici processi industriali e per fissate condizioni operative [16, 17, 18]. In letteratura non è pertanto disponibile una metodologia flessibile, in grado di indagare processi produttivi diversi per tipologia e complessità, consentire la gestione ottimale delle possibili variazioni temporali dei flussi di calore e indirizzare l'azienda verso l'individuazione degli interventi più opportuni in termini di costi/benefici. L'analisi della letteratura in tale ambito ha infatti evidenziato come gran parte degli studi finora condotti abbiano riguardato l'analisi di specifici casi di studio con l'obiettivo di individuare soluzioni di efficientamento dei processi industriali per fissate condizioni operative delle differenti fasi di processo. A tale proposito, Han et al. [16] hanno messo a punto un modello per analizzare l'integrazione di un sistema di recupero del calore di scarto all'interno di un impianto per la produzione di cemento. L'utilizzo combinato della pinch-analysis e dell'analisi exergetica ha consentito di ottimizzare il funzionamento del sistema di recupero, determinando un incremento della potenza elettrica prodotta di circa il 5%. Kim et al. [17] hanno esaminato la possibilità di integrare una rete di scambiatori ed una pompa di calore per il recupero del calore di scarto dalle acque reflue di un'industria tessile. Grazie all'impiego della pinch-analysis, è stato possibile effettuare il retrofit della rete di scambiatori, conseguendo una riduzione del costo totale annualizzato di circa il 43% rispetto ad un'industria tessile prima di sistema di recupero.

Kaviani et al. [19] hanno condotto uno studio volto all'ottimizzazione dei consumi energetici associati ad un impianto per la produzione di latte in polvere. Il progetto della rete di scambiatori di calore è stato condotto utilizzando il software Energy Aspen analyzer, che ha consentito di definire la soluzione ottimale in termini di costi di investimento, numero di unità, superficie di scambio e costi operativi. In letteratura sono inoltre disponibili alcuni strumenti informatici [20-22] in grado di esaminare la possibile integrazione tra correnti termiche attraverso l'applicazione della pinch analysis. Tuttavia, tali strumenti risultano spesso non liberamente accessibili e perlopiù focalizzati all'applicazione della pinch-analysis nel campo delle medie/alte temperature (ad es., reti di scambiatori per il recupero del calore di scarto in cicli combinati gas-vapore, reti di scambiatori in unità di distillazione di prodotti petroliferi e impianti di produzione di acido nitrico, ecc.). Tali strumenti, inoltre, richiedono da parte dell'utente una conoscenza approfondita del processo oggetto di studio, in termini di tipologia e caratteristiche dei flussi di energia termica in gioco.

Sempre nell'ambito del WP2, due delle attività previste (LA 2.4-2.6 e LA 2-13-2.14) saranno focalizzate sull'efficienza energetica dei processi industriali nell'industria alimentare, la quale rappresenta uno dei principali consumatori di energia a livello globale, con una forte dipendenza dai combustibili fossili. I costi energetici rappresentano una percentuale significativa dei costi totali di produzione, tra il 20-40% [23]. Negli ultimi anni sono state sviluppate tecnologie in sostituzione ai processi termici più energivori. Tra questi, i campi elettrici pulsati, la luce pulsata, ultrasuoni ma anche trattamenti termici innovativi quali il riscaldamento ohmico e quello alle microonde possono essere una valida alternativa [24, 25]. Essi consentono una riduzione dei consumi energetici, ridotte emissioni ed elevata qualità degli alimenti trattati. Tuttavia, tali soluzioni sono poco diffuse a causa della mancanza di conoscenza ed informazione sui costi e sui benefici energetici, economici e di prodotto da parte degli operatori del settore alimentare. In aggiunta, sarà realizzato anche un focus sul settore vitivinicolo che, come dimostrato da alcuni studi in ambito accademico [26, 27] ma anche industriale [28] presenta un notevole potenziale di efficientamento.

Un'ulteriore tematica che sarà affrontata nel WP2 (LA 2.7-2.12) sarà quella dell'edilizia off-site (Off-Site Construction - OSC), che offre un nuovo approccio ai processi di produzione e gestione dell'ambiente costruito riducendo l'intensità delle lavorazioni in cantiere per localizzarla principalmente in fabbrica, ambiente controllato in cui è possibile raggiungere standard di efficienza, qualità e sicurezza più

elevati [29]. Diversi studi hanno confrontato le prestazioni dell'OSC e dei metodi di costruzione convenzionali in termini di costo [30], di prestazioni energetiche [30] e di sostenibilità complessiva del processo [31, 32]. Le soluzioni commerciali di isolamento termico per l'ambiente costruito di tipo OSC sembrano poter essere la risposta più efficace alla necessità di massicci interventi di riqualificazione del parco delle costruzioni in Italia. L'OSC, per sua stessa articolazione, richiede di essere caratterizzata da una strategia integrata di pianificazione e ottimizzazione della filiera di produzione e fornitura [33-41]. Tale caratterizzazione e relativa ottimizzazione della filiera di produzione e di fornitura non è ancora stata studiata e sviluppata, in particolare in ambito nazionale, anche per l'ancora limitata applicazione dell'OSC.

Infine, il WP2 prevede alcune attività (LA 2.15-2.18) finalizzate allo sviluppo di materiali compositi contenenti una parte organica porosa ad elevata affinità per la CO<sub>2</sub> (MOF, Metal Organic Framework) ed una componente magnetica (nanoparticelle di Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) da utilizzare per l'efficientamento del processo di rigenerazione dei letti sorbenti nei processi di separazione della CO<sub>2</sub> da postcombustione. L'energia richiesta per la separazione/purificazione delle materie prime rappresenta circa il 15% del consumo globale di energia e in molti cicli produttivi dell'industria chimica e petrolchimica le separazioni arrivano a consumare il 40-50% dell'energia di processo [42]. Attualmente, le separazioni sono eseguite mediante distillazione criogenica, processi a membrana e processi di assorbimento. Una valida alternativa per la separazione di molecole gassose è la separazione per adsorbimento che basandosi su interazioni deboli di molecole con substrati solidi è considerata molto promettente ai fini del risparmio energetico. Tuttavia il suo successo dipende dallo sviluppo di adsorbenti altamente efficienti (in termini di selettività, capacità di carico e cinetica di adsorbimento/rilascio), a basso costo e che necessitino di contenuti fabbisogni energetici per la loro rigenerazione. Ad esempio l'elevato costo energetico associato alla rigenerazione dei materiali sorbenti è uno dei maggiori ostacoli per la diffusione delle tecnologie di cattura dell'anidride carbonica alle centrali elettriche. Grandi quantità di energia elettrica (fino al 40% della capacità dell'impianto) sono necessarie per generare le modifiche di pressione richieste per i processi di desorbimento quando i sorbenti vengono rigenerati per PSA (Pressure Swing Adsorption) [43]. In particolare, le separazioni di miscele gassose CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> e l'abbattimento della CO<sub>2</sub> attualmente utilizzati in ambito industriale determinano un aumento del 25-50% del fabbisogno energetico di una centrale elettrica con sostanziale impatto sulla bolletta dei processi produttivi.

Nell'ambito del PTR 2019-2021 sono stati sviluppati materiali innovativi (MFCs-Magnetic Framework Composites) per l'implementazione di una nuova tecnologia separativa chiamata MISA (Magnetic Induction Swing Adsorption). La MISA si basa sull'utilizzo di materiali compositi costituiti da una componente organica con elevata capacità di adsorbimento delle molecole da separare (Metal Organic Framework, MOF) e nanoparticelle magnetiche che si riscaldano in modo immediato sotto l'azione di un campo magnetico alternato permettendo una rigenerazione rapida del sorbente. Il riscaldamento localizzato e "contactless" evita gli sprechi associati ai gradienti termici tra le pareti della colonna (iper-riscaldatura) e il cuore del letto sorbente e permette una maggiore omogeneità delle temperature del letto sorbente limitando la presenza di "hot-spot" spesso responsabili della degradazione e facilitando una rigenerazione più rapida grazie all'elevata velocità di riscaldamento. LA MISA pertanto permette di superare alcuni limiti della più tradizionale Temperature Swing Adsorption (TSA) promettendo un aumento dell'efficienza complessiva e della produttività delle operazioni di separazione del gas. Quando nel 2019 il progetto di ricerca è stato sottoposto ad approvazione, in letteratura era presente un limitato numero di pubblicazioni relativo all'argomento e i materiali proposti e investigati erano principalmente Magnetic Framework Composites. Negli ultimi cinque anni la tecnologia separativa basata sull'induzione magnetica ha attratto l'interesse di diversi gruppi di ricerca che l'hanno sperimentata con materiali compositi a base di adsorbenti tradizionali quali carboni attivi e zeoliti [44,45]. Infatti l'elettificazione dei processi separativi è al centro di un rinnovato interesse quale metodo di intensificazione e decarbonizzazione dei processi produttivi. Quale banco di prova per dimostrare le potenzialità economiche della tecnologia è stata scelta il processo di separazione di miscele CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> da post-combustione. In Italia i processi di combustione per la produzione di energia e materiali quali il cemento contribuiscono per circa il 30% alle emissioni di CO<sub>2</sub> [46].

Per il processo separativo CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, in letteratura [47] sono stati sviluppati Magnetic Framework Composites per i quali è stata calcolata un'energia di rigenerazione mediante processo MISA pari a 1,29 MJ kgCO<sub>2</sub>-1. Questo è il valore più basso riportato finora per qualsiasi adsorbente solido poroso valutato per Carbon Capture and Storage post-combustione ed è anche inferiore ai valori stimati (pari a circa 3MJ/Kg) per la tecnologia attualmente più diffusa per la separazione della CO<sub>2</sub> post-combustione ovvero l'assorbimento chimico con solventi a base di ammine, in particolare con monoetanolamina (MEA). Questi risultati sono molto promettenti in termini di risparmio energetico. Tuttavia un'applicazione commerciale e diffusa della MISA richiede investimenti mirati all'ottimizzazione dei materiali, sia in termini di capacità di adsorbimento che di interazione delle nanoparticelle magnetiche con il campo magnetico applicato, e alla ingegnerizzazione del sistema di trasferimento di energia.

Non si può parlare di efficienza energetica se le prestazioni energetiche non sono misurate e confrontate, pertanto, un fondamentale campo di studi nell'ambito delle metodologie per l'efficienza energetica nell'industria e focus del WP3 è quello del benchmarking delle prestazioni energetiche [48, 49]. Sebbene, infatti, siano state sviluppate diverse metodologie per confrontare le prestazioni energetiche di processi produttivi simili [50-52], la maggior parte è basata su dati teorici e su simulazioni, data la grande difficoltà spesso manifestata da ricercatori, ma anche dalle stesse aziende, nel raccogliere dati che siano affidabili e allo stesso tempo significativi [53]. I dati disponibili sono spesso esigui o non sufficientemente rappresentativi e i benchmark risultanti presentano dei campi di esistenza troppo ampi per risultare utilizzabili da parte delle aziende. Parlando poi di efficienza energetica spesso si pone maggiore attenzione a quei settori o aziende che presentano consumi specifici elevati [54], ma che numericamente sono minoritarie rispetto al tessuto produttivo sia italiano che europeo, caratterizzato quasi totalmente da Piccole e Medie Imprese (PMI) [55]. Lo sviluppo di strumenti e politiche per

l'efficientamento energetico delle PMI presenta molteplici sfide dovute alla eterogeneità delle imprese in termini di attività economica, capacità finanziarie e di personale e processi decisionali [56]. La maggioranza della letteratura scientifica si è concentrata nell'analisi di barriere e driver per l'efficienza energetica [57] e nell'analisi qualitativa di politiche [58]. Le poche analisi quantitative in dettaglio riguardano solo pochissimi paesi EU, sono limitate ad alcune regioni e principalmente sono relative al settore manifatturiero [59-62]. Pertanto, un focus sul mondo delle PMI relativamente sia alla diffusione di buone pratiche generali, che allo sviluppo di strumenti pensati ad-hoc per un più consapevole approccio alla gestione dell'energia e alle opportunità ad essa connesse, risulta essere determinate. Il WP4 sarà focalizzato sulla produzione di H2 verde da gassificazione di biomasse residuali mediante processi efficienti di cattura, stoccaggio e riuso di CO2. Allo stato attuale della tecnologia il migliore sfruttamento del syngas prodotto da biomasse è limitato alla combustione di quest'ultimo [63, 64] in moduli cogenerativi con motori a combustione interna per la produzione di energia elettrica e termica (i.e Combined Heat and Power, CHP). Nonostante tale uso della biomassa rappresenti un'opzione a impatto quasi zero, non si valorizza la potenzialità del componente più pulito del syngas che è l'idrogeno soprattutto in contesti come nella produzione di preridotto nel settore siderurgico [65]. Il WP4 propone la gassificazione in pressione di biomasse residuali per la produzione di H2 e la contemporanea cattura di CO2. L'alta pressione consente di ottimizzare l'utilizzo di tali biomasse fino alla produzione di H2 puro mediante successivo processo di purificazione di H2 del tutto simile a quello di un'unità PSA (Pressure Swing Adsorption) utilizzato negli impianti industriali.

Infine, il WP5 si occuperà del settore dei trattamenti delle acque reflue, che per le proprie caratteristiche strutturali, tipologie di configurazioni implementate, processi e tecnologie adottate offre notevoli margini di efficientamento e di recupero energetico tramite l'adozione di molteplici misure, a differente scala di intervento, di tipo gestionale e tecnologico/processistico (es. efficientamento dei processi, delle tecnologie e delle apparecchiature elettromeccaniche, produzione e valorizzazione di vettori energetici quali biogas, installazione di tecnologie per il recupero termico, etc.). Inoltre, i siti di trattamento delle acque reflue urbane sono identificati come "go-to areas" per le energie rinnovabili [66], ossia luoghi adatti all'installazione di impianti per la produzione di energia da tali fonti (es. fotovoltaico, idroelettrico, etc.). La ricerca scientifica e tecnologica nel settore della depurazione continua a portare allo sviluppo di apparecchiature e processi sempre più energeticamente efficienti, sia in virtù della riduzione dei consumi energetici, sia per la valorizzazione energetica dei fanghi e in generale per la produzione di energia in loco [67-70]. Il problema principale è, però, la difficoltà e lentezza con cui il settore depurativo italiano si sta adeguando, come evidenziato anche dalle diagnosi energetiche di settore del 2019, in cui domina la proposta di interventi di efficientamento con bassi costi di investimento e relativamente poco impattanti. In questo senso si possono individuare, allo stato dell'arte, le seguenti priorità, cui il progetto si propone di rispondere: facilità di confronto (benchmarking) tra le prestazioni energetiche del proprio impianto e quelli più efficienti di scala e configurazione simile, disponibilità di strumenti semplici che assistano i gestori nella scelta di interventi di efficientamento, dati quantitativi sui costi e benefici delle diverse tecnologie applicabili, necessità di continuo sviluppo di nuovi processi, per rispondere alla continua evoluzione della normativa e delle linee guida del settore [71-74].

[1] Direttiva 2009/125/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 ottobre 2009 relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti connessi all'energia, GUUE L 285 del 30.10.2009.

[2] Regolamento 2017/1369 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 4 luglio 2017 che istituisce un quadro per l'etichettatura energetica e che abroga la direttiva 2010/30/UE, GUUE L 198 del 28.07.2017.

[3] Appliance and Equipment Standards Program, consultabile al link <https://www.energy.gov/eere/buildings/appliance-and-equipment-standards-program>.

[4] 2021-energy-star-overview-508-051322.pdf, consultabile al link, <https://www.energystar.gov/sites/default/files/asset/document/2021-energy-star-overview-508-051322.pdf>.

[5] Energy Rating Label, consultabile al link <https://www.energyrating.gov.au/>.

[6] China Energy Conservation Program (CECP), <https://certrip.org/cecp/>.

[7] China Energy Label (CEL), <https://certrip.org/cel/>.

[8] METI Ministry for Economy, Trade and Industry, Energy Efficiency and Conservation, consultabile al link [https://www.meti.go.jp/english/policy/energy\\_environment/energy\\_efficiency/index.html](https://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/energy_efficiency/index.html).

[9] Ministero dell'Economia/Istituto Nazionale di Metrologia, Qualità e Tecnologia, Ordinanza N° 234 del 29 giugno 2020, Parziale miglioramento dei Requisiti di Valutazione della Conformità dei Condizionatori d'Aria, stabilendo l'Indice di Prestazione Fredda Stagionale (IDRS), riclassificando le categorie di efficienza energetica e determinando altre disposizioni per la disponibilità di tali prodotti nel mercato nazionale, consultabile al link <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-234-de-29-de-junho-de-2020-264423659>.

[10] UN ESCWA, E-tiquette: energy labelling household appliances in Tunisia, 2021, consultabile al link <https://www.unescwa.org/events/e-tiquette-energy-labelling-household-appliances-tunisia>.

[11] Jouhara H, Khordehghah N, Almahmoud S, Delpech B, Chauhan A, Tassou SA. Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress* 2018;6:268-89.

[12] Su Z, Zhang M, Xu P, Zhao Z, Wang Z, Huang H, et al. Opportunities and strategies for multigrade waste heat utilization in various industries: A recent review. *Energy Conversion and Management* 2021;229:113769.

[13] Chen W, Huang Z, Chua KJ. Sustainable energy recovery from thermal processes: a review. *Energy, Sustainability and Society* 2022;12:46.

- [14] Dal Magro F, Jimenez-Arreola M, Romagnoli A. Improving energy recovery efficiency by retrofitting a PCM-based technology to an ORC system operating under thermal power fluctuations. *Applied Energy* 2017;208:972–85.
- [15] Jiménez-Arreola M, Pili R, Dal Magro F, Wieland C, Rajoo S, Romagnoli A. Thermal power fluctuations in waste heat to power systems: An overview on the challenges and current solutions. *Applied Thermal Engineering* 2018;134:576–84.
- [16] Han T, Wang C, Zhu C, Che D. Optimization of waste heat recovery power generation system for cement plant by combining pinch and exergy analysis methods. *Applied Thermal Engineering* 2018;140:334–40.
- [17] Kim Y, Lim J, Shim JY, Hong S, Lee H, Cho H. Optimization of Heat Exchanger Network via Pinch Analysis in Heat Pump-Assisted Textile Industry Wastewater Heat Recovery System. *Energies* 2022;15:3090.
- [18] Giordano L, Benedetti M. A methodology for the identification and characterization of low-temperature waste heat sources and sinks in industrial processes: Application in the Italian dairy sector. *Energies* 2022;15(1):155.
- [19] Kaviani A, Aslani A, Zahedi R, Ahmadi H, Malekli MR. A new approach for energy optimization in dairy industry. *Cleaner Engineering and Technology* [Internet]. giugno 2022 [citato 24 marzo 2023];8:100498. Disponibile su: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666790822001033>
- [20] Pinchco bvba. Process Analysis and Optimisation Tools (PINCHCO) [Internet]. Disponibile su: <https://www.pinchco.com/en/pinch-analyse/process-analysis-and-optimisation-tools.aspx>
- [21] GNU Pinch [Internet]. Disponibile su: <https://gnupinch.sourceforge.net/>
- [22] ProSim, Software & Services in Process Simulation. Simulis Pinch [Internet]. Disponibile su: <https://www.prosim.net/en/product/simulis-pinch-energy-integration-of-processes-in-excel/>
- [23] Clairand J-M, Briceno-Leon M, Escriva-Escriva, G, Pantaleo AM. Review of Energy Efficiency Technologies in the Food Industry: Trends, Barriers, and Opportunities. *IEEE Access* 2020, 8, 48015–48029.
- [24] Jadhav HB, Annapure US, Deshmukh RR. Non-thermal Technologies for Food Processing. *Frontiers in Nutrition* 2021; 8: 1–14.
- [25] Maloney N, Harrison M. Advanced Heating Technologies for Food Processing. In *Innovation and Future Trends in Food Manufacturing and Supply Chain Technologies*; Elsevier 2016:203–256 ISBN 9781782424703.
- [26] Bandinelli R, Fani V, Bindi B, Aiello G. Environmental practices in the wine industry: an overview of the Italian market. 2020:<https://www.emerald.com/insight/0007-070X.htm>.
- [27] Maicas S, Juan Mateo J. Sustainability of Wine Production. *Sustainability* 2020;12:559.
- [28] The Australian Wine Research Institute. The Code of Good Manufacturing Practice for the Australian Grape and Wine Industry. Second Edition. Consultabile al link [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjXuNedo5z9AhU\\_Z\\_EDHep8DqQQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.awri.com.au%2Fwp-content%2Fuploads%2FWR163The.pdf&usq=AOvVaw22BFMJziEM3u0QrUyKUYLA](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjXuNedo5z9AhU_Z_EDHep8DqQQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.awri.com.au%2Fwp-content%2Fuploads%2FWR163The.pdf&usq=AOvVaw22BFMJziEM3u0QrUyKUYLA)
- [29] Jiang R, Mao C, Hou L, Wu C, Tan J. A SWOT analysis for promoting offsite construction under the backdrop of China's new urbanisation. *Journal of Cleaner Production* 2018;173:225–234.
- [30] Hong J, Shen GQ, Mao C, Li Z, Li K. Life-cycle energy analysis of prefabricated building components: an input-output-based hybrid model. *Journal of Cleaner Production* 2016;112:2198–2207.
- [31] Kamali M, Hewage K. Development of performance criteria for sustainability evaluation of modular versus conventional construction methods. *Journal of Cleaner Production* 2017;142:3592–3606.
- [32] Lopez-Guerrero RE, Vera S, Carpio M. A quantitative and qualitative evaluation of the sustainability of industrialised building systems: A bibliographic review and analysis of case studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2022;157:112034.
- [33] Mintzberg H. The fall and rise of strategic planning. *Harvard Business Review* 1994.
- [34] Shafer SM, et al. The Power of Business Model. *Business Horizons* 2005;48:199–207.
- [35] Trkman P, Budler M, Groznik, A. A business model approach to supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal* 2015;20(6):587 – 602.
- [36] Franzò S, Urbinati A, Chiaroni D, Chiesa V. Unravelling the design process of business models from linear to circular: An empirical investigation. *Business Strategy and the Environment* 2021:<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bse.2892>.
- [37] Osterwalder, A. The Business Model Ontology—A Proposition in a Design Science Approach. PhD Thesis, University of Lausanne, Switzerland 2004.
- [38] Abeynayake, DN, Perera B, Hadiwattege C. A roadmap for business model adaptation in the construction industry: a structured review of business model research. *Construction Innovation* 2022;22(4):1122–1137.
- [39] Goulding J, Pour F, Arif RM, Sharp M. New offsite production and business models in construction: priorities for the future research agenda. *Architectural Engineering and Design Management* 2014;11(3).
- [40] Menghi A, Papetti A, Germani M, Marconi M. Energy efficiency of manufacturing systems: A review of energy assessment methods and tools. *Journal of Cleaner Production* 2019;240:118276.
- [41] Negri M, Cagno E, Colicchia C, Sarkis J. Integrating sustainability and resilience in the supply chain: A systematic literature review and a research agenda. *Business Strategy and the Environment* 2021:DOI: 10.1002/bse.2776.
- [42] Sholl DS, Lively, RP. Seven chemical separations to change the world, *Nature* 2016;532:435– 437.

- [43] Li H, Sadiq MM, Suzuki K, Ricco R, Doblin C, Hill AJ, Lim S, Falcaro P, Hill MR. Magnetic Metal–Organic Frameworks for Efficient Carbon Dioxide Capture and Remote Trigger Release. *Advanced Material* Volume 2016;28 (9):1839-1844.
- [44] Gholami M, Verougstraete B, Vanoudenhoven R, Baron GV, Van Assche T, Denayer JFM. Induction heating as an alternative electrified heating method for carbon capture process. *Chem. Eng. J* 2021;431.
- [45] Lin W, et al. In Situ Electromagnetic Induction Heating for CO<sub>2</sub> Temperature Swing Adsorption on Magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/N-Doped Porous Carbon. *Energy and Fuels* 2020;34(11):14439–14446.
- [46] CAIT Climate Data Explorer via Climate Watch: <https://www.climatewatchdata.org/data-explorer/historical-emissions>.
- [47] Sadiq MM, Konstas K, Falcaro P, Hill AJ, Suzuki K, Hill MR. Engineered Porous Nanocomposites That Deliver Remarkably Low Carbon Capture Energy Costs. *Cell Reports Phys. Sci.* 2020;1(6).
- [48] IEA Energy Efficiency Indicators: Essentials for Policy Making; IEA, Paris 2014.
- [49] Phylipsen GJM, Blok K, Worrell E. International comparisons of energy efficiency-Methodologies for the manufacturing industry. *Energy Policy* 1997;25:715–725.
- [50] Bruni G, De Santis A, Herce C, Leto L, Martini C, Martini F, Salvio M, Tocchetti FA, Toro C. From Energy Audit to Energy Performance Indicators (EnPI): A Methodology to Characterize Productive Sectors. The Italian Cement Industry Case Study. *Energies* 2021;14:8436.
- [51] Lawrence A, Thollander P, Andrei M, Karlsson M. Specific Energy Consumption/Use (SEC) in Energy Management for Improving Energy Efficiency in Industry: Meaning, Usage and Differences. *Energies* 2019;12:247.
- [52] Mengh, R, Papetti A, Germani M, Marconi M. Energy efficiency of manufacturing systems: A review of energy assessment methods and tools. *Journal of Cleaner Production* 2019;240:118276.
- [53] Saygin D, Worrell E, Patel MK, Gielen DJ. Benchmarking the energy use of energy-intensive industries in industrialized and in developing countries. *Energy* 2011;36:6661–6673.
- [54] Worrell E, Bernstein L, Roy J, Price L, Harnisch J. Industrial energy efficiency and climate change mitigation. *Energy Efficiency* 2008;2:109.
- [55] Muller P et al. Annual Report on European SMEs 2021/22. SMEs and environmental sustainability. *SME Performance Review* 2021/2022; European Commission. Publications Office of the European Union 2022.
- [56] Fawcett T, Hampton S. Why & how energy efficiency policy should address SMEs. *Energy Policy* 2020;140:111337.
- [57] Cagno E, Trianni A. Exploring drivers for energy efficiency within small- and medium-sized enterprises: First evidences from Italian manufacturing enterprises. *Applied Energy* 2013;104:276–285.
- [58] Johansson I, Mardan N, Cornelis E, Kimura O, Thollander, P. Designing Policies and Programmes for Improved Energy Efficiency in Industrial SMEs. *Energies* 2019;12:1338.
- [59] Herce C, Biele E, Martini C, Salvio M, Toro C. Impact of Energy Monitoring and Management Systems on the Implementation and Planning of Energy Performance Improved Actions: An Empirical Analysis Based on Energy Audits in Italy. *Energies* 2021;14:4723.
- [60] Trianni A, Cagno E, Thollander P, Backlund S. Barriers to industrial energy efficiency in foundries: a European comparison. *Journal of Cleaner Production* 2013;40:161–176.
- [61] Fleiter T, Schleich J, Ravivanpong P. Adoption of energy-efficiency measures in SMEs-An empirical analysis based on energy audit data from Germany. *Energy Policy* 2012;51:863–875.
- [62] Thollander P, Paramonova S, Cornelis E, Kimura O, Trianni A, Karlsson M, Cagno E, Morales I, Jiménez Navarro JP. International study on energy end-use data among industrial SMEs (small and medium-sized enterprises) and energy end-use efficiency improvement opportunities. *Journal of Cleaner Production* 2015;104:282–296.
- [63] Rapagna S, Kiennemann JN, Foscolo A e PU. Steam-gasification of biomass in a fluidised-bed of olivine particles. *Biomass and Bioenergy* 2000;19(3):187–197.
- [64] Heidenreich S, Müller M, Foscolo PU. *Advanced Biomass Gasification - New Concepts for Efficiency Increase and Product Flexibility*. Academic Press 2016.
- [65] Stendardo S. Decarbonizzazione del ciclo produttivo del ferro e dell'acciaio - Progetto SIMTE (Sistema Informativo e di Monitoraggio delle Tecnologie Energetiche). ENEA - Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE), Roma 2018.
- [66] Capodaglio AG, Olsson G. Energy Issues in Sustainable Urban Wastewater Management: Use, Demand Reduction and Recovery in the Urban Water Cycle. *Sustainability* 2020;12:266.
- [67] Cardoso BJ, Rodrigues E, Gaspar AR, Gomes A. Energy performance factors in wastewater treatment plants: A review. *Journal of Cleaner Production* 2021;322:129107.
- [68] Borzooei S, Campo G, Cerutti A, Meucci L, Panepinto D, Ravina M, Riggio V, Ruffino B, Scibilia G, Zanetti M. Optimization of the wastewater treatment plant: From energy saving to environmental impact mitigation. *Science of The Total Environment* 2019;691:1182-1189.
- [69] Gu Y, Li Y, Li X, Luo P, Wang H, Robinson ZP, Wang X, Wu J, Li F. The feasibility and challenges of energy self-sufficient wastewater treatment plants. *Applied Energy* 2017;204:1463-1475.
- [70] Longo S, Mauricio-Iglesias M, Soares A, Campo P, Fatone F, Eusebi AL, Akkersdijk E, Stefani L, Hospido A. ENERWATER – A standard method for assessing and improving the energy efficiency of wastewater treatment plants. *Applied Energy* 2019;242:897-910.
- [71] Vaccari M, Foladori P, Nembrini S, Vitali F. Benchmarking of energy consumption in municipal wastewater treatment plants – a survey

of over 200 plants in Italy. Water Science Technology 2018;77(9):2242-2252.

[72] Sabia G, Petta L, Avolio F, Caporossi E. Energy saving in wastewater treatment plants: A methodology based on common key performance indicators for the evaluation of plant energy performance, classification and benchmarking. Energy Conversion and Management 2020;220:113067.

[73] Di Fraia S, Massarotti N, Vanoli L. A novel energy assessment of urban wastewater treatment plants. Energy Conversion and Management 2018;163:304-313.

[74] COM (2022) 541 final Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL concerning urban wastewater treatment (recast) 2022/0345 (COD).

#### **b) Attività svolte nel triennio precedente**

Nel precedente triennio sono state svolte attività che vedono una naturale continuazione o un'affinità contenutistica e/o metodologica con alcune delle attività inserite nei seguenti WP e LA della presente proposta: WP1 (WP1 progetto ENEA 1.6 PTR 19-21); WP2, LA 2.1-2.3 (WP3 progetto ENEA 1.6 PTR 19-21, LA 3.18-3.28); WP2, LA 2.7-2.12 (WP2 progetto ENEA 1.6 PTR 19-21); WP2, LA 2.15-2.18 (WP3 progetto ENEA 1.6 PTR 19-21, LA 3.1-3.7); WP3 (WP4 progetto ENEA 1.6 PTR 19-21), WP4 (WP3 progetto ENEA 1.6 PTR 19-21), WP5 (WP5 progetto ENEA 1.6 PTR 19-21). Le restanti LA presentano una proposta completamente nuova rispetto al triennio precedente.

Per quanto riguarda il WP1, il triennio precedente ha visto l'ENEA impegnata nella definizione di politiche di efficienza energetica, principalmente etichettatura energetica ed ecodesign, per alcuni prodotti connessi all'energia nei settori industriale, professionale e domestico. L'ENEA ha fornito supporto al MISE e al MITE per la negoziazione con la Commissione Europea e gli Stati Membri delle proposte di nuovi regolamenti di prodotto, svolgendo anche azioni di monitoraggio dell'applicazione dell'etichettatura energetica nei punti vendita e di miglioramento dell'efficacia della sorveglianza del mercato a protezione dei consumatori e dei produttori nazionali. Sono stati infine predisposti nuovi documenti relativi agli standard mondiali ed europei per le prestazioni degli apparecchi del lavaggio nei settori domestico e professionale. Queste attività serviranno da base metodologica per le attività del triennio 22-24, informando le LA del WP1.

Per quanto riguarda il WP2, LA 2.1-2.3, nel corso del triennio precedente è stato messo a punto un software di supporto alle decisioni, con l'obiettivo di facilitare le aziende di produzione nell'individuazione di interventi di recupero del calore di scarto a bassa temperatura. Il software, sviluppato in ambiente Excel/VBA attraverso un approccio di tipo modulare, offre all'utente la possibilità di: (i) individuare le potenziali sorgenti di calore di scarto associate ai processi produttivi; (ii) definire i possibili interventi di recupero (interni o esterni allo stabilimento); (iii) realizzare la valutazione e il confronto degli interventi rispetto a criteri di natura energetica, economica ed ambientale. Il software è utilizzabile per i processi produttivi di tutti i settori industriali, ma offre un supporto aggiuntivo customizzato per i settori tessile, caseario e di produzione di prodotti da forno (per i quali sono precaricate nel software delle mappe di processo con indicazione di sorgenti e pozzi di calore); il software è inoltre completato da due database realizzati in Access (uno relativo alle tecnologie di recupero e l'altro a casi di studio). Tutti i prodotti descritti sono scaricabili, insieme al manuale di utilizzo, al seguente link:

<https://www.energiaenergetica.enea.it/servizi-per/imprese/documentazione-utile.html>. Il modulo del software messo a punto dall'Università degli Studi dell'Aquila in collaborazione con ENEA consente lo studio (progettazione o retrofit) di reti di scambiatori di calore complesse attraverso una metodologia per l'applicazione della pinch analysis. A seguito dei diversi momenti di confronto avuti nel triennio 19-21 con i principali stakeholder del settore, è emerso come la pinch analysis e il recupero di calore attraverso reti di scambiatori (eventualmente integrate con tecnologie più all'avanguardia come pompe di calore ad alta temperatura, ecc.) sia uno degli interventi di recupero più performanti dal punto di vista costo-efficacia ma ancora poco implementato perché di difficile progettazione/adattamento a casi industriali specifici. Per questo motivo, tale modulo sarà la base di partenza delle attività del triennio 22-24, che andranno a realizzare un software stand-alone per l'analisi e l'ottimizzazione dei flussi termici degli impianti industriali.

Per quanto riguarda il WP2, LA 2.7-2.12, nel corso del triennio precedente è stato messo a punto un catalogo di configurazioni costruttive standard per soluzioni di facciata da realizzare in modalità off-site che, attraverso la raccolta e diffusione di informazioni chiave relative alle modalità costruttive e alle prestazioni di tali configurazioni, consente di agevolare la scelta da parte degli utenti finali, consentendo di accedere alla riqualificazione degli immobili con costi e tempi di realizzazione ridotti. Tale standardizzazione è stata la base di partenza per alcune considerazioni preliminari relative all'ottimizzazione delle relative filiere di produzione, con la finalità di evidenziare possibili azioni di efficientamento e snellimento della fase di gestione. Le attività previste per il triennio 22-24 partono da questa base di informazioni iniziale per realizzare una ricognizione completa delle filiere produttive del settore sul territorio nazionale, studiandone l'efficienza energetica e gestionale con l'obiettivo di creare strumenti utili a rafforzarne la robustezza, l'integrazione e la resilienza. Le attività presentate in questo ambito per il triennio 22-24 nel progetto 1.6 sono fortemente incentrate sull'analisi e l'ottimizzazione (e integrazione) dei processi produttivi e delle relative filiere, prevedendo anche una forte interazione con le principali aziende e categorie di settore. Seguendo le indicazioni fornite dagli esperti revisori del II SAL del PTR 19-21, la parte di attività più centrata sullo studio delle soluzioni per la riqualificazione dell'involucro è stata opportunamente ricollocata nel progetto 1.5 in modo da garantire un migliore allineamento tra obiettivo delle singole LA e obiettivo generale di progetto. Tra i due progetti sarà comunque assicurato, a questo riguardo, un periodico scambio di informazioni nel corso del triennio 22-24.

Per quanto riguarda il WP2, LA 2.15-2.18, nel corso del triennio precedente è stata svolta attività di ricerca sullo sviluppo di materiali

compositi magnetici per l'efficientamento di processi separativi industriali. In questo ambito è stata maturata un'esperienza relativa allo sviluppo di materiali magnetici compositi attivabili mediante induzione da utilizzare per la separazione dell'anidride carbonica in processi post-combustione al fine di migliorare l'efficienza della rigenerazione dei letti sorbenti. In particolare, sono stati sintetizzati e caratterizzati diversi MOF e con uno di questi, un materiale noto con il nome di HKUST-1, sono stati sviluppati dei compositi con magnetite. Alla fine del triennio è stata compiuta un'ottimizzazione delle proprietà chimiche del MOF selezionato per renderlo più stabile in presenza di vapore e un'ottimizzazione delle proprietà magnetiche delle nanoparticelle per ottenere un materiale composito performante nella tecnologia MISA. Utilizzando i dati sperimentali ottenuti sui materiali ottimizzati è stata eseguita una valutazione energetica della tecnologia proposta. Infine, tale attività ha prodotto un banco di prova per lo studio di processi di adsorbimento e desorbimento mediante induzione che può essere opportunamente utilizzato nel triennio 2022-2024.

Per quanto riguarda il WP3, nel corso del triennio precedente si è avviata l'analisi delle diagnosi energetiche obbligatorie, pervenute ad ENEA ai sensi dell'articolo 8 del D.Lgs. 102/2014 e s.m.i.. Lo scopo è stato quello di fornire alle imprese, ma anche ai decisori politici, una serie di informazioni e strumenti utili a perseguire il tema dell'efficienza energetica. In particolare, in collaborazione con i cobeneficiari, si sono presi in considerazione cinque settori manifatturieri (Fonderie, Produzione del Vetro, Incenerimento Rifiuti, Industria Farmaceutica, Cementifici) dei quali sono stati analizzati i consumi energetici e gli interventi di efficientamento energetico. Quindi sono state prodotte delle linee guida settoriali denominate "Quaderni dell'efficienza energetica", all'interno delle quali sono stati riportati i risultati delle attività svolte. Inoltre, sono stati sviluppati due differenti tool disponibili on-line utili alle imprese per avviare un percorso verso un approccio più maturo alla gestione dell'energia: il primo tool è uno strumento di self assessment per valutare il grado di maturità energetica della propria organizzazione, mentre il secondo è uno strumento di gestione ed analisi che consente di approcciarsi al monitoraggio/controllo dei consumi energetici con l'obiettivo di definire piani tecnico/economici per l'individuazione di interventi di efficientamento energetico. L'attività prevista nel presente progetto di ricerca è il proseguimento di quanto svolto nel triennio passato, andando ad ampliare il numero di settori analizzati e, come principale novità, estendendo e adeguando la metodologia adottata anche al comparto delle PMI. Verranno ripresi anche i tool sviluppati nel precedente triennio, aggiornati e potenziati, con l'introduzione di nuove funzionalità relativamente sia al corretto dimensionamento e valutazione tecnico-economica dei progetti di efficientamento energetico, che al supporto verso un approccio più maturo e sistematico alla gestione dell'energia, favorendo sempre di più lo sviluppo e la diffusione di sistemi di gestione dell'energia.

Per quanto riguarda il WP4, nel triennio precedente sono state condotte attività sperimentali a pressione riguardanti l'ottimizzazione di sistemi catalitici e sorbenti per la cattura di CO<sub>2</sub> in processi di reforming del metano con H<sub>2</sub>O. Inoltre, sono stati realizzati tre banchi prova: un primo banco da laboratorio è stato costruito per la conduzione di processi termochimici per la produzione di H<sub>2</sub> ed il riuso di CO<sub>2</sub>. Nel secondo banco prova sono state realizzate scariche elettriche per la riduzione di CO<sub>2</sub> in CO. Infine il terzo banco prova è sistema a doppio letto fluido per la produzione di H<sub>2</sub> mediante la circolazione in continuo di materiale sorbente e catalitico. Tali banchi prova saranno utilizzati nel presente triennio per ulteriori attività sperimentali volte ad avvicinare le tecnologie studiate alla fase di industrializzazione.

Per quanto riguarda il WP5, nel triennio precedente sono stati già proposti e valutati vari strumenti in grado di favorire la conversione degli impianti di depurazione in strutture per il recupero di risorse e principalmente di energia elettrica e termica, garantendo la qualità degli effluenti allo scarico. Alcune delle attività svolte sono da considerarsi concluse, mentre altre avranno un loro prosieguo nel presente triennio, con l'obiettivo di migliorare le prestazioni ottenute e avvicinarsi ulteriormente all'applicabilità industriale. Il software DEES per il Labelling Energetico e per l'analisi di scenario basato su criteri di sostenibilità e circolarità sviluppato nel precedente triennio sarà ulteriormente arricchito di funzionalità e la sua banca dati sarà espansa. Delle varie tecnologie studiate e testate in varia scala, dal laboratorio alla scala reale, le più promettenti (i.e reattore MBBR in alternanza di microaerazione e anossia, reattore ESBG di granulazione anaerobica, reattore di biometanazione idrogenotrofa) saranno ulteriormente sviluppate, automatizzate, efficientate dal punto di vista energetico e, laddove la tecnologia sia pronta per l'upscaling, testate ad una scala maggiore o in un ambiente rilevante. A questo scopo, seguendo anche le indicazioni fornite dagli esperti revisori del II SAL del PTR 19-21, si prevede di coinvolgere operatori di impianto per la realizzazione di alcune esperienze pilota.

### **c) Obiettivi scientifici e tecnologici e progressi attesi rispetto allo stato dell'arte**

Il progetto ha l'obiettivo generale di 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. Il progetto affronta infatti alcune tra le tematiche di maggior rilievo relative all'efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali, in linea con i principali documenti programmatici europei e nazionali. Considerando ad esempio quanto riportato in relazione all'efficientamento energetico in ambito industriale nel SET Plan dell'Unione Europea ("a system approach is needed to derive maximum benefit from all aspects of industrial sustainability") nonché nello Strategic Plan 2021-2024 di Horizon Europe ("As regards industry, efficient use of decarbonised energy will be optimised at all levels, with

a focus on the integration of renewable and low-carbon and low-emission energy sources and the optimisation of energy flows across integrated industrial installations and the wider energy system"), è evidente come stia assumendo sempre più un carattere di urgenza (l'adozione di un punto di vista analitico che consenta di integrare progressivamente gli sforzi di efficientamento energetico e di ottimizzazione energetica dei sistemi industriali in una dimensione non più legata alla singola fase di processo o macchinario, ma relativa al processo produttivo, al distretto industriale, alla filiera produttiva, al comparto/settore produttivo, incrementandone l'efficacia. Per questo motivo, i primi tre WP del progetto partono da un'analisi legata alla verifica dell'efficienza energetica dei prodotti dell'industria nazionale legati al consumo di energia. Il WP1 agisce in linea con la Direttiva 2009/125/CE e il Regolamento 2017/1369, con un conseguente beneficio sia sulle fasi produttive che sulle fasi di utilizzo finale di tali prodotti; il WP2 allarga la visione all'efficienza energetica di processi produttivi e filiere; il WP3 infine amplia ulteriormente il focus a comparti/settori, agendo in linea con la Direttiva 2018/2002/CE e presentando, ancora una volta in linea con i documenti programmatici di Horizon Europe, un focus particolare sulle PMI. In particolare il WP2, nell'ambito del più ampio argomento dell'efficientamento energetico di processi produttivi e filiere, è caratterizzato da alcuni focus specifici definiti in accordo con le tematiche evidenziate sia nel PT sia nel PNIEC e nel SET Plan: valorizzazione del calore di scarto (LA 2.1-2.3, rif. PT); tecnologie per l'elettrificazione ed efficientamento dei processi termici industriali (LA 2.4-2.6, LA 2.15-2.18, rif. PT); efficientamento termico dei processi inseriti nell'ambito di distretti produttivi (LA 2.4-2.6, LA 2.13-2.14, rif. PT e Horizon Europe), tematica che sarà trattata considerando anche gli aspetti di efficientamento della parte elettrica per non trascurare un approccio maggiormente sistemico come raccomandato anche nel SET Plan e che verrà informata, laddove applicabile, dai risultati delle LA 2.1-2.6 e 2.15-2.18; efficientamento energetico di filiere produttive (LA 2.7-2.12, rif. SET Plan e Horizon Europe), tematica per la quale si è scelto di concentrare l'attenzione sulle filiere di produzione di soluzioni di Off-Site Construction per la riqualificazione degli edifici. Quest'ultima scelta è stata dettata dalla grande necessità di efficientamento di tali filiere e di incremento della loro produttività evidenziata nel PNIEC, dove il settore residenziale è identificato come quello che presenta maggiore potenziale di efficientamento e i tassi di riqualificazione sono stimati in netta crescita (dallo 0,26% nel 2014-2018 allo 0,7% nel 2020-2030, stime ancora più alte nella discussione per la nuova EPBD) e anche nel SET Plan, dove tra le soluzioni per ottenere "decreasing building envelope cost and energy consumption in residential buildings" vengono evidenziate anche "improved technical properties of organic materials" e "modular, mass customised envelope solutions", soluzioni che chiaramente non possono prescindere dalla creazione di filiere produttive più efficienti e integrate, dove la dimensione dell'efficientamento energetico e quella dell'ottimizzazione logistica devono necessariamente procedere di pari passo per garantire un'approccio sistemico e un doppio beneficio energetico sul processo/filiera e sulla fase di utilizzo del prodotto finito. Ai primi tre WP se ne aggiungono poi due caratterizzati da un simile approccio sistemico ma incentrati su argomenti più circostanziati e legati a due tematiche specifiche di grande attualità e prominenza (ed esplicitamente indicati come focus di interesse nel PT) come la decarbonizzazione delle industrie hard to abate anche attraverso la generazione di H2 e l'efficientamento della filiera del riutilizzo idrico. Rispetto allo stato dell'arte e alle attività svolte da ENEA e dai cobeneficiari nell'ambito del PTR 19-21, gli obiettivi scientifici e tecnologici del progetto, più ampiamente definiti nella sezione "Obiettivi finali del progetto", consentiranno (in misura diversa per ciascun WP a seconda della tipologia di attività previste, più o meno sperimentali), se raggiunti: (i) di incrementare l'impatto di misure di efficientamento energetico note alla comunità scientifica ma in molti casi poco esplorate da un punto di vista ingegneristico, e che presentano notevoli barriere alla diffusione industriale di tipo conoscitivo, gestionale ed economico (WP1, WP2 LA 2.1-2.14, WP3); (ii) di sviluppare strumenti che facilitino il trasferimento di conoscenze e competenze relative all'efficienza energetica nei processi industriali e l'adozione di misure di efficientamento energetico note alla comunità scientifica a specifici settori/distretti/catene del valore (WP2 LA 2.4-2.14, WP3); (iii) di incrementare il grado di sviluppo/ingegnerizzazione di tecnologie per l'efficienza energetica in ambito industriale (WP2 LA 2.15-2.18, WP4, WP5). Per quanto riguarda i punti (i) e (ii), rispetto al PTR 19-21, e considerando anche quanto emerso dai risultati delle attività condotte nel triennio precedente, le metodologie e gli strumenti già sviluppati saranno ulteriormente affinati e aggiornati, e verranno applicati a nuovi ambiti/settori produttivi/tipologie di prodotto. Per quanto riguarda il punto (iii), invece, le tecnologie sviluppate nel triennio precedente verranno valorizzate nelle LA presentate per il PTR 22-24 incrementandone il TRL e quindi avvicinandole di fatto alla fase di industrializzazione.

Di seguito il dettaglio di obiettivi scientifici e tecnologici e progressi attesi rispetto allo stato dell'arte per ciascun WP.

Per quanto riguarda il WP1, gli obiettivi principali della proposta progettuale sono: (i) proteggere l'industria nazionale - ma anche quella europea - dalla concorrenza sleale delle importazioni di prodotti non-conformi; (ii) assicurare il consumatore - utente del sistema elettrico nazionale - sulle reali prestazioni energetiche, funzionali e dell'efficienza dei materiali per i beni acquistati; (iii) supportare il Paese nel raggiungimento degli obiettivi di miglioramento dell'efficienza energetica pianificati in risposta agli obblighi comunitari, e ai più recenti obiettivi di sostenibilità dell'economia circolare (durabilità, riparabilità, riciclabilità, ecc). Le attività previste comprendono la revisione di Regolamenti di prodotto esistenti e della Direttiva 2009/125/CE per l'ecodesign e la definizione di nuovi Regolamenti per prodotti del settore domestico, professionale e commerciale. I nuovi requisiti sono sempre più ambiziosi rispetto a quelli precedenti e nuovi requisiti si aggiungono per il miglioramento delle caratteristiche dei prodotti legate all'efficienza dei materiali. La ripetizione nel 2024 dell'indagine sulla presenza delle etichette nei punti vendita (già realizzata nel PTR 19-21) permetterà di controllare se nel tempo l'obbligo di etichettare i prodotti esposti alla vendita viene rispettato e in quale misura nelle diverse tipologie di negozi e categorie di prodotto. Il supporto alla sorveglianza del mercato e alla cooperazione fra le Autorità nazionali vuole ridurre la presenza di prodotti non conformi sul mercato nazionale ed europeo a favore degli utenti finali e della competitività dell'industria nazionale. Il trasferimento dei risultati degli studi europei ai singoli Stati Membri inclusa l'Italia favorirà una più efficace sorveglianza del mercato nazionale.

Per quanto riguarda il WP2, l'obiettivo generale è quello di realizzare studi e sviluppare soluzioni per l'efficientamento e l'ottimizzazione di processi, distretti e filiere industriali. Il WP è caratterizzato da una serie di obiettivi specifici, dettagliati nel seguito.

(i) Sviluppare strumenti per la caratterizzazione termica dei processi industriali, la valorizzazione del calore di scarto e la gestione ottimale dei flussi termici ad essi associati. Tali strumenti consentiranno di effettuare un'analisi energetica tempo-dipendente delle richieste e delle disponibilità di calore, in relazione ai livelli di temperatura e alle potenze termiche in gioco, ai fattori di utilizzazione e contemporaneità tra i diversi flussi termici richiesti e disponibili. Sarà dunque favorita la diffusione degli interventi di recupero di calore di scarto in ambito industriale, considerando in maniera prioritaria il riutilizzo di tale calore nelle fasi del processo produttivo che richiedono energia termica, e quindi ampliando (rispetto a quanto sviluppato nel PTR 19-21) le potenzialità della metodologia per all'applicazione della pinch analysis. Tale approccio consentirà, inoltre, di indagare in maniera più puntuale l'efficacia dei sistemi di recupero di calore in atto nel processo produttivo, di valutare le opportunità di retrofit della rete di scambiatori esistente e l'eventuale integrazione di sistemi di accumulo o di produzione del calore da fonti rinnovabili.

(ii) Favorire la diffusione di tecnologie non termiche e termiche innovative che possono essere impiegate come alternativa o complemento ai processi termici tradizionali nel settore alimentare attraverso la realizzazione di specifici strumenti di supporto alle decisioni. Saranno identificati i principali processi termici tradizionali utilizzati attualmente nel settore alimentare, individuando tecnologie non termiche e termiche innovative (già in uso o esistenti ma non utilizzate), per le quali verrà valutato il potenziale applicativo. Saranno inoltre realizzati strumenti utili alle aziende per migliorare la conoscenza di tali opportunità di efficientamento dei propri processi e realizzare una prima valutazione di fattibilità di alto livello.

(iii) Caratterizzare la filiera di produzione e fornitura delle soluzioni OSC per l'isolamento termico degli edifici, che in Italia rappresenta ad oggi un obiettivo non ancora raggiunto, andando a fornire degli strumenti per la sua ottimizzazione energetica e integrazione. L'obiettivo generale, molto più focalizzato sull'efficientamento e ottimizzazione della filiera rispetto alle attività preliminari del PTR 19-21, verrà perseguito attraverso una serie di sotto-obiettivi specifici quali la mappatura della filiera (con un focus sulle filiere del legno e dell'acciaio), l'analisi dettagliata dei processi produttivi coinvolti nella filiera, anche attraverso un approccio Resource Value Mapping, e l'identificazione dei materiali sia "tradizionali" sia "alternativi", ovvero a ridotto impatto ambientale per la potenziale realizzazione di soluzioni OSC. Verranno individuate le migliori pratiche disponibili che costituiranno un benchmark per la filiera e per i singoli processi, andando a quantificare i potenziali risparmi energetici conseguibili in tutta la filiera. Si andranno inoltre a caratterizzare i business model per le soluzioni OSC, per comprenderne le barriere e potenziarne la diffusione sul mercato.

(iv) Identificare e favorire l'adozione di best practices e best available technologies nel settore vitivinicolo. Nonostante l'importanza strategica del settore nel panorama nazionale, le aziende stesse segnalano una crescente difficoltà nel contenere l'incremento del costo energetico e nella gestione dei propri consumi energetici, nonché nell'identificazione, nell'ambito della scarsa produzione tecnico-scientifica internazionale sull'argomento, di strategie e interventi applicabili al proprio contesto.

(v) Sviluppare un materiale composito a base di MOF e nanoparticelle magnetiche con proprietà ottimizzate per la separazione di miscele post-combustione CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> mediante tecnologia MISA. I risultati ottenuti durante il precedente triennio hanno evidenziato i potenziali della tecnologia MISA nella separazione di miscele CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> da post-combustione aprendo molte opportunità per lo sviluppo di materiali con proprietà ottimizzate. Dalla sperimentazione effettuata nel PTR 19-21 sono stati ricavati dati energetici che hanno permesso di effettuare una valutazione dell'efficienza della tecnologia proposta, rispetto alla rigenerazione dei sorbenti sviluppati, mediante riscaldamento convenzionale e rispetto a quanto riportato nello stato dell'arte. Per i materiali sviluppati è stato dimostrato che la produttività del processo di riscaldamento mediante induzione è sempre superiore al processo tradizionale e che l'efficienza della tecnologia è migliorabile sviluppando materiali con migliori performances separative. Nell'attività proposta saranno sviluppati metal-organic frameworks e loro compositi con nanoparticelle magnetiche a partire da materiali stabili in acqua e si metteranno in atto strategie volte a migliorarne la capacità di adsorbimento della CO<sub>2</sub> e la working capacity.

Per quanto riguarda il WP3, gli obiettivi principali sono guidare le imprese nel passaggio da un approccio all'efficienza a progetto o dettato da esigenze contingenti a un approccio di miglioramento continuo, e fornire ai decisori politici/istituzionali elementi per valutare con maggiore consapevolezza politiche volte al risparmio e alla gestione energetica. Questi obiettivi saranno perseguiti con una molteplicità di interventi ed azioni, volti a rendere le imprese maggiormente consapevoli dei propri consumi energetici, dei margini e delle opportunità di miglioramento, valorizzando al tempo stesso l'imponente mole di dati ricavabili dal database delle diagnosi energetiche obbligatorie ai sensi dell'articolo 8 del D.Lgs. 102/2014 e successivi aggiornamenti. È ormai assodato che il primo elemento per aumentare la propria consapevolezza sui consumi energetici è proprio la misura delle proprie performance ed il confronto con quelle di altre aziende/processi/apparati che presentano caratteristiche simili. Per raggiungere questo primo obiettivo ci si muoverà su due assi che lo caratterizzano: la "misura" dei consumi energetici e l'individuazione di indici di prestazione energetica di riferimento. Attraverso lo sviluppo di un tool pensato ad-hoc per le PMI, comparto ad oggi non ancora sufficientemente approfondito per la carenza dei dati a disposizione, ma che rappresenta il 99% delle imprese italiane, si cercherà di fornire uno strumento utile che permetta di misurare e tenere sotto controllo i propri consumi energetici. Grazie all'analisi delle diagnosi energetiche obbligatorie e al confronto con le aziende e associazioni di categoria, si contribuirà inoltre ad individuare i necessari riferimenti di benchmark. La conoscenza degli interventi o delle soluzioni tecnologiche, allo stato dell'arte, che possano permettere un sensibile miglioramento delle performance energetiche del sito produttivo e la capacità di valutare preliminarmente in maniera affidabile l'entità del miglioramento e le sue ricadute economiche è un secondo pilastro fondamentale su cui si basa un approccio consapevole all'efficienza energetica. ENEA e i cobeneficiari universitari

svilupperanno una serie di strumenti e studi che permettano alle aziende (Grandi Imprese e PMI) sia di individuare i possibili interventi di efficientamento energetico che di valutarne le ricadute economiche. In questo secondo ambito un focus particolare sarà rivolto ai benefici multipli che alcuni interventi possono generare.

Per quanto riguarda il WP4, l'obiettivo principale è la dimostrazione della produzione in pressione di H<sub>2</sub> da gassificazione di biomasse residuali ad emissioni negative di CO<sub>2</sub>. Rispetto allo stato dell'arte e in continuità con quanto sviluppato nel PTR 19-21, nel WP4 verrà realizzato un reattore di gassificazione per la produzione in pressione di H<sub>2</sub> in situ da gassificazione di biomasse residuali. Tale reattore verrà integrato con un sistema di abbattimento di composti solforati e clorurati. In questo modo si ridurranno i CAPEX grazie: (i) all'intensificazione della produzione di H<sub>2</sub> mediante cattura di CO<sub>2</sub> e (ii) alla produzione in pressione di H<sub>2</sub>. Per quanto riguarda invece il riuso di CO<sub>2</sub>, al banco prova DBD (plasma con scarica a barriera di dielettrico) verrà integrata una membrana per la separazione di O<sub>2</sub> aumentando in tal modo il tasso di dissociazione di CO<sub>2</sub> in CO. Per lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> invece verranno condotti studi preliminari per l'utilizzo di matrici residue sia solide che liquide per il confinamento non-geologico di CO<sub>2</sub>.

Le attività del WP5 hanno l'obiettivo di sviluppare e validare tecnologie e metodologie per l'efficientamento energetico del settore idrico, dalle reti di raccolta fognarie agli impianti di trattamento delle acque reflue, con ulteriore estensione alle infrastrutture dedicate al riutilizzo finale dei reflui come fonti idriche non convenzionali. Il software DEES già sviluppato nel PTR 19-21 sarà ulteriormente perfezionato e ampliato nel presente PTR, grazie all'aggiunta di nuovi moduli, concepiti anche in funzione delle prescrizioni della proposta di revisione della normativa concernente il trattamento delle acque reflue urbane (Dir. UWWTD 91/271/CEE), che intende stabilire misure finalizzate al raggiungimento della neutralità energetica entro il 2040, per tutti gli impianti al di sopra dei 10.000 abitanti equivalenti. La tecnologia di trattamento acque reflue basata sul bioreattore a letto mobile MMBR, operato in modalità di alternanza di condizioni anossiche e microaerobiche, in questo triennio sarà testata su scala di impianto pilota in condizioni reali presso un impianto di depurazione. La tecnologia di trattamento reflui con bioreattore ESBG di granulazione anaerobica, ritenuta estremamente promettente in base ai risultati del PTR scorso, sarà sviluppata ulteriormente in accoppiamento con microalghe, per ridurre ulteriormente i fabbisogni energetici del processo in fase di aerazione. La tecnologia di biometanazione idrogenotrofa, già sviluppata su scala pilota, sarà ulteriormente ottimizzata dal punto di vista energetico, inoltre il processo sarà automatizzato in vista dell'applicazione in continuo in ambiente rilevante. Inoltre, in questo PTR si svilupperanno sperimentalmente tecnologie innovative per la riduzione dei consumi e la valorizzazione energetica dei fanghi di depurazione (con la possibilità di ridurre i rifiuti generati e di utilizzare i sottoprodotti per il sequestro della CO<sub>2</sub>) e si valuteranno, a partire da dati in scala reale, tecnologie e processi per l'intervento su impianti esistenti. Saranno studiati su un caso reale i vantaggi dell'utilizzo di invasi esistenti per la protezione da eventi meteorici estremi, ai fini del riuso delle acque meteoriche. Inoltre, ci si focalizzerà sulla valutazione delle potenziali richieste di energia a supporto della filiera del riutilizzo idrico, in ottica dell'efficientamento del sistema tramite l'analisi di casi studio reali.

#### **d) Eventuali collegamenti con altri progetti relativamente alle attività previste nel progetto**

Viste le tematiche di elevato interesse scientifico, le attività presentano connessioni con diversi progetti nazionali e internazionali, apportando in ogni caso un significativo e originale contributo alle tematiche trattate.

Per quanto riguarda il WP1, due progetti che vedono la partecipazione di ENEA hanno tematiche affini alle attività proposte: (i) il programma di sorveglianza multi-prodotto della durata di 54 mesi promosso dalla Commissione Europea nell'ambito della Concerted Action - Energy Efficiency Compliant Products 3 (EEPLIANT 3) del programma Horizon2020, a cui ENEA partecipa in cooperazione con la Camera di Commercio di Milano Monza Brianza Lodi e (2) la joint action JA2021-02 sulla verifica della conformità dei monitori TV, a cui ENEA partecipa come advisor alla Camera di Commercio di Milano Monza Brianza Lodi che ha richiesto ad ENEA, nell'ambito delle azioni istituzionali dell'Ente, il supporto tecnico per la valutazione dei risultati delle prove di laboratorio che inizieranno nel gennaio 2023. La Concerted Action EEPLIANT3 vuole migliorare l'efficacia e l'efficienza della sorveglianza del mercato coordinando le attività di monitoraggio, verifica e applicazione delle 23 Autorità nazionali di Sorveglianza partecipanti, e con il supporto delle altre 5 Agenzie Nazionali, fra cui ENEA. Il progetto vuole sviluppare strumenti informatici specifici che aiuteranno le Autorità a ottimizzare le risorse disponibili e verificare la conformità dei prodotti coinvolti attraverso prove di laboratorio. JA2021-02 Joint Action on Harmonised Products 2021 Omnibus è invece parte di una serie di azioni congiunte di sorveglianza del mercato supportate dall'UE per prodotti non alimentari attraverso prove di laboratorio, ha durata di 24 mesi a partire da giugno 2022, coinvolge 12 autorità di vigilanza del mercato di 11 Stati membri (BE, HR, DE, EL, IS, IE, IT, LV, LT, SL, ES), ed è focalizzata sui monitor TV in scopo ai regolamenti sull'etichettatura energetica e sulla progettazione ecocompatibile. L'Italia verificherà anche la presenza delle etichette energetiche nei negozi per questo prodotto sulla base del risultato dell'indagine condotta da ENEA nell'ambito del PTR 19-21 che ha evidenziato una scarsa presenza delle etichette sui modelli esposti alla vendita in un campione di negozi. Entrambi i progetti sono complementari alle attività del presente progetto: il trasferimento dei risultati permetterà di rendere le azioni del PTR in linea con lo stato dell'arte europeo e di evitare eventuali sovrapposizioni.

Per quanto riguarda il WP2, LA 2.4-2.6, nel corso delle annualità 2015-2018 di Ricerca di Sistema (progetto D3 di ENEA) sono stati condotti alcuni studi e attività sperimentali relativi all'impiego dei PEF (Pulsed Electric Fields, campi elettrici pulsati) nel settore alimentare (con focus sull'applicazione all'inattivazione microbica nel settore vitivinicolo e lattiero-caseario). In particolare, è stato realizzato il prototipo di una camera di trattamento per l'applicazione di campi elettrici ad alta intensità a fluidi in quiete e in movimento. Negli ultimi tre anni si sono moltiplicate le applicazioni di trattamenti innovativi in sostituzione di processi termici tradizionali

nell'industria alimentare, anche se nella pratica rimangono poco diffuse nel settore industriale italiano. Per questo motivo in questo triennio lo studio che si andrà a realizzare sarà caratterizzato da un focus più ampio (non considerando solo i PEF, ma anche altre tecnologie come luce pulsata, trattamento ohmico, ecc.) e finalizzato alla realizzazione di strumenti di supporto che consentano di facilitare la valutazione e l'adozione di queste tecnologie da parte delle aziende.

Per quanto riguarda il WP2, LA 2.7-2.12, ENEA è coinvolta nel progetto H2020 "REHOUSE" ("Renovation packagEs for HOlistic improvement of EU's bUildingS Efficiency, maximizing RES generation and cost-effectiveness", in corso di svolgimento), che ha un ambito tematico affine a quello delle LA indicate, e nel quale si occupa principalmente della realizzazione di un dimostratore localizzato nella regione Puglia. Il progetto risulta quindi avere un focus molto diverso da quello del PTR 22-24: verrà comunque assicurata il trasferimento di eventuali informazioni rilevanti che permetterà di incrementare l'allineamento delle azioni del PTR con lo stato dell'arte europeo e di evitare eventuali sovrapposizioni.

Per quanto riguarda il WP3, ed in particolare le attività focalizzate sulle PMI, il PTR 22-24 si svolgerà in continuità rispetto alle attività che ENEA porta avanti con il coordinamento del progetto H2020 LEAP4SME (G.A. 893924). Tale progetto, costituito da un consorzio di agenzie energetiche nazionali di nove paesi europei, ha permesso, oltre allo sviluppo di due metodi di stima dei consumi energetici delle PMI in ciascun paese, di individuare, analizzare, confrontare e migliorare le tecniche di supporto alla definizione e implementazione di policy di diagnosi ed efficientamento energetico per le PMI. Inoltre, ENEA all'interno della "Convenzione per l'attuazione delle disposizioni contenute nell'art. 8 del Decreto Legislativo 4 luglio 2014, n. 102, modificato dal Decreto Legislativo 14 luglio 2020, n. 73 in materia di diagnosi energetiche" deve svolgere una intensa attività di sensibilizzazione sul tema dell'efficienza energetica rivolto principalmente alle PMI, verranno pertanto utilizzate anche alcune delle tappe della campagna per diffondere e veicolare i risultati del WP.

Per quanto riguarda il WP4, questo capitalizza i risultati e le conoscenze generate nelle attività europee e nazionali passate e in corso (di seguito specificate), coprendo sia la ricerca che l'innovazione. UNIQUE (FP7, 2008-10): integrazione dell'abbattimento del particolato, rimozione di catrame mediante reforming in un unico reattore di gassificazione a vapore di biomassa che produce syngas ad alta purezza per impianti CHP e biocarburanti efficienti. In particolare, si prenderanno in considerazione i risultati ottenuti per quanto l'integrazione delle misure di pulizia e condizionamento del syngas primario e secondario all'interno del gassificatore, la filtrazione del syngas caldo. ASCENT (7° PQ, 2014-18): sono stati studiati sorbenti a base di CaO per la cattura di CO<sub>2</sub> e verranno ottimizzati nel WP4.

Per quanto riguarda il WP5, e in particolare i sistemi di trattamento terziario, si partirà dai risultati delle attività del progetto VALUE CE-IN (POR-FESR 2014-2020 Emilia-Romagna) e si procederà in sinergia con i progetti PNNR EI-ECOSISTER, nel quale saranno studiate le modalità per minimizzare i rischi associati alle pratiche di riuso (in particolare l'effetto di batteri, virus, contaminanti emergenti e microplastiche), e CN AGRITECH, in cui sarà valutato l'impatto delle acque riutilizzate sul sistema suolo-coltura. L'inquadramento iniziale dello stress idrico a livello di bacino, per l'analisi dei fabbisogni di risorsa idrica del territorio sarà basato sui dati desunti dal database già strutturato ed elaborato nell'ambito del progetto RECiProCo finanziato dal MISE. Saranno inoltre garantiti collegamenti con la Piattaforma Italiana per l'Economia Circolare (ICESP) nonché con la Piattaforma Italiana del Fosforo.

Si specifica che nel PTR 2022-24 il progetto 1.6 ha come affidatari RSE ed ENEA. È stato costituito un Comitato di Coordinamento tra gli affidatari allo scopo di definire un intenso programma di coordinamento per approfondire, monitorare e verificare la non sovrapposizione delle relative attività e anche di individuare e valorizzare eventuali sinergie che consentano di massimizzare l'efficacia dei risultati di progetto. La relazione di Coordinamento (protocollo ENEA/2023/18733/DUEE-SPS-SEI e RSE 23001721) riporta che le attività sono state valutate come sinergiche e complementari e che i risultati complessivi delle attività dei due enti, il cui scambio periodico è già da ora programmato, concorrono a comporre un quadro di sicura maggior robustezza e integrazione, in grado di fornire elementi utili alla gestione efficiente del sistema energetico e dei settori industriali.

## 2.5 Obiettivi e risultati

### a) Obiettivi finali del progetto

Il progetto ha l'obiettivo generale di 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. L'innovatività delle attività proposte è già stata evidenziata con riferimento allo stato dell'arte, da cui si evince che ciascuna di esse mira a colmare un gap informativo o strumentale/tecnologico. Di seguito per ciascun WP e obiettivo vengono fornite indicazioni relative all'orientamento allo sviluppo e alle ricadute positive per l'industria del settore.

Per quanto riguarda il WP1, gli obiettivi principali della proposta progettuale sono: (i) proteggere l'industria nazionale - ma anche quella europea - dalla concorrenza sleale delle importazioni di prodotti non-conformi; (ii) assicurare il consumatore - utente del sistema elettrico nazionale - sulle reali prestazioni energetiche, funzionali e dell'efficienza dei materiali per i beni acquistati; (iii) supportare il Paese nel raggiungimento degli obiettivi di miglioramento dell'efficienza energetica pianificati in risposta agli obblighi comunitari, e ai più recenti

obiettivi di sostenibilità dell'economia circolare (durabilità, riparabilità, riciclabilità, ecc). Obiettivi di dettaglio sono supportare la definizione di nuovi Regolamenti di prodotto e la revisione della legislazione quadro per l'ecodesign (nuovo Regolamento per l'elaborazione delle specifiche di progettazione ecocompatibile dei prodotti sostenibili e che dovrebbe sostituire la Direttiva 2009/125/CE) che migliorino l'efficienza energetica del parco installato garantendo le prestazioni funzionali e supportando lo sviluppo tecnologico dell'industria nazionale: garantire a livello nazionale l'attuazione (monitoraggio dell'applicazione) dell'etichettatura energetica e dei requisiti di ecodesign controllando (nella terza annualità, seconda LA) la presenza delle nuove etichette nei negozi e supportando in entrambe le Linee di Attività previste la verifica della conformità dei prodotti immessi sul mercato, in collaborazione l'Autorità nazionale e le Autorità locali di sorveglianza del mercato; migliorare la misurabilità dei parametri dei prodotti coinvolti definendo metodi misura (standard) accurati e riproducibili, da cui la partecipazione ai comitati, sottocomitati e working group a livello IEC, CENEL e CEI, soprattutto per quanto riguarda gli apparecchi del lavaggio.

Per quanto riguarda il WP2, l'obiettivo generale è quello di realizzare studi e sviluppare soluzioni per l'efficientamento e l'ottimizzazione di processi, distretti e filiere industriali. Il WP è caratterizzato da una serie di obiettivi specifici, dettagliati nel seguito.

(i) Sviluppare strumenti per la caratterizzazione termica dei processi industriali, la valorizzazione del calore di scarto e la gestione ottimale dei flussi termici ad essi associati. Tali strumenti forniranno alle aziende un supporto concreto nella scelta delle soluzioni di efficientamento dei processi produttivi più opportune. Tale obiettivo renderà necessario lo sviluppo di una metodologia che, a valle di un'analisi energetica dell'attuale processo produttivo che identifichi le fasi con maggiori richieste energetiche, consenta di:

- individuare le potenzialità di recupero del calore di scarto e le possibili modifiche nella configurazione impiantistica;
- definire la strategia complessiva e gli interventi per migliorare l'efficienza energetica del processo;
- ridurre gli scambi energetici con utenze esterne;
- valutare la possibilità di integrare tecnologie da fonti rinnovabili, contenendo ulteriormente l'impatto ambientale del processo medesimo.

(ii) Favorire la diffusione di tecnologie non termiche e termiche innovative che possono essere impiegate come alternativa o complemento ai processi termici tradizionali nel settore alimentare attraverso la realizzazione di specifici strumenti di supporto alle decisioni. Saranno quindi identificate le tecnologie non termiche e termiche innovative più promettenti per sostituire i processi termici tradizionali nell'industria alimentare, saranno valutate l'efficienza energetica e l'impatto ambientale di queste tecnologie, sarà fornito supporto alle decisioni per l'adozione di queste tecnologie da parte delle aziende alimentari.

(iii) Caratterizzare la filiera di produzione e fornitura delle soluzioni OSC per l'isolamento termico degli edifici, che in Italia rappresenta ad oggi un obiettivo non ancora raggiunto, andando a fornire degli strumenti per la sua ottimizzazione energetica e integrazione. Le attività prevedono i seguenti sotto-obiettivi specifici:

- Mappatura della filiera. Studio energetico dettagliato dei processi produttivi coinvolti nella filiera e quantificazione integrata di indici di prestazione energetica (per i singoli processi e per la filiera). Identificazione dei materiali innovativi.
- Implementazione di un osservatorio sulle filiere con la partecipazione dei principali stakeholder nazionali.
- Realizzazione di un framework decisionale per l'adozione di materiali "innovativi" e "non convenzionali".
- Caratterizzazione dei business model di soluzioni OSC, includendo la conoscenza delle barriere e dei driver percepiti per il funzionamento ottimale delle filiere e per l'entrata di nuovi attori. L'identificazione di linee guida per lo sviluppo delle filiere e del comparto OSC.
- La messa a punto di strumenti per il trasferimento di conoscenze e competenze da filiere più integrate e ottimizzate (filiere del legno) verso altre filiere (filiere acciaio).

- Lo sviluppo di una metodologia di Energy Value Mapping a supporto della ottimizzazione dei processi industriali per le aziende della filiera produttiva di soluzioni modulari e off-site construction per la riqualificazione degli edifici residenziali.

(iv) Identificare e favorire l'adozione di best practices e best available technologies nel settore vitivinicolo. Le attività consentiranno di identificare le migliori pratiche dalle aziende italiane del settore e di trasferirle verso le stesse, in particolare attraverso il contatto con associazioni di aziende e con la diffusione di strumenti informativi (guida).

(v) Sviluppare un materiale composito a base di MOF e nanoparticelle magnetiche con proprietà ottimizzate per la separazione di miscele post-combustione CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> mediante tecnologia MISA. Saranno selezionati e sintetizzati MOF stabili in acqua e migliorata capacità di adsorbimento/desorbimento di CO<sub>2</sub>. Con i MOF più promettenti saranno sviluppati materiali compositi con nanoparticelle magnetiche. Lo sviluppo dei compositi sarà finalizzato all'ottimizzazione delle capacità di riscaldamento alimentato mediante induzione elettromagnetica e al miglioramento della cinetica di rilascio delle molecole adsorbite. La polvere del materiale più performante sarà granulata e successivamente testata in un dispositivo per la valutazione dell'efficienza della tecnologia MISA applicata al processo separativo di interesse.

Per quanto riguarda il WP3, gli obiettivi principali sono guidare le imprese nel passaggio da un approccio all'efficienza a progetto o dettato da esigenze contingenti a un approccio di miglioramento continuo, e fornire ai decisori politici/istituzionali elementi per valutare con maggiore consapevolezza politiche volte al risparmio e alla gestione energetica. Sarà valorizzata l'imponente mole di dati ricavabili dal database delle diagnosi energetiche obbligatorie ai sensi dell'articolo 8 del D.Lgs. 102/2014 e successivi aggiornamenti. Il Database risulta essere un unicum a livello Europeo, in quanto ENEA fin dal 2015, in collaborazione con le principali associazioni di categoria, ha creato le condizioni per cercare di fornire una metodologia e degli strumenti di rendicontazione che potessero essere poi di aiuto nell'analisi dei

dati. L'esperienza maturata nel coinvolgimento delle associazioni di categoria spinge ENEA in questo WP a estendere l'analisi a un comparto poco analizzato, per mancanza di dati e informazioni sufficientemente strutturate, come quello delle PMI. Questo comparto in Italia, ma con poche differenze anche in Europa, comprende circa il 99% delle imprese complessive. Un'accurata e pianificata attività di sensibilizzazione di queste imprese può avere ricadute importanti sia per le competitività delle imprese stesse, ma anche per la riduzione dei consumi complessivi del sistema paese con relativa riduzione delle emissioni inquinanti e clima-alteranti.

Per quanto riguarda il WP4, l'obiettivo principale è la dimostrazione della produzione in pressione di H<sub>2</sub> da gassificazione di biomasse residuali ad emissioni negative di CO<sub>2</sub>. Gli studi sperimentali verranno corredati da attività numeriche per la chiusura di bilanci di materia ed energia sia di processi ad emissione negativa di CO<sub>2</sub> mediante la rimozione di carbonio dall'aria (i.e. DAC e BECCS) e sia di processi CCUS per il riuso e lo stoccaggio di carbonio.

Le attività del WP5 hanno l'obiettivo di sviluppare e validare tecnologie e metodologie per l'efficientamento energetico del settore idrico, dalle reti di raccolta fognarie agli impianti di trattamento delle acque reflue, con ulteriore estensione alle infrastrutture dedicate al riutilizzo finale dei reflui come fonti idriche non convenzionali. Saranno realizzate attività di sperimentazione in scala di laboratorio e pilota, per rispondere alla necessità di nuovi processi ancora più efficienti, in adeguamento alla domanda normativa sul settore. Saranno inoltre ampliati gli strumenti per la valutazione di scenari di ottimizzazione energetica basati su approcci efficienti e circolari, grazie ad un'estesa raccolta di dati presso i gestori e all'analisi delle diagnosi energetiche, per fornire ai gestori dati per il benchmark e definire le priorità di intervento. Inoltre, in questo triennio ci si focalizzerà particolarmente sulle richieste energetiche della filiera del riutilizzo di reflui depurati in ambito agricolo (depurazione, stoccaggio, distribuzione), tramite l'analisi di casi studio. Verranno infine sperimentate nuove tecnologie di trattamento dei fanghi di depurazione per ottimizzare la gestione dello smaltimento, del recupero energetico e di materie prime, in particolare mediante trattamenti termici dei fanghi a scala di banco o pilota. Tutte le attività saranno volte a migliorare la sostenibilità economica, ambientale e sociale e il bilancio energetico degli impianti di depurazione italiani, in ottica di perseguimento di un bilancio energetico autosufficiente e ad emissioni ridotte, in linea con gli obiettivi delineati dalla Commissione Europea nella proposta di revisione della normativa sugli impianti di depurazione. In generale, gli strumenti forniti da questo progetto contribuiranno a promuovere una maggiore applicazione, nel settore dei servizi idrici, di processi, tecnologie e soluzioni gestionali già mature ed efficienti, fornendo dati e strumenti di supporto alla pianificazione da parte dei gestori. Il raggiungimento di tali obiettivi potrà garantire ricadute economiche positive, sia per l'industria del settore, sotto forma di premialità del metodo tariffario e minori oneri di gestione, sia per gli utenti finali, come possibili risparmi in bolletta.

#### **b) Principali risultati attesi/deliverable**

Di seguito sono descritti i principali deliverable di progetto (considerati maggiormente rappresentativi degli obiettivi di progetto e quindi fondamentali anche per la verifica del loro raggiungimento) con indicazione dei principali risultati di progetto e della relativa tipologia e di prestazioni attese e principali criteri di confronto con eventuali soluzioni esistenti.

- Rapporto tecnico della LA 1.1 contenente la descrizione e la quantificazione delle riunioni del Consultation Forum, del Regulatory Committee, dell'Expert Group e dei Gruppi ADCO realizzate, delle proposte di regolamenti discussi ed eventualmente adottati, dei prodotti oggetto della sorveglianza del mercato, nonché la descrizione dello stato di avanzamento dei nuovi standard mondiali per gli apparecchi per il lavaggio.
- Rapporto tecnico della LA 1.2 contenente la descrizione delle caratteristiche principali del nuovo Regolamento di ecodesign, la descrizione e la quantificazione delle riunioni del Consultation Forum, del Regulatory Committee, dell'Expert Group e dei Gruppi ADCO realizzate, delle proposte di regolamenti discussi ed eventualmente adottati, dei prodotti oggetto della sorveglianza del mercato, la descrizione dello stato di avanzamento degli nuovi standard mondiali per gli apparecchi per il lavaggio, nonché la quantificazione dei modelli con l'etichetta energetica raccolti durante l'indagine sulla presenza delle etichette energetiche nei punti vendita.
- Strumento di calcolo (LA 2.2) sviluppato sulla base del modulo per l'applicazione della pinch-analysis elaborato nel PTR 19-21 e comprendete il database per la caratterizzazione dei processi industriali (sviluppato da ENEA in collaborazione con UNIVAQ\_DIIIE1) e il modulo per la valutazione di profili tempo-dipendenti delle richieste/disponibilità di energia termica (deliverable sviluppato da UNIVAQ\_DIIIE1 con il supporto di ENEA). Lo strumento sarà in grado di fornire alle aziende un supporto concreto nella scelta delle soluzioni di efficientamento dei processi produttivi più opportune in termini di recupero di calore e di gestione delle possibili variazioni temporali dei flussi di calore (aspetto completamente assente nello strumento realizzato nel PTR 19-21).
- Strumento di calcolo (LA 2.5) relativo all'implementazione di una metodologia di valutazione energetica ed economica per le tecnologie di natura non termica e termiche innovative. Tale strumento sarà in grado di supportare le aziende nell'identificazione e prima valutazione di queste tecnologie il cui inserimento nel settore alimentare italiano risulta ancora scarso a causa di barriere non tecnologiche (conoscitive).
- Rapporto tecnico della LA 2.6 contenente le linee guida per le aziende relativamente alla definizione dei benefici energetici e non energetici nell'utilizzo delle tecnologie non termiche ed innovative. Le linee guida saranno in grado di supportare le aziende nella valutazione di queste tecnologie il cui inserimento nel settore alimentare italiano risulta ancora scarso a causa di barriere non tecnologiche (conoscitive).
- Rapporto tecnico della LA 2.7 contenente la mappatura degli stakeholder che costituiscono la filiera produttiva relativa alle principali soluzioni d'isolamento termico degli edifici e la descrizione delle attività di istituzione dei tavoli di lavoro. Questi risultati rappresentano

rispettivamente la base di conoscenze e l'impostazione del network sui quali si fonderanno le LA 2.8-2.12.

- Rapporto tecnico della LA 2.8 contenente la definizione di indici (energetici e non energetici) e benchmark per i processi produttivi e le relative filiere delle principali soluzioni d'isolamento termico degli edifici (con riguardo alla tecnica dell'OSC), la descrizione delle attività per l'implementazione di un osservatorio nazionale su tali filiere, nonché un framework decisionale per valutare l'adozione nelle stesse filiere di materiali "innovativi" e "non convenzionali". Questi risultati costituiscono strumenti per le aziende del settore volti a favorire una maggiore integrazione delle filiere e a favorire la diffusione delle soluzioni OSC.
- Rapporto tecnico della LA 2.9 contenente l'identificazione di linee guida per lo sviluppo delle filiere e del comparto OSC di soluzioni commerciali di isolamento termico per l'ambiente costruito. Le linee guida costituiscono uno strumento per le aziende del settore volto a favorire una maggiore integrazione delle filiere e a favorire la diffusione delle soluzioni OSC.
- Rapporto tecnico della LA 2.10 contenente la mappatura dei principali progetti di ricerca relativi ai sistemi OSC a base legno e a base acciaio nonché la mappatura europea delle principali aziende e dei relativi sistemi attualmente disponibili sul mercato, e il framework per il trasferimento a livello italiano del know-how e delle principali tecnologie e competenze rilevate a livello internazionale.
- Strumento di calcolo (LA 2.11) relativo all'implementazione dell'"Energy Value Mapping" a livello di filiera. Tale strumento sarà in grado di fornire supporto alle aziende del settore nella mappatura della filiera di riferimento e dei relativi flussi energetici e opportunità di efficientamento.
- Rapporto tecnico della LA 2.12 contenente la mappatura dei prodotti "innovativi" e "non convenzionali" sul territorio nazionale. Tale mappatura faciliterà le valutazioni delle aziende in sinergia con il framework sviluppato da ENEA nella LA 2.8.
- Guida (LA 2.14) per l'efficientamento energetico delle cantine vitivinicole. Tale guida rappresenterà uno strumento per le aziende italiane del settore che faciliterà l'implementazione di interventi di efficientamento energetico.
- Rapporto tecnico della LA 2.16 contenente la descrizione dei principali risultati sperimentali relativi ai processi di sintesi di materiali compositi stabili in acqua e con proprietà ottimizzate per la separazione di miscele CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> da post-combustione, alla qualificazione chimica, fisica e funzionale dei materiali sviluppati e alla definizione della capacità separativa e ottimizzazione della cinetica di rilascio modulata attraverso tecnologia MISA in paragone allo stato dell'arte e al riscaldamento convenzionale.
- Rapporto tecnico della LA 3.1 contenente gli indici di prestazione energetica (IPE) per almeno quattro settori economici sia di I livello, cioè quegli indici che rapportano il consumo complessivo del sito rispetto a un driver caratteristico (ad es. produzione), che di II livello, cioè calcolati per il sottoprocesso o sottoservizio (ad es. per l'aria compressa il consumo rispetto ai Nm<sup>3</sup> di aria lavorati). Tali indici allo stato dell'arte sono spesso carenti e comunque poco rappresentativi dei settori produttivi italiani.
- Rapporto tecnico della LA 3.2 contenente gli indici di prestazione energetica (IPE) per almeno quattro settori economici sia di I livello, cioè quegli indici che rapportano il consumo complessivo del sito rispetto a un driver caratteristico (ad es. produzione), che di II livello, cioè calcolati per il sottoprocesso o sottoservizio (ad es. per l'aria compressa il consumo rispetto ai Nm<sup>3</sup> di aria lavorati). Tali indici allo stato dell'arte sono spesso carenti e comunque poco rappresentativi dei settori produttivi italiani.
- Linee guida (LA 3.2) per almeno cinque diversi settori produttivi.
- Applicativo web (LA 3.2) dedicato alle PMI per la valutazione energetica dei siti produttivi e l'individuazione di eventuali interventi di efficientamento energetico, e finalizzato ad accompagnarle verso una gestione consapevole dell'energia. Questi risultati risultano essere fortemente innovativi in quanto il mondo delle PMI, malgrado ricomprenda più del 99% delle aziende europee risulta essere poco indagato a causa della difficoltà di reperimento dei dati necessari alle analisi.
- Applicativo web (LA 3.2) che rappresenta il potenziamento del Tool di Energy Management con l'inclusione dei moduli per il corretto dimensionamento degli interventi di efficientamento energetico.
- Rapporto tecnico della LA 4.1 contenente la descrizione dei principali risultati sperimentali relativi alla verifica della produzione a pressione ambiente di idrogeno verde da gassificazione di biomasse intensificata mediante cattura di CO<sub>2</sub> con sorbenti naturali, alla sintesi di materiali in fase polvere per la cattura e il riuso di CO<sub>2</sub>, alla verifica dell'aumento di prestazione del reattore al plasma per la dissociazione di CO<sub>2</sub> (si valuterà in particolare l'effetto di materiali di costruzione agli elettrodi, alla verifica della fattibilità tecnica del processo di stoccaggio mediante processi non-geologici (utilizzo di matrici solide residue).
- Rapporto tecnico della LA 4.2 contenente la descrizione dei principali risultati sperimentali relativi alla verifica della produzione in pressione di idrogeno verde da gassificazione di biomasse intensificata mediante cattura di CO<sub>2</sub> con sorbenti sintetici, alla sintesi di materiali granulari per la cattura e il riuso di CO<sub>2</sub>, alla verifica dell'aumento di prestazioni del reattore al plasma per la dissociazione di CO<sub>2</sub> (si valuterà in particolare l'effetto di della presenza di una membrana per O<sub>2</sub>), alla verifica della fattibilità tecnica del processo di stoccaggio mediante processi non-geologici (utilizzo di matrici liquide residue).
- Rapporto tecnico della LA 4.3 contenente la descrizione delle attività di progettazione di un gassificatore in pressione per la produzione di H<sub>2</sub> da biomasse residuali. In particolare, saranno sviluppate simulazioni Euleriane-Lagrangiane con il fine di accoppiare il reattore di gassificazione/carbonatazione con il reattore di combustione/calcinazione sviluppato in attività/progetti precedenti. Saranno quindi simulate differenti condizioni di flusso e differenti geometrie e volumi dei serbatoi con il fine di valutare le condizioni operative ottimali per garantire il corretto ricircolo di materiale solido fra i due reattori. Contemporaneamente sarà fondamentale verificare, sempre tramite tali simulazioni, che non avvengano eccessivi traflamenti di gas tra i due reattori. I risultati dei modelli numerici verranno corroborati da modelli freddi del sistema gassificatore/calcinatore.
- Rapporto tecnico della LA 4.4 contenente la descrizione di strumenti di calcolo per la chiusura di bilanci di materia ed energia di processi

di rimozione di CO<sub>2</sub>, quali DAC e BECCS. Tali processi sono caratterizzati da bilanci di CO<sub>2</sub> negativi e possono essere, quindi, utilizzati come misure di mitigazione e compensazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> da industrie energivore e difficili da decarbonizzare (“hard to abate”). Il WP4 mira all’identificazione dei vantaggi e svantaggi di questi processi. Verranno effettuate analisi di processo dettagliate con lo scopo di quantificare i bilanci di massa ed energia delle configurazioni di processo più promettenti. I risultati ottenuti saranno utilizzati per effettuare analisi economiche con lo scopo di stimarne i costi (CAPEX e OPEX) associati e determinare i principali KPI tecno-economici.

- Strumento di calcolo (LA 5.2) finalizzato al supporto alle decisioni per la classificazione energetica degli impianti di depurazione acque e per la valutazione di scenari, che sarà aggiornato rispetto alle novità introdotte dalla normativa del settore e arricchito con nuove funzionalità basate sui risultati sperimentali più interessanti, ottenuti nell’ambito delle linee di attività del WP5.
- Rapporto tecnico della LA 5.2 contenente la descrizione dell’applicazione di prototipi a scala pilota e da banco per il trattamento energeticamente efficiente di acque reflue (reattore MBBR) e per la valorizzazione energetica dei fanghi di depurazione (pirolisi -carbonizzazione, biometanazione idrogenotrofa), dell’analisi dei costi e delle ricadute energetiche dell’applicazione di processi innovativi in scala reale e dell’efficienza energetica della filiera del riuso idrico dei reflui depurati.
- Rapporto tecnico della LA 5.4 contenente la descrizione della combinazione di processi di trattamento integrati in linea acque ed in linea fanghi con sistemi in loco di produzione di energia rinnovabile (biogas, energia solare) per il raggiungimento della neutralità energetica a livello di singolo impianto o di ambito territoriale.
- Rapporto tecnico della LA 5.5 contenente la descrizione dello sviluppo di tecnologie innovative per il trattamento delle acque reflue, energeticamente efficienti e sostenibili (reattore ESBG con sviluppo di consorzi di batteri e microalghe, reattore basato su consorzi di batteri eterotrofi e idrogeno ossidanti autotrofi).

## 2.6 Fattibilità tecnico-scientifica

### a) Fattibilità tecnico-scientifica

Gli obiettivi di progetto e gli obiettivi dei singoli WP sono stati formulati coerentemente con quanto indicato in documenti di indirizzo in ambito europeo, quali il Clean Energy Package, il Green Deal, nonché gli orientamenti del Fit For 55, e gli obiettivi nazionali di riduzione delle emissioni definiti all’interno del Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima e quelli inseriti nel PNNR. In particolare, notevoli benefici sono attesi dalla diffusione di soluzioni tecnico-gestionali innovative per la gestione e la riduzione dei consumi e per l’ottimizzazione dell’utilizzo delle risorse energetiche nei processi produttivi, anche affiancati da strumenti di digitalizzazione, nonché dall’utilizzo di tecnologie elettriche in sostituzione di soluzioni convenzionali basate sui combustibili fossili. Particolare attenzione sarà posta all’efficientamento di industrie hard-to-abate, la cui transizione ecologica richiederà l’implementazione di tecnologie efficienti per la cattura, la rimozione, il riuso e lo stoccaggio di CO<sub>2</sub>, e per la filiera del riutilizzo idrico. In aggiunta, a seguito della piena attuazione della legislazione UE sull’efficienza dei prodotti, sarà necessario sviluppare strumenti a supporto della progettazione ecocompatibile dei prodotti connessi all’energia e per il monitoraggio e controllo degli standard di efficienza. Vista quindi la natura impellente degli obiettivi identificati e la portata degli impatti attesi, le risorse previste sono state ritenute adeguate allo scopo.

La proposta progettuale comprende 41 linee di attività realizzate da ENEA insieme a 23 diversi gruppi di ricerca afferenti a università sparse su tutto il territorio nazionale. L’ampia collaborazione consentirà di approfondire nel dettaglio numerose tematiche relative all’efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali sfruttando l’esperienza di un buon numero di esperti del settore con rilevanti track record selezionati dall’Affidatario. Se da un lato questo garantirà la qualità dei prodotti della ricerca e l’acquisizione delle capacità e competenze necessarie per prevenire o mitigare adeguatamente i rischi di progetto che dovessero concretizzarsi, è chiaro che un elevato numero di linee di attività spesso interconnesse tra di loro introduce una rilevante difficoltà organizzativa. Per superare questa criticità, ENEA ha definito una struttura organizzativa interna che consentirà di monitorare attentamente lo stato di avanzamento delle diverse attività e di gestire adeguatamente i necessari flussi di informazioni e output tra le diverse LA. In particolare, oltre al Responsabile Scientifico di Progetto, che pianificherà e sorveglierà nel suo insieme le fasi di avvio, esecuzione e chiusura, sono stati individuati dei Responsabili Scientifici dei singoli WP che lo affiancheranno garantendo maggior dettaglio di analisi e azione (Dott.ssa Milena Presutto per il WP1, Ing. Miriam Benedetti per il WP2, Ing. Fabrizio Martini per il WP3, Ing. Stefano Stendardo per il WP4, Ing. Davide Mattioli per il WP5). I Responsabili Scientifici dei WP, sempre di concerto con il Responsabile Scientifico di Progetto, saranno preposti alla pianificazione e al monitoraggio di tutte le attività ENEA dei propri WP (incluse le attività di disseminazione e di gestione degli stakeholder) e allo scambio di informazioni e output con i cobeneficiari. Inoltre, ENEA ha anche definito dei Referenti degli Accordi di Collaborazione che si occuperanno invece di monitorare le attività dei gruppi di ricerca universitari coinvolti, riferendo direttamente ai Responsabili Scientifici dei WP. Per i gruppi di LA che prevedono l’interazione di ENEA con più di un singolo cobeneficiario (es. LA 2.7-LA2.12 del WP2, tutte le LA del WP3, ecc.) sono stati pianificati dei kick-off meeting in cui definire milestone e risultati intermedi per la verifica dello stato di avanzamento delle singole attività realizzando dei Gantt condivisi tra ENEA e cobeneficiari.

Nel corso del progetto il Responsabile Scientifico di Progetto insieme ai Responsabili Scientifici di WP e ai Referenti degli Accordi di Collaborazione verificheranno quindi periodicamente il raggiungimento delle milestone di progetto. Le principali milestone sono rappresentate da quanto riportato nella lista dei principali risultati attesi/deliverable a cui aggiungere quanto nell’elenco seguente:

- Versione preliminare dello strumento di calcolo (LA 2.1) sviluppato sulla base del modulo per l’applicazione della pinch-analysis elaborato nel PTR 19-21 da ENEA in collaborazione con UNIVAQ\_DIIIE1.

- Analisi di metodologie esistenti per la valutazione energetica ed economica per le tecnologie di natura non termica e termiche innovative (LA 2.4).
- Implementazione di un osservatorio nazionale (LA 2.8) delle filiere delle principali soluzioni d'isolamento termico degli edifici e tavoli tecnici.
- Versione preliminare del framework (LA 2.10) per il trasferimento a livello italiano del know-how e delle principali tecnologie e competenze rilevate a livello internazionale relative ai sistemi OSC a base legno e a base acciaio.
- Versione preliminare dello strumento di calcolo (LA 2.11) relativo all'implementazione dell'“Energy Value Mapping” a livello di filiera.
- Rapporto tecnico della LA 2.15 contenente la descrizione delle attività preliminari a quelle previste nella LA 2.16.
- Versione preliminare dell'applicativo web (LA 3.2) dedicato alle PMI per la valutazione energetica dei siti produttivi e l'individuazione di eventuali interventi di efficientamento energetico, e finalizzato ad accompagnarle verso una gestione consapevole dell'energia.
- Versione preliminare dell'applicativo web (LA 3.2) che rappresenta il potenziamento del Tool di Energy Management con l'inclusione dei moduli per il corretto dimensionamento degli interventi di efficientamento energetico.
- Stato di avanzamento intermedio (LA 4.2) delle attività relative alla produzione di sorbenti e catalizzatori granulari per la produzione di H2 da biomasse residuali intensificata dalla cattura di CO2.
- Versione preliminare dello strumento di calcolo (LA 5.2) finalizzato al supporto alle decisioni per la classificazione energetica degli impianti di depurazione acque e per la valutazione di scenari.
- Stato di avanzamento intermedio (LA 5.2) delle attività di installazione e avviamento dei prototipi a scala di banco o pilota per il trattamento energeticamente efficiente di acque reflue e per la valorizzazione energetica dei fanghi di depurazione.

Come evidenziato anche nella tabella dei rischi, quasi tutte le attività proposte risultano essere sfidanti dal punto di vista della gestione degli stakeholder. Questa condizione è al tempo stesso una grande opportunità per garantire la realizzazione di prodotti della ricerca vicini alle esigenze degli utenti finali e una criticità da affrontare per gestire al meglio il flusso di informazioni da e verso i portatori di interesse. A questo scopo, ENEA ha messo in campo una serie di risorse per ridurre la probabilità dei rischi associati. In particolare, ENEA ha sfruttato la rete propria e dei propri cobeneficiari per un intenso lavoro preliminare di contatto nei confronti di aziende e associazioni di categoria, finalizzato a raccogliere interesse e feedback nei confronti delle attività proposte. Tale lavoro preliminare ha dato esiti positivi e la probabilità che i rischi si manifestino risulta contenuta vista anche la grande esperienza in tale ambito di ENEA, dimostrata anche nelle attività del triennio precedente e in altri progetti nazionali e internazionali. Altra sfida evidenziata anche nella tabella dei rischi è legata invece alle attività di carattere più sperimentale (WP2 LA 2.15-2.18, WP4, WP5), che prevedono la realizzazione di prove di laboratorio e prototipi a scala di banco o pilota. Le attività di laboratorio presentate si basano principalmente su risultati (in termini di metodi e competenze sviluppati, studi preparatori, impianti pilota e banchi prova realizzati) del triennio precedente, e presentano quindi una solida base di partenza su cui sviluppare il piano di lavoro, risultato di un'intensa attività di pianificazione iniziale (nella quale sono stati considerati anche tempi adeguati a ridurre l'impatto sulle attività di eventuali ritardi da parte dei fornitori).

## 2.7 Impatto sul sistema energetico e benefici attesi

### a) Impatto e benefici sul sistema energetico

L'attività di studio, ricerca e verifica sperimentale di tecnologie efficienti nei processi industriali consente di acquisire e diffondere informazioni tecnico-scientifiche a vantaggio del sistema produttivo, che se ne può giovare in termini di competitività contribuendo direttamente alla crescita economica del Paese, dei cittadini, che ne ricevono un beneficio in termini di riduzione della bolletta energetica nazionale e di miglioramento della sostenibilità ambientale, e del sistema elettrico, che vede da una parte una sostanziale riduzione dei carichi elettrici industriali e dall'altra la creazione di nuove potenziali fonti energetiche (ad es. da conversione in energia elettrica di calore di scarto o da recuperi negli impianti di depurazione delle acque) meno soggette a stagionalità e a variazioni dovute ad agenti climatici rispetto alle fonti energetiche rinnovabili maggiormente diffuse.

Benefici aggiuntivi in termini di riduzione dei carichi sono raggiungibili se si considera ad esempio il prolungamento della vita dei nuovi apparecchi più energeticamente efficienti nel rispetto dei requisiti di ecodesign, che si traduce principalmente in una riduzione dell'energia necessaria per il recupero dei materiali dismessi, e il minore consumo energetico (elettricità e gas) e di acqua (ove applicabile) degli apparecchi più tecnologicamente avanzati necessari per essere conformi ai requisiti minimi di ecodesign garantendo prestazioni funzionali adeguate.

L'incremento nella diffusione di interventi di riqualificazione profonda del parco edilizio previsto a seguito delle attività relative all'edilizia off-site nel presente progetto può, inoltre, favorire la concorrenza nel mondo delle costruzioni, consentendo agli edifici di raggiungere standard energetici e funzionali sempre più elevati, ancora una volta agendo sulla riduzione dei consumi e dei carichi elettrici. Esiste un potenziale di 27 mln di abitazioni residenziali su cui intervenire in modo efficace con soluzioni innovative che spingono sempre più verso la diffusione di edifici a più elevate prestazioni. Similmente, la maggiore conoscenza delle opportunità di efficientamento energetico soprattutto per i settori industriali maggiormente energivori generata dalla diffusione di strumenti di supporto alle decisioni per specifiche tecnologie e settori industriali, così come dal confronto attraverso gli indici di benchmark e la valutazione del livello di maturità, può portare sul lungo periodo ad una riduzione notevole del peso energetico a carico della rete elettrica. ENEA nell'ambito degli obblighi

previsti dall'articolo 8 del D.Lgs 102/2014 gestisce le diagnosi energetiche obbligatorie inviate dalle aziende energivore (iscritte sul portale della CSEA) e dalle grandi imprese. Per il secondo ciclo di diagnosi (dal 5 dicembre 2019) sono pervenute circa 13.000 diagnosi energetiche e l'analisi di queste ha evidenziato una potenzialità di risparmi di energetici, individuati dagli interventi proposti in diagnosi, pari a circa 2 Mtep/anno di consumi finali. Tale valutazione di riferisce solo a un piccolo campione di imprese soggette a obblighi legislativi con strutture e organizzazioni già in parte sensibilizzate al tema dell'efficienza energetica e che in molti casi hanno già avviato negli anni passati politiche ed investimenti di efficientamento energetico. Fornire strumenti che possono permettere di approcciarsi a questo tema a tutto il restante bacino di imprese (solo le PMI rappresentano il 99% delle imprese italiane), può generare opportunità di riduzione dei consumi importante, con ovvie ricadute in termini di benefici ambientali.

Sempre in riferimento alla riduzione dei consumi e dei carichi industriali, si evidenzia come la tecnologia MISA per la separazione più efficiente dei gas industriali vada ad impattare su dei sistemi (impianti di separazione) che arrivano a rappresentare il 40-70% dei costi di capitale e operativi nell'industria e che rappresentano ogni anno il 45% di tutta l'energia di processo utilizzata dalle industrie chimiche e di raffinazione del petrolio.

Il progetto insiste inoltre sul disaccoppiamento dei sistemi di generazione e utilizzo dell'energia nonché sulla creazione di nuove potenziali fonti energetiche secondo due modalità: da un lato, la valorizzazione del carbonio attraverso l'uso efficiente di energia elettrica, un maggiore livello di elettrificazione delle industrie e la produzione di H<sub>2</sub> da gas riformato prodotto da biomasse residuali permetterebbero la minimizzazione degli effetti di sovrapproduzione (overgeneration) da rinnovabili attraverso sistemi di accumulo temporaneo migliorando la flessibilità e la sicurezza del sistema elettrico; dall'altro, la diffusione di tecnologie di generazione distribuita per l'autoproduzione di energia elettrica da recuperi termici industriali e di impianti di depurazione e trattamento delle acque a bilancio positivo consentirebbe di ridurre il consumo di fonti energetiche primarie e di incrementare la stabilità della rete riducendo anche la dipendenza da combustibili fossili.

Strettamente connessi ai risparmi energetici, vi sono diversi benefici economici ed ambientali, innanzitutto quelli connessi alle emissioni di gas climalteranti, che in funzione di quanto ci si avvicinerà alla neutralità energetica, potranno ridursi considerevolmente per i settori industriali considerati nel progetto. Ad es. per il settore della depurazione e trattamento delle acque, grazie anche alle proprietà di sequestro della CO<sub>2</sub> di alcune delle materie prime seconde ottenibili da processi termochimici applicati ai fanghi. Un ulteriore beneficio ambientale indiretto per questo settore è quello ottenibile dall'efficientamento della catena del riutilizzo idrico delle acque reflue depurate, che è destinato a rendere questa pratica sempre meno onerosa per i gestori e gli utenti, facilitandone la diffusione. La disponibilità di risorsa idrica di qualità controllata, poco soggetta a fluttuazioni stagionali e perfettamente idonea all'uso irriguo, a causa anche della presenza di nutrienti, rappresenta una risorsa estremamente preziosa per l'agricoltura, garantendo la produzione anche negli anni caratterizzati da periodi siccitosi. Il suo impiego diffuso consentirebbe una notevole riduzione degli impatti ambientali delle attività antropiche, grazie alla maggiore tutela delle risorse idriche naturali per i fabbisogni dell'ambiente e degli ecosistemi.

## **b) Benefici per gli utenti**

I benefici per gli utenti del sistema elettrico nazionale attesi a seguito del raggiungimento degli obiettivi del progetto sono principalmente a breve e a medio termine e riguardano sia utenti civili sia utenti industriali. L'attività di studio, ricerca e verifica sperimentale di tecnologie efficienti nei processi industriali consente di acquisire e diffondere informazioni tecnico-scientifiche a vantaggio del sistema produttivo, che se ne può giovare in termini di competitività contribuendo direttamente alla crescita economica del Paese, e dei cittadini in generale, che ne ricevono un beneficio in termini di riduzione della bolletta energetica nazionale e di miglioramento della sostenibilità ambientale. Nel caso dei benefici per gli utenti civili, relativamente alla sorveglianza del mercato dei prodotti connessi all'energia, i benefici si concretizzano nel raggiungimento di prestazioni funzionali garantite (minori consumi energetici), oltre che nella maggiore durata e migliorata riparabilità dei prodotti e in un più facile smaltimento a fine vita. Sempre considerando i benefici attesi per gli utenti finali civili, la maggiore diffusione di interventi di riqualificazione grazie ad una migliore e più semplice implementazione delle tecniche di edilizia off-site consentirebbe di ridurre i costi delle bollette energetiche (dati ARERA indicano ad esempio un aumento delle tariffe elettriche di circa 3% annuo) e di ottenere importanti risparmi in termini di fabbisogno energetico dell'edificio, con conseguente riduzione del consumo di energia primaria e di potenza installata.

Per quanto riguarda gli utenti industriali, i principali benefici attesi riguardano una riduzione dei costi grazie alla corretta gestione di catene del valore strategiche a aree di potenziali alleanze industriali avvicinandole sempre più al paradigma di ecosistemi dinamici di innovazione, consentendo quindi un uso più efficiente ed economico degli eccessi di energia e materia unito ad una riduzione dei costi di rete e ad un incremento generale delle sinergie ed economie di scala (con un beneficio indiretto sugli utenti civili che potenzialmente avranno una riduzione nei prezzi al consumatore dei beni prodotti). I benefici conseguibili saranno riscontrabili sul breve e medio periodo in termini di miglioramento delle prestazioni relative ai consumi energetici e di tipologia di vettori energetici utilizzati anche in ottica di elettrificazione o decarbonizzazione dei consumi. Questo, quindi, potrà comportare una riduzione dei costi energetici e delle emissioni sia inquinanti sia clima-alternati a causa del minor consumo, ma anche una maggiore resilienza energetica dovuta a una minore dipendenza rispetto ai combustibili fossili. Per facilitare tale processo di transizione energetica verranno analizzati ove possibile anche i possibili benefici multipli che l'implementazione di un intervento di efficientamento energetico può produrre; tra questi i benefici ambientali giocano un ruolo importante. Inoltre, un focus specifico sarà relativo alla generazione distribuita attraverso cascami di energia termica in aree industriali, che impone una gestione ottimale del sistema elettrico e di dover far fronte a eventuali eccessi di cascami termici

distribuendoli in diverse fasi del processo produttivo, in processi produttivi vicini o in aree residenziali contigue attraverso reti di teleriscaldamento.

Particolare attenzione verrà riservata al servizio idrico integrato e in particolare al servizio di collettamento e depurazione delle acque reflue (che ha una incidenza del 30% sui consumi elettrici del servizio idrico integrato e dell'1% sul consumo nazionale). Partendo da un fabbisogno energetico del settore depurazione superiore ai 3 miliardi di kWh/anno e considerando un costo di 0.3 €/kWh (valore medio per l'anno 2022 del PUN dell'energia elettrica), si arriva ad un costo totale energetico per il settore di circa 900 milioni di € annui. Il raggiungimento della autosufficienza energetica di questo settore, oltre a rappresentare vantaggi economici e competitivi per le aziende, avrebbe impatti notevoli sul bilancio energetico italiano.

In questo caso, anche gli utenti civili potranno trarre benefici indiretti dalle attività di progetto, considerando potenziali riduzioni delle tariffe del servizio idrico integrato in virtù dei risparmi sui costi di gestione (secondo il principio previsto dall'articolo 154, comma 1, del D.lgs. 152/06 e s.m.i., il quale prevede che "La tariffa costituisce il corrispettivo del servizio idrico integrato ed è determinata tenendo conto della qualità della risorsa idrica e del servizio fornito, delle opere e degli adeguamenti necessari, dell'entità dei costi di gestione delle opere..."), oltre ai benefici connessi alla gestione sostenibile della risorsa idrica, alla tutela di risorse naturali, alla maggior salvaguardia dell'ambiente ed alla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra.

Sempre relativamente agli utenti industriali, vale la pena sottolineare i benefici sul medio periodo legati all'implementazione di politiche energetiche più mirate alla riduzione dei consumi energetici e quindi ai costi associati, elaborate anche grazie alle analisi di benchmark rese disponibili dalle attività di progetto, e quelli legati al miglioramento della percezione e dell'immagine delle aziende.

### c) Previsione delle ricadute applicative

Tutti i risultati del progetto presentano ricadute applicative spendibili nel medio-lungo termine, risultando di particolare rilievo per aziende interessate ad un'eventuale industrializzazione e commercializzazione di prodotti e software sul mercato italiano ed europeo e/o per i decisori politici che possono trarne utili strumenti di analisi e supporto alle decisioni (come ad esempio nel caso degli strumenti per la sorveglianza del mercato sviluppati nel WP1 e nel caso dello sviluppo degli indici di benchmark e relativi strumenti nel WP3). Tutti i risultati del progetto costituiscono inoltre importanti avanzamenti rispetto allo stato dell'arte, che verranno valorizzati tramite pubblicazioni scientifiche da parte di ENEA e dei cobeneficiari e sottoposti all'interesse della comunità scientifica internazionale. Per quanto riguarda l'utilizzazione dei risultati sotto forma di una loro potenziale futura industrializzazione e immissione sul mercato si segnalano in particolare:

- Lo strumento di calcolo sviluppato nel WP2 per l'applicazione della pinch-analysis e comprendete il database per la caratterizzazione dei processi industriali e il modulo per la valutazione di profili tempo-dipendenti delle richieste/disponibilità di energia termica. Alla fine del triennio sarà resa disponibile una prima versione beta gratuita di tale applicativo, che tuttavia presenterà un notevole potenziale di perfezionamento dell'interfaccia utente e di customizzazione che lo renderà potenzialmente appetibile a software house che vogliano utilizzarlo per sviluppare software proprietari.
- L'approccio metodologico sviluppato nel WP2 per la valutazione dell'efficienza energetica e del grado di integrazione, nonché per la definizione di business models, delle catene del valore relative alle soluzioni Off-Site per l'isolamento termico degli edifici.
- Lo strumento di calcolo sviluppato nel WP2 per l'"Energy Value Mapping" dei processi e delle filiere relative alle soluzioni Off-Site per l'isolamento termico degli edifici. Alla fine del triennio sarà resa disponibile una prima versione beta gratuita di tale applicativo, che tuttavia presenterà un notevole potenziale di perfezionamento dell'interfaccia utente e di customizzazione che lo renderà potenzialmente appetibile a software house che vogliano utilizzarlo per sviluppare software proprietari.
- Gli strumenti di diffusione relativi a best practice e best available technologies per l'efficienza energetica e di trasferimento di competenze sviluppati nel WP2 per le aziende del settore alimentare (LA 2.4-2.6 e LA 2.13-2.14) e per le aziende facenti parte la catena del valore relative alle soluzioni Off-Site per l'isolamento termico degli edifici (LA 2.7-2.12).
- I materiali selezionati come sorbenti nel WP2, che sono caratterizzati da un'elevata versatilità di configurazione (i MOF censiti al momento superano i 10000), considerando che la possibilità di miscelarli con le nanoparticelle e la loro modulabilità chimica fa sì che la tecnologia MISA sia estendibile a un elevato numero di processi separativi. Si tenga presente che in questo caso il campo applicativo risulta essere piuttosto vasto in quanto l'utilizzo efficiente delle risorse energetiche applicato alle operazioni di separazione è di grande interesse per tutto il settore industriale chimico ed energetico in quanto le separazioni sono operazioni particolarmente energivore e presenti in tutti i processi produttivi.
- Le tecnologie e i processi sviluppati nel WP4 relativamente al trattamento delle biomasse residuali e alla relativa produzione di H<sub>2</sub>, che possono eventualmente dare luogo a future proposte di brevetti per favorirne l'applicazione su scala industriale. Questi processi potrebbero rappresentare per l'industria nazionale italiana, oggetto di nuovi investimenti sulla decarbonizzazione mettendo in atto, laddove necessario, una chiusura efficiente del ciclo del carbonio.
- Il portafoglio delle soluzioni standardizzate sviluppato nel WP4 insieme alla chiusura di bilanci di materia ed energia per la valutazione e la selezione delle configurazioni studiate per la decarbonizzazione di processi industriali, che potrebbe dare luogo ad un sistema facilitato di confronto tra soluzioni di questo tipo introducendo un abaco di soluzioni innovative implementabili nei settori a più alto impatto ambientale.
- I risultati delle attività sperimentali condotte nell'ambito del WP5, che contribuiranno allo sviluppo scientifico ed industriale di

tecnologie di depurazione, consentendo di ridurre i consumi energetici degli impianti di depurazione e massimizzare il recupero energetico da reflui/fanghi (elettrico e/o termico), oltre a favorire la riduzione dell'uso di materie prime ed il recupero di risorse idriche e materie prime seconde.

- Tutte le tecnologie testate nell'ambito del WP5, sia quelle ancora in fase di sviluppo, con TRL bassi, sia quelle con TRL più elevati, soprattutto in virtù del risparmio energetico ed economico e della riduzione delle emissioni climalteranti che consentono, hanno un notevole potenziale per l'applicazione su larga scala. Per le tecnologie in fase di applicazione più avanzata saranno prodotte analisi tecnico economiche sui benefici e i costi ottenibili dalla loro applicazione.

- Lo sviluppo del software DEES nell'ambito del WP5 faciliterà l'azione dei gestori, dei pianificatori e dei decisori in chiave di programmazione degli interventi di efficientamento energetico, in piena linea con gli obiettivi comunitari e l'evoluzione delle normative.

## 2.8 Verifica dell'esito del progetto

### a) Oggetti e documentazione dei risultati finali

Di seguito sono descritti i principali deliverable di progetto (come da tabella riassuntiva dei prodotti della ricerca, che ne riporta l'elenco completo) integrati con le principali milestones già descritte nella sezione relativa alla "fattibilità tecnico-scientifica": i deliverable qui indicati costituiscono i prodotti considerati maggiormente rappresentativi degli obiettivi di progetto e quindi fondamentali anche per la verifica del loro raggiungimento; le milestones saranno invece utilizzate da ENEA e dai cobeneficiari per monitorare periodicamente lo stato di avanzamento delle diverse attività.

- Rapporto tecnico della LA 1.1 (deliverable) contenente la descrizione e la quantificazione delle riunioni del Consultation Forum, del Regulatory Committee, dell'Expert Group e dei Gruppi ADCO realizzate, delle proposte di regolamenti discussi ed eventualmente adottati, dei prodotti oggetto della sorveglianza del mercato, nonché la descrizione dello stato di avanzamento dei nuovi standard mondiali per gli apparecchi per il lavaggio.

- Rapporto tecnico della LA 1.2 (deliverable) contenente la descrizione delle caratteristiche principali del nuovo Regolamento di ecodesign, la descrizione e la quantificazione delle riunioni del Consultation Forum, del Regulatory Committee, dell'Expert Group e dei Gruppi ADCO realizzate, delle proposte di regolamenti discussi ed eventualmente adottati, dei prodotti oggetto della sorveglianza del mercato, la descrizione dello stato di avanzamento degli nuovi standard mondiali per gli apparecchi per il lavaggio, nonché la quantificazione dei modelli con l'etichetta energetica raccolti durante l'indagine sulla presenza delle etichette energetiche nei punti vendita.

- Versione preliminare dello strumento di calcolo (milestone, LA 2.1) sviluppato sulla base del modulo per l'applicazione della pinch-analysis elaborato nel PTR 19-21 da ENEA in collaborazione con UNIVAQ\_DIIIE1.

- Strumento di calcolo (deliverable, LA 2.2) sviluppato sulla base del modulo per l'applicazione della pinch-analysis elaborato nel PTR 19-21 e comprendete il database per la caratterizzazione dei processi industriali (sviluppato da ENEA in collaborazione con UNIVAQ\_DIIIE1) e il modulo per la valutazione di profili tempo-dipendenti delle richieste/disponibilità di energia termica (deliverable sviluppato da UNIVAQ\_DIIIE1 con il supporto di ENEA).

- Analisi di metodologie esistenti per la valutazione energetica ed economica per le tecnologie di natura non termica e termiche innovative (milestone, LA 2.4).

- Strumento di calcolo (deliverable, LA 2.5) relativo all'implementazione di una metodologia di valutazione energetica ed economica per le tecnologie di natura non termica e termiche innovative.

- Rapporto tecnico della LA 2.6 (deliverable) contenente le linee guida per le aziende relativamente alla definizione dei benefici energetici e non energetici nell'utilizzo delle tecnologie non termiche ed innovative.

- Rapporto tecnico della LA 2.7 (deliverable) contenente la mappatura degli stakeholder che costituiscono la filiera produttiva relativa alle principali soluzioni d'isolamento termico degli edifici e la descrizione delle attività di istituzione dei tavoli di lavoro.

- Implementazione di un osservatorio nazionale (milestone, LA 2.8) delle filiere delle principali soluzioni d'isolamento termico degli edifici e tavoli tecnici.

- Rapporto tecnico della LA 2.8 (deliverable) contenente la definizione di indici (energetici e non energetici) e benchmark per i processi produttivi e le relative filiere delle principali soluzioni d'isolamento termico degli edifici (con riguardo alla tecnica dell'OSC), la descrizione delle attività per l'implementazione di un osservatorio nazionale su tali filiere, nonché un framework decisionale per valutare l'adozione nelle stesse filiere di materiali "innovativi" e "non convenzionali".

- Rapporto tecnico della LA 2.9 (deliverable) contenente l'identificazione di linee guida per lo sviluppo delle filiere e del comparto OSC di soluzioni commerciali di isolamento termico per l'ambiente costruito.

- Versione preliminare del framework (milestone, LA 2.10) per il trasferimento a livello italiano del know-how e delle principali tecnologie e competenze rilevate a livello internazionale relative ai sistemi OSC a base legno e a base acciaio.

- Rapporto tecnico della LA 2.10 (deliverable) contenente la mappatura dei principali progetti di ricerca relativi ai sistemi OSC a base legno e a base acciaio nonché la mappatura europea delle principali aziende e dei relativi sistemi attualmente disponibili sul mercato, e il framework per il trasferimento a livello italiano del know-how e delle principali tecnologie e competenze rilevate a livello internazionale.

- Versione preliminare dello strumento di calcolo (milestone, LA 2.11) relativo all'implementazione dell'"Energy Value Mapping" a livello di

- filiere.
- Strumento di calcolo (deliverable, LA 2.11) relativo all'implementazione dell'“Energy Value Mapping” a livello di filiera.
  - Rapporto tecnico della LA 2.12 (deliverable) contenente la mappatura dei prodotti “innovativi” e “non convenzionali” sul territorio nazionale.
  - Guida (deliverable, LA 2.14) per l'efficientamento energetico delle cantine vitivinicole.
  - Rapporto tecnico della LA 2.15 (deliverable) contenente la descrizione delle attività preliminari a quelle previste nella LA 2.16.
  - Rapporto tecnico della LA 2.16 (deliverable) contenente la descrizione dei principali risultati sperimentali relativi ai processi di sintesi di materiali compositi stabili in acqua e con proprietà ottimizzate per la separazione di miscele CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> da post-combustione, alla qualificazione chimica, fisica e funzionale dei materiali sviluppati e alla definizione della capacità separativa e ottimizzazione della cinetica di rilascio modulata attraverso tecnologia MISA in paragone allo stato dell'arte e al riscaldamento convenzionale.
  - Rapporto tecnico della LA 3.1 contenente gli indici di prestazione energetica (IPE) per almeno quattro settori economici sia di I livello che di II livello.
  - Versione preliminare dell'applicativo web (milestone, LA 3.2) dedicato alle PMI per la valutazione energetica dei siti produttivi e l'individuazione di eventuali interventi di efficientamento energetico, e finalizzato ad accompagnarle verso una gestione consapevole dell'energia.
  - Versione preliminare dell'applicativo web (milestone, LA 3.2) che rappresenta il potenziamento del Tool di Energy Management con l'inclusione dei moduli per il corretto dimensionamento degli interventi di efficientamento energetico.
  - Rapporto tecnico della LA 3.2 (deliverable) contenente gli indici di prestazione energetica (IPE) per almeno quattro settori economici sia di I livello che di II livello.
  - Linee guida (deliverable, LA 3.2) per almeno cinque diversi settori produttivi.
  - Applicativo web (deliverable, LA 3.2) dedicato alle PMI per la valutazione energetica dei siti produttivi e l'individuazione di eventuali interventi di efficientamento energetico, e finalizzato ad accompagnarle verso una gestione consapevole dell'energia.
  - Applicativo web (deliverable, LA 3.2) che rappresenta il potenziamento del Tool di Energy Management con l'inclusione dei moduli per il corretto dimensionamento degli interventi di efficientamento energetico.
  - Rapporto tecnico della LA 4.1 (deliverable) contenente la descrizione dei principali risultati sperimentali relativi alla verifica della produzione a pressione ambiente di idrogeno verde da gassificazione di biomasse intensificata mediante cattura di CO<sub>2</sub> con sorbenti naturali, alla sintesi di materiali in fase polvere per la cattura e il riuso di CO<sub>2</sub>, alla verifica dell'aumento di prestazione del reattore al plasma per la dissociazione di CO<sub>2</sub> (si valuterà in particolare l'effetto della presenza di una membrana per O<sub>2</sub>, alla verifica della fattibilità tecnica del processo di stoccaggio mediante processi non-geologici (utilizzo di matrici solide residue).
  - Stato di avanzamento intermedio (milestone, LA 4.2) delle attività relative alla produzione di sorbenti e catalizzatori granulari per la produzione di H<sub>2</sub> da biomasse residue intensificata dalla cattura di CO<sub>2</sub>.
  - Rapporto tecnico della LA 4.2 (deliverable) contenente la descrizione dei principali risultati sperimentali relativi alla verifica della produzione in pressione di idrogeno verde da gassificazione di biomasse intensificata mediante cattura di CO<sub>2</sub> con sorbenti sintetici, alla sintesi di materiali granulari per la cattura e il riuso di CO<sub>2</sub>, alla verifica dell'aumento di prestazioni del reattore al plasma per la dissociazione di CO<sub>2</sub> (si valuterà in particolare l'effetto di materiali di costruzione degli elettrodi), alla verifica della fattibilità tecnica del processo di stoccaggio mediante processi non-geologici (utilizzo di matrici liquide residue).
  - Rapporto tecnico della LA 4.3 (deliverable) contenente la descrizione delle attività di progettazione di un gassificatore in pressione per la produzione di H<sub>2</sub> da biomasse residue. In particolare, saranno sviluppate simulazioni Euleriane-Lagrangiane con il fine di accoppiare il reattore di gassificazione/carbonatazione con il reattore di combustione/calcinazione sviluppato in attività/progetti precedenti. Saranno quindi simulate differenti condizioni di flusso e differenti geometrie e volumi dei serbatoi con il fine di valutare le condizioni operative ottimali per garantire il corretto ricircolo di materiale solido fra i due reattori. Contemporaneamente sarà fondamentale verificare, sempre tramite tali simulazioni, che non avvengano eccessivi trafilamenti di gas tra i due reattori. I risultati dei modelli numerici verranno corroborati da modelli freddi del sistema gassificatore/calcinatore.
  - Rapporto tecnico della LA 4.4 (deliverable) contenente la descrizione di strumenti di calcolo per la chiusura di bilanci di materia ed energia di processi di rimozione di CO<sub>2</sub>, quali DAC e BECCS. Tali processi sono caratterizzati da bilanci di CO<sub>2</sub> negativi e possono essere, quindi, utilizzati come misure di mitigazione e compensazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> da industrie energivore e difficili da decarbonizzare (“hard to abate”). Il WP4 mira all'identificazione dei vantaggi e svantaggi di questi processi. Verranno effettuate analisi di processo dettagliate con lo scopo di quantificare i bilanci di massa ed energia delle configurazioni di processo più promettenti. I risultati ottenuti saranno utilizzati per effettuare analisi economiche con lo scopo di stimarne i costi (CAPEX e OPEX) associati e determinare i principali KPI tecno-economici.
  - Versione preliminare dello strumento di calcolo (milestone, LA 5.2) finalizzato al supporto alle decisioni per la classificazione energetica degli impianti di depurazione acque e per la valutazione di scenari.
  - Strumento di calcolo (deliverable, LA 5.2) finalizzato al supporto alle decisioni per la classificazione energetica degli impianti di depurazione acque e per la valutazione di scenari, che sarà aggiornato rispetto alle novità introdotte dalla normativa del settore e arricchito con nuove funzionalità basate sui risultati sperimentali più interessanti, ottenuti nell'ambito delle linee di attività del WP5.
  - Stato di avanzamento intermedio (milestone, LA 5.2) delle attività di installazione e avviamento dei prototipi a scala di banco o pilota per

il trattamento energeticamente efficiente di acque reflue e per la valorizzazione energetica dei fanghi di depurazione.

- Rapporto tecnico della LA 5.2 (deliverable) contenente la descrizione dell'applicazione di prototipi a scala pilota e da banco per il trattamento energeticamente efficiente di acque reflue (reattore MBBR) e per la valorizzazione energetica dei fanghi di depurazione (pirolisi -carbonizzazione, biometanazione idrogenotrofa), dell'analisi dei costi e delle ricadute energetiche dell'applicazione di processi innovativi in scala reale e dell'efficienza energetica della filiera del riuso idrico dei reflui depurati.
- Rapporto tecnico della LA 5.4 (deliverable) contenente la descrizione della combinazione di processi di trattamento integrati in linea acque ed in linea fanghi con sistemi in loco di produzione di energia rinnovabile (biogas, energia solare) per il raggiungimento della neutralità energetica a livello di singolo impianto o di ambito territoriale.
- Rapporto tecnico della LA 5.5 (deliverable) contenente la descrizione dello sviluppo di tecnologie innovative per il trattamento delle acque reflue, energeticamente efficienti e sostenibili (reattore ESBG con sviluppo di consorzi di batteri e microalghe, reattore basato su consorzi di batteri eterotrofi e idrogeno ossidanti autotrofi).

Per quanto riguarda i deliverable, riportati in maniera estesa nella tabella apposita, si prevedono le seguenti modalità per la verifica dei risultati da parte degli esperti revisori:

- Per ciascuna linea di attività verrà realizzato un rapporto tecnico di dettaglio nel quale saranno descritte le attività svolte insieme ai risultati ottenuti. I rapporti tecnici di dettaglio saranno consegnati in fase di SAL per opportuna valutazione da parte degli esperti, attraverso il confronto tra i contenuti dei documenti e la descrizione di linee di attività e relativi risultati. I rapporti tecnici di dettaglio conterranno anche la descrizione dei deliverable di altra tipologia associati alla medesima linea di attività.
- Per i prodotti di ricerca definiti nella tabella dei deliverable come "strumenti di calcolo" si provvederà a consegnare in fase di SAL i relativi applicativi, fogli di calcolo, ecc. per opportuna verifica funzionale da parte degli esperti, insieme ad eventuali manuali d'uso e supporti esplicativi del funzionamento.
- Per i prodotti di ricerca definiti nella tabella dei deliverable come "linee guida" o "guida" si provvederà a consegnare in fase di SAL la relativa documentazione in PDF o eventualmente i link alle pagine del sito web di ENEA per il download degli stessi.
- Per i prodotti di ricerca definiti nella tabella dei deliverable come "applicativo web" si provvederà a consegnare in fase di SAL i link alle pagine dove saranno messi in produzione per opportuna verifica funzionale da parte degli esperti.