

PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2025-2027 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 1.10

Titolo del progetto

Bioenergie

- Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]
- Alma Mater Studiorum Università di Bologna [UNIBO]
- Dipartimento di Ingegneria dell'energia, dei sistemi, del territorio e delle costruzioni Università di Pisa [DESTEC-UNIFI]
- Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali Università di Pisa [DiSAAA-a UNIFI]
- Politecnico di Milano [POLIMI]
- Sapienza Università di Roma - URM1-DICMA [UNIROMA1]
- Università degli Studi dell'Aquila [UNIVAQ]
- Università degli Studi di Cagliari – Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali [UNICA]
- Università degli Studi di Enna “KORE” [UNIKORE]
- Università degli Studi di Salerno [UNISA]
- Università degli Studi Guglielmo Marconi [UNIMAR]
- Università della Calabria [UNICAL]

Durata del progetto: 36 mesi

Costo proposto: 5.199.999,50 €

2. DATI GENERALI DEL PROGETTO

2.1 Dati progetto

Titolo del progetto

Bioenergie

Durata del progetto

36 mesi

2.2 Descrizione progetto

Abstract del progetto

In Italia nell'ultimo decennio le fonti rinnovabili (FER) hanno fatto registrare una crescita in termini sia di potenza installata sia di produzione energetica, guidate prevalentemente da solare fotovoltaico, eolico e idroelettrico, arrivando nel 2023 a coprire il 19,6% dei consumi finali lordi (CFL) di energia. Nonostante ciò, la tendenza di crescita attuale risulta ancora troppo bassa per consentire il raggiungimento degli obiettivi stabiliti al 2030 con il Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC), dove le FER devono coprire il 39,4% dei consumi finali lordi (CFL) di energia ed il 63,4% dei CFL di energia elettrica da rinnovabili. Un limite alla diffusione della produzione di energia rinnovabile è rappresentato dalla difficile gestione di un mix energetico con elevata produzione di energia rinnovabile non programmabile. Un'opportunità per superare tale limite è rappresentata da strategie di produzione di energia rinnovabile programmabile, che stabilizzi le reti di distribuzione. La generazione distribuita di elettricità attraverso fonti rinnovabili a base combustibile, quali le biomasse, diviene elemento fondamentale per garantire continuità nella produzione di energia localmente e facilitare la gestione dei flussi energetici stessi. In linea con le finalità del programma 2025-2027, tema di ricerca "Decarbonizzazione", il progetto Bioenergia propone lo sviluppo di tecnologie, processi e metodologie associate all'impiego sostenibile, e carbon-neutral, di diverse biomasse residuali localmente disponibili in una visione integrata del sistema energetico e della produzione di tipo stand-alone. Il programma di lavoro è stato articolato in sei WP. Di questi, tre puntano allo sviluppo di processi di produzione a più alta efficienza (WP1, WP2 e WP3 rispettivamente elettrica, chimica e biotecnologica), altri due a valutare la disponibilità e l'integrabilità della bioenergia con altre fonti rinnovabili (WP4 e WP5). Infine, il WP6 è dedicato al management progettuale, all'implementazione delle azioni necessarie di raccordo per una efficace integrazione con il programma di lavoro previsto da RSE sul tema delle bioenergie ed alla divulgazione dei risultati. Le tecnologie convenzionali permettono una conversione di biomasse solide e/o liquide (es. oli vegetali) attraverso motori a combustione interna (per biogas, oli o syngas da gassificazione) o caldaie accoppiate a turbine/ORC (per biomasse solide lignocellulosiche e rifiuti solidi). La tecnologia della gassificazione, in particolare, permette una conversione di biomasse in gas combustibili (syngas) con elevate efficienze energetiche. Un limite, però, è rappresentato dalla scarsa efficienza di conversione elettrica che, allo stato dell'arte, si basa sull'impiego del syngas in motori a combustione interna (MCI). Prestazioni superiori si possono invece raggiungere adottando unità di utilizzo avanzate, quali le fuel cell ad ossidi solidi (SOFC). La conversione del syngas in una SOFC permette infatti di avere, per sistemi CHP a biomassa, sia maggiori efficienze complessive (90% contro il 65% attuale, target SET-PLAN 75%) sia elettriche (50% contro il 25% attuale, target SET-PLAN >30%). Nel presente piano di ricerca nel WP1 saranno condotte campagne sperimentali finalizzate a testare questa tipologia di accoppiamento utilizzando uno dei gassificatori di taglia significativa disponibile nel parco tecnologico di ENEA Trisaia e con prestazioni idonee all'accoppiamento con SOFC. Nel contesto della generazione distribuita a partire da biomasse, i biocombustibili liquidi si prestano bene ad un loro utilizzo in sistemi di generazione distribuita su piccola scala, flessibili ed in grado di utilizzare l'infrastruttura di distribuzione dei carburanti liquidi fossili. I combustibili liquidi possono essere prodotti con numerose tecnologie e processi sia di tipo termochimico che biotecnologico. Il WP2 si focalizza sull'ottimizzazione della produzione di biocombustibili liquidi attraverso processo di gassificazione. Infatti, il syngas, arricchito in idrogeno verde da elettrolisi (utilizzando elettricità da FER) o in bio-idrogeno (attraverso cattura della CO₂), rappresenta un'apiattaforma versatile per la sintesi di diversi biocombustibili come ad esempio il metanolo, il DME, il diesel e la benzina di sintesi (Fischer-Tropsch). Il WP3 si concentra sulla produzione di biocarburanti drop-in attraverso processi biotecnologici e idrotattamento, valorizzando residui lignocellulosici e agroalimentari. Particolare attenzione sarà dedicata allo sviluppo e all'ottimizzazione di catalizzatori per migliorare l'efficienza dei processi di idrotattamento, alla definizione delle condizioni operative e all'elaborazione di bilanci di massa ed energia per un'analisi tecnica ed economica. Le attività del WP4 su valutazione e mappatura di disponibilità di biomassa sono funzionali a valutare le prospettive di sviluppo di filiere bioenergetiche locali. In generale, il futuro sviluppo delle bioenergie deve essere opportunamente contestualizzato in un'analisi territoriale integrata che tenga in considerazione non solo gli aspetti logistici di prelievo sostenibile e conferimento della biomassa, ma anche la disponibilità di altre fonti rinnovabili presenti sul territorio. Il WP4 prevede dunque l'aggiornamento, implementazione e potenziamento del portale WebGIS ENEA "Atlante sulle Biomasse". Tale strumento potrà essere utilizzato da tutti gli stakeholders per valutare quale siano le aree geografiche maggiormente vocate alla produzione di biomassa e dove installare e/o ammodernare impianti bioenergetici. La microgenerazione attraverso biocombustibili liquidi rappresenta una sfida per il futuro, soprattutto in ottica di aumento del consumo di

elettricità su scala nazionale dovuto alla penetrazione dei veicoli elettrici. La nuova richiesta di elettricità, difficilmente programmabile, potrebbe comportare problematiche nella gestione delle reti nei prossimi decenni. In tal senso, disporre di sistemi di ricarica di auto elettriche accoppiati a generatori di piccola taglia ad "isola" alimentati a biocombustibili potrebbe consentire un'ottimale strategia di gestione delle reti, soprattutto in località non urbane (es. autostrade) o rurali. Il WP5 svilupperà quindi una valutazione di impatto dei costi-benefici di un sistema off-board hybrid alimentato a biocombustibili liquidi in diversi scenari di penetrazione di veicoli elettrici. Il WP6 ha l'obiettivo di monitorare il regolare avanzamento del progetto verificando il raggiungimento degli obiettivi e il coordinamento con le azioni di RSE. Inoltre, il WP 6 ha lo scopo di promuovere la diffusione dei risultati identificando e raggiungendo diversi target audience. Di particolare rilevanza ed impatto risultano le attività previste nell'ambito del Network IEA Bioenergy e organizzazione di eventi di alta formazione sulle bioenergie.

Abstract del progetto ENG

In Italy, over the past decade, renewable energy sources (RES) have shown growth in both installed capacity and energy production, primarily driven by solar photovoltaics, wind, and hydropower. By 2023, these sources covered 19.6% of the gross final energy consumption (GFC). However, the current growth trend is still too low to achieve the targets set for 2030 by the National Energy and Climate Plans (NECPs) which require RES to cover 39.4% of the GFC and 63.4% of gross electricity consumption from renewable sources. A challenge to the widespread adoption of renewable energy production lies in the difficult management of an energy mix with a high share of non-programmable renewable energy production. An opportunity to overcome this limitation is the implementation of programmable renewable energy production strategies, which stabilize distribution networks and make the prediction of electrical power generation less uncertain over time. To this end, distributed electricity generation using fuel-based renewable sources, such as biomass, which also includes the biogenic fraction of waste, becomes essential to ensure continuity in local energy production and facilitate the management of energy flows. Distributed biomass-based generation systems can enhance materials otherwise destined for landfills or not optimally utilized. In accordance with the aim of the 2025-2027 programme research theme "Decarbonization", the present System Research project proposes the development of technologies, processes, and methodologies associated with the sustainable, optimized and carbon-neutral use of various locally available biomass sources within an integrated vision of the energy system and production from diverse renewable sources, or stand-alone, depending on the most favorable geographical context. The ultimate goal is to contribute to increasing national renewable energy production and, build a more stable and resilient national energy system. To this end, the work program has been divided into six work packages (WPs). Three of these aim to develop higher-efficiency production processes (WP1, WP2, and WP3 for electrical, chemical, and biotechnological efficiency, respectively), two focus on evaluating the availability and integration of bioenergy with other renewable sources (WP4 and WP5) with a view to overall sustainability. Finally, WP6 is dedicated to project management, coordination with RSE activities, and dissemination of results and knowledge developed through the project. Conventional technologies enable energy production from solid and/or liquid biomass (e.g., vegetable oils) through internal combustion engines (for biogas, oils, or syngas from gasification) or boilers coupled with turbines/ORC systems (for lignocellulosic solid biomass and solid waste). Gasification technology, in particular, allows biomass conversion into combustible gases (syngas) with high energy efficiency. However, a limitation is the low electrical conversion efficiency which, at the state of art, is based on the use of internal combustion engines. Higher performance can be achieved instead by adopting advanced utilization units, such as solid oxide fuel cells (SOFCs). Indeed, the conversion of syngas using a SOFC allows both higher overall efficiencies (90% vs. 65% today, SET-PLAN target 75%) and power efficiencies (50% vs. 25% today, SET-PLAN target >30%) for biomass CHP systems. In this research plan, WP1 will conduct experimental campaigns to test the coupling of gasification with solid oxide fuel cells (SOFCs), by referring to an ENEA gasification reactor of significant size and specific configuration.

In the context of distributed biomass-based generation, liquid biofuels are suitable for use in small-scale distributed generation systems. These systems are flexible and can leverage the already existing and widespread liquid fuel distribution infrastructure. Liquid fuels can be produced through numerous thermochemical and biotechnological processes. WP2 focuses on optimizing the production of liquid biofuels by gasification process. In fact, syngas, enriched in green hydrogen through electrolysis (using electricity from RES) or in bio-hydrogen (through CO₂ capture), is a versatile platform for the synthesis of various biofuels such as, for example, methanol, DME, diesel and gasoline (Fischer-Tropsch).

evita ripetizione sulla tipologia di biofuels. WP3 focuses on the production of drop-in biofuels through biotechnological processes and hydrotreatment, leveraging lignocellulosic and agro-industrial residues. The objective is to transform these materials into renewable resources via microbial fermentation to obtain high-yield lipids, subsequently converted into advanced fuels through catalytic hydrogenation. Particular attention will be given to developing and optimizing catalysts to improve process efficiency, defining operating conditions, and conducting mass and energy balance analyses for comprehensive technical assessments. These activities aim to promote a circular approach and improve energy sustainability.

A barrier to large-scale biofuel or electricity production in Italy and Europe is uncertainty about the actual availability of residual biomass in the territory or its efficient management and use. In this sense, activities assessing and mapping biomass availability are essential for evaluating the development prospects of local bioenergy supply chains. Future bioenergy development must be appropriately contextualized within an integrated territorial analysis that considers not only logistical aspects of sustainable biomass collection and delivery but also the availability of other non-programmable renewable sources in the territory. WP4 includes updating, implementing,

and enhancing of the ENEA's "Biomass Atlas" WebGIS portal. This tool can be used by stakeholders to evaluate the most suitable geographical areas for residual biomass availability and where to install and/or modernize bioenergy plants.

Microgeneration using liquid biofuels is a challenge for the future, especially considering the increasing national electricity demand driven by the growing need to charge electric vehicles. This new electricity demand, which is difficult to plan and not directly coupled with local energy production systems, could lead to network management issues in the coming decades. In this context, having electric vehicle charging systems coupled with small-scale generators directly connected in "island mode" could reduce electricity demand for production and distribution, enabling an optimal network management strategy, particularly in non-urban (highways) or rural locations. WP5 will study a cost-benefit impact assessment of an off-board hybrid system powered by liquid biofuels in scenarios of 100% electric vehicle penetration.

Finally, WP6 aims to monitor the project's progress, verifying the achievement of objectives and coordination with RSE actions. Additionally, WP6 focuses on promoting the dissemination of results by identifying different target audiences and reaching them through appropriate dissemination tools. Particularly relevant and impactful are the activities planned within the IEA Bioenergy Network and the holding of high-level training events on bioenergy.

2.3 TRL progetto

TRL iniziale: 3

TRL finale: 6

Il progetto si compone di 6 WP, tre con contenuti di sviluppo tecnologico WP1, WP2 e WP3 per i quali è possibile definire un incremento del TRL direttamente correlato all'avanzamento delle tecnologie proposte, per effetto delle attività incluse nel presente progetto, e due (WP4 e WP5) rivolti a valutare la fattibilità e la sostenibilità tecnico-economica-ambientale di tali tecnologie. Per quanto concerne le tecnologie di gassificazione, SOFC, sintesi chimica a partire da syngas, previste nei WP 1 e 2 sono tecnologie con TRL alti 7-9 rispetto all'impiego di fonti fossili come ad esempio gas naturale e carbone. Tuttavia, l'incremento specifico del TRL nel presente progetto è associato: 1) alla trasformazione di fonti biogeniche in alimentazione omogenea ed eterogenea; 2) sviluppo nuovi layout di accoppiamento ed integrazione tecnologica. Il WP1 consentirà la dimostrazione in ambiente rilevante della produzione di una corrente di gas di sintesi di qualità idonea all'accoppiamento con SOFC e l'esplorazione su scala significativa dell'utilizzo di questa corrente gassosa. Il WP2 coprirà una vasta gamma di tecnologie ed innovazioni ciascuna con un diverso grado attuale di sviluppo e per le quali sono previste attività di tipo differente. Complessivamente, partendo dal livello più basso a quello più alto che si prevede di raggiungere nel WP, l'incremento è da TRL 3 a 5. Le attività includono la sintesi e la caratterizzazione di catalizzatori e materiali innovativi per ottimizzare i reattori, fino a convalidare le tecnologie in ambiente rilevante. Anche l'incremento di TRL nel WP3 parte da un livello di ricerca prevalentemente sperimentale (TRL 3) fino a raggiungere la validazione di tecnologie su scala pilota (TRL 5). Le attività includono la produzione di zuccheri di seconda generazione, la selezione di microrganismi e substrati per migliorare la resa lipidica, lo sviluppo di catalizzatori avanzati per l'idrogenazione a biocombustibili drop-in. Nel WP 4, sarà realizzato l'aggiornamento del portale web GIS ENEA "Atlante delle Biomasse" che consente attualmente agli utenti di estrapolare dati territoriali sulla disponibilità di biomasse residuali e frazioni biogeniche di rifiuti (TRL 5). L'aggiornamento nel progetto Bioenergie includerà l'integrazione di tool informatici per la mappatura integrata delle risorse territoriali contribuendo al miglioramento della fruibilità della piattaforma e rendendola ancora più user-friendly e accessibile anche a utenti non esperti (TRL 6).

Il WP5 provvederà valutazioni tecnico-economiche ed ambientali relative ad un innovativo utilizzo dei biocombustibili in sistemi per la microgenerazione distribuita e programmabile di energia elettrica, in accoppiamento a colonnine di ricarica di veicoli su strada. L'incremento di TRL è relazionato all'analisi dell'utilizzo di generatori elettrici ad elevata efficienza alimentati con biocombustibili, attualmente presenti in progetti a TRL 4, in accoppiamento con sistemi commerciali di ricarica di auto elettriche (TRL 6). Il WP6 renderà infine possibile l'incremento di conoscenze, implementando diverse tipologie di azioni di disseminazione dei risultati, anche attraverso formazione specialistica indirizzata a dottorandi di ricerca e giovani ricercatori, interessati ai temi delle bioenergie.

2.4 Inquadramento del progetto nello stato dell'arte

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

Per raggiungere l'obiettivo della neutralità climatica al 2050, l'Unione Europea ha posto il settore energetico al centro di un processo di trasformazione che coinvolge tutti i comparti della filiera, dalla produzione al consumo di energia. Promuovere la transizione energetica rappresenta dunque un elemento chiave per raggiungere gli obiettivi e ridurre l'impatto antropico sul cambiamento climatico. In Italia nell'ultimo decennio le fonti rinnovabili (FER) hanno fatto registrare una crescita in termini sia di potenza installata sia di produzione energetica, guidate prevalentemente da solare fotovoltaico, eolico e idroelettrico, arrivando nel 2023 a coprire il 19,6% dei consumi finali

lordi (CFL) di energia [1]. Nonostante ciò, la tendenza di crescita attuale risulta ancora troppo bassa per consentire il raggiungimento degli obiettivi stabiliti al 2030 con il Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC) [2], dove le FER devono coprire il 39,4% dei consumi finali lordi (CFL) di energia ed il 63,4% dei CFL di energia elettrica da rinnovabili. Tali obiettivi nazionali risultano fondamentali per raggiungere l'obiettivo europeo al 2050 di decarbonizzazione netta dell'UE, recentemente rilanciati dalla Commissione Europea con il Pacchetto Fit for 55 [3] (taglio emissioni del 55% dei livelli del 1990) e la nuova direttiva sulla promozione delle energie rinnovabili, nota come RED III, che prevede l'aumento dal 32 al 42,5% della quota di energia da fonti rinnovabili nel CFL di energia entro il 2030 [4]. Un limite alla diffusione della produzione di energia rinnovabile è rappresentato dalla difficile gestione di un mix energetico con elevata produzione di energia rinnovabile non programmabile (e.g. eolico e solare). Un'opportunità per superare tale limite è rappresentata da strategie di produzione di energia rinnovabile programmabile, che stabilizzi le reti di distribuzione e renda meno aleatoria la previsione di produzione di potenza elettrica nel tempo. A tal fine, la generazione distribuita di elettricità attraverso fonti rinnovabili a base combustibili, quali le biomasse, dove rientra anche la frazione biogenica dei rifiuti, diviene elemento fondamentale per garantire continuità nella produzione di energia localmente e facilitare la gestione dei flussi energetici stessi. Sistemi di generazione da biomasse distribuiti sul territorio possono valorizzare materiali altrimenti destinati a smaltimento in discarica e/o non utilizzati in modo ottimale. In linea con le finalità del programma 2025-2027, tema di ricerca "Decarbonizzazione", il presente progetto di Ricerca di Sistema propone lo sviluppo di tecnologie, processi e metodologie associate all'impiego sostenibili, ottimizzato e carbon-neutral di diverse fonti di biomassa localmente disponibili in una visione integrata del sistema energetico e della produzione da diverse fonti rinnovabili o di tipo stand-alone, dipendentemente dal contesto territoriale più favorevole. Nel rispetto delle priorità previste dalle varie strategie, (utilizzo diretto in prodotti, riuso, ecc.), le biomasse comprese gli scarti agricoli, agroindustriali, forestali e la frazione biogenica degli RSU rappresentano una fonte che può contribuire alla copertura energetica del nostro Paese. La bioenergia, infatti, a livello nazionale nel 2022 con circa 6,9 Mtep, ha contribuito a circa il 67 % dei CFL di energia termica da FER (circa 10,3 Mtep). Nel 2023, la bioenergia ha contribuito con circa 16 TWh a circa il 14 % di tutta l'energia elettrica rinnovabile prodotta in Italia (116,6 GWh) [5]. Gli scenari che si prospettano, a causa principalmente della riduzione di incentivi, prevedono una riduzione della produzione di energia elettrica da biomassa ed un aumento della produzione termica, trainata principalmente dallo sfruttamento del biogas per produrre biometano (PNIEC, giugno 2024) [2]. La bioenergia rispetto alle altre FER si contraddistingue per la sua programmabilità. Valorizzare biomasse locali, può contribuire alla stabilizzazione della produzione, soprattutto per applicazioni distribuite, come ad esempio per le comunità energetiche. In particolare, essa offre vantaggi nei Comuni montani e rurali, permettendo di avviare o consolidare filiere locali dedicate all'approvvigionamento di residui agricoli e forestali. Questo contribuisce sia all'assetto del territorio, sia al contrasto dello spopolamento di queste aree, con importanti ricadute socioeconomiche [6].

Nel WP1 del presente progetto si intende proporre un'attività di ricerca e sviluppo basata sulla tecnologia della gassificazione di biomasse accoppiata alle celle a combustibili (Fuel Cell, FC) e sull'analisi delle potenzialità ecosostenibili delle biomasse. Già in precedenti piani di attività sono state proposte attività con finalità simile, ma focalizzate all'accoppiamento con motori a combustione interna (MCI) e turbine a gas. Nella proposta attuale si intende esplorare l'utilizzo diretto del syngas con fuel cell ad alta temperatura, del tipo ad ossidi solidi. Ciò al fine di conseguire efficienze elettriche da biomasse superiori. Allo stato dell'arte, infatti, la produzione elettrica da impianti di gassificazione avviene alimentando il gas combustibile prodotto (syngas) a MCI. In accordo con il monitoraggio sulla diffusione della tecnologia della gassificazione in Italia, condotto nell'ambito delle attività della Task IEA 33 [7] ed elaborato sulla base di dati GSE, risultano presenti sul territorio nazionale un significativo numero di impianti connessi alla rete di distribuzione nazionale per l'immissione di energia elettrica da gassificazione biomasse, tipicamente residuali di origine agricola e agroindustriale. Questa tipologia di integrazione è tuttavia caratterizzata da efficienze di conversione dell'energia chimica in energia elettrica relativamente basse, dell'ordine del 20-25 %. Utilizzando anche il calore prodotto, ovvero utilizzandoli in configurazione CHP (Combined Heat and Power), questi impianti sono mediamente caratterizzati da efficienze complessive (elettrica e termica) dell'ordine del 65-70 %. Data la bassa efficienza di conversione, in un contesto in cui si punta a massimizzare la produzione di energia elettrica su altre forme, per poter integrare pienamente le biomasse nel quadro delle fonti primarie utili per produzioni elettriche da RES, si pone l'esigenza di esplorare nuovi processi e tecnologie che possano incidere su tale criticità. In tale direzione un importante contributo può essere appunto fornito dalla tecnologia delle Fuel Cell ad ossidi solidi (SOFC). Esse sono caratterizzate da efficienze elettriche di circa il 60 %, dunque più che doppie rispetto ai MCI; inoltre lavorando ad alte temperature (600 - 1000 °C) questi sistemi presentano anche i vantaggi di poter essere alimentate con il gas ad alta temperatura prodotto da gassificazione biomasse (650-850 °C; a differenza dei MCI ai quali il syngas va invece alimentato a temperature molto più basse), e di poter recuperare l'energia termica se operati come sistemi cogenerativi.

Se la produzione di elettricità da biomasse può contribuire a stabilizzare la fornitura di energia elettrica, derivante da altre fonti FER non programmabili, le diverse biomasse possono rappresentare una fonte versatile per la produzione di numerosi biocombustibili sia liquidi che gassosi. I biocombustibili liquidi in particolare sono caratterizzati da una certa flessibilità di impiego non soltanto per il trasporto su strada, ma anche per la produzione di energia elettrica. Secondo la normativa vigente in Italia (Decreto MASE del 16/03/2023), è previsto un incremento di miscelazione di biocarburanti nei trasporti che raggiunga il 16% al 2030, con un contributo minimo vincolante relativo ai biocarburanti avanzati, crescente nel tempo fino a raggiungere l'8% nel 2030. Con l'ultimo PNIEC approvato [2], pubblicato a luglio 2024 e trasmesso per approvazione finale alla Commissione Europea, l'Italia ha posto l'obiettivo di penetrazione dei biocarburanti avanzati, nei consumi finali di energia dei trasporti, all'11,6% al 2030. Gli e-fuels sono prodotti combinando chimicamente idrogeno "rinnovabile" e anidride carbonica. Per idrogeno "rinnovabile" si intende quello ottenuto attraverso l'elettrolisi dall'acqua alimentata da fonti di energia

rinnovabili, tra cui ad esempio solare, eolica, geotermica ed idroelettrica. Quest'ultima tipologia di combustibili sostenibili offre, in relazione al sistema elettrico, l'opportunità di utilizzare l'eccesso di rinnovabili per produrre H2 verde da usare per l'arricchimento delle correnti di gas di sintesi finalizzate alla produzione del combustibile. Nel nostro Paese non sono presenti impianti di produzione di e-fuels, mentre ve ne sono per i biocarburanti. L'Eni è in prima linea a guidare la ricerca sulla produzione dei biocarburanti avanzati o di seconda generazione ovvero non in competizione con materie prime e suoli destinati all'alimentazione. I biocarburanti più diffusi sono il bioetanolo a livello globale ed il biodiesel e l'HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) a livello europeo ed italiano. Tali biocombustibili possono essere impiegati sia nel trasporto che nella produzione di elettricità e possono essere trasformati con H2 verde da elettricità rinnovabile in combustibili cosiddetti drop-in per aviazione.

Le attività del WP2 si integrano con iniziative globali volte alla decarbonizzazione dei settori industriali e dei trasporti, con particolare riferimento alla produzione di Sustainable Aviation Fuels (SAF) e altri e-fuels. L'enfasi sull'utilizzo di energia rinnovabile per produrre idrogeno, arricchire il syngas e favorire processi di power-to-liquid pone il progetto in sintonia con i programmi di ricerca finanziati dall'Unione Europea, come Horizon Europe. La produzione di idrogeno verde sfruttando l'energia rinnovabile è un tema strategico per la transizione energetica che potrà facilitare l'integrazione nei processi industriali e nella rete energetica. Per garantirne una diffusione rapida ed efficace, è di cruciale importanza sviluppare processi, materiali e componenti impiantistici capaci di soddisfare criteri di sostenibilità ambientale, economica e sociale. La ricerca proposta in questo WP si allinea a questo progresso globale attraverso studi e sperimentazioni avanzate sui processi, includendo l'integrazione di componenti innovativi e tecnologie consolidate. Questi interventi puntano a migliorare le prestazioni complessive, aumentare la sostenibilità ambientale e ridurre progressivamente i costi di investimento e operativi. Le collaborazioni scientifiche attivate nell'ambito di questo WP con i diversi istituti di ricerca, costituiranno un ponte verso network globali, consolidando la posizione dell'Italia nel panorama della transizione energetica.

Le attività del WP3 si inseriscono nello stato dell'arte dei processi di bioraffineria affrontando i principali limiti delle tecnologie esistenti, tra cui l'insufficiente resa lipidica dei microrganismi oleaginosi e l'elevata intensità energetica dei processi di idrotrattamento degli oli. Attraverso l'utilizzo di materiali di scarto lignocellulosici e agroalimentari come substrati, un approccio innovativo all'ottimizzazione delle fermentazioni e lo sviluppo di catalizzatori avanzati per l'idrogenazione, il progetto punta a superare le criticità in termini di costi e sostenibilità ambientale, contribuendo all'integrazione dei biocarburanti nel panorama energetico globale con applicazioni industriali reali.

Il WP 4 si focalizza sull'aggiornamento e lo sviluppo del portale WebGIS ENEA "Atlante delle Biomasse", che rappresenta, a livello nazionale, l'unico strumento in grado di fornire informazioni dettagliate sulla disponibilità territoriale potenziale di diverse tipologie di biomasse. Sebbene i dati relativi alla disponibilità di biomasse siano presenti anche nei piani energetici regionali, essi costituiscono una minima parte di rapporti più ampi che trattano tutti gli aspetti energetici. Inoltre, tali dati spesso non sono disponibili in formato elettronico e mancano di una corrispondenza cronologica uniforme. A livello internazionale, esistono altri portali analoghi, come quello sviluppato dal National Renewable Energy Laboratory (NREL) negli Stati Uniti e il portale Biomass Atlas elaborato dal Natural Resources Institute Finland (Luke) in Finlandia. Tuttavia, questi strumenti forniscono principalmente dati sulla disponibilità potenziale di biomassa, rilasciati come fogli di calcolo e/o dati georeferenziati, senza approfondire le modalità di valorizzazione energetica di tali risorse né i prodotti o vettori energetici potenzialmente ottenibili, anche attraverso l'integrazione con altre fonti rinnovabili programmabili. L'obiettivo principale del WP4 è duplice: da un lato, aggiornare e ampliare il censimento delle biomasse disponibili nell'Atlante; dall'altro, arricchire la piattaforma con nuovi strumenti, user-friendly, che consentano agli stakeholder di esplorare tutti i possibili prodotti energetici derivanti dallo sfruttamento delle biomasse disponibili localmente. La valorizzazione delle biomasse richiede infatti approcci differenziati, in quanto si tratta di materiali con caratteristiche fisico-chimiche eterogenee. Ad esempio, le materie prime lignocellulosiche residuali, che rappresentano virtualmente la fonte biogenica più abbondante in Italia, sono caratterizzate da una forte territorialità e stagionalità e risultano altamente eterogenee (ad esempio, paglie e residui di potature). L'effettivo sfruttamento di queste risorse richiede una serie di valutazioni che includono non solo la disponibilità potenziale, ma anche i processi di pretrattamento e conversione più efficaci, come quelli per alimentazioni miste. Per meglio delineare l'efficacia e i benefici dell'impiego a fini energetici della risorsa biomassa, le attività programmate all'interno del WP4 prevederanno inoltre l'analisi dell'integrazione tra biomasse e altre fonti energetiche rinnovabili, quali fotovoltaico ed eolico, al fine di ottimizzare lo sfruttamento complessivo delle risorse rinnovabili disponibili. Questo approccio consentirà di massimizzare l'efficienza energetica e di promuovere l'uso sostenibile di tutte le risorse locali. In tale ottica merita qui richiamare alcuni aspetti su cui di recente sono state condotte delle valutazioni e rispetto ai quali lo studio proposto in WP4 si pone come ampliamento degli scenari possibili. Un primo aspetto meritevole di considerazione prende spunto dalla mappatura GSE degli impianti per produzione elettrica distribuita da fonti rinnovabili. Da questa emerge che le taglie di impianti a biomasse si inseriscono nell'intervallo 20 - 1000 kWe, con un vantaggio rispetto alle altre fonti energetiche rinnovabili inerente alla programmabilità di produzione elettrica, in continuo, 24/24h. Un secondo aspetto di rilievo emerge invece da una indagine di più ampio raggio condotto nel contesto della IEA Bioenergy. Nello specifico, nel triennio 2022-2024 sono stati condotti 2 studi inerenti all'integrazione delle bioenergie con altre forme di energia rinnovabile non programmabili al fine di valorizzarne l'eventuale conversione ad idrogeno verde. Con focus differenti, i due studi sono stati intrapresi per comprendere e valorizzare una complementarità tra i due sistemi energetici bioenergie e Power-to-X.

Tema strettamente correlato alle bioenergie ed in particolar modo ai biocombustibili liquidi è quello del trasporto su strada, nel quadro del Green Deal europeo, conformemente all'accordo di Parigi del 2015, il settore dei trasporti deve subire una trasformazione che

richiederà una riduzione del 90% delle emissioni di gas serra (rispetto ai livelli del 1990) entro il 2050. La decarbonizzazione del settore dei trasporti è fondamentale per conseguire gli obiettivi climatici dell'UE. I trasporti, infatti, generano un quarto delle emissioni di gas serra dell'UE [8]. Entro il 2035, la Commissione Europea ha stabilito che tutte le nuove autovetture e i furgoni dovranno essere a emissioni zero. Questo rappresenta una svolta significativa verso l'eliminazione dei combustibili fossili e la drastica riduzione delle emissioni di gas serra, siccome autovetture e furgoni producono circa il 15% del totale delle emissioni UE di CO₂ [9]. La mobilità è un elemento chiave della vita quotidiana e la sua evoluzione, sia nelle modalità che nei mezzi di trasporto, è stata modellata da vari fattori – bisogni, aspettative e vincoli – facenti parte della sfera sociale, tecnologica, economica, ambientale e politica. Gli obiettivi di tutela ambientale favoriranno l'adozione di veicoli elettrici e di vettori energetici come l'idrogeno e i biocarburanti, che sono cruciali per ridurre la dipendenza del settore dei trasporti dai combustibili fossili e abbattere le emissioni di gas serra. Il futuro della mobilità è fortemente influenzato dall'evoluzione delle scelte energetiche e dall'aggiornamento infrastrutturale conseguente. Perciò, la completa attuazione di queste trasformazioni potrebbe richiedere più tempo del previsto. È ragionevole aspettarsi che nel 2035 saremo in una fase di transizione intermedia, con la coesistenza di diverse alternative tecnologiche per i mezzi di trasporto. Queste tecnologie includono principalmente veicoli a motore elettrico, veicoli a idrogeno e altri veicoli alimentati da carburanti a basse emissioni di carbonio, ossia non di origine fossile, come i biocombustibili. Tali cambiamenti non solo mirano a migliorare la qualità dell'aria e ridurre la dipendenza dai combustibili fossili, ma anche a creare un sistema di trasporto più integrato e resiliente [10]. Il passaggio della mobilità privata ad un parco auto full-electric richiederebbe un enorme aumento dell'energia elettrica da produrre e distribuire. In casi come questo risulta difficile immaginare che la transizione ad un parco auto full electric possa avvenire agevolmente e senza ingenti spese.

In aggiunta a quanto detto, va considerato che tutta questa corrente dovrebbe essere trasportata per mezzo di una rete elettrica non ancora idonea a questi carichi e tecnologicamente arretrata. L'adattamento della rete elettrica è un passaggio cruciale per questa transizione, ma al contempo, delicato ed estremamente costoso. Bisognerebbe far sì che la rete di distribuzione della corrente non vada in sovraccarico e che sia in grado di gestire flussi bidirezionali per la presenza dei cosiddetti prosumer, ovvero consumatori che agiscono anche come produttori [11]. Le tecnologie di alimentazione devono essere valutate anche per il loro ciclo di vita complessivo, considerando la produzione, l'uso e il riciclo dei materiali. Sotto quest'aspetto le batterie dei veicoli elettrici e gli accumulatori necessari al corretto funzionamento della rete di distribuzione sono un altro elemento da attenzionare. Difatti, i sistemi di stoccaggio della corrente elettrica sono costosi, per via dei materiali rari di cui sono composti, e la loro produzione e smaltimento risultano complessi da gestire. Il rapporto del RSE del 2019, intitolato "Analisi LCA di veicoli elettrici, ibridi plug-in e a combustione interna a fronte dell'evoluzione dei veicoli e del parco di generazione elettrico" [12], utilizza il Life Cycle Assessment (LCA) per confrontare gli impatti ambientali di un'automobile in diverse versioni: elettrica, plug-in, a metano, a benzina e a Diesel, traducendo tali impatti in termini monetari (esternalità ambientali). In linea con gli studi precedenti, sono state confrontate le motorizzazioni elettrica, plug-in, a metano, a benzina e a Diesel. In tutti i casi, il veicolo elettrico presenta costi esterni totali inferiori rispetto agli altri veicoli, soprattutto grazie alle minori emissioni di CO₂ lungo l'intero ciclo di vita. L'analisi della letteratura sviluppata in questo studio conferma che le emissioni di CO₂ legate alla produzione e dismissione della batteria sono contenute e non pregiudicano i vantaggi dell'uso del veicolo elettrico rispetto alla alimentazione con combustibili fossili tradizionali.

Il lavoro "Comparison of the Overall Energy Efficiency for Internal Combustion Engine Vehicles and Electric Vehicles" [13] esamina l'efficienza Well-to-Wheel (WtW) dei veicoli convenzionali con motore a combustione interna ICEV (benzina, diesel), dei veicoli a gas naturale compresso (CNGV) e dei veicoli elettrici. I risultati mostrano che se si utilizza energia rinnovabile, le perdite diminuiranno in modo significativo e l'efficienza complessiva per le auto elettriche sarà di circa il 40-70% a seconda della fonte e della posizione dei sistemi di energia rinnovabile.

Anche l'utilizzo di veicoli a motore endotermico alimentato da biocombustibili presenta alcune criticità, tra cui l'approvvigionamento della biomassa per creare il carburante e l'inquinamento atmosferico nelle città. I principali problemi interessano i biocombustibili di prima generazione, cioè quelli ottenuti da colture dedicate. Infatti, in questo caso il maggiore rischio che si corre è che si venga a creare competizione per i terreni per la produzione di cibo, influenzando così i prezzi degli alimenti e contribuendo alla deforestazione in alcune regioni del mondo. Ciò comporterebbe un uso significativo di risorse naturali, come acqua e fertilizzanti, soprattutto quando si tratta di colture come la palma o la soia. Infine, una produzione che faccia uso di colture dedicate potrebbe comportare emissioni indirette dovute alla conversione del suolo e all'uso di fertilizzanti e pesticidi.

D'altro canto, i biocarburanti ottenuti da scarti vegetali o animali (biocarburanti di seconda generazione), sebbene risultino più ecologici e meno impattanti, hanno una reperibilità limitata.

Oltre ai problemi succitati, va tenuto in considerazione che, seppure le emissioni nette di CO₂ dei biocarburanti siano nulle e le emissioni di inquinanti minori di quelle dei combustibili fossili, localmente si avrebbe comunque un inquinamento atmosferico causato dalle emissioni di polveri sottili, che sarebbe meglio evitare, soprattutto nelle aree urbane densamente popolate. Il sistema ibrido off-board per la ricarica di veicoli elettrici è una soluzione che prevede l'utilizzo di un gruppo elettrogeno (macchina costituita da un motore termico accoppiato ad un generatore elettrico), che alimentato da green diesel, possa fornire corrente elettrica alle colonnine di ricarica di una stazione di servizio. Questo sistema unisce le caratteristiche della filiera green diesel con i vantaggi di un parco auto full electric. Per di più, l'utilizzo di un motore endotermico a punto fisso permette l'implementazione di un sistema di cattura della CO₂, oltre che dei rendimenti più elevati rispetto alle auto dotate di MCI.

La prima Direttiva sulle Energie Rinnovabili dell'UE (RED) ha fornito un impulso efficace agli sforzi di ricerca globali sui biocarburanti e sui

bioliquidi, cioè combustibili liquidi per scopi energetici diversi dal trasporto, inclusi elettricità, riscaldamento e raffreddamento, prodotti da biomassa. La microgenerazione distribuita può essere da impulso al fine di mantenere inalterata la capillare rete di distribuzione dei carburanti liquidi, anche in scenari futuri di mobilità 100 % elettrica.

In questo progetto (WP5) si prende quindi in considerazione quest'alternativa ibrida perché è importante assumere una visione integrata delle tecnologie che consenta di adottare le soluzioni migliori in base ai casi. Ad esempio, in contesti urbani con una buona infrastruttura di ricarica, i veicoli elettrici possono essere la scelta migliore. Al contrario, in aree rurali o remote, l'uso di generatori alimentati da green diesel per le stazioni di ricarica potrebbe essere più pratico e sostenibile. Valutare le specifiche esigenze di ogni contesto e le risorse disponibili è dunque cruciale per prendere decisioni informate ed ottimali.

Riferimenti

[1] Gestore Servizi Energetici (GSE), Monitoraggio Nazionale,

<https://www.gse.it/dati-e-scenari/monitoraggio-fer/monitoraggio-nazionale> (Consultato il 14/02/2025)

[2] Piano Nazionale Energia e Clima (PNIEC) 2024, Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica,

https://www.mase.gov.it/sites/default/files/PNIEC_2024_revfn_01072024%20errata%20corrigge%20pulito.pdf (Consultato il 14/02/2025)

[3] Comunicazione della Commissione Europea (2021) 550 final del 14/07/2021 "Fit for 55". Disponibile:

<eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550>

[4] Direttiva Europea 2023/2413 del Parlamento Europeo e del Consiglio Europeo. Disponibile:

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302413

[5] "Dati statistici sull'energia elettrica in Italia 2023", TERNA [Online]. Disponibile:

https://download.terna.it/terna/Terna_annuario_statistico_energia_elettrica_Italia_2023_8dd211b3585b028.pdf

[6] "New path creation in energy transition: Exploring the interplay between resource formation and social acceptance of biomass adoption in Europe", 2022. Energy Research & Social Science

[7] "Biomass and Waste Gasification Country Report ITALY" IEA Bioenergy Task 33 2018

(<https://task33.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/33/2022/06/ITALY2018.pdf>)

[8] Unione Europea, «Mobilità pulita e sostenibile», 2 ottobre 2024a. [Online]. Available:

<https://www.consilium.europa.eu/it/policies/clean-and-sustainable-mobility/>.

[9] Unione Europea, «Pronti per il 55%: perché l'UE sta inasprendo le norme in materia di emissioni di CO2 per auto e furgoni», 2024b.

[Online]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/it/infographics/fit-for-55-emissions-cars-and-vans/>.

[10] Politecnico di Milano, «IL FUTURO DELLA MOBILITÀ URBANA SOSTENIBILE», Maggio 2022. [Online]. Available:

https://www.foresight.polimi.it/mobility/download/Mobilita_Booklet_IT.pdf.

[11] C. Marricchi, «Le reti di distribuzione sono un abilitatore indispensabile per la transizione energetica», 2024. [Online]. Available:

<https://www.eai.enea.it/eai-smart-future/gli-scenari/le-reti-di-distribuzione-sono-un-abilitatore-indispensabile-per-la-transizione-energetica.html>.

[12] "Analisi LCA di veicoli elettrici, ibridi plug-in e a combustione interna a fronte dell'evoluzione dei veicoli e del parco di generazione elettrico", 2019. RSE Report

[13] "Comparison of the Overall Energy Efficiency for Internal Combustion Engine Vehicles and Electric Vehicles", 2020. Environmental and Climate Technologies

b) Attività svolte nel triennio precedente

Nel precedente triennio, PTR 2022-2024, della Ricerca di Sistema Elettrico non sono state svolte attività riguardanti le bioenergie, non essendo il tema incluso nel programma.

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

Sulla base dello stato dell'arte descritto nelle sezioni precedenti, il progetto Bioenergie si pone il macroobiettivo di dimostrare la validità delle biorisorse anche per la generazione di elettricità, grazie alla intrinseca caratteristica di programmabilità di produzione elettrica (es. attraverso gassificazione e SOFC) e flessibilità di generazione (attraverso produzione e conversione in elettricità di biocombustibili liquidi), tenendo in considerazione gli aspetti relativi alla disponibilità, stagionalità e creazione di filiere locali di gestione delle risorse biomasse. Tali macroobiettivi verranno raggiunti attraverso l'implementazione di azioni di validazione su scale pilota, testing e campagne sperimentali di produzione di intermedi e generazione elettrica, in aggiunta valutazioni inerenti la fattibilità tecnico-economica-ambientale e creazione di database e strumenti di analisi di disponibilità completeranno l'approccio della ricerca proposta. In particolare, il progetto è caratterizzato da 6 macro-obiettivi (WP 1-6):

1) ottimizzazione dell'accoppiamento delle tecnologie di gassificazione con SOFC per produzione elettrica ad alta efficienza e recupero del calore attraverso sperimentazione su infrastrutture di scala significativa; 2) ottimizzazione della produzione di biocombustibili attraverso la gassificazione di biomasse e arricchimento in H₂; 3) ottimizzazione della produzione di biofuel drop-in a partire da oli

microbici e idrotrattamento con H₂ Verde; 4) implementazione di nuove funzioni di analisi e scenario nell'ambito del portale "Atlante delle biomasse" di supporto a stakeholder e decisori politici nel contesto delle bioenergie; 5) ottimizzazione della produzione di biocombustibili con tecnologie termochimiche e biotecnologiche e valutazione del loro impiego per la generazione distribuita di elettricità destinata al trasporto su strada verso una percentuale crescente di mobilità elettrica; 6) ampliare le conoscenze di dottorandi di ricerca, giovani ricercatori, sensibilizzare stakeholder e decisori politici sui temi della bioenergia e del suo contributo verso la transizione energetica e in scenari carbon-neutral.

OBIETTIVO 1 (WP1). Ottimizzazione dell'accoppiamento delle tecnologie di gassificazione con SOFC per produzione elettrica ad alta efficienza e recupero del calore residuo.

Le attività sperimentali capitalizzeranno alcune facility preesistenti disponibili presso le strutture Enea e del know-how acquisito in precedenza, oggetto anche di brevetti ENEA, per addivenire a processi/tecnologie migliorate, intensificate, in grado di produrre un gas combustibile caratterizzato da: alto tenore di idrogeno (superiore al 40 %v) e basso tenore di azoto (5-10 %v) ovvero N₂-free, contenuto di tar e inorganici compatibili con le specifiche tecniche per un corretto e performante funzionamento di fuel cell ad ossidi solidi (tar a livello dei mg/Nm³secco, H₂S e HCl dei ppm). In configurazione CHP, l'integrazione delle due tecnologie punta a raggiungere gli ambiziosi obiettivi di maggiori efficienze complessive (90% contro il 65% attuale, target SET-PLAN 75%) ed elettriche (50% contro il 25% attuale, target SET-PLAN >30%). Per raggiungere tali obiettivi si implementeranno modifiche alle infrastrutture di gassificazione preesistenti, considerando l'integrazione di sistemi di filtrazione ad alta temperatura, e si sperimenteranno materiali con proprietà sorbenti e catalitiche in grado di ridurre il contenuto di contaminanti nel gas prodotto e di migliorarne la qualità in termini di composizione di gas combustibili (H₂, CO, CH₄ e idrocarburi leggeri), valutando anche condizioni di processo favorevoli alla cattura di CO₂. Ai fini del raggiungimento complessivo della maturità della tecnologia integrata proposta, il progetto avrà come elementi chiave di attività:

- 1) sviluppo di reattori di gassificazione a prestazioni migliorate verso la massimizzazione della conversione della biomassa alimentata in prodotto gassoso;
- 2) implementazione di sistemi e soluzioni di purificazione e condizionamento syngas (eventualmente integrati per cattura di CO₂) per la produzione della corrente gassosa combustibile a specifiche compatibili con quelle richieste per l'esercizio delle SOFC;
- 3) Il lavoro tecnologico sarà accompagnato dall'impatto tecnico-economico, ambientale e generale delle nuove tecnologie, al fine di sviluppare soluzioni tecnologicamente ottimizzate, economicamente ed ecologicamente valide, in grado di rispondere alle esigenze del settore e al contempo fronteggiare le sfide della commercializzazione. Dal conseguimento degli obiettivi di progetto sono attesi riduzioni significative dei costi di produzione, riduzione della taglia di profittabilità, incremento della disponibilità annuale di impianto.

OBIETTIVO 2 (WP2). Ottimizzazione della produzione di biocombustibili attraverso la gassificazione di biomasse e arricchimento con H₂. Gli obiettivi del WP2 sono volti a migliorare l'efficienza, la qualità e la sostenibilità della produzione di biocombustibili attraverso la gassificazione di biomasse e l'arricchimento con H₂. La loro implementazione richiede un'integrazione di tecnologie avanzate, la validazione su scala pilota e una stretta collaborazione con partner industriali e istituti di ricerca. Si prevede di raggiungere un'efficienza di conversione della biomassa in syngas $\geq 70\%$ (energia nel syngas rispetto all'energia della biomassa iniziale); una riduzione del contenuto di tar nel syngas ≤ 50 mg/Nm³ e una concentrazione di idrogeno $\geq 40\%$ molare nel syngas arricchito finale. Inoltre, per quanto riguarda la sintesi dei biocombustibili si punta ad un'efficienza di conversione in biocarburanti liquidi $\geq 50\%$ (energia nei biocombustibili rispetto all'energia del syngas). L'integrazione dei processi sviluppati consentirà una riduzione delle emissioni specifiche di CO₂ ≤ 10 g CO₂eq/MJ di biocombustibile prodotto, reso possibile dall'uso di biomasse residuali e dall'integrazione con H₂ verde. Il raggiungimento di questi target permetterà di migliorare le prestazioni complessive dei processi basati sulle biomasse per uso energetico, aumentare la sostenibilità ambientale e ridurre progressivamente i costi di investimento e operativi.

OBIETTIVO 3 (WP3). Ottimizzazione della produzione di biofuel drop-in a partire da oli microbici e idrotrattamento con H₂ Verde. Gli obiettivi scientifici e tecnologici del progetto puntano a sviluppare processi avanzati per la produzione di biocarburanti drop-in, integrando tecnologie biotecnologiche e catalitiche per ottenere carburanti sostenibili e competitivi, pienamente compatibili con le infrastrutture di raffinazione e distribuzione del petrolio già esistenti. Si prevede il raggiungimento del 30% di lipidi calcolato sul secco della massa dei microrganismi e l'ottimizzazione della conversione catalitica, riducendo il contenuto di ossigeno e migliorando le proprietà chimico-fisiche del prodotto. I progressi attesi includono una riduzione dei costi di produzione per puntare alla soglia di 2 €/litro e un abbattimento delle emissioni di gas serra rispetto ai combustibili fossili, posizionandosi come un avanzamento significativo rispetto ai precedenti approcci.

OBIETTIVO 4 (WP4). Implementazione di nuove funzioni di analisi e scenario nell'ambito del portale "Atlante delle biomasse" di supporto a stakeholder e decisori politici nel contesto delle bioenergie

L'obiettivo è quello di aggiornare, implementare ed arricchire in termini di funzioni e biomasse censite il portale WebGIS ENEA "Atlante delle biomasse", andando incontro alle nuove politiche di produzione di energia da rinnovabile, dove il censimento e lo sfruttamento sostenibile delle biomasse riveste un ruolo importante. In particolare, le biomasse residuali avranno un ruolo fondamentale. Infatti, il decreto del 19 giugno 2024 del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, entrato in vigore ad agosto 2024, va ad incentivare gli impianti a bioenergia rivolti alla produzione di energia elettrica. Tra le condizioni necessarie affinché tali impianti possano accedere agli incentivi vi è che l'alimentazione dell'impianto sia almeno dell'80% costituito da biomasse residuali. Il portale andrà ad integrare le

funzioni standard definite dal consorzio OGC (Open Geospatial Consortium), come prescritto dalla direttiva europea INSPIRE, inoltre sarà possibile non solo avere informazioni sulla biomassa disponibile, ma anche informazioni, riferite ad unità spaziali, dei prodotti bioenergetici producibili in funzione delle caratteristiche delle biomasse e dei processi più idonei per la loro valorizzazione. Saranno inoltre analizzate le possibili integrazioni, a scala locale, tra le biomasse e le altre FER non programmabili, come eolico e fotovoltaico, al fine di sviluppare un sistema integrato volto alla decarbonizzazione del sistema energetico italiano.

OBIETTIVO 5 (WP5). Individuare valori di prestazione, impatti e costi target che produzione e conversione di biocombustibili dovrebbero raggiungere al fine di poter implementare soluzioni off-board hybrid per la generazione distribuita di elettricità destinata al trasporto su strada. Definizione di sistemi performanti e a basso impatto per la microproduzioni di elettricità distribuita. L'obiettivo specifico consisterà nel trovare il sistema di accoppiamento bioliquido-generazione di elettricità in sistemi stand alone per le ricariche anche attraverso analisi di sensitività e di scenario. Valutare l'alternativa dell'ibrido off-board in confronto con soluzioni tecnologiche attualmente più promettenti attraverso l'analisi e modellazione dei diversi scenari permetterà di creare uno strumento decisionale volto a implementare la soluzione più sostenibile sia dal punto di vista economico che ambientale fra diverse tecnologie in diverse situazioni. A tale scopo, verrà utilizzata l'analisi well-to-wheel per permettere un confronto più immediato per le diverse casistiche. Infine, un numero minimo di 4 casi studio a partire da dati reali sulle infrastrutture e scenari incrementali di penetrazione dell'elettrico saranno sviluppati per testare lo strumento di analisi realizzato.

OBIETTIVO 6 (WP6). Ampliare le conoscenze di dottorandi e giovani ricercatori sui temi della bioenergia e del suo contributo in scenari carbon-neutral al fine di contribuire alla preparazione delle figure professionali in grado di presidiare e far crescere nel prossimo futuro i settori della bioenergia a livello di ricerca, di sviluppo e di industrializzazione.

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

Le azioni incluse nel presente progetto sono collegate ad altre iniziative progettuali che hanno visto, o vedono a tutt'oggi, ENEA coinvolta nello sviluppo delle filiere della bioenergia e delle tematiche ad essa correlate al fine di promuoverne lo sviluppo e la diffusione.

In particolare, in accordo con le tematiche proposte nei sei WP del presente progetto di Ricerca di Sistema, se ne riporta di seguito un elenco. Essi sono stati selezionati considerando il criterio generale di cogliere l'opportunità del PTR2025-2027 per meglio valorizzare i risultati conseguiti e, insieme ai Co-beneficiari accademici, proseguire le attività di ricerca e sviluppo con l'obiettivo di innalzare i TRL dei vari approcci proposti, avanzando verso i traguardi della piena maturità tecnologica e della loro sostenibilità tecnico-economica. In tale ottica si menzionano:

Progetto GICO "Gasification Integration with CO2 capture and conversion". Finanziato in ambito Horizon EUROPE, il progetto si è concluso a novembre 2024 e ha riguardato lo sviluppo di tecnologie basate sulla gassificazione delle biomasse residuali e delle frazioni biogeniche dei rifiuti. Il progetto in particolare ha studiato la produzione di correnti di syngas ad alto contenuto di idrogeno attraverso l'integrazione in situ della simultanea cattura della CO2 e promozione della reazione di WGS. Per integrazione con RES elettriche ha inoltre studiato l'uso di processi al plasma per la valorizzazione della CO2 catturata e produzione di biocombustibili. Includendo lo studio del pretrattamento di carbonizzazione idrotermale (HTC), il progetto ha raggiunto complessivamente un TRL 5. Rispetto al programma di attività proposto nel PTR 2025-2027 esso si contestualizza rispetto alle attività proposte in WP1 e WP2, che quindi si configurano come una rilevante opportunità nazionale per un avanzamento dei target tecnologici.

Progetto BLAZE "Biomass Low cost Advanced Zero Emission small-to-medium scale integrated gasifier-fuel cell combined heat and power plant". Finanziato anche questo nell'ambito del Programma Quadro Horizon 2020, il progetto BLAZE è stato condotto nel periodo da febbraio 2019 a maggio 2023 e ha avuto come obiettivo generale lo sviluppando di una tecnologia a letto fluido bollente per la conversione di feedstock eterogenei in syngas a basso grado di contaminazione (i.e. particolato tar, HCl e H2S) per arrivare a livelli adeguati per l'integrazione termica e chimica con celle a combustibile a ossidi solidi. A fine progetto il partenariato ha esercito un impianto prototipale di gassificazione piccola scala arrivando a produrre syngas con le caratteristiche attese. Rispetto al programma di lavoro proposto nel PTR 2025-2027 il progetto BLAZE fornisce le competenze tecnologiche per proporre l'avanzamento tecnologico dell'accoppiamento a livello di TRL 6-7.

PROGETTO EMERA "Efficientamento di Microreti Energetiche alimentate da sole fonti Rinnovabili per l'Autonomia e l'indipendenza delle zone rurali dal sistema centralizzato". È stato finanziato nell'ambito del programma operativo per lo sviluppo regionale PO FERS BASILICATA 2014 - 2020, aree di specializzazione della S3 regionale "Energia". Prevista una durata fino a luglio 2025, il progetto punta allo sviluppo di un modulo prototipale che integrando sole fonti RES localmente disponibili, sia discontinue (fotovoltaico) e sia programmabili (biomasse residuali), si presti al soddisfacimento di esigenze energetiche in assetto di autosufficienza (stand-alone). Per la parte biomasse il progetto punta allo sviluppo di un modulo di gassificazione ad aria di piccola taglia (25 kg/h biomassa legnosa) e ad una configurazione allo stato dell'arte per la produzione di energia elettrica e calore (20 kWe, 40 kWt) per impiego del syngas prodotto in MCI. Nel programma di attività EMERA è inoltre incluso uno studio sul potenziale di bioenergia sfruttabile in Regione Basilicata. Rispetto al programma del PTR 2025-2027 i risultati di tale progetto potranno dunque essere proficuamente utilizzati in relazione alla LA 1.7 di WP1 quale caso studio per l'analisi degli scenari di produzione delocalizzati di energia elettrica e calore, e di WP4 in relazione alla LA 4.6

sulla valutazione tecnico-economica-ambientale di casi studio locali per la produzione di bioenergia.

PNRR Partenariati Estesi – Progetto NEST - NETWORK 4 ENERGY SUSTAINABLE TRANSITION SPOKE 3 Bioenergy - IEA 22 24 - Contratto tra ENEA e WAGENINGEN progetto BIOCCI nell'ambito del programma IEA Bioenergy Task 42 "Bioraffinazione in un'economia circolare"

Nel progetto PNRR NEST, sono state implementate attività di mappatura e analisi territoriale per diverse tipologie di biomasse e biorisorse, finalizzate a valutare il potenziale bioenergetico nazionale. In particolare, si sta valutando la disponibilità potenziale di alcune biomasse a scala europea, con l'obiettivo di sviluppare filiere dedicate allo sfruttamento energetico delle biomasse. Il progetto adotta un approccio a cascata, con un focus sull'utilizzo delle biomasse per applicazioni a basso Technology Readiness Level (TRL 2-3), mirate alla produzione di prodotti ad alto valore aggiunto, biocarburanti avanzati ed energia. Il WP 3.1 del progetto NEST presenta diverse sinergie con il WP4 del progetto 1.10. In particolare, il WP 3.1 si è concentrato sullo studio, analisi e applicazione di metodologie per la quantificazione delle biomasse idonee alla qualificazione dei biocarburanti avanzati. Sono state sviluppate metodologie indirette, grazie all'utilizzo di dati e tecnologie GIS, per stimare un potenziale territoriale di biomasse che sia il più possibile rappresentativo delle caratteristiche reali del territorio. Inoltre, sono state individuate colture idonee alla coltivazione su terreni pesantemente degradati, come definiti dalla direttiva RED II, e si sta attualmente valutando il potenziale bioenergetico dei prodotti ottenibili. Le attività sviluppate nel WP 3.1 troveranno un proseguimento nel WP4 del progetto 1.10. Tuttavia, il focus del WP4 non sarà sulle applicazioni a basso TRL, bensì sullo sfruttamento delle biomasse per la produzione di energia elettrica. Questo passaggio consentirà di ampliare l'orizzonte applicativo, indirizzandosi verso soluzioni più mature e integrate per la valorizzazione energetica delle risorse biomasse. Una valutazione tecnico-economico-ambientale inerente la produzione distribuita di biocarburanti drop-in è in corso di svolgimento nel progetto NEST, al fine di individuare le strade di processo potenzialmente più performanti e che minimizzino i costi di trasporto delle materie prime e dei bioprodotto, al fronte di scale di impianto ottimali, favorevoli alle economie di scala. Nell'ambito del presente PTR saranno implementate sul portale esistente nuove funzioni di calcolo e tool informatici in grado da un lato di potenziare la fruibilità del portale stesso e dall'altro aumentare la interoperabilità tra dati afferenti a diverse risorse energetiche rinnovabili.

Altri progetti con tematiche di ricerca connesse al presente progetto (in particolare WP2 e WP3) sono:

- JCA ENI-ENEA- progetto 2, biomasse, sub progetto 2 "test degli zuccheri per la produzione di oli microbici con la tecnologia ENI" ;
- PROGETTO RECOVERY "valorizzazione energetica dei fanghi provenienti dal trattamento agroalimentare delle acque reflue da industria agroalimentare attraverso syngas da gassificazione";
- PROGETTO WWGF "WET WASTE TO GREEN FUEL" gassificazione rifiuti organici umidi con acqua supercritica per produzione biometano liquefatto -GNL - BANDO PON ENERGIA;
- PNRR POR H2 - Ricerca e sviluppo di sistemi e processi P2G e e-fuel liquidi derivati dall'idrogeno di natura organica - Linea di attività 2.1.1- sintesi catalitica selettiva per la produzione di e-jetfuel;
- PNRR POR H2 - Ricerca e sviluppo di sistemi e processi P2G e e-fuel liquidi derivati dall'idrogeno di natura organica - Linea di attività 2.1.3- Sviluppo di reattori a membrana per la sintesi di metanolo e altri e-fuel.

Nel presente progetto è atteso un avanzamento delle conoscenze attraverso la validazione dei processi, lo studio di nuove configurazioni sperimentali e il test di molteplici condizioni di lavoro al fine di garantire l'incremento del livello di maturità tecnologica.

Per quanto riguarda il progetto Bioenergie del presente triennio in coordinamento con RSE, a rettifica di quanto riportato nel PdC allegato in sede di sottomissione del progetto, si specifica che per la prima annualità sono previsti due incontri di coordinamento con ENEA, al M9 e al M12, mentre nelle annualità successive sono previsti incontri al M18, M24, M30 e M36.

2.5 Obiettivi e risultati

a) Obiettivi finali del progetto

Nel suo insieme il progetto Bioenergie intende contribuire al conseguimento degli obiettivi attesi rispetto al tema della decarbonizzazione del sistema energetico nazionale sviluppando approcci innovativi basati sull'utilizzo delle bio-risorse e della bioenergia. Si tratta infatti di fonti che grazie alla loro rinnovabilità, utilizzate in modo ambientalmente sostenibile, sono intrinsecamente caratterizzate da emissioni nette di GHG, CO₂ in particolari, nulle. Allo scopo propone azioni che puntano a massimizzare il contributo in un ampio spettro di settori energetici (civile, trasporti, agricoltura, industria ecc.), nei quali è cruciale la domanda di energia elettrica, eventualmente combinata al calore, e la disponibilità di biocombustibili liquidi e gassosi, incluso il vettore idrogeno. Articolato in sei WP, ciascuno si contraddistingue per obiettivi che puntano al superamento del rispettivo stato dell'arte e aumento del livello di maturità tecnologica, muovendo in prospettiva verso il raggiungimento della fase di commercializzazione.

Nello specifico, WP1 intende sviluppare una tecnologia che, basata sulla gassificazione di biomasse residuali, incluso anche quelle di bassa qualità, sia in grado di produrre energia elettrica ad alta efficienza (50 % dell'energia chimica del syngas) per accoppiamento con fuel cell ad ossidi solidi ed efficienza complessiva superiore agli attuali 65 % in configurazione CHP. Nell'ambito di questo WP si ambisce al conseguimento dei seguenti obiettivi specifici:

- Upgrading di impianto di gassificazione prototipale 1000 kWt con integrato un innovativo sistema di purificazione e condizionamento

ad alta temperatura per la produzione di syngas ad alto contenuto di idrogeno e basso livello di contaminazione, sia organica sia inorganica. Questo risultato permetterà di ottenere un syngas di qualità, adatto per la produzione diretta di energia elettrica ad alta efficienza, principale finalità del presente progetto, ma valutabile anche per futuri impieghi rivolti alla produzione di vettori energetici avanzati tra cui il bioidrogeno;

- Analisi e definizione del sistema di condizionamento in grado di ridurre il grado di contaminazione del syngas a livelli compatibili con l'uso delle SOFC e di arricchimento in H₂, anche attraverso l'utilizzo di nuove fasi attive catalitiche e di sorbenti per la cattura della CO₂ e la promozione della reazione di WGS;
- Sviluppo del modello di sistema/processo dell'impianto nella configurazione per la produzione elettrica via SOFC, valutazioni prestazionali e prospettive di sviluppo verso TRL superiori. Allo scopo verranno anche elaborate configurazioni in upscaling e valutazione dei CAPEX e OPEX per delinearne le prospettive verso le taglie di impianti commerciali;
- Sviluppo di processo di pretrattamento per la valorizzazione di materie prime biogeniche di scarsa qualità al fine di aumentare la flessibilità della tecnologia di gassificazione alla tipologia di alimentazione. Ciò avrà l'effetto di ridurre i costi unitari di produzione, ma anche quello di ampliare i possibili ambiti di impiego e favorire la diffusione territoriale;
- Analisi di scenari di applicazione della gassificazione alla realtà nazionale con attenzione alle disponibilità locali di biomassa e alla necessità di vettori energetici (calore, ee, idrogeno);
- Definizione di schemi di impianto di poligenerazione e valutazione delle prestazioni con analisi tecnico ed economica degli schemi nei differenti contesti realizzativi.

Gli obiettivi del WP2 mirano ad ottimizzare e integrare tecnologie avanzate per la produzione di idrogeno, biocombustibili liquidi e chemicals, aumentando il livello di maturità tecnologica da TRL 3 a TRL 5, convalidandone la sostenibilità economica e ambientale in contesti operativi rilevanti. Nel dettaglio sono:

- Ridurre il contenuto di tar nel syngas mediante catalizzatori innovativi aumentando la resa di idrogeno e la purezza del syngas per le applicazioni successive.
- Sviluppare reattori a doppio stadio per il cracking del tar con catalizzatori resistenti alla deattivazione.
- Integrare i reattori a membrana per la produzione di biocarburanti con elettrolizzatori per aumentare la conversione di CO₂ e H₂ in idrocarburi, agendo sulla conversione per passaggio nella sintesi Fischer-Tropsch
- Sviluppare membrane innovative per la rimozione selettiva di acqua e migliorare la selettività del processo di Fischer-Tropsch.
- Progettare elettrodi innovativi basati su metalli non nobili per l'elettrolisi assistita dalla biomassa per aumentare la produzione di idrogeno puro al catodo e di chemicals all'anodo.
- Incrementare la produzione di idrogeno e composti organici di valore mediante elettrolisi della biomassa ottimizzando il grado di ossidazione e l'efficienza di Faraday del processo.
- Integrare gli elettrolizzatori con sistemi termochimici per migliorare l'efficienza complessiva del processo.
- Sviluppare un sistema al plasma per il cracking del biometano in idrogeno e grafite di alta qualità migliorando l'efficienza operativa.
- Valutare le performance energetiche, ambientali ed economiche dei processi sviluppati.
- Confrontare le tecnologie proposte con quelle fossili tradizionali utilizzando l'analisi del ciclo di vita (LCA).
- Identificare soluzioni per migliorare la sostenibilità e ridurre i costi operativi.

Gli obiettivi finali del WP3:

- Gli obiettivi finali si concentrano sullo sviluppo e la validazione di processi tecnologicamente avanzati per la produzione di biocarburanti drop-in, capaci di integrarsi direttamente nelle infrastrutture energetiche e industriali esistenti. Rispetto allo stato dell'arte, il progetto punta a superare le principali criticità legate alla produzione sostenibile di biocarburanti, come l'insufficiente resa lipidica nei microrganismi oleaginosi, i costi elevati dei catalizzatori e l'intensità energetica delle reazioni di conversione.
- L'innovatività risiede nell'impiego di substrati lignocellulosici e residui agroalimentari, che rappresentano risorse a basso costo e a ridotto impatto ambientale, oltre che nell'integrazione di biotecnologie avanzate con sistemi catalitici multifunzionali per l'idrogenazione e l'isomerizzazione. Queste tecnologie permettono di ottenere biocarburanti dalle proprietà chimico-fisiche superiori, posizionandosi come una valida alternativa ai combustibili fossili tradizionali, ma senza richiedere miscelazione o adattamenti infrastrutturali.
- Orientato allo sviluppo applicato, le attività del WP3 non si limitano alla ricerca teorica, ma prevedono la validazione di processi su scala pilota, garantendo così una concreta trasferibilità industriale. Le attività sperimentali generano ricadute positive per l'industria del settore, sia in termini di sviluppo tecnologico che di competitività economica, grazie a una riduzione dei costi di produzione puntando alla soglia dei 2 €/litro. L'impatto industriale si manifesta anche nella creazione di una filiera circolare per valorizzare i residui agroindustriali, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione e promuovendo modelli produttivi innovativi e sostenibili.

Gli obiettivi finali del WP4 sono:

- o Analisi e quantificazione della disponibilità di biomasse residuali e frazione biogenica dei rifiuti solidi urbani, al fine di creare una banca dati aggiornata delle biorisorse, incentivate, disponibili alla valorizzazione energetica;
- o Definizione di parametri qualitativi e quantitativi che identificano i terreni pesantemente degradati sul territorio nazionale e

individuazione delle strategie migliori per la loro valorizzazione;

- o Definizione di funzioni di calcolo volte a determinare il potenziale di bioenergia e biocombustibili producibile dallo sfruttamento delle biomasse disponibili a scala locale;
- o Integrazione di dati inerenti al potenziale da FER, programmabili e non, presenti a scala territoriale volti alla produzione di combustibili drop-in e prodotti chimici ad alto valore;
- o Upgrade del portale WebGIS Atlante delle Biomasse dell'ENEA, per renderlo maggiormente user-friendly, attraverso lo sviluppo di nuove funzioni per la valorizzazione che incorpori gli standard di condivisione di dati più aggiornati;
- o Elaborazione di casi studi, a scala locale, volti alla valutazione tecnico-economica-ambientale di produzione di biocombustibili a partire dalla disponibilità di risorse in loco.

Gli obiettivi del WP5 consistono in:

- Valutazione complessiva di scenari di mobilità 'full electric';
- Stima di costi ed emissioni delle principali filiere di biocombustibili liquidi;
- definizione delle prestazioni dei biocombustibili liquidi in rapporto alle tecnologie individuate per una generazione distribuita in accoppiamento con colonnine di ricarica di auto elettriche;
- Sviluppare un modello matematico di ottimizzazione generale inerente scenari di mobilità sostenibile;
- Identificare e valutare la fattibilità tecnico-economico-ambientale dell'installazione di sistemi off-board hybrid alimentati a biocombustibili in aree extra-urbane target;

Gli obiettivi del WP6 consistono in una ottimale gestione del progetto favorendo l'interazione tra ENEA e i co-beneficiari, oltre che con potenziali stakeholder esterni al progetto. Inoltre, divulgare nella maniera più impattante possibile i risultati del progetto durante il corso dello stesso, attraverso partecipazione e comitati tecnici, conferenze, pubblicazioni scientifiche. Attraverso l'organizzazione di eventi rivolti a giovani ricercatori e dottoranti, il WP 6 si pone come ulteriore obiettivo quello di fare disseminazione e formazione per la crescita di nuove figure professionali con competenze inerenti il campo delle bioenergie.

b) Principali risultati attesi/deliverable

WP1 ha come obiettivo d'insieme quello di sviluppare una tecnologia basata sulla gassificazione delle biomasse e delle frazioni biogeniche dei rifiuti per la produzione, ad alta efficienza e sostenibile, di energia elettrica. Allo scopo si considera la possibilità di utilizzare il gas combustibile prodotto (syngas) in sistemi caratterizzati da alta efficienza di conversione di energia chimica in energia elettrica, quali le Fuel Cell ad ossidi solidi (SOFC). Sebbene le SOFC siano esercibili con diversi gas combustibili ad alto grado di pulizia, quali idrogeno, gas naturale e propano, resta ancora da conseguire il risultato di accoppiamento affidabile con syngas da gassificazione biomasse. Tale incertezza dipende dalla presenza nella corrente di syngas prodotta di contaminanti sia organici sia inorganici (principalmente tar, particolato, H₂S, HCl) la cui presenza può condizionare gravemente il corretto e prolungato funzionamento delle SOFC. Stante il programma di attività proposto per questo WP, i risultati di maggior rilievo possono essere riassunti in:

- upgrading di un impianto prototipale integrato a sistemi di purificazione e condizionamento syngas ad alta temperatura e acquisizione set di dati da campagne sperimentali per: ottimizzazione delle condizioni di esercizio dei parametri di processo (T, portate di alimentazione, rapporto equivalente, vapore/biomassa) e valutazioni delle prestazioni del reattore dei sistemi di condizionamento in-vessel per la produzione di syngas a basso contenuto di N₂ (LA1.1, impianto prototipale e 2 rapporti tecnici al M18);
- Analisi e studio dell'integrazione di materiali di cattura della CO₂ e simultaneo aumento del contenuto di H₂ in syngas di gassificazione biomasse e frazioni biogeniche (LA1.2, 2 rapporti tecnici al M18);
- Caratterizzazioni chimico-fisiche e studio del comportamento termo-fisico di biomasse e frazioni biogeniche critiche per raccolta dati utili ai fini dei bilanci di massa e di energia, valutazione della reattività del biochar residuale e possibili impieghi (LA1.2, 2 Rapporti tecnici al M18);
- Modello CFD del reattore di gassificazione a letto bollente con integrato il sistema di pulizia e condizionamento del gas caldo nel freeboard del reattore (LA1.3, 1 rapporto tecnico al M18);
- Disegni progettuali delle modifiche impiantistiche dell'impianto di gassificazione prototipale sia per inserire ed operare correttamente i catalizzatori nel freeboard del gassificatore sia per accoppiare il sistema di purificazione a caldo dei contaminanti inorganici e il sistema SOFC (LA1.3, 2 rapporti tecnici al M18 e M36);
- Definizione dei livelli di contaminanti ammissibili nel gas per l'uso delle SOFC e concorde definizione del sistema di condizionamento syngas ad alta temperatura (HGC) in grado di eliminare i contaminanti a livelli compatibili con le specifiche delle SOFC e integrabile alla linea di syngas del gassificatore prototipale (LA1.4, 2 rapporti tecnici al M18);
- Esercizio dell'impianto di gassificazione integrato a moduli prototipali di purificazione syngas a specifiche consistenti per l'alimentazione all'unità di SOFC. Verranno condotte campagne sperimentali per l'acquisizione di set di dati utili alle valutazioni delle prestazioni del syngas per la produzione ad alta efficienza di energia elettrica per alimentazione all'unità di SOFC (LA1.5, 2 rapporti tecnici al M36);

- Valutazione dei CAPEX e OPEX di impianti commerciali, definizione di specifici business case, taglie e profili di produzione di impianto, Analisi PESTLE, SWOT e CANVAS (LA1.6, 2 rapporti tecnici al M36);
- Definizione di scenari per la produzione distribuita di bio-idrogeno ed energia elettrica da biomasse e altre fonti rinnovabili non programmabili (LA1.7, 1 rapporto tecnico al M36);
- Ampliamento dello spettro di matrici alimentabili in processo di gassificazione biomasse pretrattate via HTC, Studio e valutazione del miglioramento delle proprietà di biomasse residuali e frazioni biogeniche attraverso carbonizzazione idrotermale (HTC) per impiego in processo di gassificazione e valutazione della fattibilità per uno scale-up del processo e valorizzazione dei sottoprodotti di reazione per il potenziamento dell'efficienza energetica del processo (LA1.8, LA 1.9, facility sperimentale scala laboratorio e set di materiali campioni, 6 rapporti tecnici, al M18 e M36);
- Preparazione, studio e sviluppo di sistemi strutturati a base di schiume metalliche a rivestimento catalitico in grado di operare efficacemente la riduzione della frazione organica di contaminazione e il reforming degli idrocarburi leggeri a vantaggio di arricchimento del syngas in H₂ e CO. Si punta a produrre materiali caratterizzati da elevata resistenza alla disattivazione da deposito di carbonio e dalla possibilità di operare in presenza vapori inorganici (es. H₂S, HCl). Le prestazioni verranno valutate anche per impiego offline su correnti di syngas reale (LA1.10, LA11 e LA1.12, set di materiali campioni e 4 rapporti tecnici al M18 e M36);
- Sviluppo e studio di sistemi catalitici per il condizionamento in bed del syngas prodotto nel processo di gassificazione di biomasse residuali (LA1.13, 1 rapporto tecnico al M36).

Attività e risultati verranno dettagliatamente descritti nei deliverable previsti sulle tredici LA. Complessivamente è prevista l'emissione di ventisette rapporti tecnici.

Per il Wp2 i risultati attesi riguardano la messa a punto di processi termocatalitici, elettrochimici e reattori avanzati per ottenere biofuels che possano favorire la transizione energetica verso un sistema più sostenibile e a basse emissioni di carbonio. I principali risultati attesi sono:

- catalizzatori innovativi per la riduzione di tar e inquinanti
- validazione sperimentale di reattori a doppio stadio per il trattamento del syngas
- sintesi e caratterizzazione di membrane permeabili zeolitiche innovative
- validazione sperimentale dell'accoppiamento del reattore a membrana per la produzione di biofuels con l'elettrolizzatore
- sintesi di metanolo e altri e-fuels da syngas.
- sviluppo di elettrodi innovativi per l'elettrolisi assistita dalla biomassa
- validazione sperimentale di processi elettrochimici per la produzione di idrogeno e chemicals
- validazione sperimentale della sintesi di idrogeno e grafite a partire dal biometano
- analisi tecnico-ambientale dei processi integrati innovativi

I principali risultati attesi dal progetto saranno riportati in 14 deliverable contenenti i dettagli riguardanti le soluzioni sviluppate ed implementate, l'integrazione dei componenti innovativi e le prestazioni ottenute.

Per il WP3, il risultato atteso è la definizione e l'ottimizzazione delle condizioni operative per massimizzare la resa lipidica dei microrganismi oleaginosi su substrati di scarto lignocellulosici e agroalimentari. I principali risultati attesi dal WP3 saranno riportati in cinque deliverable, ciascuno corrispondente a una linea di attività (LA), a rappresentare il progresso ottenuto in ogni fase chiave delle attività. Per la LA3.1, il deliverable riporterà lo sviluppo di un processo di produzione di zuccheri di seconda generazione per la preparazione di substrati fermentabili ottimizzati. Saranno inoltre riportati anche i metodi e le tecniche di produzione dei carboidrati, sottolineando le rese e la qualità dei substrati. Per la LA3.2, il deliverable descriverà le tecniche di selezione dei ceppi microbici. Saranno inoltre riportati i ceppi identificati e la loro caratterizzazione sulla base dell'efficienza di accumulo dei lipidi. Per la LA3.3, il deliverable consisterà in un report dettagliato contenente le rese lipidiche raggiunte, le specifiche dei microrganismi selezionati e i parametri di processo ottimali. In relazione alla LA3.4, che si occupa della conversione degli oli microbici in carburanti drop-in attraverso processi di idrogenazione, il risultato principale sarà la messa a punto di catalizzatori avanzati per la reazione di idrodeossigenazione e isomerizzazione. Il deliverable associato sarà un protocollo tecnico-scientifico che includerà il metodo di sintesi del catalizzatore, le condizioni operative per l'idrogenazione ottimizzata e una caratterizzazione chimico-fisica dei biocarburanti prodotti, dimostrandone l'idoneità per applicazioni industriali ed energetiche. Per la LA3.5, relativa all'analisi tecnico-economica dei processi di bioraffineria, il risultato atteso è la valutazione integrata dei bilanci di massa ed energia e della sostenibilità economica dell'intero processo produttivo. Il deliverable sarà un report comprendente un Process Flow Diagram (PFD) con bilanci dettagliati e una valutazione dei costi di produzione e delle condizioni necessarie per rendere il processo industrialmente competitivo.

I risultati attesi dal WP 4 sono:

- Rapporto tecnico riguardante la metodologia e i risultati sull'aggiornamento della disponibilità di biomasse e rifiuti, a scala locale, in Italia (LA 4.1)
- Database con allegato rapporto tecnico inerente la caratterizzazione dei terreni pesantemente degradati in Italia e strategie volte alla loro valorizzazione in campo energetico (LA 4.2)
- Strumento di calcolo volto alla conversione delle biomasse disponibili localmente in prodotti/vettori energetici (LA 4.3)
- Rapporto tecnico e database inerente alla tassonomia di processi ed indicatori relativi all'integrazione di fonti rinnovabili territoriali (LA 4.4)

- Applicativo WEB volto all'aggiornamento del portale WebGIS Atlante delle Biomasse dell'ENEA, in cui andranno a confluire e saranno fruibili agli utenti i dati delle altre LA e dove saranno implementati gli standard di condivisione di dati più aggiornati (LA 4.5)
- Rapporto tecnico dove verranno analizzati e descritti casi studio, a scala locale, volti alla valutazione tecnico-economica-ambientale di produzione di biocombustibili a partire dalla disponibilità di risorse in loco (LA 4.6). I risultati del WP4 rappresenteranno la base di conoscenza necessaria al fine di implementare politiche di sfruttamento sostenibile delle biomasse in campo energetico. Tutti i dati e strumenti che saranno messi a disposizione attraverso la piattaforma WebGIS "Atlante delle Biomasse" potranno essere utilizzati da tutti gli stakeholder interessati a valorizzare energeticamente le biomasse residuali disponibili a scala locale, in accordo con i dettami legislativi, e valutare le possibili integrazioni con altre fonti di energie rinnovabili.
- Per il WP5, complessivamente saranno sviluppate soluzioni sistemiche e valutazioni di prefattibilità per sistemi innovativi di generazione distribuita di energia elettrica alimentati da biocombustibili liquidi. Questi risultati saranno descritti e resi disponibili attraverso 8 deliverables, suddivisi nel seguente modo:
- Tool per la valutazione dell'energia elettrica necessaria per coprire i costi aggiuntivi derivanti dalla mobilità elettrica mediante automobili in Italia (LA5.1)
 - Valutazione complessiva di flussi energetici, costi ed emissioni in scenari di mobilità 'full electric' (LA5.1)
 - Studio filiera di produzione di biocombustibili e biocarburanti (LA5.2)
 - Tool di ottimizzazione matematica contenente dati e modelli di confronto tra diversi scenari di mobilità sostenibile (LA5.3)
 - Studio comparativo (efficienze, costi, emissioni) di diverse tipologie di sistemi di generazione elettrica attraverso l'utilizzo di biocombustibili liquidi (LA5.4)
 - Database parametri mobilità elettrica, alimentata a biocombustibili, in modalità off-board hybrid (LA5.5)
 - Modello matematico di confronto tra diversi scenari e casi studio inerenti la mobilità sostenibile (LA5.5)
 - Predisposizione di casi studio in ambiente extra-urbano inerenti la potenziale installazione di sistemi di generazione elettrica alimentati a biocombustibili liquidi in modalità 'off-board hybrid' accoppiati a colonnine di ricarica (es. stazioni di servizio su autostrada, zone rurali, ecc...) (LA5.5)

I risultati attesi mostreranno se e quando la mobilità elettrica possa essere vantaggiosa in termini di efficienza energetica ed emissioni, ma a fronte di alti costi e modifiche nell'infrastruttura esistente. Considerati gli elevati costi degli accumulatori per la rete, emerge la necessità di diversificare le fonti di energia e sviluppare sistemi di stoccaggio alternativi. È quindi cruciale adottare soluzioni sinergiche che permettano una transizione verso un futuro più sostenibile. Il caso dell'hybrid off-board potrebbe rappresentare una valida soluzione di transizione per ridurre i costi di investimento e al contempo le emissioni locali dei veicoli, nonostante presenti alcune limitazioni in termini di efficienza. Un modo per risolvere questo problema potrebbe essere l'aumento dell'efficienza nello step gruppo elettrogeno-colonnina. Con il miglioramento delle tecnologie della mobilità elettrica, dal powertrain alla colonnina di ricarica, e con un minore dispendio energetico alle ruote, anche l'ipotesi di una soluzione hybrid off-board diventerebbe più sostenibile rispetto all'uso di veicoli endotermici. L'adozione crescente di fonti rinnovabili diversificate e lo sviluppo di nuove tecnologie di stoccaggio sono essenziali per promuovere un futuro sostenibile. Sarà fondamentale la collaborazione tra industria, governo e comunità scientifica per affrontare le sfide della transizione energetica e creare un sistema di trasporto più sostenibile ed efficiente. Gli investimenti nella ricerca e sviluppo di nuove tecnologie per la produzione e la gestione dell'energia e la diversificazione delle fonti sono un passo necessario per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione dell'UE. In questo contesto, l'implementazione di sistemi di stoccaggio energetico più efficienti, l'ottimizzazione delle infrastrutture di ricarica, la diffusione di tecnologie come il Vehicle-to-Grid (V2G) e l'introduzione di fonti energetiche alternative potrebbero fornire soluzioni più sostenibili e meno costose, trasformando significativamente il panorama della mobilità sostenibile. Questi sviluppi tecnologici possono essere studiati tramite l'uso dello strumento di calcolo elaborato, con i dovuti accorgimenti.

Nel corso del progetto, saranno implementati numerosi eventi di divulgazione e disseminazione dei risultati. In prospettiva, i ricercatori coinvolti parteciperanno a un alto numero di conferenze internazionali e meeting di gruppi di lavoro, come IEA Bioenergy. Inoltre, sarà pubblicata una decina di articoli scientifici su riviste internazionali peer-reviewed in open access.

La realizzazione delle azioni inerenti il WP6 verrà descritta e articolata attraverso 4 deliverables:

- Report di coordinamento e disseminazione – primo periodo (LA6.1)
- Report di coordinamento e disseminazione – secondo periodo (LA6.2)
- Report descrizione eventi organizzati e feedback da parte dei partecipanti - primo periodo (LA6.3)
- Report descrizione eventi organizzati e feedback da parte dei partecipanti - secondo periodo (LA6.3)

2.6 Fattibilità tecnico-scientifica

a) Fattibilità tecnico-scientifica

I sei WP partiranno in parallelo e copriranno l'intera durata del progetto nel corso del quale sono stati previsti due soli stati di

avanzamento, al mese 18 (M18) e al mese 36 (M36).

Di fatto i singoli WP hanno numerose connessioni tematiche, ma non presuppongono un transito di materiali, ad esempio, tra un WP e l'altro. Pertanto, ogni WP presenta un suo flusso di lavoro ed un piano organizzativo con criticità specifiche di seguiti dettagliate. Per garantire il corretto e coordinato fluire dei lavori, per ogni WP sono previsti Responsabili scientifici dell'azione e referenti di LA che, congiuntamente si faranno carico di verificare lo stato di avanzamento delle attività e di garantire il corretto e opportuno scambio di informazioni.

WP1

Questo WP punta al superamento dello stato dell'arte nella produzione di energia elettrica da gassificazione di biomasse attraverso l'utilizzo del syngas in fuel cell ad ossidi solidi invece che in motori a combustione interna (MCI). Ciò al fine di aumentare significativamente la produzione elettrica e possibilmente valorizzare anche il contenuto termico della corrente gassosa (CHP). Già in uso con gas combustibili gassosi quali gas naturale, propano e idrogeno, nel caso del syngas l'utilizzo diretto in SOFC è reso inefficace a causa della presenza di contaminanti di diversa natura, organici e inorganici, a livelli superiori da due a tre ordini di grandezza rispetto alle specifiche tecniche richieste. In tale prospettiva, il programma di attività proposto è strutturato in 13 Linee di Attività che attenzionano tematiche cruciali e sulla gestione delle quali, oltre ad ENEA, sono coinvolte Università italiane (UNIVAQ, UNIMAR, UNIBO, UNIKORE, UNICAL) la cui competenza e leadership sono riconosciute a livello nazionale e internazionale. Temi salienti sono: l'ottimizzazione del processo e della tecnologia della gassificazione N₂-free, la purificazione e il condizionamento della corrente gassosa prodotta, l'invio della corrente gassosa alla SOFC per valutare le prestazioni in esercizio, la possibilità di indirizzare alla valorizzazione energetica in oggetto una gamma di matrici più ampia possibile. A queste tematiche a carattere prevalentemente tecnico si affiancano poi quelle di valutazione della scalabilità, della sostenibilità economica e ambientale, della potenzialità di diffusione sul territorio nazionale e dell'integrabilità con le fonti rinnovabili non programmabili.

Per conseguire gli avanzamenti di processo e tecnologici attesi, il programma di attività del WP1 procede per fasi, accompagnate da verifiche e valutazioni rispetto a possibili scostamenti dal raggiungimento dei milestone. In ciascuna LA sono identificati possibili punti critici e preventivate azioni di mitigazione per ridurre l'impatto delle criticità sul raggiungimento del risultato atteso.

Dato lo stato dell'arte sull'esercizio delle SOFC in alimentazione con syngas, una rilevante parte del programma di lavoro focalizzano l'attenzione sulla qualità del syngas prodotto, sia in termini di composizione gassosa sia in termini di livello di pulizia puntando in particolare alla riduzione spinta. Attraverso le LA a carattere tecnico, si punta alla produzione di una corrente ricca in idrogeno e a basso contenuto di azoto (i.e. alto potere calorifico), basso carico del contenuto di: particolato, tar e gas acidi (H₂S e HCl) (~ mg/Nm³secco, ppmv). Per conseguire tale traguardo viene proposto l'utilizzo di un processo di gassificazione O₂/vapore, in reattore a letto fluidizzato, per produrre un syngas N₂-free, e l'integrazione di soluzioni di purificazione gas ad alta temperatura. Quest'ultima viene raggiunta con un approccio innovativo che integra metodi in-vessel con metodi più convenzionali di trattamento del syngas a valle del reattore (downstream). I metodi in-vessel vengono implementati attraverso l'uso di fasi catalitiche e sorbenti direttamente nel letto del reattore e l'utilizzo di catalizzatori commerciali accoppiati allo stadio di filtrazione del gas. Il syngas passa quindi al trattamento a valle per un affinamento del livello di purificazione per raggiungere i valori compatibili con quelli richiesti dalle SOFC. Questo approccio mitiga intrinsecamente l'insorgenza di possibili rischi di insuccesso potendo beneficiare: di attività preliminari svolte in altri progetti, della possibilità di modulare il trattamento sul syngas in-vessel rispetto a quello a valle del reattore, attraverso l'impiego di diverse fasi attive (catalitiche e sorbenti), del continuo monitoraggio delle condizioni del processo di gassificazione e delle condizioni di funzionamento dell'impianto. Per ridurre gli impatti sui costi di progetto di eventuali azioni di mitigazione (es. sostituzione delle candele del sistema di filtrazione, avvelenamento di catalizzatori, sostituzione di componenti a valle del reattore), il WP1 prevede di investigare l'accoppiamento syngas//SOFC lavorando su una corrente parziale del syngas prodotto ed una fuel cell di piccola potenza.

Per valutare la corretta attuazione del piano di attività, saranno dirimenti alcune delle milestone indicate di seguito, selezionate tra le più significative:

- Upgrading impianto prototipale scala significativa: implementazioni hardware e software, collaudi a freddo (LA1.1, M14);
- Campagne sperimentali di gassificazione O₂/Vapore per caratterizzazione di processo e prestazioni d'impianto (LA1.1, M18);
- Preparazione e studio delle prestazioni di materiali per il condizionamento di syngas e sequestro di CO₂ per l'arricchimento in H₂ della corrente gassosa (LA1.2, M18);
- Progettazione e disegni di upgrading di impianto prototipale scala significativa per produzione ad alta efficienza di energia elettrica da gassificazione biomasse (1.3, M10);
- Simulazione di sistema del gassificatore integrante candele ceramiche catalitiche filtranti nel freeboard del reattore di gassificazione (LA 1.3, M8);
- Stato dell'arte sulla tecnologia delle Fuel Cell ad ossidi solidi (SOFC) - Definizione dei livelli di contaminanti ammissibili (LA1.4, M12);
- Sistema condizionamento gas ad alta temperatura, a valle del reattore, e sistema SOFC integrabili nel gassificatore alla slip-side del gassificatore per produzione di syngas N₂-free (LA1.4, M18);
- Integrazione ad impianto di gassificazione del sistema prototipale di purificazione e condizionamenti syngas: esercizio e valutazioni prestazionali (LA1.5, M32)
- Campagne sperimentali di gassificazione biomasse per produzione elettrica avanzata via SOFC: esercizio dell'impianto in configurazione avanzata, raccolta e analisi dati (LA1.5, M36);

- Simulazione di sistema del gassificatore integrante candele ceramiche catalitiche filtranti, sistema a caldo di purificazione del syngas dai contaminanti inorganici e sistema di celle SOFC (LA 1.3, M36);
- Elaborazione di configurazioni in upscaling commerciali con valutazione dei CAPEX e OPEX e definizione di specifici business case (LA1.6, M36);
- Scenari di produzione delocalizzata di bio-idrogeno ed energia elettrica distribuita da biomasse e altre fonti rinnovabili non programmabili (LA1.7, M36);
- Caratterizzazione chimico-fisica ed energetica delle biomasse selezionate (LA1.8, M18)
- Progetto ed upgrade del set-up sperimentale del sistema HTC (LA1.8, M24);
- Caratterizzazione chimico-fisica ed energetica sui prodotti di reazione HTC (LA1.8, M36);
- Integrazione di processo HTC con sistemi di gassificazione e valutazione della fattibilità per uno scale-up del processo (LA1.9, M36);
- Preparazione di schiume metalliche catalitiche e screening prestazionale (LA1.10, M18);
- Valutazione preliminare di schiume catalitiche innovative per la purificazione di corrente reale di syngas (LA1.11, M18);
- Upgrading della formulazione per la preparazione delle schiume metalliche catalitiche sulla base dei test con correnti syngas e analisi post (LA1.12, M36)
- Protocollo di sintesi di un catalizzatore per applicazione in-bed di gassificazione di biomasse (LA1.13, M36).

WP2

IL WP2 si basa su un approccio integrato e innovativo per lo sviluppo di tecnologie avanzate nella produzione di idrogeno e biocombustibili, con particolare attenzione alla sostenibilità ambientale, all'efficienza energetica e alla scalabilità industriale. I principali aspetti innovativi includono:

- L'integrazione di processi termochimici con tecnologie elettrochimiche e reattori a membrana per massimizzare l'efficienza di conversione e ridurre i sottoprodotti
 - lo sviluppo di catalizzatori avanzati resistenti alla deattivazione e di membrane selettive per ottimizzare le reazioni chimiche e migliorare la qualità dei prodotti
 - la produzione di idrogeno verde mediante elettrolisi alimentata da energia rinnovabile, integrata nel processo di conversione della biomassa per arricchire il gas di sintesi e migliorare la resa dei biocombustibili
 - La valorizzazione di sottoprodotti come il tar e il carbonio solido, trasformandoli in prodotti utili quali grafite, chemicals
- L'analisi dell'intero ciclo di vita dei processi per garantire la sostenibilità e identificare i margini di miglioramento.

Le sperimentazioni sono strutturate per garantire la validazione delle soluzioni proposte e il raggiungimento dei risultati attesi. Le maggiori criticità previste sono: conversione del tar contenuto nel syngas bassa, resa del metanolo bassa, bassa selettività della membrana, elettrodi con performance inferiori a quelli commerciali, ossidazione del tar incompleta, determinazioni analitiche incomplete, produzione di materiale carbonioso poco definito e dati primari non completi. In corrispondenza di questi eventi sono previste diverse azioni di mitigazione: aumento della Temperatura di reforming, riformulazione del catalizzatore con elementi dopanti, diminuzione della space velocity, riformulazione del catalizzatore contenuto nei reattori, sintesi di membrane modificate, produzione di nuovi elettrodi, variazione dei parametri elettrochimici nelle celle, uso di metodiche analitiche alternative, variazione dei parametri operativi della pirolisi, integrazione con dati primari da altre fonti.

Il WP sarà organizzato in 9 Linee di Attività (LA), con obiettivi distinti e interconnessi:

- LA 2.1: Sviluppo di processi termocatalitici per l'upgrading del syngas da biomassa
- LA 2.2: Sviluppo di processi basati su reattori a membrana alimentati con syngas da biomassa ed integrati con idrogeno verde per la produzione di biocombustibili liquidi
- LA 2.3: Sviluppo di elettrodi per la conversione di biomassa in idrogeno e chemicals
- LA 2.4: Produzione di idrogeno, biofuel liquidi e chemicals da biomasse lignocellulosiche per via elettrochimica
- LA 2.5: Cracking del biometano con tecnologie al plasma per la produzione di idrogeno e grafite.
- LA 2.6: Analisi tecnico-ambientale dei processi integrati innovativi per la produzione di idrogeno ed e-fuel da syngas di biomassa
- LA 2.7: Sviluppo di catalizzatori per l'up-grading del syngas
- LA 2.8: Sviluppo di membrane zeolitiche per la separazione di acqua in reattori catalitici a membrana per la produzione di biocombustibili liquidi
- LA 2.9: Ottimizzazione dei processi di elettrolisi e integrazione nei sistemi termochimici

Le Milestones previste sono:

- MLA2.1: Riduzione del tar nel syngas di almeno il 90% e miglioramento della qualità del syngas (entro il mese 36)
- MLA2.2: Sintesi di metanolo effettuata a partire da syngas (entro il mese 36)
- MLA2.3: Realizzazione di elettrodi innovativi per la produzione di idrogeno mediante elettrolisi dell'acqua assistita dalla biomassa (entro il mese 19)
- MLA2.4: Produzione di idrogeno e chemicals mediante elettrolisi dell'acqua assistita dalla biomassa (entro il mese 36)
- MLA2.5: Sintesi di H₂ e grafite effettuate e quantificazione dei prodotti (entro il mese 36)
- MLA2.6: Quantificazione degli indicatori ambientali dei processi integrati innovativi per la produzione di idrogeno ed e-fuel da syngas di biomassa (entro il mese 36)

- MLA2.7: Test di enhanced reforming del tar effettuate con stabilità del catalizzatore e arricchimento in H₂ per la presenza di CaO (entro il mese 36)
- MLA2.8: Sintesi e caratterizzazione di rivestimenti di zeoliti semipermeabili su supporti preformati (entro il mese 24)
- MLA2.9: Test di elettrolisi effettuati (entro il mese 36)

WP3

Le attività sperimentali sono complessivamente finalizzate a individuare substrati sostenibili a partire da diversi materiali residuali per la produzione di oli e successivo trattamento con idrogeno in biocombustibili drop-in. Le azioni sperimentali includeranno: la produzione di substrati fermentescibili da materie prime residuali; la selezione di microrganismi con caratteristiche superiori; la fermentazione microbica con l'ottimizzazione delle condizioni per incrementare la resa lipidica; la sintesi e caratterizzazione di catalizzatori per idro-trattamento con la definizione di supporti e fasi attive capaci di garantire una lunga durata operativa e alte rese di conversione; l'analisi del processo integrato con la misurazione dei bilanci di massa ed energia per valutare consumi e sostenibilità economica lungo tutto il ciclo produttivo.

Tra i punti critici si individuano il rischio di contaminazioni nei processi fermentativi e l'efficienza energetica nei processi di conversione catalitica. Per mitigare tali rischi, saranno adottati protocolli rigorosi di sterilizzazione, screening di ceppi resistenti e tecniche di recupero energetico nei sistemi catalitici. Le criticità legate alla scalabilità saranno affrontate attraverso l'uso di modelli di simulazione e la verifica in ambienti di test realistici.

Il WP3 sarà organizzato in cinque Linee di Attività (LA), con obiettivi distinti e interconnessi.

- LA3.1: Preparazione dei substrati zuccherini.
- LA3.2: Selezione dei microrganismi oleaginosi.
- LA3.3: Sviluppo di un processo di bioraffineria di seconda generazione per la produzione di lipidi.
- LA3.4: Conversione catalitica degli oli microbici in biocarburanti, con lo sviluppo e la caratterizzazione di catalizzatori avanzati.
- LA3.5: Analisi tecnico-economica del processo integrato e definizione di strategie di ottimizzazione basate sui bilanci di massa ed energia.

La richiesta di contributi seguirà la programmazione temporale delle Linee di Attività, garantendo un allineamento tra l'erogazione dei finanziamenti e i progressi previsti.

WP4

Le attività previste nell'ambito del WP4 sono finalizzate all'aggiornamento e all'integrazione di nuove funzionalità nel portale WebGIS "Atlante delle Biomasse" di ENEA. In particolare, le diverse iniziative legate allo sfruttamento energetico delle biomasse richiedono un'analisi preliminare per determinare la disponibilità di biomassa a livello locale (ad esempio, su scala provinciale o regionale), utile per tale scopo.

L'analisi sarà condotta utilizzando dati open source di varia natura e provenienza, messi a disposizione da altri enti (ad esempio, dati inventariali ISTAT e/o EUROSTAT, geodati rilasciati dall'Unione Europea, immagini satellitari gratuite, ecc.). Inoltre, verranno applicate metodologie sviluppate da ENEA nel corso degli anni per valutare il potenziale di biomassa sfruttabile in modo sostenibile e integrato con le specificità territoriali, al fine di produrre energia elettrica.

L'utilizzo di fonti di dati eterogenee (ad esempio, con diverse scale, risoluzioni temporali e spaziali, o unità di misura differenti) rappresenta il principale rischio per l'analisi, l'elaborazione e l'implementazione dei dati sulla piattaforma WebGIS. Per questo motivo, ENEA sta conducendo un'analisi preliminare volta a identificare le fonti di dati più adeguate e a definire la metodologia più efficace per quantificare le diverse tipologie di biomassa sostenibili per lo sfruttamento energetico.

Il WP4 sarà articolato in sei Linee di Attività (LA) interconnesse tra loro, con i seguenti obiettivi:

- LA 4.1: Analisi e quantificazione della disponibilità di biomasse residuali e della frazione biogenica dei rifiuti solidi urbani.
- LA 4.2: Analisi e mappatura dei terreni pesantemente degradati e individuazione di strategie per la loro valorizzazione.
- LA 4.3: Studio per la definizione di funzioni di calcolo per la quantificazione del potenziale bioenergetico ottenibile tramite lo sfruttamento delle biomasse disponibili.
- LA 4.4: Integrazione di dati/database inerenti disponibilità potenziale territoriale biomasse e FER per la produzione di combustibili drop-in e prodotti chimici
- LA 4.5: Aggiornamento del portale WebGIS "Atlante delle Biomasse" di ENEA.
- LA 4.6: Valutazione tecnico-economica-ambientale di casi studio locali per la produzione di bioenergia.

Milestone:

- Milestone 1: Definizione metodologia per la quantificazione delle biomasse residuali (entro il M13)
- Milestone 2: Definizione di parametri per la classificazione di terreni pesantemente degradati (entro il M33)
- Milestone 3: Sviluppo di un modello matematico che consenta la quantificazione del potenziale bioenergetico Italiano (entro il M13)
- Milestone 4: Modello di simulazione (entro il M33)
- Milestone 5: Integrazione dei dati prodotti dalle LA terminate al M18 (LA 4.1 e 4.3) all'interno del portale WebGIS (entro il M31)

- Milestone 6: Individuazione dei territori maggiormente rappresentativi per l'implementazione dei modelli e delle strategie sviluppate nel progetto (entro il M31)

La richiesta di contributi seguirà la programmazione temporale delle Linee di Attività, garantendo un allineamento tra l'erogazione dei finanziamenti e i progressi previsti.

WP5

Le attività previste nell'ambito del WP5 fanno parte di una valutazione complessiva delle alternative di sistemi e scenari di mobilità sostenibile. L'idea alla base del progetto del WP5 è quella di diversificare non solo le strategie di fonti e vettori energetici (elettricità, idrogeno, e-fuels, biocombustibili, ecc.) per il settore dei trasporti a seconda dell'uso (ad esempio, trasporto merci, navale, aereo, privato, ecc.), ma anche le strategie di produzione di energia e alimentazione dei veicoli (ad esempio, automobili elettriche) a seconda del contesto locale in cui devono essere generate e utilizzate. Nell'ipotesi di una penetrazione del 100% delle auto elettriche, un sistema di ricarica alimentato da biocombustibili liquidi permetterebbe di mantenere inalterata la filiera dei combustibili liquidi tradizionali installando generatori elettrici 'isola' efficienti e flessibili. Evitare di generare e distribuire l'enorme quantità di energia elettrica necessaria per alimentare il futuro parco auto 100% elettrico potrebbe essere vantaggioso, soprattutto per la ricarica delle auto in aree extra-urbane. Saranno prese in considerazione diverse tipologie di biocombustibili liquidi, ciascuna accoppiata a un sistema di generazione elettrica il più efficiente possibile, sia utilizzando generatori convenzionali (ad esempio, motori a combustione interna) che innovativi (ad esempio, celle a combustibile alimentate con etanolo o metanolo). Maggiore sarà l'efficienza di conversione in elettricità, minori saranno gli impatti ambientali associati alla generazione, anche se i costi di esercizio (ad esempio, costo del biocombustibile) e di investimento (ad esempio, installazione di celle a combustibile) saranno maggiori. Lo studio prevede la realizzazione di prototipi e impianti pilota dei sistemi biocombustibile-generatore che risulteranno ottimali al termine del progetto. I punti critici riguarderanno l'incertezza dei valori associati ad alcuni parametri considerati nelle analisi, modelli e valutazioni dei vari scenari. Per superare questi ostacoli, saranno implementate analisi di sensitività che, variando i parametri più influenti sui risultati ottenuti, prenderanno in considerazione anche scenari difficilmente quantificabili (ad esempio, efficienza dei sistemi di accumulo di energia da fonti rinnovabili non programmabili, impatto ambientale, costi di adeguamento della rete di distribuzione dell'energia elettrica), soprattutto in prospettiva di un avanzamento delle tecnologie future. I risultati saranno considerati realistici grazie a un'ultima valutazione di casi studio realistici di localizzazione del sistema off-board hybrid. Il WP5 sarà articolato in cinque Linee di Attività (LA) interconnesse tra loro:

- LA5.1: Valutazione complessiva di flussi energetici, costi ed emissioni in scenari di mobilità 'full electric';
- LA5.2: Studio delle filiere di produzione di biocombustibili liquidi;
- LA5.3: Sviluppo di modelli di ottimizzazione matematica per valutazioni comparative di differenti scenari di mobilità sostenibile;
- LA5.4: Studio comparativo (efficienze, costi, emissioni) di diverse tipologie di sistemi di generazione elettrica attraverso l'utilizzo di biocombustibili liquidi in modalità 'off-board hybrid'
- LA5.5: Individuazione di valori di threshold che rendano le soluzioni 'off-board hybrid' alimentate con biocombustibili liquidi competitivi in termini di costi ed emissioni, anche attraverso la valutazione di casi studio reali in ambiente extra-urbano

Di queste, la LA5.1 sarà implementata dalla Divisione ENEA TERIN – SSI (Divisione Smart Sector Integration e generazione distribuita da FER), specializzata in questa tipologia di valutazioni, le LA 5.3 e 5.4 saranno affidate al co-beneficiario Università di Salerno – Dipartimento di Ingegneria Industriale con forte know-how riguardante l'implementazione di modelli di ottimizzazione matematica da un lato e lo studio di sistemi energetici e di generazione elettrica dall'altro, infine la Divisione ENEA Bioenergie Bioraffinerie e Chimica Verde condurrà le attività delle LA5.2 e 5.5 inerenti lo studio delle filiere dei biocombustibili liquidi e l'integrazione e utilizzo dei modelli matematici e tools sviluppati, anche al fine di valutare i diversi casi studio reali. In termini di milestone, il progetto può essere suddiviso in:

- Milestone 1: definizione dello scenario 100% penetrazione auto elettriche in Italia (entro il M18);
- Milestone 2: definizione delle filiere dei biocombustibili liquidi (entro il M18);
- Milestone 3: sviluppo di modello di ottimizzazione inerente scenari di mobilità sostenibile (entro il M18);
- Milestone 4: individuazione dei più promettenti (in termini di efficienze, emissioni e costi) sistemi di generazione elettrica alimentati a biocombustibili (entro il M30);
- Milestone 5: ottenimento di un database di valori di parametri da implementare nei modelli di mobilità sostenibile (entro il M30);
- Milestone 6: integrazione e test dei modelli di ottimizzazione ottenuti (entro il M30);
- Milestone 7: definizione dei casi studio reali sui quali condurre le analisi (entro il M30);

La richiesta di contributi seguirà la programmazione temporale delle Linee di Attività, garantendo un allineamento tra l'erogazione dei finanziamenti e i progressi previsti.

2.7 Impatto sul sistema energetico e benefici attesi

a) Impatto e benefici sul sistema energetico

L'utilizzo a fini energetici dei quantitativi di biomasse residuali e bio-risorse disponibili annualmente in Italia (stimati in circa 20 Mt d.m. di biomasse residuali e 4 Mt di Frazione Organica dei Rifiuti) potrebbe avere un significativo impatto sulla crescita del sistema energetico

nazionale, rivolto in particolare al soddisfacimento della domanda di energia da fonti rinnovabili. Per favorire la diffusione della bioenergia nel sistema energetico nazionale, tuttavia occorre ancora investire in ricerca e sviluppo per aumentare il TRL delle diverse tecnologie a disposizione con l'obiettivo ultimo di portare a maturità commerciale le soluzioni che rispetto allo stato dell'arte possono risultare più performanti, sia in termini energetici e sia in termini di sostenibilità (ambientale, economica e sociale). Il progetto Bioenergia proposto nel PTR2025-2027 ne propone appunto diverse e, contestualmente, per ciascuna propone programmi di attività che possano favorire gli avanzamenti di maturità. Gli studi proposti sono attesi generare nuovo know-how e competenze. È inoltre attesa l'individuazione di possibili percorsi verso lo sviluppo industriale della bioenergia in Italia che possano dare nuovo impulso alla produzione di componenti tecnologici e alla quota di elettricità prodotta dalle bio-risorse. Nelle sue fasi finali, il progetto potrà individuare possibili percorsi per lo sviluppo industriale della bioenergia in Italia, in grado di determinare un consistente impulso allo sviluppo di componenti tecnologici e alla quota di elettricità prodotta dalle bio-risorse. Sul medio periodo, in prospettiva, sono attesi benefici in termini di maggiore sicurezza, resilienza e stabilità del sistema elettrico nazionale, avendo come obiettivo di riferimento la progressiva transizione verso i target di neutralità carbonica, ovvero net-zero, attesi al 2050 per il sistema energetico italiano.

Il progetto si propone dunque di migliorare l'integrazione della bioenergia nel sistema elettrico. Allo scopo si focalizza sullo sviluppo di soluzioni tecnologiche basate sulla trasformazione di biomasse per produrre elettricità (WP1, WP5), sull'impiego di elettricità rinnovabile per processi di trasformazione delle biomasse (WP2, WP3). L'impatto complessivo è la validazione di una portafolio di nuove tecnologie e soluzioni integrate per produrre elettricità distribuita con le seguenti caratteristiche:

- In modo programmabile (ad esempio, biomasse solide e SOFC).
- In modo programmabile e flessibile (ad esempio, biocombustibili liquidi e generatore).
- In modo distribuito, in aree remote o extra-urbane, dove la generazione centralizzata o non programmabile/flessibile non è ottimale.
- I risultati attesi nei WP4 e WP5 avranno come impatto quello di fornire agli stakeholders degli strumenti informatici, di analisi e programmazione rispettivamente, attraverso i quali implementare misure di intervento più efficaci per una gestione ottimale della rete elettrica. Gli strumenti forniti dal WP 4 e 5 sono:
 - stima del potenziale di bioenergia;
 - disponibilità di uno strumento integrato e flessibile di valutazione territoriale;
 - casi studio e scenari in cui un aumento della domanda di elettricità possa essere soddisfatto tramite le tecnologie sviluppate nei WP1, WP2 e WP3.

Infine, il WP6 attraverso numerose azioni di disseminazione e formazione a livello nazionale ed internazionale contribuirà ad ampliare l'impatto del progetto rispetto al raggiungimento di numerosi stakeholder. Impatti tecnologici specifici sono:

Wp1: Una piattaforma integrata per la produzione di elettricità testate in ambiente rilevante

- Lo sviluppo e il testing della tecnologia di gassificazione accoppiata a quella delle SOFC in un ambiente rilevante avrà un impatto diretto sul sistema elettrico grazie all'aumento atteso (circa doppio) sulla efficienza di conversione dell'energia chimica in energia elettrica, rispetto ai valori conseguiti attraverso i MCI. I costi e le emissioni per ogni kWh di elettricità prodotto da biomasse solide potrebbero potenzialmente diminuire drasticamente. Lo sviluppo su larga scala del processo di gassificazione delle biomasse solide e il trattamento del syngas per alimentare una SOFC comporterà un successivo trasferimento tecnologico su scala semi-industriale. Questo permetterà di proporre la tecnologia nei territori più adatti, considerando anche l'integrazione con altre fonti di energia rinnovabile. Questa integrazione è particolarmente preziosa e di grande impatto giacché la conversione di biomasse solide in elettricità rende i sistemi ad alta penetrazione di rinnovabili non programmabili più resilienti, grazie alla programmabilità della tecnologia.

Wp2: Definizione di processi innovativi e condizioni ottimali per la produzione di biocombustibili liquidi attraverso tecnologie termochimiche anche con l'impiego di idrogeno verde.

La produzione di idrogeno e biofuel da biomassa consente di ridurre la necessità di importare petrolio e gas naturale. Questo diversifica il mix energetico italiano e rafforza la sicurezza energetica. Inoltre, favorisce il raggiungimento degli obiettivi italiani di neutralità climatica entro il 2050, previsti nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC). L'idrogeno verde e i biofuel rappresentano elementi fondamentali per la decarbonizzazione del settore industriale e dei trasporti. Lo sviluppo di catalizzatori e reattori avanzati per la sintesi di biofuel da CO₂ biogenica consente all'Italia di posizionarsi come leader nella produzione di carburanti sostenibili per applicazioni industriali e di trasporto. La gassificazione, combinata con l'utilizzo di idrogeno verde derivato da elettrolisi, permette un abbattimento delle emissioni di gas serra fino al 70% rispetto ai metodi convenzionali basati sui combustibili fossili, oltre a valorizzare materiali lignocellulosici e scarti agricoli in un'ottica di economia circolare. L'elettrolisi delle biomasse rappresenta un processo altamente sostenibile, in grado di ridurre il contributo netto al ciclo del carbonio grazie all'uso di materia organica rinnovabile, con un'efficienza stimata intorno al 40-60%, variabile in base ai pretrattamenti impiegati. La pirolisi del metano offre un'altra via per ottenere idrogeno con emissioni significativamente inferiori rispetto al reforming catalitico tradizionale, contribuendo così a un miglior bilancio delle emissioni di CO₂. Complessivamente, questi metodi contribuiscono alla transizione verso sistemi energetici più sostenibili, con un potenziale di riduzione complessiva delle emissioni nel settore compreso tra il 50% e l'80%, a seconda del tipo di materia prima e dei processi integrati utilizzati.

Wp3: L'attività proposta apporta un impatto significativo al sistema energetico e ambientale, producendo biocarburanti drop-in sostenibili e favorendo una transizione verso un modello decarbonizzato e circolare. I biocarburanti sviluppati permettono una riduzione del 50-70% delle emissioni di CO₂ equivalente rispetto ai combustibili fossili, grazie anche all'utilizzo di residui lignocellulosici e

agroalimentari, trasformando materiali di scarto in risorse rinnovabili. Questa scelta riduce la competizione con la filiera alimentare e promuove la valorizzazione dei rifiuti, limitando il loro smaltimento e le relative emissioni climalteranti. Dal punto di vista del sistema energetico, i biocarburanti prodotti migliorano la flessibilità del mix energetico, grazie alla compatibilità con infrastrutture e dispositivi esistenti. Inoltre, la maggiore efficienza energetica e il ridotto consumo di energia non rinnovabile (-20-25%) contribuiscono a rendere il sistema più resiliente e sostenibile.

WP4: L'aggiornamento ed implementazione di funzioni del portale WebGIS "Atlante delle Biomasse" multifunzionale avrà l'impatto di creare un sistema di supporto decisionale volto a valutare l'idoneità dei territori per applicazioni bioenergetiche, in particolare per la produzione di energia elettrica, ma anche per altre applicazioni energetiche e biobased. Questo strumento consentirà di identificare le aree territoriali più adatte all'installazione di nuovi impianti integrati con le risorse locali, garantendo uno sfruttamento sostenibile delle biomasse disponibili.

Alla luce del sistema incentivante introdotto dal decreto FER 2, emanato dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) il 19 giugno 2024, risulta fondamentale valutare la disponibilità di biomasse sostenibili, prevalentemente di tipo residuale. Questo aspetto è cruciale, in quanto uno dei requisiti principali per accedere agli incentivi è l'alimentazione degli impianti con biomasse sostenibili.

L'impiego sostenibile delle biomasse per la generazione di energia elettrica non solo riduce la dipendenza dalle fonti fossili, ma contribuisce anche a migliorare l'impatto ambientale. Si stima che l'uso delle biomasse consenta un risparmio di circa 0,67 kgCO₂eq per ogni kWh prodotto. Inoltre, gli impianti bioenergetici, quando associati a tecnologie di cattura e stoccaggio della CO₂ (Bioenergy with Carbon Capture and Storage, BECCS), permettono di raggiungere emissioni negative di gas serra. Questo approccio rappresenta un contributo significativo al conseguimento dell'obiettivo di emissioni nette pari a zero entro il 2050, in linea con gli impegni assunti a livello nazionale e internazionale.

WP5

Lo sviluppo di nuovi sistemi per la ricarica di veicoli elettrici basati sull'impiego di biocombustibili liquidi avrà impatto sui costi di produzione e distribuzione dell'energia per la ricarica dei veicoli. Tenendo in conto gli impatti ambientali, soprattutto in termini di emissioni di CO₂, permettere l'installazione di sistemi ad isola in aree extra-urbane consentirà di diversificare il numero di soluzioni ottimali di generazione elettrica distribuita, programmabile e flessibile. I potenziali impatti previsti riguardano il potenziamento delle circa 30'000 stazioni di servizio con l'installazione del sistema off-board hybrid.

b) Benefici per gli utenti

Lo sviluppo di tecnologie decentrate per la produzione di elettricità da materie prime localmente disponibili è caratterizzato dal beneficio di offrire soluzioni nuove per l'integrazione delle diverse forme di energia da biomasse nel sistema elettrico. Questo approccio in particolare si contraddistingue per l'opportunità di massimizzare lo sfruttamento delle tipologie di bio-risorse disponibili e al contempo rispondere ai fabbisogni dei diversi settori di domanda (es. residenziale, industriale, trasporti), ovvero tipologie di utenze.

Per quanto riguarda il WP1, la potenziale riduzione di costo dell'elettricità (oltre al calore) da conversione di biomasse solide residuali renderà minori anche i costi complessivi dell'energia elettrica. In particolare, i territori potenzialmente preferibili per le tipologie di installazioni proposte nel WP1 otterranno i maggiori benefici, grazie alla integrazione con altre fonti rinnovabili ed alla produzione combinata di elettricità e calore.

Per quanto riguarda i WP2 e WP3, il progetto reca significativi benefici agli utenti del sistema elettrico nazionale promuovendo soluzioni per la transizione energetica sostenibile e flessibile. La possibilità di immagazzinare energia sotto forma di idrogeno o biofuel consente una risposta più flessibile e stabile alle variazioni della domanda e dell'offerta nel sistema elettrico. L'idrogeno e i biocarburanti sviluppati possono essere impiegati direttamente nei generatori esistenti senza modifiche, garantendo continuità di servizio, in particolare nelle aree isolate o in situazioni di emergenza. Ciò consente di diversificare il mix energetico, riducendo la dipendenza dai combustibili fossili importati e stabilizzando i costi energetici, con vantaggi diretti per gli utenti finali. Dal punto di vista ambientale, l'uso dei biocarburanti riduce del 50-70% le emissioni di gas serra rispetto ai combustibili tradizionali, contribuendo al miglioramento della qualità dell'aria e al raggiungimento degli obiettivi climatici. Inoltre, il progetto promuove un'economia circolare, valorizzando residui lignocellulosici, rifiuti agroalimentari e reflui di processo, riducendo gli sprechi e aumentando l'efficienza del sistema. Questo approccio offre agli utenti un sistema elettrico più sostenibile, resiliente e competitivo, con ricadute positive a livello sociale ed economico, proteggendoli dalle continue fluttuazioni dei prezzi causate dalle dinamiche di mercato o eventi geopolitici. Gli utenti, infatti, beneficeranno di un sistema elettrico progressivamente alimentato da vettori energetici puliti e sostenibili, migliorando la qualità complessiva dell'energia consumata.

Inerente al WP4, l'aggiornamento e sviluppo del sistema di supporto decisionale Atlante delle Biomasse, per la quantificazione delle biomasse e della bioenergia a scala locale, rappresenta un valore strategico per il sistema elettrico nazionale, poiché permette di valutare la quota di energia elettrica rinnovabile programmabile producibile in un dato territorio. Tale strumento consente di mappare le potenzialità territoriali, ottimizzando l'uso delle risorse disponibili in modo sostenibile. Lo sfruttamento sostenibile delle biomasse per scopi energetici, quali la produzione di energia elettrica, inoltre rappresenta uno dei punti centrali della nuova direttiva sulle energie

rinnovabili (direttiva 2023/2413, nota come RED3). Integrando le biomasse, che rappresentano una fonte di energia rinnovabile programmabile, con altre fonti di energia rinnovabile (FER), si favorisce un mix energetico equilibrato e resiliente, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione stabiliti dal legislatore. L'utilizzo delle biomasse per la produzione di energia riduce le emissioni di CO₂, accelerando la transizione energetica verso un futuro a basso impatto ambientale ed emissioni nette pari a 0. Per quanto riguarda il WP5, le ricadute positive sugli utenti riguarderanno la possibilità di considerare anche delle opzioni diverse dalla ricarica di auto elettriche tradizionale. Nello specifico, le analisi, le valutazioni ed i tools di modellistica matematica oggetto del WP potranno essere da supporto decisionale per l'implementazione di sistemi di ricarica in zone extra-urbane che siano preferibili dal punto di vista non solo ambientale, ma anche economico, con potenziali costi ridotti di ricarica delle auto.

Per quanto riguarda il WP6, soprattutto le attività inerenti la LA6.3 potranno avere un impatto significativo in termini di formazione di figure professionali esperte nel settore delle bioenergie e maggiormente consapevoli dell'interazione tra il sistema elettrico e la valorizzazione della fonte energetica rinnovabile biomasse.

c) Previsione delle ricadute applicative

In generale i risultati sperimentali ottenuti dai WP del progetto, derivando da una sperimentazione su scala pilota, possono più rapidamente essere fruibili da stakeholder industriali e offrire soluzioni innovative per stabilizzare la rete elettrica e favorire un maggiore utilizzo delle rinnovabili sfruttando tecnologie domestiche.

Nello specifico, WP1 e WP2 consentono un avanzamento sull'applicazione delle tecnologie termochimiche ed in particolare delle tecnologie di gassificazione con la prospettiva di dare impulso allo sviluppo industriale ancora poco significativo a causa anche delle difficoltà associate alla gestione dei gassificatori ed alla qualità del syngas.

Nel campo della produzione elettrica, a livello nazionale, si segnalano alcuni player che hanno sviluppato propri prodotti commerciali (CMD, RESET-Energy, ESPE) e alcuni spinoff (es. PFG-Hybrid, Iridenergy). In tutti questi casi, a meno di specificità di progettazione, la tecnologia di riferimento è quella dei letti fissi accoppiati a MCI. Questi impianti sono caratterizzati da relativa semplicità di esercizio, ma in generale richiedono biomasse legnose residuali di qualità relativamente alta, (i.e. cippato di legno), caratterizzate in termini di grado di umidità (< 20 %p), contenuto di ceneri (< 5 %p) e fusibilità. Inoltre, in accoppiamento con MCI consentono efficienze di conversione elettriche basse. Le innovazioni proposte nell'ambito del WP1, proiettate sul medio termine, portano a prevedere opportunità di trasferimento tecnologico presso player nazionali anche in virtù delle collaborazioni che ENEA ha in corso/ha avuto sul tema della gassificazione biomasse a fini energetici. In tale direzione merita menzionare alcuni elementi innovativi che ben contraddistinguono l'attività proposta e che in un tale processo potranno rivelarsi elementi chiave: lo sviluppo di una tecnologia di gassificazione più flessibile alla natura dell'alimentazione combinata con la possibilità di allargare a biomasse combustibili di più basso valore rispetto al cippato attraverso upgrading via HTC, il miglioramento della qualità del syngas per utilizzo in SOFC intrinsecamente più efficienti nella produzione elettrica. Sul lungo termine, la previsione di industrializzazione della tecnologia, certamente accompagnata anche da sviluppi sul fronte delle SOFC, porta a considerare favorevolmente le previsioni sul contributo che la produzione elettrica da bioenergia potrà dare per rafforzare il sistema energetico nazionale, favorire la transizione energetica del nostro sistema Paese e il raggiungimento dei target di neutralità carbonica attesi al 2050. In tale prospettiva, certamente interessanti risulteranno gli output sullo studio degli scenari di produzione delocalizzata di energia elettrica distribuita da bio-risorse e l'integrabilità con altre fonti rinnovabili non programmabili. Le attività svolte nell'ambito del WP2 si contestualizzano rispetto all'esigenza di dare prospettive di continuità all'industria dei biocombustibili in previsione di una riduzione dei motori a combustione interna rispetto a quelli a mobilità elettrica nel trasporto su strada.

Le attività di ricerca del WP2 hanno un carattere fortemente innovativo e potranno generare un rilevante know how su una gamma di tecnologie per la produzione di idrogeno e biofuel di elevato interesse industriale a livello nazionale e internazionale e consentiranno di sviluppare processi, materiali e componenti impiantistici utili alla creazione di una filiera nazionale nel settore della produzione di carburanti sostenibili per applicazioni industriali e il trasporto. La riduzione del contenuto di tar nel syngas tramite catalizzatori avanzati e reattori a doppio stadio rappresenta un passo chiave per rendere il syngas idoneo all'impiego in processi industriali di larga scala, come la sintesi di metanolo e Fischer-Tropsch. La valorizzazione del carbonio solido, ottenuto dalla pirolisi del biometano, permetterà di combinare la produzione di idrogeno con la generazione di prodotti secondari richiesti da mercati industriali, ad esempio nell'elettronica e nella produzione di pneumatici. La validazione su scala pilota rappresenta il passo cruciale per attrarre investimenti industriali e accelerare la scalabilità delle tecnologie. L'integrazione delle tecnologie sviluppate nei processi esistenti potrà contribuire a ridurre i costi di investimento e facilitare l'adozione in settori consolidati.

Le ricadute applicative del WP3 si concentrano sulla produzione di biocarburanti drop-in scalabili e immediatamente utilizzabili nelle infrastrutture esistenti, promuovendo il trasferimento tecnologico all'industria. La valorizzazione di residui lignocellulosici e agroalimentari crea opportunità per nuove filiere industriali, stimolando la competitività nei settori dell'energia e dell'agrifood, con un approccio sostenibile ed efficiente. Le tecnologie proposte abilitano una significativa riduzione delle emissioni di gas serra e incoraggiano un modello di economia circolare, riducendo gli sprechi e promuovendo l'uso efficiente delle risorse. In prospettiva, i risultati rappresentano una base per ulteriori sviluppi, come l'adattamento ad altre fonti di biomassa e l'espansione verso nuovi mercati energetici,

garantendo un impatto positivo sul piano ambientale, economico e sociale.

I prodotti di ricerca derivanti dal WP 4 relativamente alla quantificazione del potenziale di biomassa e bioenergia producibile a scala locale, in Italia, possono eventualmente dar luogo a future proposte di nuove comunità energetiche (CER), in particolare in aree rurali con elevata vocazione agricola-forestale. La valorizzazione energetica di residui/sottoprodotti presenti in ambiti territoriali caratterizzati da un tessuto produttivo in cui tali biorisorse sono presenti (esempio industrie della trasformazione dei prodotti agricoli, lavorazione del legno, ecc.) comporta benefici sia economici (es. nuove opportunità di reddito) ma anche ambientali (nessun smaltimento in discarica).

L'aggiornamento e sviluppo del sistema decisionale Atlante delle Biomasse risulterà fondamentale per i decisori politici nell'ottica di implementazione di politiche energetiche volte alla produzione sostenibile di bioenergia.

Per quanto concerne gli scenari oggetto del WP5, questi possono offrire ai decisori politici dati concreti per valutare sistemi ibridi per il trasporto usando biocombustibili dalle biomasse con il vantaggio di decongestionare la rete elettrica in previsione degli obiettivi ambiziosi di penetrazione dell'elettrico. A valle del progetto sarà valutata la possibilità di trasferire i risultati al fine di implementare le tecnologie 'biocombustibili liquidi-generatori elettrici' attraverso la realizzazione di prototipi e impianti pilota che vadano a confermare e migliorare i target prestazionali di emissioni e costi risultati essere ottimali nel presente progetto. L'eventuale trasferimento tecnologico ed industrializzazione del sistema off-board hybrid risultato più promettente consentirà, tra le altre cose, di migliorare l'offerta commerciale e tecnologica nell'ambito dei sistemi di ricarica elettrica del parco auto italiano in località extra-urbane (es. autostrade, zone rurali, ecc.).

Il WP6 essendo di gestione e disseminazione avrà come ricadute pratiche quella di far sviluppare maggiormente l'interesse ed il know-how inerente l'ambito delle bioenergie in generale e della produzione elettrica da fonti rinnovabili programmabili e flessibili in particolare.

2.8 Verifica dell'esito del progetto

a) Oggetti e documentazione dei risultati finali

In riferimento al programma di attività proposto in WP1, i risultati via via conseguiti porteranno alla preparazione di rapporti tecnici e di unità prototipali. In coerenza con la programmazione di due stati di avanzamento finanziari per la rendicontazione delle spese sostenute, M18 e M36, sarà contestualmente possibile procedere a verifiche di avanzamento attività. Nello specifico il programma di lavoro sul WP1 al diciottesimo mese prevede: l'emissione di 11 rapporti tecnici di attività; la messa a disposizione di 4 unità tecnologiche, ovvero: un impianto prototipale di gassificazione di taglia significativa sottoposto a lavori di upgrading sia hardware sia software funzionale e predisposto per l'alimentazione di una corrente di syngas ad un sistema di purificazione downstream, un modulo prototipale per la purificazione spinta del syngas a valle del reattore di gassificazione, un modulo per l'alimentazione di syngas pulito equipaggiato con la relativa SOFC (taglia 5 kWe); un set di sistemi strutturati a base di schiume metalliche a rivestimento catalitico per l'upgrading con sistemi catalitici innovativi della corrente di syngas a valle del reattore di gassificazione. Queste unità saranno presenti presso le sedi dell'Affidatario di progetto e dei co-beneficiari coinvolti.

Per quanto riguarda i rapporti tecnici, le verifiche dell'avanzamento lavori potranno pertanto essere condotte sulla base della corrispondenza della documentazione attesa alla data di consegna e dalla rispondenza di attività e risultati descritti rispetto alle aspettative. Per quanto riguarda le verifiche sui prodotti tecnologici realizzati le verifiche potranno avvenire attraverso la possibilità di visionarli presso piazzali di ubicazione e laboratori.

Approccio analogo potrà essere adottato per la verifica dei risultati finali, ovvero in occasione della rendicontazione delle spese sostenute al mese trentasei. A chiusura del triennio di lavoro è prevista l'emissione di 16 rapporti tecnici di attività e la messa a disposizione di: un impianto di gassificazione con una linea di syngas integrata per l'esercizio di un modulo a SOFC per le valutazioni di prestazioni; un modulo di laboratorio per il trattamento HTC di matrici residuali di basso valore combustibile; un set di schiume metalliche a rivestimento catalitico prodotte da nuova formulazione per prestazioni migliorate; set di materiali innovativi per il condizionamento in-bed della corrente di syngas generata durante il processo di gassificazione. Il conseguimento dei risultati complessivi attesi potrà essere valutato sulla base del rispetto della data di emissione prevista per i rapporti tecnici di attività e la messa a disposizione presso le sedi del beneficiario e dei cobeneficiari.

Tutti i rapporti tecnici saranno allegati al consuntivo di LA prodotto in occasione di ciascun stato di avanzamento lavori (SAL).

I risultati previsti dal WP2 comprendono una serie di output fondamentali per consolidare le innovazioni sviluppate e supportare la loro futura applicazione industriale. Tra le realizzazioni vi saranno prototipi e impianti pilota, come il reattore a doppio stadio, progettato per purificare il syngas riducendo il contenuto di tar di oltre il 90% e aumentando la resa in idrogeno. A questi si affiancano i reattori a membrana, dotati di membrane zeolitiche innovative, capaci di migliorare la sintesi di biocombustibili, trattando flussi di syngas fino a 0,2 Nm³/h. Inoltre, saranno sviluppati elettrolizzatori innovativi, in grado di produrre idrogeno con una purezza adeguata per l'integrazione al syngas, riducendo al contempo i costi e la complessità operativa. Un altro importante risultato riguarda i materiali avanzati, come i catalizzatori innovativi (es. a base di Ni-CaO-CeO₂), ottimizzati per il reforming del tar e l'arricchimento in idrogeno, oltre alle membrane zeolitiche selettive, progettate per separare l'acqua e migliorare l'efficienza nei reattori catalitici. Questi sviluppi si combinano con la valorizzazione dei sottoprodotti, tra cui i materiali carboniosi di alto valore, come la grafite, utilizzabile in molteplici applicazioni

industriali. La documentazione dei risultati include una serie di rapporti tecnici che descriveranno il progresso delle attività sperimentali e forniranno una base solida per il trasferimento tecnologico. Le prove sperimentali svolte, sia in laboratorio che su scala pilota, valideranno l'efficienza e la durabilità dei sistemi sviluppati, garantendo la qualità dei prodotti finali, come idrogeno e biocombustibili. I dati raccolti comprenderanno misurazioni dettagliate dei parametri di processo, quali la riduzione del contenuto di tar, l'incremento della resa del syngas e l'efficienza energetica complessiva. Infine, l'analisi di sostenibilità, condotta attraverso un'approfondita valutazione del ciclo di vita (LCA), permetterà di confrontare le nuove tecnologie con quelle tradizionali, dimostrando la riduzione dell'impatto ambientale e il miglioramento delle prestazioni globali. A supporto di questa analisi, verranno sviluppati modelli simulativi con software avanzati, come Aspen Plus, per integrare i processi e valutare scenari operativi realistici.

In riferimento al WP3, la valutazione intermedia e finale sarà basata sull'analisi dei progressi ottenuti e sull'effettivo raggiungimento degli obiettivi, documentando ogni fase attraverso metodi sperimentali, risultati tecnici e deliverable. Le attività includeranno l'ottimizzazione dei processi di fermentazione microbica e di sintesi catalitica, supportati da prove per validare le condizioni operative e garantire l'efficacia del sistema sviluppato. Saranno prodotti risultati sperimentali chiave, come rapporti tecnici sulle rese lipidiche, la qualità dei biocarburanti e i bilanci di massa ed energia, affiancati da simulazioni per valutare costi e bilanci di massa. I test di verifica comprenderanno analisi biochimiche per confermare la resa lipidica, prove di conversione catalitica per garantire la qualità dei biocarburanti e simulazioni per valutare l'impatto economico del sistema. Questo approccio strutturato garantirà la coerenza dei risultati con gli obiettivi previsti e fornirà una base solida per confermare la fattibilità del sistema sviluppato.

Nel WP4, la valutazione dei progressi ed il raggiungimento degli obiettivi sarà documentata attraverso i prodotti rilasciati nel corso delle attività. Le attività includono l'analisi e la quantificazione della disponibilità di biomasse residuali e frazione biogenica dei rifiuti solidi urbani sul territorio nazionale, studiando ed applicando le migliori metodologie disponibili per ottenere dati quanto più possibile rappresentativi della realtà territoriale (LA 4.1). Un tema di particolare rilevanza è rappresentato dalle colture energetiche coltivate su terreni pesantemente degradati, così come definiti dalla Direttiva RED II. L'aggiornamento dell'allegato IX della direttiva RED II, il quale definisce i feedstock che qualificano i biocarburanti double-counting, avanzati parte A e maturi parte B, ha incluso anche i prodotti energetici ottenuti dalla conversione delle colture energetiche coltivati su tali tipologie di terreni. Pertanto, si procederà alla definizione dei parametri discriminanti per la classificazione dei terreni pesantemente degradati, alla mappatura nazionale di tali aree e alla valutazione delle strategie ottimali per la loro valorizzazione, sia energetica che ambientale (LA 4.2). Per migliorare la capacità di sfruttamento delle biomasse disponibili, saranno definite funzioni di calcolo specifiche per stimare il potenziale di bioenergia producibile. Queste funzioni consentiranno di tradurre la disponibilità territoriale di biomasse in stime concrete di energia elettrica producibile, operando a diverse scale territoriali (LA 4.3). Poiché la decarbonizzazione del sistema energetico può avvenire solo attraverso l'integrazione delle diverse fonti FER, verrà effettuato uno studio volto all'integrazione di dati/database inerenti disponibilità potenziale territoriale biomasse ed altre FER per la produzione di combustibili drop-in, idonei ed ottimali per la produzione di energia elettrica ma che possono essere sfruttati anche per la produzione di prodotti chimici ad alto valore aggiunto (LA 4.4). Tutti i risultati delle attività saranno integrati e resi disponibili attraverso la piattaforma WebGIS "Atlante delle Biomasse", sviluppata da ENEA in precedenti programmi (2006-2008). Questa piattaforma attualmente consente di visualizzare ed elaborare dati sulla disponibilità potenziale di diverse tipologie di biomasse, a partire dal 2012, a una scala territoriale provinciale (EU NUTS3). Il progetto prevede di aggiornare e arricchire ulteriormente la piattaforma, ampliando le tipologie di biomasse censite e implementando nuove funzioni per valutare non solo la disponibilità di feedstock, ma anche i possibili output bioenergetici con un focus specifico sul settore elettrico. Verranno anche integrate dati/database inerenti disponibilità potenziali di altre FER in modo da valutare quale sia il mix energetico da FER, volto alla produzione di energia elettrica, più idoneo per un territorio. Sarà inoltre migliorata l'interfaccia utente per rendere la piattaforma user-friendly e accessibile anche a utenti non esperti di WebGIS. Le funzioni di condivisione dei dati saranno sviluppate in conformità agli standard definiti dall'Open Geospatial Consortium (OGC) e alle normative nazionali ed europee (LA 4.5). Infine, nell'ambito della LA 4.6, saranno realizzati casi studio territoriali per valutare i potenziali accoppiamenti tra biomassa e altre FER. Saranno considerate diverse scale di impianto al fine di individuare ubicazioni ottimali per impianti di piccola scala, integrati con le risorse territoriali disponibili (biomasse, rifiuti, eolico, fotovoltaico), per la produzione di bioenergia, come energia elettrica e biocombustibili liquidi o gassosi. Questo approccio garantirà la massima efficienza energetica e una perfetta integrazione territoriale degli impianti. Le milestone del progetto rappresenteranno momenti essenziali di monitoraggio dello stato di avanzamento del progetto. Questo approccio garantirà la verifica dei risultati con gli obiettivi previsti.

La verifica dei risultati del progetto inerenti il WP5 sarà consentita attraverso il test dei tools e modelli sviluppati nel corso del progetto, oltre che attraverso i deliverables. Nel corso della LA5.5 sono previste analisi di casi studio in ambiente e localizzazione realistici proprio al fine di verificare l'applicabilità degli strumenti sviluppati durante il progetto.