

**RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE - PIANO TRIENNALE DI  
REALIZZAZIONE 2022-24**  
**Progetti di ricerca di cui all'art. 10 comma 2, lettera a) del decreto 26 gennaio 2000**

**Tema 1.3**

**Progetto Integrato Tecnologie dell'Idrogeno**

**Relazione semestrale prodotta ai sensi dell'Art. 5, comma 13 dell'Accordo di Programma tra  
MASE, RSE, ENEA e CNR per lo svolgimento delle attività di ricerca di sistema elettrico del  
piano triennale 2022-2024 (02/11/2023)**

**Periodo di riferimento: Semestre IV - 01/07/2023 – 31/12/2023**

**LA 1.2: Ottimizzazione del processo di gassificazione di rifiuti agroindustriali per la produzione  
di gas di sintesi ricco in idrogeno attraverso lo sviluppo di materiali catalitici [CNR]**

È stata condotta un'indagine bibliografica sui sistemi catalitici maggiormente impiegati nel processo di gassificazione e relative metodologie di preparazione. Sono stati acquisiti i materiali necessari quali "precursori" per la preparazione "home-made" di catalizzatori metallici a base di nichel supportato su minerali.

**LA 1.4: Studio catalitico per la produzione di idrogeno "green" mediante processi catalitici di  
de-idrogenazione di substrati organici [CNR]**

Nel quarto semestre di attività è stata eseguita (realizzata) la valutazione delle attività propedeutiche inerenti il processo catalitico dal punto di vista impiantistico e processistico.

**LA 1.5 - Produzione di idrogeno da pirolisi di biogas/biometano in bagni fusi: analisi  
preliminare del processo e definizione di un setup sperimentale su scala di laboratorio [ENEA]**

A seguito dell'estensione della LA, l'attività è proseguita solo durante i primi tre mesi del quarto semestre di progetto per finalizzare il progetto del sistema sperimentale da realizzare e testare nell'ambito della LA 1.6.

**LA 1.6 - Produzione di idrogeno da pirolisi di biogas/biometano in bagni fusi: studio  
sperimentale del processo su scala di laboratorio [ENEA]**

In parallelo alla finalizzazione del progetto del reattore di quarzo per lo svolgimento delle prove di pirolisi, sono state definite le specifiche per il forno necessario per contenere e scaldare tale reattore. In particolare, sono state determinate le dimensioni ed è stata commissionata la realizzazione di una finestra di quarzo che permetta l'osservazione della zona di reazione durante le prove. È stata quindi avviata la procedura di acquisizione del forno.

**LA 1.8 - Produzione di idrogeno da pirolisi da biogas/biometano in bagni fusi: modellizzazione  
di dettaglio del reattore e analisi tecnico-economica del processo [URM1-DICMA]**

Il primo semestre di questa linea di attività è stato dedicato allo scale-up del reattore di laboratorio. Una campagna di simulazioni è stata condotta mantenendo costante l'intervallo di portate per unità di area dello sparger rispetto alle prove condotte sul reattore di laboratorio e la temperatura (fissata a 1000 °C). Le pressioni operative sono state variate nell'intervallo 1-20 atm. Lo stagno è stato aggiunto come materiale candidato a costituire il bagno fuso. La scelta di quest'ultimo è stata anche dettata da

un crescente interesse dei gruppi di ricerca nel quadro internazionale, che rende disponibile un numero sempre crescente di dati sperimentali in diverse condizioni di temperatura e pressione.

#### **LA 1.9: Produzione di idrogeno da pirolisi da biogas/biometano in bagni fusi: analisi metallografiche dei materiali sottoposti a test [URM2]**

L'attività svolta ha riguardato uno studio preliminare e una precisa definizione delle tecniche metallografiche e analitiche da utilizzare per studiare i meccanismi tipici di corrosione in miscele di metalli o sali fusi, in particolare cloruri.

Per valutare in modo completo la compatibilità, i tempi di utilizzo e gli spessori protettivi dei materiali idonei all'utilizzo per pirolisi del biometano, sono stati inoltre studiati e selezionati i modelli cinetici necessari per descrivere il comportamento dei fenomeni di corrosione eventualmente presenti.

#### **LA 1.10: Produzione di idrogeno da pirolisi da biogas/biometano in bagni fusi: analisi morfologiche e spettroscopiche dei prodotti [UCBM]**

L'attività svolta ha riguardato una precisa definizione e messa a punto delle tecniche sperimentali di analisi da utilizzare per interpretare e valorizzare al meglio i risultati a valle delle prove sperimentali condotte da ENEA, ancora in corso. UCMB ha anche attivamente collaborato con ENEA nell'identificazione delle condizioni operative più interessanti per il processo.

#### **LA 1.12 – Progettazione esecutiva, realizzazione e test delle modifiche impiantistiche del gassificatore a letto fluido bollente [SOTACARBO]**

Sulla base dei test svolti nel terzo semestre della LA 1.11 sono state effettuate, seguendo le prime indicazioni di UVAN, alcune preliminari attività di modifica di impianto, quali:

- acquisto e installazione di una nuova caldaia, per realizzare una potenzialità di oltre 100 kg/h, utilizzandola in parallelo con la caldaia già disponibile;
- verifica di funzionalità, ed eventuale upgrading, dell'attuale torcia per il syngas, in considerazione del suo più elevato PCI (anche > 32 MJ/m<sup>3</sup>N secondo la simulazione effettuata da UVAN);
- verifica delle modifiche necessarie al sistema di clean-up dell'impianto Faber;
- adeguamento del sistema di acquisizione dati e controllo dell'impianto FABER per l'integrazione delle nuove modifiche.

Con UVAN, sono state avviate anche le attività di programmazione di nuovi test sperimentali con un rifiuto plastico con un potere calorifico minore rispetto al Blupolymer L. A tal riguardo, UVAN ha individuato uno scarto plastico da raccolta differenziata (Blu-C), fornito dalla società I.Blu.

È stata avviata l'attività di aggiornamento dei PI&D e dei documenti dell'impianto Faber e la realizzazione di un PFD. È stata inoltre avviata, in collaborazione con un professionista esterno, l'attività dell'analisi di rischio che riguarderà, tra le altre cose, la verifica sull'impianto delle zone di possibile perdita di syngas e dei fini. Inoltre, è prevista l'attività di verifica e revisione dei manuali d'impianto. Nel primo semestre del 2024 verrà anche presentata ai Vigili del Fuoco la pratica con le modifiche effettuate sull'impianto per la revisione del Certificato Prevenzione Incendi (CPI).

#### **LA 1.15 – Progettazione di processo delle modifiche impiantistiche del gassificatore a letto fluido bollente [UVAN]**

Si sono valutati i campi delle portate di vapore e ossigeno e di quelle di scarto plastico, necessari a definire i valori dei rapporti di equivalenza e del rapporto vapore-carbonio, da usare nella

gassificazione con ossigeno e vapore del reattore FABER. A tal fine si sono:

1. Completati i bilanci di materia ed energia sul reattore, sulla base dei parametri fluidodinamici e termodinamici. I documenti prodotti sono stati condivisi in continuo con i tecnici Sotacarbo.
2. Programmate nuove prove con un secondo scarto plastico da raccolta differenziata (Blu-C), fornito dalla società I.Blu. Tali prove, da realizzarsi a partire dal gennaio 2024, garantiranno una valutazione più affidabile della flessibilità operativa dell'impianto FABER, a valle delle modifiche proposte.
3. Analizzati i dati ottenuti dalle modellazioni matematiche per supportare i risultati della sperimentazione, così da approfondire ulteriormente l'effetto dei singoli parametri operativi.
4. Proposte alcune prime modifiche a Sotacarbo (che ha avviato le azioni necessarie):
  - a. l'acquisto e l'installazione di una nuova caldaia, per realizzare una potenzialità di oltre 100 kg/h, utilizzandola in parallelo con la caldaia già disponibile;
  - b. la verifica di funzionalità, ed eventuale *upgrading*, dell'attuale torcia per il syngas, in considerazione del suo più elevato PCI (anche  $> 32 \text{ MJ/m}^3_{\text{N}}$ ) in gassificazione ossigeno-vapore;
  - c. l'adeguamento del sistema di acquisizione dati e controllo del FABER, che integri tali nuove modifiche.

Si sottolinea che per mero errore materiale, il termine per la conclusione della Linea di Attività LA1.15 è stata indicato nel 29 febbraio 2024 nella relazione di progetto. Poiché tale LA comprende per UVAN anche la partecipazione in presenza al *commissioning* delle modifiche proposte, che potrà avvenire solo negli ultimi mesi del 2024, la conclusione delle attività della LA1.15 dovrà necessariamente coincidere con il 31 dicembre 2024.

#### **LA 1.16 – Progettazione di processo di un nuovo sistema di pulizia a caldo del syngas [UVAN]**

In questa prima fase, si è sviluppata una sperimentazione (nei Laboratori di Impiantistica Ambientale del DiSTABiF di UVAN) sui sistemi di cracking catalitici in grado di convertire i composti catramosi (tar) contenuti nel syngas. Sono stati testati due catalizzatori (a base di Fe e di Red Mud, su supporto di g-allumina), a diverse temperature (750°C e 800°C) e diverse concentrazioni di vapore (0 e 7.5%). Per ogni test, si sono valutati: l'efficienza di conversione del naftalene, i profili temporali della generazione di idrogeno dovuta al cracking dei tar, e l'eventuale tasso di accumulo dei depositi carboniosi sulla superficie del catalizzatore. Si sono poi caratterizzati i catalizzatori freschi ed esausti tramite SEM-EDAX, analisi termogravimetriche, porosimetrie, spettroscopie RAMAN.

Si è così definito il catalizzatore da usare per le fasi successive (Fe- g-allumina) e le condizioni ottimali di impiego.

Questa fase ha portato a sottomettere ad una rivista Q1 l'articolo scientifico: F. Parrillo, F. Ardolino, C. Boccia, V. Arconati, G. Ruoppolo, U. Arena, *Waste-derived catalysts for tar cracking in hot syngas cleaning*, e a presentare due contributi a conferenze internazionali: i) F. Parrillo, F. Ardolino, C. Boccia, V. Arconati, G. Ruoppolo, U. Arena, *Steam reforming of tars in hot syngas cleaning: removal efficiency of different waste-derived catalysts*, 6<sup>th</sup> MATER2023, 5-7 giugno 2023; ii) Parrillo, C. Boccia, G. Ruoppolo, V. Arconati, F. Ardolino, U. Arena, *Steam reforming of tars in hot syngas cleaning: removal efficiency of different waste-derived catalysts*, SARDINIA 2023-19th Int. Symp. on Waste management, resource recovery and sustainable landfilling, S.Margherita di Pula (CA), 9-13 ottobre 2023.

Una seconda fase definirà la tipologia di gas vettore, la concentrazione di naftalene e il tempo di residenza del gas nel reattore, per acquisire dati per la terza fase, che è la vera e propria progettazione di processo del nuovo sistema di pulizia a caldo del syngas da implementare sulla linea di pulizia già esistente del gassificatore FABER.

#### **LA 1.17 - Produzione di H<sub>2</sub> da gassificazione delle biomasse: identificazione di possibili sistemi innovativi di separazione a membrane inorganiche [RSE]**

Per quanto riguarda la postazione di prova sono state avviate le fasi successive relative alla predisposizione degli spazi del laboratorio per l'installazione impianto, avvio degli acquisti, di strumenti e apparecchiature. Per quanto riguarda lo sviluppo materiali, è proseguita l'attività di realizzazione di membrane di LWO mediante pressatura di polveri. È in corso l'ottimizzazione del processamento delle polveri e del trattamento di sinterizzazione allo scopo di ottenere campioni con sufficiente tenuta al gas. È inoltre stato avviato l'approvvigionamento di reagenti per realizzare membrane con nuove formulazioni, sia a fase singola che a fase doppia.

#### **LA 1.20 - Sviluppo e sostenibilità economico/ambientale di una cella di fotoelettrolisi per la produzione di idrogeno [CNR]**

È stata avviata l'attività di produzione scalabile dei materiali sviluppati nella precedente LA 1.19 (semiconduttori, co-catalizzatori, membrana, strati protettivi). Ha avuto inizio, anche, la progettazione di un alloggiamento per la cella elementare per lo sviluppo del prototipo di cella di fotoelettrolisi. Partendo dalla tipologia e dalla quantità dei materiali necessari alla produzione di una singola cella, sono stati calcolati ed analizzati i relativi costi. Si è iniziato, in tal modo, ad effettuare una prima stima dei costi operativi (sia fissi che variabili) in cui è stato considerato anche il costo del personale da impiegare nel processo produttivo. Allo stesso tempo, è stata svolta un'analisi dei costi di investimento riguardanti l'acquisto delle attrezzature necessarie alla produzione delle celle.

#### **LA 1.22 - Produzione di H<sub>2</sub> diretta da fonte solare: studio della chimica degli elettrodi e primo prototipo di cella fotoelettrocatalitica [RSE]**

Ricerca bibliografica degli ultimi sviluppi dei fotoelettrodi a base C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, indagine di letteratura sulla composizione delle acque di scarto industriali delle industrie alimentari per individuare quelle più idonee all'utilizzo come elettrolita. Studio sperimentale di differenti procedure di sintesi del BiVO<sub>4</sub> per migliorare l'accoppiamento con gli ossidi studiati nei sei mesi precedenti. Nei materiali catodici si è studiata la sostituzione del PEDOT:PSS con acido citrico per la preparazione degli elettrodi a base C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, studio preliminare dei metodi di deposizione dei materiali catodici su elettrodi di maggiori dimensioni.

#### **LA 1.24 - Sviluppo di metodologie e analisi di tecnologie per la certificazione dell'idrogeno verde [UPA]**

Sono proseguite le attività per l'identificazione dell'idrogeno ed è stata ipotizzata una classificazione che tenga conto della possibilità di aggiungere miscela ma non rimuoverla completamente. In tal senso è stata valutata una metodologia di 'declassamento' dell'idrogeno tramite l'aggiunta di altri prodotti. Sono stati individuati gli attori della filiera dell'idrogeno e modellati i principali dati di interesse.

### **LA 2.1 - Upgrading, sperimentazione e integrazione dei processi Power to Gas presso l'impianto MENHIR [ENEA]**

Nel quarto semestre della LA si è provveduto ad effettuare l'integrazione c/o C.R. Casaccia dell'impianto prototipale di metanazione con l'elettrolizzatore. Si è provveduto a dare avvio al collaudo e ai primi test a caldo di caratterizzazione del processo. Diverse attività sperimentali si sono succedute fino alla fine del 2023 con l'obiettivo di mettere a punto il sistema di controllo della sezione di metanazione.

Si è dato altresì corso all'emissione dell'ordine di upgrade del sistema elettrolizzatore che completerà le dotazioni di impianto.

### **LA 2.3 - Analisi e modellazione dell'integrazione dei processi di metanazione biologica e catalitica per applicazioni Power to Gas [URM1-DICMA]**

È stato svolto uno studio bibliografico preliminare nel contesto della tecnologia Power to Gas. Inoltre, a partire dai modelli stazionari sviluppati nella precedente LA 2.2, si è avviato lo sviluppo di uno studio dinamico tramite ambiente di simulazione del processo di metanazione biologica

### **LA 2.4 - Power to gas bioelettrochimico: test sperimentali di biometanazione con reattore a gocciolamento e individuazione di ambiti applicativi per uno scaling-up dei processi di elettrometanogenesi microbica [RSE]**

*Biometanazione.* Prosecuzione della sperimentazione del reattore R2 ad alta pressione e sperimentazione del reattore R1.

*Elettrometanogenesi.* Completamento delle attività che documentano un miglioramento sostanziale della performance del processo di elettrometanogenesi attuato da Methanobacter e altri archei su materiali conduttori composti, funzionalizzati con nanoparticelle di idrossiapatite e rame. Organizzazione delle campagne di misura dei flussi di gas geotermici in Toscana.

### **LA 2.7 - Realizzazione e sperimentazione di un sistema di captazione di CO<sub>2</sub> da suolo in scala da laboratorio per applicazioni Power to Gas [ENEA]**

È stato portato avanti il reperimento delle componenti per l'implementazione e la riproduzione del sistema di captazione della CO<sub>2</sub> dal suolo a scala di laboratorio. In particolare:

- ugelli: per il sistema di convogliamento e diffusione del gas emulato, al fine di simulare differenti flussi.
- un misuratore e regolatore di portata massica della CO<sub>2</sub> (MFC Mass Flow Controller);
- modulo emulatore del sito di degassamento: estensione dell'ordine di 50 x 50 cm dove sarà possibile alloggiare le due differenti tipologie di terreno scelte per l'emulazione;
- telaio a sostegno di uno strato di guaina e/o di teli di copertura atti ad impedire fuoriuscite di gas dal sistema di captazione;
- estrattore centrifugo: sistema di aspirazione del gas;
- misuratori di pressione e temperatura al fine di monitorare tali parametri durante il processo di emulazione del sito di degassamento e del sistema di captazione.
- valvola RGA01: permette di inviare il gas captato al sistema di monitoraggio in continuo della composizione del gas (% vol.).

### **LA 2.9 - Realizzazione e test sul campo di un sistema di captazione di CO<sub>2</sub> da suolo per applicazioni Power to Gas [URM1-DIAEE]**

È stato sviluppato il progetto costruttivo del prototipo di captazione CO<sub>2</sub>, iniziando il reperimento dei componenti. Sono stati avviati i contatti con i potenziali fornitori.

Inoltre, è stato implementato un modello di simulazione dell'interazione della diffusione di gas attraverso il terreno. Tale modello è finalizzato alla valutazione della migrazione delle esalazioni gassose nel terreno in presenza dell'inevitabile non allineamento tra l'impianto di captazione e la portata diffondente per la definizione del programma di sperimentazione.

#### **LA 2.12 - Studio dell'integrazione di tecnologie di accumulo elettrico e di produzione di idrogeno elettrolitico per la definizione di sistemi ibridi alimentati da fonti rinnovabili [UCA-DIEE]**

È stata sviluppata un'analisi di rischio della topologia e la proposta di configurazione impiantistica da analizzare per l'implementazione della strategia di gestione proposta. Nello specifico, sono stati analizzati i problemi connessi al disaccoppiamento dei convertitori Multi Active Bridge e la disponibilità sul mercato dei sistemi elettrici ed elettronici per la realizzazione di tali dispositivi. Infine, è stata condotta un'analisi e un confronto prestazionale ed è stata completata la fattibilità della configurazione impiantistica. Inoltre, è stato sviluppato un tool in ambiente Matlab/Simulink che permette un dimensionamento preliminare del sistema proposto e un'analisi e un confronto prestazionale.

#### **LA 2.13 - Definizione di una configurazione ibrida accumulo elettrico-elettrolizzatore per la produzione di idrogeno da fonti rinnovabili in un caso applicativo reale [UCA-DIEE]**

Nel primo semestre della LA, si è affrontato il problema fondamentale del disaccoppiamento del sistema e della definizione della strategia di controllo e progettazione più idonea alla specifica applicazione. Inoltre, è stata avviata un'indagine di mercato destinata a individuare i potenziati fornitori di apparecchiature di tipo elettromagnetico con le caratteristiche necessarie alla realizzazione del Multi Active Bridge, componente strategico per la realizzazione del sistema proposto. Inoltre, è stato condotto un sopralluogo e un confronto sul sistema elettrolitico installato a Casaccia allo scopo di predisporre le attività da svolgere per l'acquisizione dei dati necessari allo svolgimento dei test comparativi e alla definizione dei KPI.

#### **LA 2.14 - Progettazione e sviluppo di energy storage per favorire l'integrazione tra rete elettrica e rete gas [UPAR]**

Si sono completate le attività di modellazione con la messa a punto del modello del sistema integrato di energy storage. Tale modello ha consentito di prevedere le prestazioni del sistema nel suo campo di funzionamento. In modo particolare, è stato possibile fare le prime valutazioni sulle efficienze energetiche in diversi scenari operativi.

Inoltre, in ambiente Matlab è stato messo a punto il modello per l'ottimizzazione dell'integrazione del sistema al fine di individuare la gestione ottimale dei flussi energetici legati al funzionamento dei componenti in riferimento alla disponibilità della risorsa rinnovabile, con l'obiettivo di massimizzarne lo sfruttamento, e quindi di massimizzare la resa energetica del sistema di energy storage con riferimento alla round trip efficiency.

Particolare attenzione è stata rivolta alle condizioni di funzionamento al sistema di gestione termica degli idruri che, grazie all'integrazione con la cella, potrà sfruttare il calore disponibile nelle fasi di desorbimento associate al funzionamento della cella stessa per la produzione di energia elettrica nelle ore in cui l'impianto a fonte rinnovabile non lavora.

I risultati ottenuti dalle diverse attività di modellazione dei componenti e quindi del sistema integrato sono stati utilizzati per arrivare alla progettazione definitiva del prototipo che è quindi iniziata in questo semestre. In particolare, sono state avviate le attività di ricerca volte ad arrivare alla definizione i) degli schemi funzionali, ii) dei disegni definitivi del montaggio dei componenti, iii) degli schemi elettrici e meccanici e iv) del P&I. Con riferimento al P&I è stato individuato lo schema di collegamento elettrico; è stato previsto di collegare tutti i componenti ad un bus in AC per alimentazione in corrente trifase. La cella a combustibile è collegata al bus principale tramite un convertitore DC/AC in modo da poter convertire in alternata la corrente prima di immettere in rete l'energia elettrica prodotta. Da punto di vista fluidodinamico la cella è collegata al sistema di stoccaggio di H<sub>2</sub> tramite appositi riduttori di pressione in modo da garantire che l'idrogeno fluisca nella cella ad una pressione corretta.

#### **LA 2.18 - Sviluppo del modello completo in matlab/simulink e sua applicazione a differenti configurazioni e parametri per la variazione del costo dei gas rinnovabili nell'applicazione Power to Gas**

Si è proceduto con l'elaborazione del rapporto tecnico finalizzato alla valutazione del costo di produzione di gas rinnovabili, prendendo in considerazione i costi di investimento (CAPEX), i costi operativi (OPEX) e il costo del ciclo di vita (LCOX) per ogni componente coinvolto nel processo. Inoltre, è stata condotta la valutazione degli impatti di ciascuna voce di costo, confrontando i diversi scenari e casi studio oggetto dell'analisi. Questo confronto ha permesso di identificare le principali fonti di costo e di comprendere le variazioni nei costi tra le diverse configurazioni.

Infine, è stata effettuata un'analisi di sensitività con l'obiettivo di determinare possibili margini per la riduzione dei costi. Questo studio ha consentito di valutare l'effettiva competitività dei processi considerati e di individuare i fattori che contribuiscono maggiormente ai costi associati.

#### **LA 2.20 - Sviluppo di casi tipici e scenari applicativi di sistemi di accumulo di idrogeno e trasporto di idrogeno e blend volta all'analisi e valutazione delle condizioni di rischio per sistemi ed ambienti esposti all'idrogeno [URM1-DICMA]**

È stata condotta l'analisi della letteratura per analizzare i dati disponibili per quantificare il rischio complessivo associato a un sistema di stoccaggio e trasporto di idrogeno. In particolare, è stata analizzata la disponibilità di dati di frequenze di perdita di componenti specifici per l'idrogeno, fondamentale per definire gli scenari incidentali nella valutazione del rischio.

#### **LA 2.21 - Intensificazione del processo di idrogenazione diretta della CO<sub>2</sub> a DME mediante sviluppo di sistemi catalitici ibridi combinati con matrici idrofile assorbenti: Preparazione mediante robocasting di un sistema catalitico multi-metallico di riferimento in grado di attivare la CO<sub>2</sub> a bassa temperatura. [CNR]**

Definizione delle migliori condizioni operative per l'idrogenazione diretta di CO<sub>2</sub> a DME. I risultati hanno evidenziato come la conversione della CO<sub>2</sub> aumenti progressivamente con la temperatura e i valori più alti (>20 %) si raggiungano a 260 °C, in prossimità dell'equilibrio termodinamico. Per quanto concerne la distribuzione dei prodotti, è stata osservata una diminuzione progressiva della selettività a DME con la temperatura (dal 50 al 40%). Relativamente alla selettività a metanolo (MeOH) - che a 200 °C risultava pari al 20% -, è stata osservata una leggera diminuzione con l'aumento della temperatura, risultando comunque stabile tra i 220 e i 260 °C. Tali risultati sono risultati propedeutici e presi a riferimento per gli sviluppi successivi del modello del catalizzatore e

della sua integrazione con matrici idrofile assorbenti, ai fini dell'integrazione di processo da sviluppare nella linea LA 2.22.

**LA 2.22 - Intensificazione del processo di idrogenazione diretta della CO<sub>2</sub> a DME: Integrazione del catalizzatore multi-metallico con una matrice idrofila, finalizzato al raggiungimento di elevate conversioni di CO<sub>2</sub> per passaggio ed adeguata stabilità nel tempo. [CNR]**

Avviata l'attività di linea, strettamente connessa con la LA 2.21, e finalizzata ad una intensificazione del processo di sintesi diretta del DME mediante idrogenazione catalitica della CO<sub>2</sub>. Considerando che l'acqua formata nel corso del processo rappresenta la principale causa di disattivazione dei sistemi catalitici, lo sviluppo di assorbitori di acqua efficaci rappresenta un aspetto cruciale ai fini dell'incremento della produttività del processo e del tempo di vita dei sistemi preparati. A tal fine, è stato effettuato uno studio preliminare di letteratura di materiali solidi assorbenti, identificando alcune matrici zeolitiche (LTA e 13X) quali valide soluzioni per la combinazione con il sistema ibrido Cu-ZnO-ZrO<sub>2</sub>/MFI precedentemente ottimizzato. Tali assorbenti sono stati quindi stampati secondo il protocollo di stampa diretta già utilizzato per i sistemi ibridi e descritto nella LA 2.21.

Una volta stampati tali sistemi sono stati calcinati a 550 °C, valutandone le proprietà morfologiche, strutturali e superficiali, prima dell'integrazione con i sistemi ibridi in configurazione tipo "zebra" da realizzare nei semestri successivi.

**LA 2.23 - Power to fuels: ottimizzazione dell'impianto Power to fuels (P2G/L) e sperimentazione a supporto [SOTACARBO]**

Si è proceduto con l'installazione della torcia attraverso le seguenti attività: i) realizzazione di un piano di appoggio in grigliato metallico; ii) modifica del piping per l'invio del GPL e del gas attraverso la predisposizione di nuove tubazioni in acciaio inox per l'interconnessione tra l'impianto P2G/L e la nuova torcia; iii) realizzazione di una specifica linea di alimentazione elettrica. Relativamente al nuovo sistema di riscaldamento del fluido diatermico dell'unità prototipale P2G/L, è stata affidata la progettazione esecutiva a una società di ingegneria specializzata nella progettazione, sviluppo e implementazione di apparecchiature di processo industriali.

A seguito della sintesi e caratterizzazione chimico-fisica di nuovi catalizzatori (oggetto della LA 2.25) per l'idrogenazione della CO<sub>2</sub> a metanolo, è stata condotta un'estensiva valutazione e screening dell'attività catalitica nell'impianto sperimentale XtL attualmente installato nei laboratori Sotacarbo – che ha portato alla selezione del sistema catalitico più promettente per la successiva sintesi in quantità tali da poter essere formato e utilizzato nell'impianto pilota P2G/L.

**LA 2.24 - Power to fuels: sviluppo sperimentale di nuovi materiali e processi [SOTACARBO]**

L'attività sperimentale condotta nel periodo di riferimento ha riguardato la valutazione della metodologia analitica più adatta per l'analisi del processo di metanazione, a seguito della quale sono stati eseguiti svariati test di reazione nell'impianto bench-scale XtL in un ampio intervallo di condizioni operative (temperatura, pressione e velocità spaziale) attraverso l'utilizzo di un catalizzatore commerciale a base di Ni. È inoltre proseguita l'attività di conduzione delle campagne sperimentali sull'unità prototipale P2G/L con l'obiettivo di effettuare una prova catalitica per la produzione di metanolo a partire da una miscela stechiometrica di idrogeno e diossido di carbonio valutando l'effettiva autoregolazione della temperatura all'interno del reattore in presenza della reazione esotermica con l'olio in condizioni di liquido saturo, prossimo al suo punto di ebollizione. Parallelamente è stato intrapreso lo studio per l'integrazione di un impianto customizzato Power-to-



Hydrogen di piccola taglia con relativi sistemi di gestione e controllo, all'impianto da banco di conversione catalitica di CO<sub>2</sub> in combustibili liquidi (X-to-Liquids). È stata quindi definita e selezionata la configurazione ottimale e eseguita la progettazione di massima del nuovo sistema di elettrolisi a bassa temperatura alimentato da fonti rinnovabili costituita da un elettrolizzatore PEM (Proton Exchange Membrane) e un elettrolizzatore AEM (Anion Exchange Membrane) opportunamente integrati con un unico BOP (Balance of Plant) per entrambe le tecnologie di elettrolisi.

#### **LA 2.26 - Sviluppo di un sistema integrato reversibile rSOFC bidirezionale per l'upgrading di syngas/biogas/metano (es. Da biomasse) [CNR]**

È stata sviluppata una dettagliata strategia di prove e validazioni funzionali per garantire che il prototipo soddisfi i requisiti di prestazione e funzionalità. È stato quindi pianificato un insieme di test per valutare le prestazioni del prototipo in condizioni operative che includono variazioni della temperatura di reazione, delle pressioni di lavoro, dei rapporti stechiometrici tra i gas reagenti e delle loro portate, sia in modalità Reforming/SOFC che in modalità SOEC/metanazione.

#### **LA 2.27 - Modellazione finalizzata allo scale-up di un sistema Power-to-Gas-to-Power basato su r-SOFC e reattore di metanazione bidirezionale [UBO]**

Sulla base dei dati elaborati nel precedente semestre, si è impostato un modello integrato del sistema power-to-gas e gas-to-power nell'ambiente software individuato, comprendente le fasi di accumulo e restituzione basato sui reattori sperimentali. Sono state definite le curve di taratura di resa di tipo empirico e, in coordinamento con le attività sperimentali CNR, sono stati imposti preliminarmente nel modello i regimi termici e i flussi dei reattori integrati. Inoltre, sulla base di dati di letteratura riferiti a celle a ossidi solidi, è stato impostato un sotto-modello semi-empirico di elettrolizzatore reversibile inserito nel sistema per poter analizzare l'effetto del carico variabile sul sistema.

#### **LA 2.28 - Modellazione della velocità di reazione e dei trasferimenti di materia ed energia in un reattore-scambiatore catalitico per la reazione di metanazione/reforming [USA]**

sistema di reazione, in cui si sono state studiate le composizioni all'equilibrio alle diverse condizioni operative del reattore, con particolare riferimento alle variabili macroscopiche T, P, e rapporti di alimentazione. A valle dello studio termodinamico, è stato implementato un modello matematico preliminare del micro-reattore catalitico a partire dai dati sperimentali inviati da CNR ITAE e ottenuti da prove di attività catalitica condotte in un reattore a singolo tubo in scala da laboratorio. È stata, inoltre, condotta in ambiente COMSOL-Multiphysics la simulazione del reattore-scambiatore catalitico a singolo tubo per la reazione di metanazione in cui, alla modellazione precedente si accoppieranno le fisiche per lo studio simultaneo dei fenomeni di trasferimenti di materia ed energia nel letto catalitico, e nel complesso del sistema reagente.

#### **LA 2.29 - Sperimentazione e monitoraggio di componenti e apparecchiature per il trasporto e la distribuzione del gas con miscele di idrogeno e metano presso campo prova rete gas [ENEA]**

Durante questo semestre, sono state avviate attività relative alla valutazione degli adeguamenti normativi e autorizzativi necessari per il Campo Prove di Arezzo. Uno degli aspetti rilevanti è stata la ri-classificazione ATEX, coinvolgendo il Comando dei Vigili del Fuoco locale e altre Autorità competenti per garantire il rispetto dei requisiti in materia di salute, sicurezza ed ambiente. Questo processo mira a conformarsi alle normative vigenti, considerando l'uso di miscele di idrogeno e gas naturale. Dato l'attuale vuoto normativo per definire protocolli di prove specifici per reti soggette a

miscele di H<sub>2</sub>/GN, la sperimentazione sarà condotta utilizzando le procedure e la normativa tecnica attualmente in uso per il gas naturale. L'alimentazione di idrogeno sarà gestita attraverso un carro bombolaio situato al confine del Campo Prove, in una postazione dedicata e sicura. La percentuale di miscelazione di idrogeno nel gas naturale potrà essere variata e stabilizzata in accordo con il fornitore del servizio di carro bombolaio.

In aggiunta, è stata avviata la progettazione di una campagna di testing specifica per la rilevazione di perdite, considerando le diverse percentuali di rapporto volumetrico H<sub>2</sub>/GN. In particolare, sono state valutate l'efficacia nel rilevare perdite e l'individuazione di fiamme all'aperto, analizzando la visibilità della fiamma in ambienti aperti e chiusi in funzione delle diverse percentuali di miscela. Questo approccio consente di sviluppare metodologie e procedure che garantiscono la sicurezza e l'efficacia delle reti soggette a miscele di idrogeno e gas naturale.

### **LA 2.30 - Studio della compatibilità delle utenze per l'uso di diverse miscele di idrogeno-metano allacciate alla rete gas [UCAS]**

Sono stati analizzati i risultati delle prove effettuate sui contatori domestici di gas naturale rimossi dalle utenze, in termini di errori misurati alle diverse portate e di errore medio pesato sull'intero campo di misura. I risultati mostrano che l'accuratezza dei misuratori a membrana e ad ultrasuoni è sempre entro i limiti ammessi. Di contro, i massici termici (di prima generazione) rientrano nei limiti ammessi solo quando il tenore di idrogeno è inferiore a 2% vol mentre presentano errori molto rilevanti a 5, 10 e 23%vol.

Per quanto riguarda l'analisi degli effetti del blending di idrogeno sugli apparecchi per la combustione, sono state individuate le prove sperimentali per la validazione dei risultati ottenuti. Previa verifica della disponibilità di laboratori idonei, saranno effettuate prove per la misura della temperatura e delle concentrazioni in fase gassosa di CO, CO<sub>2</sub>, NO in una fiamma laminare su un bruciatore alimentato con una miscela reagente, di velocità nota, formata da gas naturale e blending 20% + aria, rapporto di equivalenza 1.

### **LA 2.31 – Iniezione di idrogeno nelle reti di distribuzione del gas: supporto alla sperimentazione e analisi ed elaborazione dei dati rilevati [UFI]**

Nel secondo semestre del 2023, principalmente, sono state condotte attività inerenti a due principali temi:

- Modellazione delle reti di distribuzione del gas naturale con iniezione di idrogeno
- Creazione di modelli per svolgere analisi energetiche ed economiche della produzione dell'idrogeno e applicazione ad aziende hard-to-abate.

Il modello fluidodinamico adottato per la tubazione è un modello isotermico monodimensionale non-stazionario. Lo schema numerico utilizzato per discretizzare le equazioni derivate parziali, ossia le equazioni di continuità e l'equazione di quantità di moto, è lo schema numerico del primo ordine. Dopo aver sviluppato un modello fluidodinamico in condizioni dinamiche, è stato applicato a una pipeline. È stata condotta una simulazione fluidodinamica ed energetica dinamica di un gasdotto, collegando le proprietà del gas agli effetti fluidodinamici. L'obiettivo è stato di fornire una migliore comprensione dei fenomeni transitori, collegando le variabili fluidodinamiche locali e le proprietà chimiche della miscela a fluidodinamica locale e le proprietà chimiche della miscela a parametri come ad esempio il linepack. È stata svolta una analisi di una condotta. Data una specifica composizione di Gas Naturale sono considerate diverse percentuali di idrogeno per coprire la stessa domanda di energia.

Per quanto riguarda la creazione di modelli per analisi energetiche ed economiche della produzione dell'idrogeno, poiché la maggior parte delle ricerche esistenti si è concentrata principalmente sulla produzione di idrogeno, questo studio mira a superare questa limitazione presentando le capacità di uno strumento di simulazione modulare sviluppato per valutare potenziali scenari futuri riguardanti la produzione, lo stoccaggio e il consumo di idrogeno in condizioni difficili da abbattere applicazioni, più specificamente in settori hard-to-abate.

Avendo iniziato a sviluppare un tool denominato Multi Energy System Simulator (MESS) di tipo modulare, bottom-up, multi-node, è possibile l'analisi di soluzioni non ottimali attraverso la simulazione dei sistemi energetici. Il tool è progettato per:

- l'analisi del sistema energetico a livello urbano con risoluzione spaziale regolabile
- può essere utilizzato senza la necessità di codificare attraverso file di input leggibili dall'uomo
- può analizzare sistemi con energia multipla vettori (ad esempio, elettricità, calore e combustibili) e più giocatori
- è stato costruito come un libero e opensource

Considerando i profili di produzione e consumo di energia rinnovabile, il sistema è simulato per ogni fase temporale (oraria) per stimare il funzionamento effettivo e le prestazioni. Sono stati implementati modelli fisici dettagliati per l'elettrolisi (PEM), compressione (meccanica) e stoccaggio (cilindri). Si può prevedere con precisione il comportamento di numerose configurazioni di impianti di produzione di idrogeno su periodi di tempo prolungati. Gli indicatori tecno-economici chiave considerati in questo studio sono il LCOH [€/kgH<sub>2</sub>] e l'intensità dei gas a effetto serra [kgCO<sub>2</sub>/kgH<sub>2</sub>] dell'idrogeno prodotto.

Usando questo programma sono state svolte simulazioni su alcuni casi applicati all'inizio ad aziende hard-to-abate. Queste simulazioni hanno portato ad alcune pubblicazioni.

### **LA 2.32 - Studi di sostenibilità ambientale e socioeconomica [USI]**

Si è proceduto alla compilazione del file di raccolta dati per costruire l'inventario da utilizzare per lo studio LCA. In più, sono stati valutati i costi legati al processo di elettrolizzazione e i costi di produzione e distribuzione dell'idrogeno.

### **LA 2.33 - Mappatura e censimento di caratteristiche di reti di trasporto e distribuzione del gas e analisi della compatibilità dei materiali con l'uso di miscele idrogeno-metano [UNA1]**

Sono stati individuati i materiali delle condotte operanti ad alte pressioni.

La rete di distribuzione nazionale lavora in un ampio intervallo di pressione, una volta individuati e caratterizzati i materiali delle condotte operanti a basse e medie pressioni si è passato alla caratterizzazione di quelli operanti ad alte pressioni, con pressioni operative (OP) comprese nell'intervallo  $12 < OP \leq 75$  bar. Le condotte individuate e caratterizzate sono tubi PSL 2 Grado L360N con estremità lisce e rivestimento esterno di PE, conformi alla norma UNI EN ISO 3183. Le caratteristiche metallurgiche devono essere le seguenti:

- Acciaio di Grado L360N;
- Carico unitario di snervamento  $R_{t0,5 \text{ min.}} = 360$  Mpa;
- Presenza di un rivestimento esterno di polietilene a triplo strato conforme alla norma UNI 9099.

In alternativa per  $12 < OP \leq 24$  bar è ammesso l'utilizzo di tubi di acciaio PSL 2 Grado L245N. con le seguenti caratteristiche metallurgiche:

- Acciaio Grado L245N;
- Carico unitario di snervamento  $R_{t0,5 \text{ min.}} = 245 \text{ Mpa.}$

### **LA 2.34 - Analisi della fattibilità per l'immissione di idrogeno in reti di distribuzione gas naturale in aree urbane (Caso studio) [UPA]**

È stato avviato il processo di acquisizione dei dati ed informazioni provenienti dal DSO. Si sono affrontati problemi legati al formato spaziale e temporale al loro allineamento/omogeneizzazione rispetto alle elaborazioni da svolgere. È stato condotto un accurato studio sugli strumenti di simulazione di reti gas con caratteristiche compatibili all'uso di miscele GN/H<sub>2</sub>. Si è impostato un test di modellizzazione di un ramo di rete con geometria semplice e numero di utenti ridotto.

### **LA 2.35: Studio della produzione di idrogeno verde da immettere nella rete gas esistente in funzione di possibili scenari nazionali [UPM]**

L'attività di ricerca è proseguita nella implementazione del codice di simulazione/ottimizzazione. In particolare, l'attività di ricerca si è concentrata sull'individuazione della taglia ottimale di ottimizzatori da installare in ciascuna zona di mercato. Il semestre si è concluso con le prime simulazioni.

### **LA 2.36 - Trasporto e stoccaggio dell'idrogeno puro e in miscela: aspetti di sicurezza e normativa per l'immissione in rete [RSE]**

*Sicurezza.* Indagine bibliografica per la stesura dello stato dell'arte sulla sicurezza del trasporto in rete dell'idrogeno puro o in miscela con GN. Analisi dei primi risultati delle simulazioni CFD relative rilascio, dispersione e combustione di una miscela H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>S da deposito sotterraneo.

*Normativa.* Presi contatti con alcuni stakeholder nazionali al fine di presentare i risultati del questionario e avviare la seconda fase del progetto sulle sperimentazioni in corso anche in riferimento agli obiettivi del PNIEC.

### **LA 2.38 - Stoccaggio geologico dell'idrogeno puro e in miscela: protocolli sperimentali, definizione casi studio e benchmark, impostazione del database [RSE]**

*Laboratorio idrogeno.* Sono state avviate le prove di iniezione di idrogeno sui campioni di sale e sabbia c/o Politecnico di Milano.

*Studi modellistici.* Avviata la simulazione di casi sintetici.

*Realizzazione del database.* E' stato avviato il popolamento del database con i primi dati.

### **LA 3.1 - Celle a combustibile sustainable by design: Design di piatto e stampa 3d [CNR]**

Alla luce di quanto stabilito nel semestre precedente e con il bagaglio d'esperienza acquisito nei tentativi di stampa (pur se non andati a buon fine) sono state progettate due nuove geometrie di piatto, adatte alla stampa in orizzontale, che tengono conto delle limitazioni dovute al massimo angolo di stampa utilizzabile senza che siano necessari sostegni (45°). In considerazione di questi vincoli sono stati ridisegnati i canali di processo e i percorsi di raffreddamento, adottando sezioni romboidali o a goccia.

### **LA 3.2 - Celle a combustibile sustainable by design: Prototipo di stack con piatti di stampa 3D, manifattura e test [CNR]**

È stata avviata la progettazione esecutiva dello stack in tutte le sue componenti. In considerazione del fatto che non è stato possibile portare a termine, nei 18 mesi previsti, la produzione dei piatti di stampa

3D si è proceduto al dimensionamento di piatti in grafite di tipo standard (prodotti per fresatura) che consentiranno, nell'eventualità che la stampa dei piatti metallici non possa realizzarsi, di portare a termine comunque l'attività con l'automazione dell'assemblaggio dello stack stesso, come previsto dal progetto (LA 3.4).

#### **LA 3.4 - Celle a combustibile sustainable by design: definizione del layout della linea produttiva, studio tempi e costi [CNR]**

Confronto dei dispositivi commerciali di presa a vuoto, confrontando grippers a vuoto con ventose e grippers a vuoto con foam. I grippers con foam non sono risultati adatti a movimentare le parti campione dello stack. Infatti, pur riuscendo a sollevare tutte le parti, si è visto che le parti più sottili formano delle pieghe durante la presa, piuttosto che rimanere piatte a contatto con il foam. Pertanto, i sistemi di presa migliori sono risultati quelli basati su ventose. Progettazione di struttura di supporto delle ventose da collegare al sistema di generazione del vuoto.

#### **LA 3.5 - Test di EGR emulato su impianto AGATUR [ENEA]**

Sono stati condotti positivamente i primi test di EGR emulato sulla microturbina dell'impianto AGATUR, che mostrano la riduzione degli NOx emessi in seguito alla diluizione dell'aria comburente con CO2. Nell'ultimo test previsto, la macchina non si è accesa: sono stati condotti controlli sullo stato di vari dispositivi e si è infine riscontrato un danneggiamento del combustore ARI100 utilizzato.

#### **LA 3.7 - Sviluppo e realizzazione di prototipi di combustori fuel-flexible per la microturbina TURBEC T100 [ENEA]**

Terminata una prima fase di interazione con la ditta realizzatrice dei prototipi, è stato realizzato il prototipo di uno dei bruciatori del sistema a corona, relativo ad elevate concentrazioni di idrogeno. Sono stati aggiornati i sistemi di alimentazione dei gas adeguandoli alle portate necessarie per eseguire i test al banco. Al tempo stesso, sono state prospettate varie soluzioni per il riscaldamento dell'aria di alimentazione.

#### **LA 3.9 - Sviluppo di un software di analisi spazio-temporale del mescolamento e caratterizzazione di bruciatori [URM3]**

Realizzato il software di analisi wavelet, sono stati analizzati i dati provenienti da simulazioni LES di un reattore MILD alimentato ad idrogeno. I dati sono stati forniti da ENEA. I risultati hanno dimostrato le capacità della tecnica wavelet nella caratterizzazione spettrale di serie temporali costituite da un numero di dati molto inferiore rispetto a quanto si ha tipicamente dall'acquisizione sperimentale, e la superiorità, in termini di riduzione di rumorosità ed aumento di accuratezza, rispetto alla semplice trasformata di Fourier.

#### **LA 3.10 - Sviluppo di software di analisi termo-fluidodinamica per architetture GPU e CPU-MPI/GPU [URM1-DIMA]**

Sono state verificate le routine modificate nel codice HeaRT e sono state ottimizzate. Altre routine del codice HeaRT sono state analizzate per pianificare la strategia di implementazione dell'accelerazione con GPU. Al tempo stesso, sono state avviate le simulazioni LES del prototipo di bruciatore per elevati contenuti di idrogeno (sistema a corona) sviluppato nella LA3.6 e realizzato nella LA3.7.

### **LA 3.11 - Effetto dell'idrogeno in miscela con gas naturale su componenti e impianti alimentati a gas: caratterizzazioni iniziali e primi test sperimentali [RSE]**

Prove di caratterizzazione a miscela costante del motore cogenerativo ASJA. Avvio dell'attività di studio finalizzata alle future sperimentazioni nei laboratori RSE.

### **LA 4.1 - Disseminazione e comunicazione dei risultati [CNR]**

Promozione e divulgazione dei risultati conseguiti, aggiornamento continuo delle pagine web dedicate sul sito del CNR-DIITET, la partecipazione al comitato di redazione di Res Magazine, organizzazione e partecipazione ai Workshop di progetto.

Workshop a Milano presso RSE 14/12/2023

Presentazione: "An innovative tandem photoelectrochemical cell" FEMS EUROMAT 2023 03/07 SETTEMBRE 2023 FRANCOFORTE SUL MENO (GERMANIA)

Dimostrazione del caso applicativo semplificato, basato su un kit MECCANO, durante gli eventi di celebrazione del centenario CNR organizzati dall'Area della Ricerca di Palermo (9-13 ottobre 2023).

Presentazione di un contributo intitolato: "Digital Twin Enabled Framework for Industrial Human-Robot Collaboration", al workshop "BUILDing a Digital Twin: requirements, methods, and applications (BUILD-IT)", tenutosi a Roma (19-20 ottobre 2023).

### **LA 4.2 - Disseminazione e comunicazione dei risultati [ENEA]**

Sono state regolarmente organizzate riunioni di coordinamento tra affidatari e cobeneficiari. Si è inoltre partecipato a meeting del programma di collaborazione tecnologica IEA Hydrogen, dell'Agenzia Internazionale per l'Energia.

Nel mese di dicembre 2023, è stato svolto il secondo workshop di progetto presso le sedi RSE e CEI di Milano.

Di concerto con CSEA, si è partecipato alla Maker Faire 2023 che si è tenuta a Roma dal 20 al 22 ottobre.

È stato inoltre pubblicato il seguente articolo su rivista: "Gas Turbine Combustion Technologies for Hydrogen Blends", D. Cecere, E. Giacomazzi, A. Di Nardo, G. Calchetti, Energies, 16(19):6829 (1-29), 2023, DOI: 10.3390/en16196829. IF = 3.2

### **LA 4.3 - Disseminazione e comunicazione dei risultati [SOTACARBO]**

Le attività di comunicazione e diffusione dei risultati hanno riguardato:

- la partecipazione al VI Congresso Internazionale Sardegna "Isola dell'Energia" per approfondire le tematiche riguardanti le tecnologie per la decarbonizzazione della Sardegna (Cagliari 21-22-09.2023);
- la partecipazione al HESE - Hydrogen Energy Summit&Expo, la prima e principale iniziativa italiana dedicata alle nuove tecnologie per la produzione, il trasporto e lo stoccaggio dell'idrogeno (Bologna 11-13.10.2023);
- la partecipazione al European Maker Faire proposto da CSEA (Roma- 20-22.10.2023) con realizzazione di laboratori divulgativo-scientifici su CO<sub>2</sub>, e-fuel e idrogeno. In relazione a questo evento è stato realizzato un video divulgativo, della durata di un minuto circa, in cui si spiega in maniera molto semplice il concetto di gassificazione e di combustibili rinnovabili o e-fuels;
- la partecipazione al workshop semestrale organizzati dagli affidatari. L'incontro tecnico si è svolto presso RSE e CEI (Comitato Elettrotecnico Italia) a Milano e ha previsto la condivisione

- e la verifica degli stati di avanzamento del progetto per le varie linee di attività (13-14.12.2023);
- la pubblicazione di n° 4 articoli originali di taglio divulgativo pubblicati sul sito Sotacarbo.it:
    - La cattura diretta dall'aria di CO<sub>2</sub> (data pubblicazione: 07.07.2023);
    - Idrogeno: una molecola fraintesa (data pubblicazione: 27.07.2023);
    - La nuova direttiva europea per la decarbonizzazione del trasporto aereo (data pubblicazione: 29.09.2023);
    - La ricerca Sotacarbo in evidenza alla Maker Faire di Roma (data pubblicazione: 23.10.2023);
  - la pubblicazione di n° 10 articoli originali di taglio divulgativo sulla rivista digitale Onlynaturalenergy.com:
    - “Progressing backwards” (24.07.2023);
    - “Soil, Fungi, Agriculture and Climate Change” (24.07.2023);
    - “No Kiln in Making Soda” (24.07.2023);
    - “Big Pit Blaenavon” (24.07.2023);
    - “Liquid hydrogen, is it really worth it?” (24.07.2023);
    - “Down and Out” (13.11.2023);
    - “Biogasoline with Indirect Air Capture of CO<sub>2</sub>” (13.11.2023);
    - “Mount Lyell” (13.11.2023);
    - “Fungi can both help, combat and prevent climate change” (13.11.2023);
    - “E-fuels: yes or no” (13.11.2023);
  - Campagna radiofonica con intervista dei ricercatori Sotacarbo sulla produzione di idrogeno da rifiuti plastici e sul tema power-to-fuels;

Realizzazione e aggiornamento della sezione sul sito aziendale Sotacarbo e sui canali web dedicata al Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024, Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale, con particolare riferimento al Progetto integrato Tecnologie dell'Idrogeno.

#### **LA 4.5 - Disseminazione e comunicazione dei risultati (RSE, dal mese 19 al mese 36) [RSE]**

Le attività di disseminazione hanno visto la presentazione di: 11 memorie a congressi e convegni e l'organizzazione del 2° Workshop del progetto Integrato 1.3 Tecnologie dell'Idrogeno, tenutosi a Milano dal 13 al 14 dicembre 2023, con la partecipazione dei 3 enti affidatari, sia in presenza che da remoto.