

**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 II - 01/07/2022 – 31/12/2022**

**LA 1.1: Definizione-caratterizzazione del rifiuto agroindustriale da valorizzare energeticamente ai fini della produzione di gas di sintesi e idrogeno e test di conversione termo-chimica [CNR] usare stile "Linee di attività" [CNR]**

Le attività hanno previsto la modifica di un gassificatore a letto fluido da banco nelle sezioni di; i) alimentazione del feedstock e ii) clean-up del gas di sintesi prodotto. Sono state, quindi, condotte delle prime misure di gassificazione delle bucce di agrumi esauste a 1023K, 1bar, valori di E/Rin costante ed S/Bin variabile. I risultati hanno mostrato un aumento della selettività del processo alla specie H<sub>2</sub> all'aumentare del rapporto S/Bin, nel range  $0 < S/Bin < 1,25$  (wt/wt).

**LA 1.3: Studio analitico e selezione di oli vegetali esausti e/o soluzioni di scarto contenenti acidi grassi liberi, per la produzione di idrogeno "green" mediante processi catalitici di de-idrogenazione di substrati organici (analisi e criticità) [CNR]**

Nel corso del secondo semestre di attività, i campioni di scarti liquidi di origine vegetale reperiti sono stati oggetto di analisi di laboratorio e di caratterizzazione per determinarne composizione chimica e proprietà chimico-fisiche ai fini della loro conversione a idrogeno verde. In particolare, le misure sperimentali di laboratorio hanno riguardato: i) la determinazione del contenuto delle componenti degli oli mediante decantazione statica, filtrazione, trattamento termico analisi termo-gravimetria e calorimetria differenziata, ii) l'identificazione delle singole molecole costituenti mediante analisi gascromatografica. La caratterizzazione dei diversi campioni ha evidenziato come la composizione e le proprietà dei diversi oli siano fortemente disomogenee: i campioni di UCO presentano un elevato grado di impurità, acqua e solidi sospesi, con un contenuto di frazione lipidica variabile dal 90 al 98%, mentre il campione di Tall oil mostra un elevato contenuto in acidi resinici (50%) ed acidi grassi (30%), con un contenuto di impurità quali gli insaponificabili di circa il 20%.

**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]**

Le principali attività svolte sono:

- Sviluppo di un modello semplificato per l'analisi di dati sperimentali di letteratura relativi al processo di pirolisi di metano in bagni fusi
- Selezione delle miscele additive: Zn/Na/K//Cl e Zn/Na/K/Ca//Cl e selezione di composizioni con punto di congelamento inferiore ai 500°C
- Sintesi delle miscele di cloruri selezionate e verifica sperimentale dei punti di inizio congelamento

- Individuazione delle problematiche riguardo questo tipo di misurazioni.

#### **LA 1.7 - Produzione di idrogeno da pirolisi da biogas/biometano in bagni fusi: modellazione a supporto dello sviluppo di un sistema sperimentale su scala di laboratorio [URM1-DICMA]**

Sviluppo del modello generale a frontiera mobile di trasporto di materia, energia e quantità di moto in una singola bolla in espansione con reazione all'interfaccia liquido-gas. Sviluppo di una gerarchia di modelli semplificati fino alla proposizione di un modello completamente analitico che è stato validato su dati sperimentali di letteratura disponibili per il sistema 27%Ni-Bi. Il modello sviluppato costituisce l'elemento pivotale per l'approccio multiscala in combinazione con l'analisi CFD

#### **LA 1.11 – Sperimentazione a supporto della progettazione delle modifiche impiantistiche del gassificatore a letto fluido bollente [SOTACARBO]**

Sono stati completati i test preliminari alimentando il gassificatore con aria e, occasionalmente, anche vapore, come agenti gassificanti e con plastiche come combustibile. Tali sperimentazioni sono state propedeutiche ai successivi test programmati da UVAN con aria arricchita in ossigeno e vapore, che, tra le altre cose, permetteranno anche di valutare l'effetto del vapore come moderatore della temperatura. Inoltre, sono state effettuate le analisi di laboratorio dei campioni prelevati durante i test sperimentali e l'analisi e l'elaborazione dei dati registrati.

Successivamente, sono state individuate alcune modifiche indispensabili per poter effettuare i primi test sperimentali con aria arricchita in ossigeno:

- adeguamento del sistema di analisi syngas a causa degli elevati tenori di tar prodotti dalla gassificazione di rifiuti plastici;
- installazione di nuove strumentazioni per migliorare l'accuratezza delle misure dei dati;
- modifiche hardware e software al sistema di regolazione e controllo.

Per l'esecuzione di tali modifiche è stata avviata la fase di individuazione della componentistica e della relativa indagine di mercato con aziende specializzate.

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

È stata condotta un'analisi bibliografica sulle membrane per separazione di idrogeno basate su materiali ceramici ed è stata verificata la possibilità di realizzare membrane asimmetriche di larga area con tecniche applicabili a livello industriale come tape casting e plasma spray. Sono state analizzate le configurazioni di impianto disponibili in letteratura per la conduzione di test di permeazione e le procedure di prova adottate ed è stato predisposto un protocollo di prova e delineato uno schema preliminare di impianto.

#### **LA 1.19 - Sviluppo di materiali e componenti per processi fotoelettrochimici per la produzione di idrogeno [CNR]**

Nell'ambito dello sviluppo di una cella elementare di fotoelettrolisi (fotoanodo/elettrolita/fotocattodo) sono stati sviluppati co-catalizzatori per l'evoluzione di idrogeno e strati protettivi per limitare i fenomeni di corrosione.

#### **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]**

Prosecuzione dello studio della stabilità dell'anodo tramite rivestimento polimerico. Studio morfologico strutturale e delle prestazioni elettrochimiche dei materiali catodici e dei relativi elettrodi

a base C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> drogato, C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> accoppiato a perovskiti ibride. Progettazione della cella prototipale a finestre variabili.

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

Sono proseguite le attività di test sulla produzione di idrogeno svolte sull'elettrolizzatore alcalino da 25kWe con l'obiettivo di analizzare l'interfacciamento con la rete elettrica sia in condizioni stazionarie che in condizioni di regime dinamico.

Per quanto riguarda la sezione di metanazione nel secondo semestre, in linea con lo sviluppo atteso dell'attività si è passati alla progettazione esecutiva ed alla realizzazione dell'impianto prototipale.

#### **LA 2.2 – Analisi e modellazione del processo di metanazione biologica per applicazioni Power To Gas [URM1-DICMA]**

Durante il secondo semestre di attività è stato realizzato il Flowsheet e la simulazione allo stato stazionario in ambiente Aspen Plus di un reattore di metanazione biologica, con validazione mediante dati di letteratura.

#### **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.* Inizio della sperimentazione sul reattore 1 a pressione atmosferica e valutazione delle diverse modalità di supplemento dei nutrienti ai microorganismi.

*Elettrometanogenesi.* Continuazione dell'attività sperimentale relativa alla messa a punto di elettrodi catodici a base di multicompositi di carbone-rame e idrossiapatite, da utilizzare nei sistemi di elettrometanogenesi.

#### **LA 2.6 - Definizione di un sistema di captazione di CO<sub>2</sub> da suolo in scala da laboratorio per applicazioni Power to Gas [ENEA]**

Nel secondo semestre, per ogni sito considerato, è stato valutato il contesto geomorfologico delle aree di degassamento naturale, l'area di misura, le emissioni del flusso medio diffusivo di CO<sub>2</sub> in ton/giorno e in kg/m<sup>2</sup> giorno, le eventuali emissioni di CO<sub>2</sub> puntuali (ton/giorno) e la presenza eventuale di altri contaminanti, come H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>, e CH<sub>4</sub>.

In seguito a tali evidenze, sono state individuate due tipologie di terreno da emulare, composte da rocce sedimentarie o rocce vulcaniche.

Tali materiali verranno impiegati nella conduzione dei test di captazione della CO<sub>2</sub> in laboratorio, sia in condizioni sature che insature.

#### **LA 2.8 - Integrazione delle tecnologie di captazione e trattamento di gas da suolo e progetto di massima di un prototipo di captazione CO<sub>2</sub> per applicazioni Power to Gas [URM1-DIAEE]**

Nel secondo semestre, in via preliminare è stato definito il sito di riferimento per la captazione. Sulla base dei dati disponibili sono state determinate le specifiche per la progettazione: portata giornaliera minima e massima di CO<sub>2</sub>, quota della falda e la presenza di contaminanti, come H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>, e CH<sub>4</sub>.

Inoltre, sono state analizzate le alternative tecnologiche possibili per la captazione del gas. Per ciascuna è stata formulata una valutazione preliminare delle criticità, sviuppando altresì un dimensionamento di massima. La scelta è ricaduta su una captazione superficiale che, per quanto non

sia ottimale per un impianto pilota, è risultata essere l'unica realizzabile entro i vincoli temporali del progetto.

Parallelamente, è stato sviluppato il progetto preliminare dell'impianto di pretrattamento, definendone lo schema funzionale.

#### **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]**

Nel secondo semestre è stata definita una configurazione innovativa del sistema di alimentazione dell'elettrolizzatore in presenza di fonti energetiche rinnovabili intermittenti. Sulla base dell'analisi dello stato dell'arte e dell'analisi delle caratteristiche gestionali richieste per un corretto utilizzo dell'elettrolizzatore è stata proposta una configurazione di alimentazione diretta in DC di alimentazione dell'elettrolizzatore da fonte rinnovabile supportata da un sistema di accumulo e da un sistema di back-up da rete. La strategia gestionale proposta si basa sull'utilizzo della fonte energetica rinnovabili per l'alimentazione diretta in DC dell'elettrolizzatore e del sistema di accumulo con la possibilità di alimentazione in DC dalla rete con un sistema di conversione dedicato CA/DC a compensazione dei vincoli imposti dal sistema di accumulo e di disponibilità della risorsa. Sulla base di dati disponibili è stata sviluppata l'analisi preliminare considerando differenti scenari di utilizzo dell'elettrolizzatore su base annuale.

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

si è completata l'attività di progettazione preliminare avviata nel I semestre ed è stata avviata l'attività di modellazione numerica, che sarà di supporto alla progettazione definitiva.

Sono stati messi a punto modelli elettrochimici dei componenti chiave come l'elettrolizzatore e la cella a combustibile. Tali modelli sono stati sviluppati secondo l'approccio black-box che, attraverso l'implementazione delle curve di performance (polarizzazione), ha consentito di stimare il funzionamento di tali componenti, attraverso bilanci di massa e di energia, in tutto il loro campo operativo.

Per l'elettrolizzatore e la cella a combustibile sono stati messi a punto modelli termo-elettrochimici in ambiente Aspen Plus; in particolare, i modelli sono stati realizzati sia integrando componenti fisici, che consentono di simulare i processi termochimici/termodinamici (es. conversione dell'acqua in idrogeno e ossigeno o viceversa), sia utilizzando un Fortran Block Calculator (blocco operativo previsto in Aspen Plus) che, attraverso l'implementazione delle equazioni che definiscono l'elettrochimica dei processi, consente nel caso dell'elettrolizzatore di determinarne la produzione di idrogeno a partire da un certo flusso di corrente e nel caso della cella di determinare la corrente e la tensione (potenza elettrica prodotta) ottenute in base al consumo di idrogeno.

Per poter mettere a punto il modello del serbatoio di accumulo con idruri metallici è stata prima condotta un'analisi di letteratura sulle più idonee geometrie dei serbatoi ad idruri in riferimento alla capacità di scambio termico nelle fasi di assorbimento e desorbimento. Questo aspetto è di notevole importanza poiché influenza i tempi di riempimento (idrogeno prodotto dall'elettrolizzatore e stoccato nel sistema ad idruri) e svuotamento dei serbatoi (idrogeno inviato alla cella per produrre energia elettrica).

La geometria cilindrica è risultata la più idonea e la più utilizzata per applicazioni stazionarie perché consente di poter attuare il raffreddamento/riscaldamento del serbatoio secondo diverse modalità ossia, sia attraverso canali interni al cilindro lungo la sua direzione assiale sia esternamente ad esso. L'attività di modellazione ha poi riguardato i serbatoi ad idruri. In questo semestre, infatti, è stato messo a punto il modello 1D termodinamico del serbatoio che ha permesso di valutare le sue prestazioni energetiche sulla base di parametri macroscopici. L'analisi è stata condotta in maniera parametrica, prendendo in esame un singolo modulo (serbatoio cilindrico), variandone pertanto sia la sua geometria (raggio), che le caratteristiche del flusso esterno impiegato per il condizionamento.

#### **LA 2.15 - Modellistica di componenti per la produzione ed il trattamento di idrogeno elettrolitico basato sulla tecnologia alcalina [UCBM]**

Sulla base della ricerca bibliografica svolta nel primo semestre, è stato modellato uno stack elettrolitico alcalino reale ErreDue da 25 kW presente in ENEA Casaccia sulla base di una curva di polarizzazione ottenuta da dati sperimentali. Lo stack in questione presenta una soluzione elettrolitica al 30% di NaOH. Il software utilizzato è Excel così da essere facilmente fruibile anche a livello industriale. Il modello dello stack è stato poi integrato in una simulazione in condizioni stazionarie dell'intero Balance of Plant (BoP) reale presente in ENEA Casaccia. Il software utilizzato è stato Aspen Plus V11 integrato con il foglio di calcolo Excel per lo stack così da essere facilmente fruibile. Si è ottenuta una simulazione molto fedele produzione elettrolitica realtà, validata in condizioni nominali (elettrolizzatore da 25 kW con produzione di idrogeno di 350 g/h (4 Nm<sup>3</sup>/h) a valle di tutti i trattamenti nel mio BoP.

#### **LA 2.17 - Definizione e sviluppo del modello in excel e, per i componenti elettrolizzatore, stoccaggio idrogeno e suo uso nella mobilità, del modello in matlab/simulink per lo studio parametrico della variazione del costo dei gas rinnovabili nell'applicazione Power to Gas [UMAR]**

È stata condotta l'individuazione dei casi studio relativi alla linea di attività in esame. Si sono definiti quattro scenari di utilizzo finale del gas rinnovabile prodotto, che includono mobilità, applicazioni industriali, miscelazione di gas rinnovabili nella rete del gas naturale e produzione di biometano tramite metanazione della CO<sub>2</sub> mediante l'upgrade del biogas. Ogni scenario include la valutazione tecnico-economica di diverse tecnologie per la produzione di idrogeno a bassa temperatura, quali quella alcalina, polimerica ed anionica. Infine, sono stati valutati due differenti tipologie di approvvigionamento energetico ("on-grid" con collegamento in rete e "off-grid" o ad isola).

#### **LA.2.19 Metodologie e strumenti volti alla valutazione e mitigazione del rischio di sistemi di accumulo e trasporto di idrogeno e blend [URM1-DICMA]**

Lo studio della letteratura sull'applicazione dell'analisi di rischio a sistemi di stoccaggio di idrogeno ad alta pressione svolto nel primo semestre ha messo in evidenza i principali fattori che influenzano il rischio di tali sistemi. In particolare, i risultati hanno mostrato che la capacità e la pressione di stoccaggio hanno la maggiore influenza sul rischio di un sistema di stoccaggio di idrogeno gassoso ad alta pressione. Viceversa, l'effetto della portata massica e della temperatura sono meno significativi.

Per quanto riguarda i sistemi di stoccaggio di idrogeno liquido, lo studio della letteratura ha permesso di identificare gli scenari di rischio ad essi legati nonché all'identificazione e alla caratterizzazione delle principali modalità di guasto.

#### **LA 2.21 - xxx [CNR]**

Nel secondo semestre, l'attività di linea si è concentrata sulla realizzazione di un nuovo allestimento sperimentale per il testing catalitico dei sistemi preparati mediante robocasting, con un modello del reattore in grado di alloggiare i sistemi strutturati. Per la valutazione del comportamento catalitico, i sistemi preparati sono stati attivati in situ a 300 °C in flusso idrogeno per 1 h e testati in un reattore a letto fisso nella sintesi diretta del DME alla pressione di 30 bar, in un intervallo di temperatura compreso tra 200 e 260 °C, alimentando una miscela di CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> con un rapporto volumetrico di 3/9/1 ad una velocità spaziale di 1000 NL/kgcat/h. La miscela di reazione è stata analizzata mediante un GC dotato di un sistema di separazione a tre colonne collegato a un rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID) e a un rivelatore a conducibilità termica (TCD), rispettivamente. I risultati catalitici ottenuti sono stati espressi in termini di conversione di CO<sub>2</sub>, resa a DME e selettività ai prodotti di reazione.

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

Sono proseguiti gli interventi di ottimizzazione del prototipo sperimentale Power to fuels (P2G/L), che hanno riguardato la realizzazione di apposite pannellature laterali (sia fisse che scorrevoli) e coperture in lamiera zincata a tutela dell'intero impianto e per salvaguardare il corretto funzionamento di tutte le sue apparecchiature dagli agenti atmosferici. Nell'intento di ottimizzare alcune sezioni che – dai test preliminari effettuati in fase di commissioning – sono risultate particolarmente critiche, e l'integrazione di alcuni componenti che rendano l'impianto ancora più flessibile e completamente indipendente, si è proceduto con la progettazione di massima di un nuovo sistema di riscaldamento dell'olio diatermico. L'intento è stato quello di potenziare le prestazioni del sistema per garantire il raggiungimento di temperature operative più elevate e in tempi più rapidi e in generale per un accurato controllo della temperatura dei processi di idrogenazione catalitica caratterizzati da reazioni particolarmente esotermiche. Un'ulteriore ottimizzazione apportata è stata quella del potenziamento del sistema di preriscaldamento delle linee gas in ingresso ai reattori.

#### **LA 2.26 - xxx [CNR]**

Sono stati elaborati gli schemi preliminari (gestione gas, segnali/sensori, connessioni elettromeccaniche) e le procedure di avvio, test / gestione e spegnimento in sicurezza del sistema. È stato definito un P&ID di massima e lo schema logico della macchina a stati del sistema.

#### **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 il secondo semestre, sono state delineate le metodologie di test e identificata la strumentazione necessaria per misurare le performance dei dispositivi di misurazione (metering) in presenza di miscele di idrogeno e gas naturale (NG) con concentrazioni del 2%, 5% e 10% in volume di idrogeno. Inoltre, sono stati stabiliti alcuni requisiti fondamentali relativi agli strumenti e alle misure di concentrazione, tra cui: selettività, sensibilità, stabilità e accuratezza.

In parallelo a queste attività, nel medesimo periodo è stata elaborata la campagna di valutazione dei rischi associati all'esecuzione di prove antincendio e di esplosione. I vasti spazi disponibili all'interno

del Campo Prove di Arezzo, insieme alla sua struttura specifica, offrono un ambiente sicuro per condurre tali prove, garantendo la sicurezza degli operatori e dei tecnici coinvolti nelle sperimentazioni sul campo.

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

Sulla base delle norme tecniche armonizzate sono state definite le modalità operative di prova (i.e., tre cicli ripetuti con prove a portata minima, massima, transizione, 40% e 70% della massima) per la valutazione dell'accuratezza dei misuratori domestici di gas naturale con miscele di idrogeno fino al 23%vol. È stata individuata la composizione del gas naturale di riferimento (i.e., 91% CH<sub>4</sub>, 5% C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, 4% N<sub>2</sub>, famiglia H EN 437) e le percentuali di iniezione di idrogeno (i.e., 2, 5, 10 e 23 %vol). Sono state individuate le tipologie di contatore da sottoporre a prova (ovvero a membrana, ultrasuoni e massici termici). Si è inoltre scelto di provare sia contatori nuovi di fabbrica che rimossi dal servizio in modo da valutare possibili effetti dovuti all'usura. Con la collaborazione di una primaria società di distribuzione, sono stati campionati i misuratori da sottoporre a prova (i.e., cinque nuovi di fabbrica e tre rimossi dalla rete). Non avendo ancora a disposizione idonei banchi di prova, le misure sperimentali sono state effettuate presso il laboratorio accreditato del Dipartimento Flow Metrology dell'Oil and Gas Institute di Varsavia (Polonia), utilizzando il metodo volumetrico standing start-stop.

### **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 2022 sono state condotte attività inerenti alla Modellazione delle reti di distribuzione del gas naturale con iniezione di idrogeno. In particolare, sono stati condotti alcuni test del modello sviluppato nel semestre precedente.

È stata simulata una rete di distribuzione urbana, magliata e composta da più di 2000 elementi con media e bassa pressione. È eseguita una simulazione in regime stazionario della rete per un giorno invernale, nel caso del gas naturale puro e del gas naturale miscelato con l'idrogeno.

Questo lavoro ha portato a una pubblicazione su rivista.

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

L'attività si è concentrata sull'analisi delle linee guida proposte per lo sviluppo di analisi LCA di sistemi per la produzione di idrogeno. Sulla base dell'armonizzazione delle indicazioni metodologiche e della meta-analisi condotta nel primo periodo di attività, si è proceduto con la definizione del modello LCA (confini di sistema, unità funzionale, qualità dei dati, criteri di cut-off, ecc.) e dei parametri critici per lo sviluppo di inventari del ciclo di vita rappresentativi dei sistemi in analisi

### **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 a basse pressioni. Successivamente all'emissione della norma UNI EN ISO 3183 "Tubi di acciaio per i sistemi di trasporto per mezzo di condotte", si è resa necessaria, da parte di ITALGAS, la pubblicazione di una Specifica Tecnica di Valutazione e di Fornitura e di Collaudo (S.T.V.F.C) 15AA300\_1 che definisce i requisiti minimi dei tubi saldati di acciaio non legato. Tale specifica è stata quindi presa a riferimento per l'individuazione dei materiali costituenti l'attuale rete di distribuzione.

La rete di distribuzione nazionale lavora in un ampio range di pressione, si è quindi iniziata l'individuazione dei materiali delle condotte operanti a basse pressioni  $0 < OP \leq 0,04$  bar. Le condotte individuate e caratterizzate sono tubi gas commerciale saldato, con estremità filettate, zincato conforme alla norma UNI EN 10255. Le caratteristiche metallurgiche sono le seguenti:

- Acciaio Grado S195T e designazione numerica 1.0026;
- Analisi di colata conforme alle prescrizioni indicate nella Tabella 1 della norma UNI EN 10255;
- Carico unitario di snervamento di  $R_{t0,5 \text{ min.}} = 195$  Mpa

Queste tubazioni possono essere adottate anche per il trasporto a pressioni fino a 0,5 bar.

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

*Sicurezza.* Analisi critica delle linee guida italiane per la valutazione di sicurezza degli stoccaggi sotterranei di gas naturale e loro possibile applicazione al caso dello stoccaggio geologico dell'idrogeno. Attivazione del contratto con UniNa Federico II e impostazione delle simulazioni CFD per lo studio dei fenomeni di rilascio, dispersione e combustione dell'idrogeno da depositi sotterranei. Esecuzione di alcuni test sperimentali di combustione e confronto fra risultati sperimentali e simulazioni con strumenti di calcolo RSE.

*Normativa.* Invio del questionario sullo stato dei lavori della filiera idrogeno a livello europeo. Raccolta dei riscontri da parte degli intervistati.

### **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 stati recuperati e trattati i campioni di roccia sabbiosa e salgemma e sono state svolte le analisi SEM, XRD e BET a monte dell'iniezione di H<sub>2</sub>.

*Studi modellistici.* Sono proseguite le verifiche sui possibili adeguamenti da apportare al codice GeoSIAM.

*Realizzazione del database.* Sono state effettuate le prime indagini esplorative per la migliore strutturazione del nuovo database.

### **LA 3.1 - xxx [CNR]**

L'attività ha riguardato il design esecutivo della prima versione del piatto bipolare da produrre per manifattura additiva (si è scelto, in prima battuta l'utilizzo del Titanio). Si è optato per un percorso gas di tipo "Pin – Type" con densità dei pin variabile, più elevata nelle zone d'ingresso/uscita gas, meno nella zona centrale dell'area attiva, ciò per limitare al massimo l'insorgenza di percorsi preferenziali dei fluidi di processo. Riguardo al raffreddamento si è optato per una soluzione a canali paralleli, integrata all'interno del pezzo, da realizzarsi come un unico blocco. La geometria adottata, pur rifacendosi a tipologie note, è realizzabile solo con processi di stampa additiva.

### **LA 3.3 - Celle a combustibile sustainable by design: analisi preliminare della linea produttiva [CNR]**

Sviluppo di un ambiente virtuale per la simulazione del processo di assemblaggio, utilizzando il software CoppeliaSim. Le simulazioni sono state basate sulla geometria dei componenti di stack esistenti presso l'Istituto di Tecnologie Avanzate per l'Energia (CNR-ITAE). ITAE-CNR ha

condiviso con ICAR-CNR un set di modelli digitali di uno stack PEFC con piastra bipolare di 303mm x 134mm, che sono stati usati per generare le simulazioni dell'assemblaggio robotico.

Concettualizzazione di un framework flessibile, adatto a supportare sia la tradizionale automazione di tutte le fasi del processo di assemblaggio, sia la collaborazione uomo-robot. Fondamentalmente, tale framework si basa su una rappresentazione digitale del sistema del mondo reale (digital-twin), che consente l'implementazione di molteplici paradigmi dell'Industria 5.0. Un computer esegue un pacchetto software modulare su misura che comprende il modulo per la comunicazione e il controllo in tempo reale del cobot, il modulo per il controllo della pinza robotica, l'elaborazione dei dati provenienti dai sensori, gli algoritmi di intelligenza artificiale e l'interfaccia utente grafica (GUI).

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

Sono proseguite le verifiche e gli aggiornamenti del sistema di controllo del sistema di alimentazione della CO<sub>2</sub> da immettere all'aspirazione del compressore della microturbina dell'impianto AGATUR. Sono state avviate le pratiche per gli approvvigionamenti di CO<sub>2</sub>.

### **LA 3.6: Definizione preliminare di una strategia di combustione fuel-flexible per microturbina [ENEA]**

A partire dall'esame delle tecnologie di combustione più promettenti per la combustione flessibile di miscele ad elevato contenuto di idrogeno, è stata definita una prima geometria di un nuovo bruciatore fuel-flexible per turbine a gas, effettuando diverse simulazioni numeriche RANS. In particolare, il bruciatore ha due sistemi indipendenti: uno centrale per contenuti di H<sub>2</sub> fino al 50% in volume (limite effettivo da verificare), e un altro, costituito da più bruciatori disposti su una corona circolare coassiale al primo (detto sistema a corona), per contenuti superiori. Al tempo stesso, è stata individuata la ditta per la realizzazione dei prototipi nella successiva 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]**

Messa a punto dell'impianto completo e del sistema di controllo e caratterizzazione sperimentale delle potenzialità (incertezza, tipologie prove) finalizzate alla sperimentazione.

### **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 Workshop di progetto.

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

Le attività si sono principalmente concentrate sull'organizzazione di 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.

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

Nel corso del secondo semestre del 2022 le attività di comunicazione e diffusione dei risultati hanno riguardato:

- la partecipazione virtuale al Pittsburgh Coal Conference per la presentazione dei risultati dell'analisi tecnico-economica sulle tecnologie power-to-fuels fatta in collaborazione con l'Università di Cagliari: *"Renewable Methanol Production from Carbon Dioxide and Green Hydrogen: A Techno-Economic Assessment"* (19-22.09.2022).

- la pubblicazione di n° 3 articoli originali di taglio divulgativo pubblicati sul sito Sotacarbo.it:
  - Report ICSC-Sotacarbo: usi e nuovi mercati per il metanolo (sintesi in italiano del report scritto in collaborazione tra ICSC e Sotacarbo) (data di pubblicazione: 31.08.2022);
  - Giovani ricercatori crescono grazie alla Settimana della Scienza (data di pubblicazione: 05.10.2022);
  - Il costo delle rinnovabili frena il metanolo verde: pubblicati i risultati di Sotacarbo (PTR2019-2021) (data di pubblicazione: 07.12.2022).
- la pubblicazione di n° 11 articoli originali di taglio divulgativo sulla rivista digitale Onlynaturalenergy.com:
  - “Supreme Coup” (13.07.2022);
  - “Direct Heating and Cooling using windmills” (13.07.2022);
  - “Is philanthropy (really) good for climate and democracy?” (13.07.2022);
  - “Shoreham” di One Team (13.07.2022);
  - “The not-so-distant future of energy storage” (27.10.2022);
  - “The Law of the Many” (27.10.2022);
  - “Climate change is global, the pain is private” (27.10.2022);
  - “Less fuel in harvesting maize” (27.10.2022);
  - “Zollverein” (27.10.2022);
  - “Putting an island on the world map of hydrogen” (27.10.2022);
  - “CCUS has still a role in the energy transition” (27.10.2022).

#### **LA 4.4 - Disseminazione e comunicazione dei risultati (RSE, dal mese 1 al mese 18) [RSE]**

Le attività di disseminazione hanno visto la presentazione di: 3 pubblicazioni su riviste, 4 memorie a congressi e convegni e 4 presentazioni in occasione di iniziative didattiche e culturali. Ha visto, altresì, la partecipazione ai lavori del tavolo IEA TCP-42 Underground Hydrogen Storage.