Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Ministero della Transizione Ecologica

Comunicazione e diffusione dei risultati sulle attività ENEA sul P2G/L nell'ambito del WP3 – III Anno

E. Giacomazzi

Report RdS/PTR(2021)/295

COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI SULLE ATTIVITÀ ENEA SUL P2G/L NELL'AMBITO DEL WP3 – III ANNO

E. Giacomazzi – TERIN-PSU-IPSE, ENEA

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità
Obiettivo: *Tecnologie*
Progetto: Tema 1.2 "Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti"
Work package: WP3 "Power-to-Gas"
Linea di attività: LA3.36 Comunicazione, diffusione dei risultati e coordinamento sulle attività ENEA su P2G/L e integrazione con sistemi generazione elettrica innovativi - III Anno
Responsabile del Progetto: Giulia Monteleone ENEA
Responsabile del Work Package: Eugenio Giacomazzi ENEA

Indice

SOMMARIO 4
1 SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI R&S SVOLTE NELLA PRIMA ANNUALITÀ 4
2 PRODUZIONE DI ARTICOLI SCIENTIFICI, MEMORIE E POSTER A CONGRESSI E WORKSHOP 7
3 PARTECIPAZIONE A LAVORI DI ORGANIZZAZIONI NAZIONALI ED INTERNAZIONALI 12
4 ACCORDI DI COLABORAZIONE 13

Sommario

Il documento riporta, sinteticamente, le azioni svolte da ENEA nella terza annualità nel periodo 01.01.2021-31.12.2021, relative al coordinamento delle attività nell'ambito del Work Package 3, Power to Gas, alla diffusione dei risultati delle attività di ricerca svolte sulle tematiche di interesse del progetto, nonché alle azioni rivolte a favorire il trasferimento tecnologico verso l'industria nazionale che opera nel settore di generazione di energia elettrica e trasporto e distribuzione gas. Tali azioni hanno avuto come risultato: la pubblicazione di articoli e documenti tecnici, la partecipazione a congressi con presentazione di memorie e poster, la stipula di accordi di collaborazione con alcuni dei maggiori stakeholder italiani nei settori che possono essere interessati all'applicazione dei risultati delle attività di R&S ENEA, la partecipazione a riunioni ed eventi di organismi internazionali nel campo dell'energia.

1 Sintesi delle attività di R&S svolte nella III annualità da ENEA

Le attività ENEA nel WP3- Power To Gas in questa terza annualità sono state rivolte al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

LA 3.3 - Power-to-Gas: analisi economica-normativa e confronto con altre tecnologie di accumulo
ENEA [1/1/2021-31/12/2021]
Il costo specifico del gas prodotto con la tecnologia Power To Gas (PtG) è al momento ancora elevato poiché devono ancora essere affrontate barriere di tipo tecnologico ed economico. Con l'obiettivo di individuare possibili strategie di riduzione di queste barriere è stata svolta una valutazione economica, andando a valutare il costo specifico di produzione del prodotto finale LCOX. Sono state considerate più configurazioni impiantistiche: un impianto PtG che alimenta con un blending al 20%H2/GN una caldaia industriale da 10 MW termici; un impianto PtM che produce metano sintetico da H2 elettrolitico e da CO2 proveniente dall'upgrading del biogas a bioCH4.
In entrambi i casi è stato considerato uno stoccaggio intermedio per consentire l'operabilità in continuo durante tutto l'anno ed è stato assunto nel caso base un esercizio dell'elettrolizzatore pari a 2000 ore/anno. Relativamente alla composizione del costo di investimento, l'elettrolizzatore è il componente che pesa per oltre il 50 %. I risultati indicano valori di LCOH, nel caso dell'applicazione in caldaia, variabili tra 5 €/kgH2 a 14 €/KgH2 in funzione del costo di acquisto dell'energia elettrica (con valori tra 50 €/MWh-150 €/MWh) ed in funzione del load factor. Incrementando le ore di esercizio dell'elettrolizzatore, i valori dell'LCOH diminuiscono e varia la sua composizione nelle voci principali dove il peso dell'acquisto dell'elettricità assume valori maggiori. Nel caso dell'impianto PtM i costi ottenuti variano anche essi tra 180 €/MWhSNG e i 400 €/MWhSNG in funzione del costo dell'energia elettrica e del numero di ore annuali di esercizio dell'elettrolizzatore. Un'analisi di sensitività sui principali parametri che compongono l'LCOX ha indica il costo dell'energia elettrica come il parametro di maggiore influenza. Il confronto con altre tecnologie di accumulo energetico indica costi per kWh maggiori per le tecnologie PtG rispetto ai sistemi basati sul pompaggio idroelettrico.
I dettagli e risultati dell'attività sono riportati nel report:

- "VALUTAZIONE ECONOMICA DELLA TECNOLOGIA PTG NEL CONTESTO ITALIANO E CONFRONTO CON ALTRE POSSIBILI TECNOLOGIE DI ACCUMULO ENERGETICO", C. Bassano, P. Deiana

LA 3.5 - Power-to-Gas: completamento del prototipo P2G con metanazione catalitica ed elettrolizzatore, e relativa sperimentazione
ENEA [1/1/2021-31/12/2021]
Si è dato avvio alla procedura di acquisizione di un sistema Power to Gas costituito da un sistema di produzione di idrogeno basato sull'elettrolisi dell'acqua e da un secondo sistema che alloggia la sezione di idrogenazione catalitica dell'anidride carbonica in metano sintetico. L'insieme è alloggiato all'interno di due container metallici ISO20, facilmente movimentabili e adatti al trasporto su diverse tipologie di mezzi, con

dimensioni a terra approssimative pari a 6 x 2,4 metri cadauno. L'elettrolizzatore in un impianto Power to Gas è un componente essenziale sia per il suo interfacciamento con la rete elettrica che per la funzione di produzione dell'idrogeno. Il metanatore a valle consente poi la trasformazione dei reagenti idrogeno e anidride carbonica in metano.
Le attività hanno riguardato il completamento dell'impianto prototipo Power to Gas con l'acquisizione, il collaudo e la sperimentazione del sistema di produzione idrogeno basato sull'elettrolizzatore presso il C.R. ENEA di Casaccia. Per quanto riguarda la sezione di metanazione catalitica si è provveduto alla predisposizione ed all'espletamento della gara d'appalto per la progettazione e realizzazione del sistema. È stata altresì effettuata l'attività di analisi del rischio, l'inquadramento territoriale e le necessarie autorizzazioni all'installazione. È stata effettuata la progettazione definitiva ed esecutiva con il design delle apparecchiature e la verifica della loro integrazione dal punto di vista meccanico, elettrico, strumentale e di processo. Sono stati effettuati dei test sperimentali presso il costruttore con l'obiettivo di validare la reattività del catalizzatore e la progettazione eseguita. A causa della situazione legata alla crisi pandemica e al conseguente ritardo nelle forniture di componentistica elettronica non è stato possibile finalizzare la consegna della sezione prototipale e la sperimentazione del processo integrato.
I dettagli e risultati dell'attività sono riportati nel report:

- "POWER-TO-GAS: COMPLETAMENTO DEL PROTOTIPO P2G CON METANAZIONE CATALITICA ED ELETTROLIZZATORE", P. Deiana, C. Bassano

LA 3.11 - Power-to-Gas: metanazione biologica in-situ – ottimizzazione del processo
ENEA [1/1/2021-31/12/2021]
Nell'ambito di questa linea di attività sono proseguite le sperimentazioni sul processo di biometanazione in situ nel reattore GSTR. Nella precedente annualità, alla velocità di iniezione dell'H2 di 1.47 L Lr-1 d-1 e alla velocità di ricircolo gassoso di 235 L Lr-1 d-1 si otteneva un incremento della velocità di produzione di CH4 da H2 e della sua concentrazione nel biogas ai valori di 0.28 LCH4 Lr-1 d-1 e di 75%, rispettivamente. La modellizzazione del processo confermava il ruolo del ricircolo gassoso nell'aumento della solubilità dell'H2 nella fase liquida ed i risultati delle analisi microbiologiche confermavano il ruolo dei corpi di riempimento nell'arricchire e selezionare alcune comunità microbiche, sia dei Bacteria che degli Archaea.
L'attività è proseguita con due differenti obiettivi:
1. Replicabilità dei risultati di processo ottenuti, Questa fase si è resa necessaria in quanto tutta la sperimentazione è stata svolta su un volume di lavoro di 62L, una scala di lavoro elevata rispetto a quella presente in bibliografia, ma che non ha consentito di effettuare contestualmente la replicabilità dei risultati. L'attività è stata quindi condotta in termofilia (55°C), con la scotta come substrato e con lo stesso incremento della velocità di ricircolo gassoso.
2. Ottimizzazione del processo di biometanazione in situ finalizzata ad un incremento della concentrazione di metano nel biogas. I risultati di ottimizzazione del processo di biometanazione sono stati ottenuti con l'utilizzo del ricircolo gassoso ad una velocità di 235 L Lr-1 d-1, un parametro che incide sull'efficienza energetica di tutto il processo. Quindi, in questa fase sperimentale, è stata utilizzata una velocità costante e ridotta di ricircolo gassoso (176 L Lr-1) e l'ottimizzazione del processo è stata effettuata riducendo il carico organico e la conseguente produzione di CO2 dalla fase AD.
Le comunità microbiche coinvolte nelle diverse fasi della sperimentazione sono state analizzate tramite tecnica NGS.
I dettagli e risultati dell'attività sono riportati nel report:

- "UPGRADING BIOLOGICO IN SITU DEL BIOGAS IN UN REATTORE CSTR IBRIDO: LIMITI E PROSPETTIVE", A. Signorini, S. Rosa

LA 3.14 - Power-to-Gas/Liquid: test sperimentali sulla dinamica del processo di sintesi diretta di DME
ENEA [1/1/2021-31/12/2021]

Questo rapporto finale riporta i risultati del lavoro svolto nell'ambito del progetto riportato in oggetto. In particolare, il lavoro sperimentale condotto presso il Centro Ricerche ENEA Casaccia ha riguardato l'acquisizione di un impianto sperimentale per la sintesi diretta di metanolo e dimetiletere (DME) da miscele H2 e CO2 ad alta pressione. Dopo il collaudo e alcuni interventi migliorativi dell'impianto, sono state effettuate inizialmente alcune prove con il catalizzatore commerciale di riferimento per la sintesi diretta del metanolo a base di ossido di rame e zinco, in quanto rappresenta il collo di bottiglia dell'intero processo di produzione del DME. I risultati ottenuti mostrano che l'impianto acquisito ha le stesse performance di quelli ottenuti su scala di laboratorio presenti in letteratura con rese di conversione intorno al 28% a 240 °C e a 40 bar con una miscela di H2 e CO2 di composizione 75:25, corrispondente al rapporto stechiometrico della reazione di formazione del metanolo H2/CO2 = 3/1 e flusso totale uguale a 1000 sccm. Inoltre, nel presente report saranno riportati anche i risultati sperimentali introduttivi sulla sintesi diretta del DME con i catalizzatori innovativi a base solfonica sviluppati e studiati nelle precedenti annualità per la reazione di disidratazione del metanolo a DME. I primi risultati sperimentali sono stati molto incoraggianti e confermano l'alta efficienza dei materiali acidi con matrice solfonica impiegati nel secondo processo della reazione.

I dettagli e risultati dell'attività sono riportati nel report:

- "SINTESI DIRETTA DI METANOLO E DIMETILETERE DA MISCELE H2 E CO2", V. Barbarossa, R. Viscardi

LA 3.27 - Integrazione P2G/sistemi generazione elettrica innovativi: fuel-flexibility – studi sperimentali e numerici AGATUR/ROMULUS

ENEA [1/1/2021-31/12/2021]

A valle dell'installazione della rampa H2 nell'impianto AGATUR, la microturbina TURBEC T100 da 100 kW elettrici con il combustore sperimentale ARI 100 T2 di ANSALDO è stata testata in regime di fuel-flexibility, cioè alimentata con una miscela di gas naturale e idrogeno di composizione variabile nel tempo. Questa modalità simula la variabilità del contenuto di idrogeno nella rete gas associata alle fluttuazioni combinate della produzione di idrogeno green via elettrolisi e della domanda giornaliera di energia elettrica. Si è giunti all'esercizio stabile della microturbina con una miscela fino al 45% in vol. di H2, ben oltre il previsto 11%.

Sono state effettuate simulazioni numeriche del combustore ARI 100 T2 con lo scopo di verificarne il comportamento al variare del tenore di H2 (0-20% vol.) nella miscela combustibile CH4/H2 in condizioni di alimentazione statiche. I risultati hanno evidenziato differenze quasi trascurabili nei campi di temperatura tra i casi a vario tenore di H2, ma una maggiore reattività locale sulla base dei profili di OH e rilascio di calore. L'efficienza di combustione incrementa con il contenuto di idrogeno così come la temperatura di ingresso in turbina e la temperatura massima del liner. Restano quasi invariate le emissioni di ossidi di azoto. Con la riduzione della portata d'aria si registra un incremento dell'efficienza dovuto a minori quantità di incombusti, in particolare metano, mentre il CO risulta non trascurabile nei gas combusti.

Infine, è stata effettuata la simulazione LES di una delle condizioni esaminate sperimentalmente nel bruciatore ROMULUS. È stata considerata quella di una fiamma premiscelata con solo idrogeno ed aria, ad un rapporto di equivalenza 0.6, e che presenta una dominante acustica. Non essendo noti i livelli di turbolenza in ingresso, sono state effettuate due simulazioni a livelli diversi per valutarne l'effetto sulla topologia del fronte di fiamma.

I dettagli e risultati dell'attività sono riportati nei seguenti report:

- "REALIZZAZIONE DI UNA FACILITY PER LA CONDUZIONE DI TEST SPERIMENTALI SU MICROTURBINE A GAS ALIMENTATE CON MISCELE GAS NATURALE / IDROGENO", G. Messina, A. Assettati, E. Giulietti, G. Guidarelli, C. Stringola
- "SIMULAZIONI NUMERICHE DEL COMBUSTORE PER MICRO TURBINA A GAS ARI 100 T2 ALIMENTATO DA MISCELE METANO/IDROGENO", Antonio Di Nardo, Giorgio Calchetti
- "LARGE EDDY SIMULATION DEL BRUCIATORE ROMULUS ALIMENTATO AD IDROGENO: MORFOLOGIA E CARATTERISTICHE DELLA FIAMMA", D. Cecere, E. Giacomazzi, N.M. Arcidiacono

LA 3.33 - Integrazione P2G/sistemi generazione elettrica innovativi: cicli a sCO2 ibridizzati con sistemi di accumulo – analisi off-design e controllo
ENEA [01/01/2021-31/12/2021]
Come previsto nel PTR del progetto, sono stati ultimati i lavori relativi alla LA 3.33, relativi all'analisi ai carichi parziali e alle strategie di controllo di un ciclo transcritico ibridizzato con una pompa di calore. Nello specifico, è stato predisposto un modello di accoppiamento delle turbomacchine ottimizzato che, a fronte della potenza richiesta all'albero del turbo-gruppo, fornisce una soluzione del bilancio di massa ed energia massimizzando l'efficienza di ciascuna delle turbomacchine. In tutti i casi trattati è stato ipotizzato un regime di rotazione costante, specifico per ciascuna turbomacchina, con linee d'albero integrate in un riduttore di giri. L'algoritmo di accoppiamento delle turbomacchine si basa sul metodo di risoluzione non lineare GRC (Generalised Reduced Gradient) sviluppato Leon Lasdon dell'University of Texas e Alan Waren della Cleveland State University. Questo metodo consente di ottimizzare una funzione obiettivo sulla base di un set predefinito di vincoli e parametri variabili dei quali può essere definito il dominio di esistenza. Sono stati analizzati due casi, il primo prevede la regolazione del turbo-gruppo senza il supporto del VIGV, l'altro con il supporto del VIGV sui compressori transcritico e supercritico. In entrambi i casi la potenza minima è inferiore -100% del carico nominale, caratteristica che conferma la vocazione prosumer del ciclo ipotizzato, con effetti promettenti sulla stabilizzazione della rete elettrica in un contesto di crescente penetrazione delle rinnovabili non programmabili. Permane un'ampia discontinuità nell'inviluppo operativo complessivo della soluzione impiantistica analizzata, tra l'asse delle potenze positive e l'asse delle potenze negative, discontinuità che viene attenuata, ma non rimossa, dalla regolazione della potenza con VIGV.
I dettagli e risultati dell'attività sono riportati nel seguente report:

- "ANALISI AI CARICHI PARZIALI E STRATEGIA DI CONTROLLO DI UN CICLO A SCO2 IBRIDIZZATO CON SISTEMI DI ACCUMULO", G. Messina, A. Giovannelli

LA 3.36 - Comunicazione, diffusione dei risultati e coordinamento sulle attività ENEA su P2G/L e integrazione con sistemi generazione elettrica innovativi - III Anno
L'attività è consistita in:

- diffusione dei risultati della ricerca attraverso la partecipazione a congressi, workshop e produzione di articoli scientifici su rivista;
- azioni volte al trasferimento tecnologico verso l'industria nazionale del settore, come la stipula di accordi di collaborazione;
- coordinamento dei gruppi di ricerca e rendicontazione economica delle linee di attività a termine nella terza annualità.

Questo stesso documento riporta la sintesi delle attività svolte.

2 Sintesi delle attività di R&S svolte nella III annualità dalle Università

Le attività dei cobeneficiari Universitari nel WP3- Power To Gas in questa terza annualità sono state rivolte al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

LA 3.7 - Power-to-Gas: supporto attività sperimentale presso impianto Power-to-Gas di metanazione c/o Casaccia
U. SAPIENZA [1/1/2021-31/12/2021]
Nell'ambito della presente ricerca si è inizialmente supportati i colleghi del centro di ricerca Enea Casaccia per il collaudo e lo start-up di un'unità di elettrolisi alcalina da accoppiare successivamente a un reattore di metanazione per lo sviluppo di un impianto di power to methane. Si è quindi sviluppato un modello fluidodinamico in ambiente Comsol Multiphysics, di una cella elettrolitica di un elettrolizzatore alcalino, partendo dai dati dell'impianto pilota ubicato presso i laboratori di Enea Casaccia. Lo studio è stato suddiviso quindi in 3 fasi: (i) analisi bibliografica e stato dell'arte relativamente a quanto riportato in letteratura sugli elettrolizzatori alcalini, (ii) descrizione dell'impianto pilota AEL (elettrolizzatore alcalino) ubicato presso il centro di ricerca Enea Casaccia, (iii) sviluppo, implementazione, validazione e analisi di

sensibilità di un modello 2D di una cella di un elettrolizzatore alcalino partendo dai dati dell'impianto pilota reale. In sintesi, l'analisi di sensibilità del modello ha mostrato come la velocità dell'acqua in ingresso alla cella, e quindi la portata, influisce notevolmente sulla resa in idrogeno. All'aumentare della portata di acqua, la conversione diminuisce, in quanto, poiché entra molto più reagente all'interno della cella, esso non fa in tempo a reagire in maniera adeguata, abbassando notevolmente la portata di idrogeno uscente e quindi il rendimento complessivo della cella. Lo studio ha permesso di individuare un limite inferiore per questo parametro (0.4 m/s). Si è visto poi come la conversione percentuale aumenta, seppur non di molto, all'aumentare della temperatura. Questo risultato è spiegato dal fatto che la reazione è favorita termodinamicamente da una temperatura più alta, il voltaggio richiesto alla cella per produrre lo stesso quantitativo di idrogeno si riduce e la conduttività della soluzione alcalina aumenta. La pressione operativa infine ha mostrato una influenza minore rispetto a quella degli altri parametri operativi analizzati.
I dettagli e risultati dell'attività sono riportati nel report:

- "POWER-TO-GAS: SUPPORTO ATTIVITÀ SPERIMENTALE PRESSO IMPIANTO POWER-TO-GAS DI METANAZIONE C/O CASACCIA", G. Vilardi, C. Bassano, P. Deiana, N. Verdone

LA 3.9 - Power-to-Gas: sperimentazione di sistemi catalitici innovativi di metanazione
POLIMI [1/1/2021-31/12/2021]
Sono stati studiati aspetti chiave per l'applicazione del processo di produzione di Synthetic Natural Gas (SNG) su catalizzatori al rutenio e al nichel.
Il Task 4 della LA3.9 ha come obiettivo quello di verificare la possibilità di esercire il processo di metanazione in condizioni transienti. Sono stati quindi condotti dei test atti a esaminare la stabilità di un campione a base di rutenio e di uno a base di nichel dopo la diminuzione a gradino della velocità spaziale o dopo periodi di alimentazione di sola CO2 o di solo gas inerte, sia a caldo che a freddo. Da queste analisi non sono emerse criticità significative riguardanti la stabilità di entrambe le formulazioni catalitiche.
Nel Task 5 è stata invece condotta una attività di modellazione preliminare di un reattore catalitico convenzionale raffreddato esternamente. L'analisi ha evidenziato la necessità di avere elevate capacità di scambio termico per gestire efficacemente l'esotermicità della reazione, garantendo al contempo l'instaurarsi di un profilo ottimale di temperatura lungo il tubo.
Inoltre, sono stati preparati due campioni prototipali di catalizzatore da fornire ad ENEA, idonei all'impiego in reattori strutturati tubolari. Data l'elevata esotermicità della reazione di metanazione di CO2, si è ritenuto necessario l'utilizzo di substrati strutturati impaccati per ottimizzare la gestione del calore di reazione. Per questo motivo, sono stati preparati due catalizzatori al rutenio per impregnazione a bagnamento incipiente su γ-Al2O3 preformata da 300 micron.
I dettagli e risultati dell'attività sono riportati nei report:

- "SPERIMENTAZIONE E MODELLAZIONE DI SISTEMI CATALITICI INNOVATIVI PER LA METANAZIONE IN IMPIANTI P2G", A. Porta, C. Larghi, C.G. Visconti, L. Lietti, P. Deiana, C. Bassano
- "SISTEMI STRUTTURATI INNOVATIVI PER I TESTS P2G PRESSO L'IMPIANTO DI METANAZIONE CATALITICA C/O CASACCIA", A. Porta, C. Larghi, C.G. Visconti, L. Lietti, P. Deiana, C. Bassano

LA 3.23 - Power-to-Gas/Liquid: studi modellistici delle tecnologie e progettazione degli esperimenti – validazione
U. CAGLIARI [1/1/2021-31/12/2021]
L'attività di ricerca svolta durante la LA-23 si inquadra nell'ambito degli studi volti all'avanzamento delle conoscenze nel settore dei processi innovativi di riutilizzo dell'anidride carbonica e di accumulo dell'energia da fonti rinnovabili attraverso tecnologie P2G/L (gas/liquids). Durante la LA-23 sono stati applicati i modelli di simulazione per l'analisi delle prestazioni energetiche delle tecnologie P2G/L, sviluppati e validati nella precedente linea di attività LA-22, ai processi di sintesi del metanolo mediante idrogenazione catalitica della CO2, con idrogeno prodotto dal surplus di produzione elettrica da fonte rinnovabile, integrati con differenti sistemi energetici per la produzione di energia elettrica con ridotte emissioni di CO2. I sistemi integrati studiati sono basati su: i) un processo elettrolitico per la produzione dell'idrogeno a bassa temperatura (ad elettrolita

alcalino) o innovativo ad alta temperatura (ad ossidi solidi, SOEC), ii) un sistema di sintesi del metanolo, iii) un sistema di produzione dell'energia elettrica alimentato con il metanolo, iv) un sistema di rimozione della CO2.
In questo contesto sono stati sviluppati e validati diversi modelli numerici attraverso il software Aspen-Plus per la simulazione e l'analisi delle prestazioni dei sistemi di produzione dell'energia elettrica (con particolare riferimento alle celle a combustibile SOFC, agli impianti ORC e alle turbine a gas di piccola taglia) e della loro integrazione con il sistema nel suo complesso, e dei modelli numerici per la valutazione delle prestazioni dei sistemi di rimozione della CO2.
Infine con l'obiettivo di applicare la metodologia di pianificazione degli esperimenti (Design of Experiments, DoE) alla sperimentazione del prototipo P2G/L in corso di installazione presso il centro ricerche Sotacarbo, attraverso i modelli precedentemente descritti si è proceduto ad un'analisi atta ad individuare le relazioni fra le prestazioni dei processi P2G/L (portata e purezza dei prodotti, potenze assorbite, rendimenti delle singole sezioni e complessivi) ed i parametri operativi caratteristici del prototipo in parola ed ad essi legati (pressioni, temperature, concentrazioni dei reagenti e portate, parametri cinetici, ecc.).
I dettagli e risultati dell'attività sono riportati nel report:

- "VALIDAZIONE DEI MODELLI E STUDIO MODELLISTICO PER LA PREVISIONE DELLE PRESTAZIONI DI PROCESSI E SISTEMI ENERGETICI BASATI SULLE TECNOLOGIE P2G/L (GAS/LIQUIDS)", V. Tola, G. Cau, D. Cocco, F. Lonis, M. Petrollese
- "APPLICAZIONE DELLE METODOLOGIE DEL DESIGN OF EXPERIMENTS AL PROTOTIPO P2G/L (GAS/LIQUIDS) DI SOTACARBO", V. Tola, G. Cau, F. Lonis

LA 3.32 - Integrazione P2G/sistemi generazione elettrica innovativi: cicli a sCO2 ibridizzati con sistemi di accumulo – analisi off-design e tecnico-economica
U. ROMA TRE [01/01/2021-31/12/2021]
Sulla base del nuovo schema d'impianto fornito da ENEA (attività LA3.31), si è proceduto alla sostanziale modifica di tutte le turbomacchine rispetto a quanto preliminarmente fornito con il rapporto tecnico relativo all'attività LA3.29. In particolare, sono stati nuovamente dimensionati e caratterizzati i compressori transcritico e supercritico e l'espansore, tenendo conto delle richieste d'impianto a carico nominale, di picco, di minimo tecnico e di accumulo. Come per la fase preliminare, si è proceduto al dimensionamento delle macchine utilizzando metodologie e modelli 1D e 2D sviluppati ad-hoc per turbomacchine radiali e assiali a CO2 trans-critica e supercritica. Le migliori configurazioni sono state, poi, ottimizzate ed analizzate in condizioni nominali e fuori-progetto tramite metodi numerici tridimensionali ai volumi finiti. In particolare, per quanto attiene i due compressori, rispetto al dimensionamento preliminare delle macchine, l'analisi fluidodinamica di dettaglio ha evidenziato la nascita anticipata del fenomeno di choke all'interno delle giranti centrifughe. Tale fenomeno comporta una generale riduzione prestazionale per tutte le condizioni operative (compreso il punto nominale) oltre ad una sostanziale riduzione della flessibilità dei compressori in fuori progetto. Pertanto, è stato necessario incrementare il numero di stadi inizialmente stimato, riducendo il rapporto di compressione dei singoli stadi delle due macchine operatrici.
Le curve caratteristiche delle macchine sono state, poi, implementate da ENEA nel simulatore di impianto per poter fornire una più realistica analisi del sistema nelle condizioni fuori-progetto.
Inoltre, sulla base dello schema di impianto e delle ipotesi di esercizio forniti da ENEA, è stata effettuata l'analisi tecno-economica dell'intero sistema. In particolare, è stato stimato il costo dei principali componenti d'impianto secondo il "Module Costing Tecnhnique", i costi operativi e i principali indici economici.
I dettagli e risultati dell'attività sono riportati nei seguenti report:

- "ANALISI AI CARICHI PARZIALI E ANALISI TECNICO-ECONOMICADI UN CICLO A SCO2 IBRIDIZZATO CON SISTEMI DI ACCUMULO", A. Giovannelli, C. Salvini, E.M. Archilei, G. Di Lorenzo, K. Kirill, G. Messina

3 Produzione di articoli scientifici, memorie e poster a congressi, workshop

Diverse azioni sono state condotte al fine di diffondere e valorizzare i risultati ottenuti con le attività di R&S svolte nell'ambito dell'intero Progetto. Tali azioni hanno avuto come risultato la pubblicazione di articoli e documenti tecnici e la partecipazione a congressi con presentazione di memorie e poster.

Articoli pubblicati su rivista:

Autori	***Titolo***	***Rivista***
P. Deiana, C. Bassano, P. Gislon	*Il Power to Gas come fattore abilitante della transizione energetica*	La Termotecnica, Aprile 2021
Di Nardo, A., Calche2, G., Bassano, C., Deiana P.	*CO2 methanation in a shell and tube reactor CFD simulations: high temperatures mitigation analysis*	Chemical Engineering Science, 246, art. no. 116871, 2021
P. Deiana, C. Bassano, S. McPhail, G. Monteleone	*ENEA Hydrogen Valley, towards an infrastructural hub in Italy*	Planet Hydrogen, Energia Ambiente e Innovazione, ENEA magazine 1/2021, eai.enea.it
P. Deiana, C. Bassano, S. McPhail, G. Monteleone	*L'iniziativa "Hydrogen Demo Valley" di ENEA Casaccia. Un progetto finalizzato alla dimostrazione e diffusione in Italia delle tecnologie dell'intera filiera dell'idrogeno*	*La Termotecnica, Dicembre 2021*
N. Verdone et al.	*Dynamic analysis of green hydrogen production process by AEL technology: experimental and modelling*	In fase di sottomissione su Energy Conversion and Management
N. Verdone et al.	*Techno-economic comparison of green hydrogen production processes by AEL and PEM technologies*	In fase di sottomissione su Energy Conversion and Management
Mazzeo, L., Signorini, A., Lembo, G., Di Palma, L.,Piemonte, V.	In situ bio- methana:on modelling of a randomly packed gas s:rred tank reactor (GSTR).	Processes, 2021, 9(5), 846
Pignatelli Vito, Signorini Antonella, Silvia Rosa	*BIOMETANO E IDROGENO "GREENGAS" DELFUTURO.*	*CH4-Rivistatrimestrale-AnnoXX-N.4-2020*
Viscardi R, Barbarossa V, Maggi R, Pancrazzi F	*Engineering Modified Mesoporous Silica Catalysts through Porosity and Surface Acidity Control for Selective Production of DME*	KEM 2021;894:45–9
Pancrazzi, F., Maestri, G., Maggi, R., Viscardi, R.	*Oxidative Dearomatization of Phenols and Polycyclic Aromatics with Hydrogen Peroxide Triggered by Heterogeneous Sulfonic Acids*	European Journal of Organic Chemistry 2021, (39), pp. 5407– 541
Rosanna Viscardi, Claudia Bassano, Paolo Deiana, Giuseppe Nigliaccio	*The potential of E-fuels as future fuels. Energia, Ambiente e Innovazione*	Pianeta Idrogeno n. 1 Gennaio - Aprile 2021
Lonis F., Tola V., Cau G.	*Assessment of integrated energy systems for the production and use of renewable methanol by water electrolysis and CO2 hydrogenation*	Fuel, Vol. 285 , 2021
Tola V., Lonis F.	*Low CO2 emissions chemically recuperated gas turbines fed by renewable methanol*	Applied Energy, Vol. 298, 117146, 2021
E. Giacomazzi e G. Messina	*Hydrogen and the fuel-flexibility dilemma in gas turbines*	Pianeta Idrogeno, Energia, ambiente e innovazione | 1/2021 pagg. 125 – 129
Giovannelli, A., Archilei, E.M., Salvini, C., Messina, G.	*Design of a 1.5 MW supercritical CO2 power group for a waste heat recovery system*	Sottomessa a Energy Reports, 2021
E. Giacomazzi, D. Cecere, N. Arcidiacono	*A Combustion Regime-Based Model for Large Eddy Simulation*	Energies, Section ``Energy and Environment'', Special Issue ``Combustion and Propulsion Systems'', MDPI, vol. 14, issue 16, pp. 4934 (1-23), 2021

Partecipazioni a workshop/congressi, seminari:

Congresso/workshop	***Data e località***	***Partecipazione***
Invited Lecture	École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) Valais/Wallis, Sion, Switzerland, 21.6.21	"CO2 hydrogenation to CH4 over Ru-based catalysts", Alessandro Porta, Clara Larghi, Leonardo Falbo, Carlo Visconti, Luca Lietti, Claudia Bassano, Paolo Deiana
KeyEnergy - Le filiere nazionali dell'Idrogeno: prospe2ve ed opportunità di sviluppo ENEA e H2IT	28 ottobre 2021	Analisi delle filiere industriali nazionali appartenenti alla catena del valore dell'idrogeno, C. Bassano
Workshop - Il ruolo dell'idrogeno nella transizione tecnologica ed ecologica dell'energia	17 dicembre 2021	Hydrogen supply chain e analisi delle filiere industriali, Claudia Bassano
KeyEnergy - fuels: produzione ed utiizzo di combustibili sintetici da CO2 ed energia elettrica rinnovabile ENEA, CLUST-ER GREENTECH	29 ottobre 2021	Programmi di ricerca ENEA sugli E-fuels, P. Deiana
Workshop - Scenari per l'idrogeno in Italia: Sostenibilità, Stato dell'Arte e Futuro (prossimo)	21 settembre 2021	Il progetto "Hydrogen Valley" Enea Casaccia, P. Deiana
Workshop mcTER - drogeno, prospe2ve e applicazioni di oggi e di domani	28 giugno 2021	L'idrogeno al servizio dell'industria: cosa si può fare oggi, A. Zerbinato, G. Zof, S. Capozzoli, P.Deiana, R. Pancolini
Workshop E-talk Bosch - Let's go Green - Il ruolo dell'IDROGENO in un futuro sostenibile	19 maggio 2021	Prospettive dello sviluppo dell'Idrogeno in Italia, P. Deiana
Programma TV Progress - SKYTG24	12 Maggio 2021	Aspetti tecnologici delle filiere idrogeno, P. Deiana
Seminario Asi Frosinone e SGI SpA - Combus.bili green alternativi al gas naturale per il contenimento delle emissioni climalteranti attraverso l'utilizzo dell'infrastruttura gas esistente	26 marzo 2021	L'Hydrogen Valley di ENEA e le applicazioni per la decarbonizzazione, P. Deiana
Webinar Confindustria Regione Emilia - FOCUS IDROGENO: Lo stato delle diverse tecnologie e le prospettive di sviluppo a livello nazionale	12 aprile 2021	Hydrogen demo Valley ENEA – Casaccia, P. Deiana
Webinar Confindustria Assotermica - Idrogeno e Hydrogen Valley	15 aprile 2021	Hydrogen demo Valley ENEA – Casaccia, P. Deiana
Ciclo di lezioni e seminari del dottorato in Processi Chimici per l'Industria e per l'Ambiente dell'Università di Roma La Sapienza	2021	nome modulo: Processi termochimici per la produzione di idrogeno green: aspetti fondamentali ed esempi di applicazione
Incontri con gruppo Pietro Fiorentini (ha recentemente acquisito MicroPyros , start up tedesca che opera nel seCore delle biotecnologie)	ENEA Casaccia, 2021	Visita agli impianti del laboratorio e successivo incontro online per possibili collaborazioni

Congresso/workshop	*Data e località*	*Partecipazione*
11th International Conference on Advanced Materials Research (ICAMR 2021)	Virtual conf. 21-24 gennaio 2021	Partecipazione ENEA
1st International Conference on Carbon Chemistry and Materials (CCM-2022)	Virtual conf. 15-17 novembre 2021	Partecipazione ENEA
Atti del Congresso ATI	15-17 settembre 2021, Roma	Power to methane technologies through renewable H2 and CO2 from biogas: the case of Sardinia, Concas G., Tola V., Lonis F., Cocco D.
Conferenza Internazionale WHEC2022	Istanbul 26-30 giugno 2022	Integration of a renewable methanol production process with a low CO2 emission CRGT power plant, Tola V., Lonis F.
9th Conferenza Internazionale CO2 based fuels and chemicals	Evento online	Partecipazione Univ. Cagliari
Conferenza Internazionale ECOS2021	Taormina 28 giugno – 2 luglio, 2021	Partecipazione Univ. Cagliari
Conferenza Internazionale SDEWES2021	Dubrovnik, 10-15 Ottobre 2021	Partecipazione Univ. Cagliari
8th International Conference on Energy and Environment Research ICEER 2	Virtuale, 13-17 September 2021	Design of a 1.5 MW supercritical CO2 power group for a waste heat recovery system, Giovannelli, A., Archilei, E.M., Salvini, C., Messina, G.
sCO2 Europe - 4th European sCO2 Conference for Energy Systems	Vitruale, 23-24 marzo 2021	Partecipazione Univ. Roma Tre, Ambra Giovannelli
ETN - 10th International Gas Turbine Conference – IGTC	11-15 ottobre 2021	Partecipazione Eugenio Giacomazzi, Ambra Giovannelli
10th European Combustion Meeting	Naples, Italy, 14-15 April 2021	Direct Numerical Simulation of Turbulent Lean Premixed CH4/H2 - Air Slot Flames at 25 bar, Donato Cecere, E. Giacomazzi, N.M. Arcidiacono
European Combustion Meeting	14-15 aprile 2021	Experimental assessment of intrinsic instabilities in jet flames fed with hydrogen enriched methane-air mixtures, Troiani Guido, Lapenna Pasquale Eduardo, Lamioni Rachele, Creta Francesco
43 Meeting of the Italian Section of the Combustion Institute	Ischia, 3-6 ottobre 2021	Large Eddy Simulation of a Gaseous H2 / Liquid O2 Non-Premixed Flame, E. Giacomazzi, D. Cecere, N. Arcidiacono
43 Meeting of the Italian Section of the Combustion Institute	Ischia, 3-6 ottobre 2021	Flame Structure of Supercritical CH4/O2/CO2 non-Premixed Turbulent Oxy-Combustion by means of 3D-DNS, D. Cecere, E. Giacomazzi, N. Arcidiacono
43 Meeting of the Italian Section of the Combustion Institute	Ischia, 3-6 ottobre 2021	Chaotic and wavelet detection of thermoacoustic instability, T. Pagliaroli, R. Hernandez, G. Troiani, E. Giacomazzi, R. Camussi
CONGRESSO ECONOS (EUROPEAN CONFERENCE ON NONLINEAR OPTICAL SPECTROSCOPY)	26-29 settembre 2021, Karlsruhe	High-order responses in T and f domain, Michele Marrocco

4 Partecipazione a lavori di organizzazioni nazionali ed internazionali

Oltre alla diffusione e comunicazione dei risultati scientifici e tecnologici, il personale coinvolto nel Progetto ha operato nell'ambito di comitati e gruppi tecnici internazionali, che operano sulle tematiche specifiche del Progetto, in qualità sia di rappresentanti ENEA che di delegati italiani. Nell'ambito di tali comitati e gruppi tecnici sono stati forniti, nelle riunioni tenute nel corso dell'annualità, contributi tecnico-scientifici sulle tematiche inerenti al Progetto. Le finalità di tali partecipazioni sono volte sia a presentare la posizione italiana o dell'ENEA sulle strategie di R&S nazionali ed internazionali, sia a cercare di convogliare l'interesse di partner europei su idee di progetti di sviluppo tecnologico per i quali cercare finanziamenti.

In particolare, si è operato all'interno dei seguenti organismi nazionali e internazionali:

- **International Energy Agency (IEA)**: WPFF-Working Party on Fossil Fuel (E. Giacomazzi in qualità di delegato nazionale MiSE)
- **European Turbine Network** (**ETN):** partecipazione ai gruppi di lavoro: idrogeno e cicli a CO2 supercritica (rappresentanti ENEA: E. Giacomazzi, G. Messina)
- **Carbon Sequestration Leadership forum** (CSLF) Technical Group (P. Deiana in qualità di delegato nazionale)
- **Mission Innovation:** Analysis and Joint Research Group (P. Deiana in qualità di rappresentante ENEA)
- **Sezione italiana del Combustion Institute:** (D. Cecere , in qualità di membro del board)

Nel corso dell'annualità le partecipazioni sono quelle di seguito elencate:

Evento	*Data e località*	*Partecipazione*
ETN (European Turbine Network) Flexible Power Generation webinar series	12 gennaio 2021	Partecipazione E. Giacomazzi, G. Messina, A. Giovannelli
ETN (European Turbine Network) Flexible Power Generation webinar series	2 febbraio 2021	Partecipazione E. Giacomazzi, G. Messina, A. Giovannelli
ETN (European Turbine Network) Flexible Power Generation webinar series	2 marzo 2021	Partecipazione E. Giacomazzi, G. Messina, A. Giovannelli
ETN (European Turbine Network) Flexible Power Generation webinar series	20 aprile 2021	Partecipazione E. Giacomazzi, G. Messina, A. Giovannelli
ETN (European Turbine Network) Supercritical CO2 Working Group meetings	25 febbraio 2021	Partecipazione G. Messina, A. Giovannelli
ETN (European Turbine Network) Supercritical CO2 Working Group meetings	21 giugno 2021	Partecipazione G. Messina, A. Giovannelli
81st Working Party on Fossil Energy, IEA	8 giugno 2021	Partecipazione E. Giacomazzi
82nd Working Party on Fossil Energy, IEA	30 settembre 2021	Partecipazione E. Giacomazzi
83rd Working Party on Fossil Energy, IEA	8-9 Dicembre 2021	Partecipazione E. Giacomazzi

5 Accordi di collaborazione

Lo sviluppo di tecnologie, processi e componenti per l'accumulo del surplus di energia elettrica da Fonti Rinnovabili attraverso la produzione di 'Green Gas' in impianti Power to Gas, consente di sviluppare la filiera italiana legata ai fornitori delle tecnologie del sistema: il settore di produzione di energia elettrica da rinnovabile, i DSO e TSO elettrici, il settore di produzione e stoccaggio dell'idrogeno, il settore di cattura della CO_2, il settore di produzione della sezione di metanazione (reattoristica, catalizzatori) ed il settore del trasporto del metano (DSO e TSO lato gas).

Il processo di conversione energetica realizzato con il P2G prevede la sequenza: *energia elettrica – elettrolisi – idrogeno*; questa può continuare con la *metanazione* e la produzione di gas naturale sintetico successivamente immesso nella rete gas, o con la diretta immissione dell'idrogeno nella medesima. La contropartita è rappresentata dall'inevitabile variabilità nel tempo e nello spazio della composizione del combustibile distribuito dalla rete, tema che, già attuale, sarà sempre di maggiore importanza negli anni a venire. Al P2G si aggiungono altre fonti di potenziale variabilità della

composizione del combustibile per TG, quali la crescente distribuzione di gas naturale liquefatto (LNG) o di combustibili gassosi a basso potere calorifico come il biogas. Se sembra oramai essere riconosciuto il ruolo delle turbine a gas nella crescente richiesta di *flessibilità operativa*, sembra altrettanto evidente che tale flessibilità si coniuga con i termini *flessibilità di carico* e *flessibilità di combustibile*. I termini citati sono inequivocabilmente legati alla riduzione delle emissioni, nonché all'affidabilità delle macchine stesse. Conseguentemente si ritiene di grande attualità l'esigenza di "*knowledge"* sull'utilizzo di *miscele combustibili per turbogas alternative al gas naturale* e contenenti, oltre al metano, percentuali significative di idrogeno. Il WP3 si occupa di molti degli aspetti tecnologici riguardanti l'applicazione delle tecnologie P2G.

Con la finalità, insita nella missione di ENEA, di favorire e supportare l'applicazione di tecnologie innovative P2G, nel corso del 2021 il Dipartimento Tecnologie Energetiche ha portato avanti i rapporti instaurati con le società con cui sono stati siglati importanti accordi di collaborazione nelle precedenti annualità:

- Società Gasdotti Italia Spa (SGI)
- SNAM Rete Gas S.p.A.
- NPI

Nel corso del 2021, le attività in questi accordi si sono espletate in diverse riunioni tecniche con gruppi specifici per le varie tecnologie.

In particolare, si sottolineano due attività nei rapporti con SNAM. La prima, in cui SNAM ha invitato ENEA, dopo un accordo trilaterale con Baker-Hughes (NPI), ad assistere ai test di una turbina a gas NOVA LT operata con una percentuale di H2 del 10%. La seconda attività riguarda l'analisi di dati operativi di impianti turbogas che SNAM ha messo a disposizione di ENEA per lo sviluppo e validazione di modellistica che sull'operatività delle macchine.