



Ricerca di Sistema elettrico

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

E. Giacomazzi

Report RdS/PTR2020/202

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

E.Giacomazzi – TERIN-PSU-IPSE, ENEA

Aprile 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II 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: LA3.35 Comunicazione, diffusione dei risultati e coordinamento sulle attività ENEA su P2G/L e integrazione con sistemi generazione elettrica innovativi - II 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	8
3 PARTECIPAZIONE A LAVORI DI ORGANIZZAZIONI NAZIONALI ED INTERNAZIONALI	13
4 ACCORDI DI COLABORAZIONE	14

Sommario

Il documento riporta, sinteticamente, le azioni svolte da ENEA nella seconda annualità nel periodo 01.01.2020-31.12.2020 e nei quattro ulteriori mesi di proroga fino al 30/04/2021 con l'aggiunta di quattro ulteriori mesi di slittamento fino al 30.04.2021, 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 II annualità da ENEA

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

LA 3.2 - Power-to-Gas: analisi tecnico-ambientale e confronto con altre tecnologie di accumulo

ENEA [1/1/2020-31/12/2020]

L'attività svolta ha visto lo studio, da un punto di vista tecnico-ambientale, di possibili filiere Power To Gas potenzialmente idonee ad essere implementate nel contesto italiano. Il PtG si sviluppa in un quadro di Sector Coupling che sinergicamente integra le infrastrutture della rete elettrica e di quella del gas, consentendo il passaggio da un vettore energetico all'altro. In questo contesto, considerando quanto delineato dalla Strategia Europea sull'Idrogeno e dalla Strategia Nazionale Idrogeno, si sono delineate tre possibili schemi. Sono state analizzate due filiere Power to Hydrogen (PtH): la prima dedicata alla mobilità, considerando una stazione di rifornimento veicoli di taglia 100-200 kgH₂/giorno, e la seconda dedicata al settore industriale con riferimento ai settori "hard to abate", dove l'elettificazione diretta è di difficile attuazione. Per il secondo caso si sono considerati processi dove è necessario fornire calore ad alta temperatura, andando a valutare per forni e/o caldaie industriali i benefici, in termini di emissioni di CO₂, di una parziale sostituzione dell'idrogeno in blending fino al 20% vol. con il gas naturale. La taglia come capacità termica analizzata è stata individuata nel range di 10-20 MWth. Un terzo caso studiato è relativo all'applicazione Power To Methane, dove si è analizzato l'accoppiamento con un impianto di upgrading del biogas a biometano. Considerando che la taglia media degli impianti di biogas in Italia è di circa 650 Nm³/h, la CO₂ disponibile è stata stimata in circa 250 Nm³/h. Valutazioni sulla taglia dell'elettrolizzatore e sullo storage dell'idrogeno sono state eseguite valutando le ore di esercizio, ovvero il load factor dell'impianto, in correlazione alla stima della disponibilità temporale di energia rinnovabile in determinate aree dell'Italia. Risultati delle configurazioni analizzate riportano rendimenti, emissioni evitate di CO₂ nella vita operativa e impronta a terra.

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

- "POWER-TO-GAS: ANALISI TECNICO-AMBIENTALE E CONFRONTO CON ALTRE TECNOLOGIE DI ACCUMULO", C. Bassano, P. Deiana

LA 3.4 - Power-to-Gas: progettazione, studi modellistici di componenti, avvio della realizzazione di un prototipo con metanazione catalitica e elettrolizzatore

ENEA [1/1/2020-31/12/2020]

Sono stati analizzati i processi di produzione di metano da idrogeno elettrolitico, con l'obiettivo di avviare la progettazione ed iniziare la realizzazione di un prototipo per la sperimentazione. Il processo di metanazione catalitica può essere composto da più configurazioni impiantistiche volte a realizzare un'efficace

conversione della CO₂ e dell'H₂ in CH₄, con rese tali da rispettare le specifiche della rete gas. La principale problematica della reazione di metanazione è la rimozione del calore, che non consente di realizzare la conversione in un singolo reattore. Si è svolta un'attività di studio della reazione di metanazione e delle tipologie di reattori, che ha consentito di individuare nel reattore a letto fisso multitubolare, sia adiabatico che refrigerato, la tipologia di reattore più idoneo per semplicità costruttiva, semplicità d'uso, bassi costi di realizzazione e buone performance di scambio termico. Si è svolto uno studio modellistico mediante l'utilizzo del codice di simulazione impiantistica Aspen Plus. Un iniziale studio termodinamico ha consentito di individuare i range di pressione e temperatura più idonei. Un successivo studio cinetico ha consentito di valutare l'incremento di temperatura lungo il letto reattivo per le due tipologie di catalizzatori Nichel e Rutenio, le rese in condizioni adiabatiche e isoterme e le rese nella configurazione con doppio letto catalitico. L'impianto prototipale sarà composto da una sezione di produzione dell'idrogeno composta da un elettrolizzatore della tipologia alcalina di taglia 22 kWe e da una sezione di metanazione da 1 Nm³/h di metano prodotto. Il prototipo opportunamente progettato e strumentato consentirà di testare le diverse configurazioni impiantistiche per indagare gli aspetti caratterizzanti il processo di metanazione nella sua applicazione Power To Gas, nelle diverse fasi di avviamento, shut-down, stand-by e idle. Possibili sinergie con altri processi, sono stati inoltre descritte.

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

- "POWER-TO-METHANE: STUDI MODELLISTICI DEI COMPONENTI", C. Bassano, P. Deiana
- "PROGETTAZIONE E AVVIO DELLA REALIZZAZIONE DI UN PROTOTIPO CON METANAZIONE CATALITICA E ELETTROLIZZATORE", P. Deiana, C. Bassano

LA 3.10 - Power-to-Gas: metanazione biologica in-situ - sperimentazione su reattore CSTR

[1/1/2020-31/12/2020]

Le attività di ricerca "Biometanazione in situ" sono finalizzate allo sviluppo e alla sperimentazione di un processo biologico per la riduzione dell'anidride carbonica prodotta nel corso della digestione anaerobica (DA) a metano, utilizzando un flusso di idrogeno prodotto da un surplus di energia elettrica e immesso all'interno del digestore. L'obiettivo è quello di incrementare il tenore di metano nel biogas ad un valore idoneo alla sua immissione nella rete del gas naturale. L'attività sperimentale è stata condotta in termofilia (55°C) in un impianto pilota CSTR di piccola taglia (49L di volume di lavoro) in cui la biomassa microbica è stata parzialmente immobilizzata su supporti di materiale plastico. Il biogas è stato fatto ricircolare per omogenizzare i nutrienti e incrementare la solubilità dell'idrogeno nella fase liquida.

I risultati hanno evidenziato che la configurazione CSTR è idonea all'ottimizzazione del processo. Si è infatti ottenuto un incremento della produzione di CH₄ (L/LR*giorno) del 16% ed una efficienza di utilizzo dell'idrogeno del 65%, applicando un flusso di H₂ di 1.32 L/LR *giorno, un HRT di 15 giorni ed una velocità di ricircolo gassoso di 4L/min. Tuttavia, la concentrazione di metano raggiunta nel biogas era del 56.6%. L'analisi della comunità microbica indicava che sia l'immobilizzazione che l'immissione di H₂ hanno prodotto una compartimentalizzazione e un arricchimento della comunità microbica, suggerendo la presenza di "core microbici" funzionali specifici. In particolare, è stata identificata la famiglia SHA-31, che agisce in mutualistica cooperazione con i metanogeni, solo nella fase sperimentale di aggiunta di H₂. Successivamente, una seconda serie sperimentale (HRT 30 giorni; aumento della velocità di ricircolo a 6L/min; flusso di H₂ di 1.47 L/LR*giorno), ha determinato un incremento della produzione di CH₄ del 90%, con una percentuale di CH₄ nel biogas del 67%. L'efficienza di utilizzo di H₂ raggiungeva il valore di 81%.

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

- "UPGRADING BIOLOGICO IN SITU DEL BIOGAS IN UN REATTORE CSTR IBRIDO E DINAMICHE DELLA COMUNITÀ MICROBICA", A. Signorini, S. Rosa, G. Massini, G. Lembo

LA 3.13 - Power-to-Gas/Liquid: sviluppo e test di catalizzatori innovativi per la sintesi diretta di DME, e studio dei loro meccanismi di disattivazione

ENEA [1/1/2020-31/12/2020]

La sintesi diretta del DME da miscele gassose di H₂ e CO₂ è fortemente influenzata dalla pressione che deve essere portata a valori superiori a 50 bar perché proceda con rendimenti prossimi a quelli attesi termodinamicamente. L'assenza di un apparato sperimentale idoneo all'attività in queste condizioni, ci ha indotti, nella prima parte dell'annualità, ad approfondire alcuni aspetti della reazione di disidratazione del metanolo e successivamente ad affrontare la sintesi diretta del DME a pressioni intorno a 10 bar.

Nei catalizzatori silico-alluminati e nell'MCM-41, entrambi solfonati, è stato studiato l'effetto della acidità superficiale sull'attività catalitica. Un importante parametro che influenza l'attività catalitica è stato individuato nel rapporto fra acidità di Lewis ed acidità di Bronsted. Anche le caratteristiche di stabilità del catalizzatore e selettività della reazione sono influenzate dal tipo di acidità superficiale del materiale. Lo studio è stato condotto utilizzando tecniche diverse come XRD, TGA, XPS ed altre.

Nella seconda parte dell'annualità è stato avviato lo studio della sintesi diretta di DME. Il parametro sperimentale più importante, la pressione, è stata limitata a circa 10 bar. Non disponendo di un efficace catalizzatore bifunzionale è stato usato un catalizzatore composto dalla miscela fisica di due componenti: un catalizzatore per la sintesi del metanolo più un catalizzatore per la successiva disidratazione a DME. Il primo è un catalizzatore commerciale a base di rame, il secondo è l'Aquivion, il polimero perfluorurato già discusso nei precedenti report. Si sono variati i rapporti H₂/CO₂ nella miscela di alimentazione ed è stata variata la pressione fra 7 e 11 bar. Poiché i due catalizzatori hanno temperature di esercizio notevolmente diverse fra loro, si è adottata una configurazione sperimentale che prevede la localizzazione dei due materiali in posizioni diverse all'interno del reattore catalitico. I primi risultati hanno mostrato, nelle nostre condizioni, una apprezzabile attività pur con la importante limitazione della pressione.

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

- “VERSO LA SINTESI DIRETTA DEL DME DA MISCELE GASSOSE H₂/CO₂”, V. Barbarossa, R. Viscardi

LA 3.25 - Integrazione P2G/sistemi generazione elettrica innovativi: fuel-flexibility – realizzazione e test sezione H₂-AGATUR e sperimentazione ROMULUS

[1/1/2020-31/12/2020]

È stata eseguita la progettazione del sistema di accumulo e alimentazione H₂ dell'impianto AGATUR. Il sistema di storage dell'H₂ ha una capacità di 160 m³ ed è costituito da un pacco bombole 4 X 4 più una bombola di backup per lo shutdown in sicurezza ad esaurimento accumulo, entrambi posizionati in un'area adattata allo scopo all'esterno della hall tecnologica in cui è installata la micro-turbina a gas. Il sistema di storage è gestito da una centrale di scambio semiautomatica dotata di componenti a sicurezza intrinseca. Il sistema alimentazione è dotato di due organi riduzione della pressione, uno dei quali a controllo remoto per garantire un'erogazione stabile delle portate richieste ad una pressione al punto di consegna compresa tra 5 e 7 barg. La linea di alimentazione è dotata di due valvole di sezionamento a controllo remoto posizionate ai due estremi della tubazione, rispettivamente a valle del sistema di accumulo e a monte del punto di consegna. Tra le due valvole di sezionamento della linea di alimentazione, a monte del punto di consegna, è innestata una linea di ventilazione in atmosfera, per garantire lo spurgo della linea di alimentazione in zona sicura. La linea di ventilazione è dotata di valvola di sezionamento a controllo remoto. Fatta salva la gestione della sicurezza intrinseca del sistema, il controllo in remoto è gestito mediante trasmissione di segnali digitali o analogici 4-20 mA.

Per quanto riguarda la sperimentazione sul bruciatore ROMULUS, è stata studiata la topologia del fronte di fiamma nei vari regimi di combustione mediante misura di fluorescenza indotta sul radicale OH. Sono state introdotte percentuali crescenti di idrogeno ed è stata indotta la modifica del fronte di fiamma provocando l'insorgere della instabilità termoacustica. Sono state eseguite analisi di tipo caotico e di filtraggio wavelet per caratterizzare in senso statistico i diversi regimi di funzionamento del bruciatore, al variare del tenore di

idrogeno contenuto nella miscela aria/metano. Le tecniche di misura DOES e ODC sono state integrate in modo da avere l'acquisizione in contemporanea delle misure termoacustiche ed di quelle ottiche. Le acquisizioni dei segnali termoacustici e ottici sono state effettuate in regime di fiamma stabile e in regime di instabilità indotta con concentrazione di idrogeno crescente in entrambi i casi. In DOES e ODC si è osservato un diverso andamento dei risultati delle misure passando dal regime stabile a quello instabile, così come per le misure effettuate a diverse concentrazioni di idrogeno.

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

- "REALIZZAZIONE DELLA SEZIONE H₂ DELL'IMPIANTO AGATUR", G. Messina, C. Stringola, A. Assettati, E. Giulietti, G. Guidarelli, S. Attanasi
- "SPECIFICHE DEL CONTROLLER E DEI MODULI INPUT/OUTPUT PER LO SVILUPPO DEL SISTEMA DI CONTROLLO DELL'IMPIANTO SPERIMENTALE AGATUR", C. Stringola, G. Messina, E. Giulietti, A. Assettati
- "EFFETTI DELL'AGGIUNTA DI IDROGENO NEI PROCESSI DI COMBUSTIONE IN UN BRUCIATORE IN SCALA DI LABORATORIO", G. Troiani, M. Marrocco, D. Zola, S. Scaglione, A. Gentili, C. Stringola, E. Giulietti, A. Assettati, R. Camussi, E. Martellini, T. Pagliaroli
- "INSTABILITÀ E FUEL-FLEXIBILITY IN MISCELE CON H₂: STUDIO SPERIMENTALE APPLICATO ALL'IMPIANTO ROMULUS", C. Stringola, E. Giulietti, S. Scaglione, D. Zola, G. Troiani, A. Gentili
- "GA.M.E.S. (GAs Monitoring by Emission Spectroscopy): ADEGUAMENTO DEL SUPERVISORE PER LA GESTIONE DELLE CRITICITÀ, VERSIONE PROTOTIPALE", C. Stringola, D. Zola, E. Giulietti, S. Scaglione, A. Gentili
- "SVILUPPO DI UN ALGORITMO OFF-LINE PER L'ANALISI DEI GAS DI COMBUSTIONE IN UN BRUCIATORE IN SCALA DI LABORATORIO", S. Scaglione, D. Zola, C. Stringola, E. Giulietti, G. Troiani, A. Gentili

LA 3.31 - Integrazione P2G/sistemi generazione elettrica innovativi: cicli a sCO₂ ibridizzati con sistemi di accumulo – ottimizzazione del ciclo
[01/01/2020-31/12/2020]

Nella precedente annualità è stata studiata la definizione preliminare dei turbo-gruppi per un ciclo di potenza a sCO₂ ibridizzato con una pompa di calore. Gli studi condotti dal Dipartimento Ingegneria dell'Università degli studi Roma Tre sulla progettazione preliminare dei turbo-gruppi a sCO₂ relativi alle sezioni di potenza e di accumulo del ciclo, hanno evidenziato alcune criticità sulle turbomacchine legate ai vincoli imposti dalla definizione preliminare del layout. Come previsto, le informazioni derivanti dall'attività di progettazione delle turbomacchine sono state utilizzate per una rimodulazione dei parametri termodinamici, con l'obiettivo di superare tutte le criticità emerse. L'esecuzione di questo secondo loop di calcolo ha consentito di ottenere un'ibridizzazione più spinta del ciclo, mediante una diversa integrazione funzionale delle turbomacchine nel layout. Nello specifico, mantenendo invariato il numero di turbomacchine elementari, le pressioni e le temperature estreme del ciclo, sono state modificate le condizioni operative di ciascuna turbomacchina, con particolare riferimento all'espansore di bassa pressione che non opera più nella zona umida. Fatte salve ulteriori modifiche di minore entità dettate dai limiti di funzionamento delle turbomacchine o da vincoli derivanti dall'architettura di accoppiamento delle stesse, si ritiene che la configurazione ottenuta sia in grado di superare le limitazioni emerse nell'impostazione preliminare. Come nell'annualità precedente, le sessioni di calcolo sono state eseguite utilizzando i codici ChemCAD e RefPROP.

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

- "IMPOSTAZIONE DEI TURBO-GRUPPI PER UN CICLO DI POTENZA A sCO₂ IBRIDIZZATO CON UNA POMPA DI CALORE", G. Messina, A. Giovannelli

LA 3.35 - Comunicazione, diffusione dei risultati e coordinamento sulle attività ENEA su P2G/L e integrazione con sistemi generazione elettrica innovativi - Il 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 prima annualità.

Questo stesso documento riporta la sintesi delle attività svolte.

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

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

LA 3.6 - Power-to-Gas: analisi di processo e strategie di controllo per sistemi di metanazione catalitica in dinamico

U. SAPIENZA [1/1/2020-31/12/2020]

Il processo di metanazione (processo Sabatier) permette di convertire l'anidride carbonica e il monossido di carbonio in metano, che viene successivamente immesso (una volta rispettate le specifiche di rete) nelle infrastrutture già presenti sul territorio nazionale ed Europeo della rete gas. Gli aspetti di maggiore interesse ingegneristico nell'esercizio di un metanatore sono sicuramente la forte esotermicità della reazione di Sabatier, con conseguente generazione di hotspots lungo tutto il letto di catalizzatore e la conseguente gestione del calore di reazione attraverso recupero termico. Questi aspetti peculiari influiscono sulla scelta dei materiali di costruzione e geometria del metanatore, sulla scelta dei parametri operativi, del sistema di raffreddamento, della tipologia di catalizzatore e sulle caratteristiche iniziali della carica.

Nel presente studio si sono implementate e simulate in ambiente Aspen Dynamics due configurazioni reattoristiche di metanazione catalitica: reattori adiabatici e raffreddati. La seconda configurazione ha dimostrato di essere più performante rispetto alla prima, rispondendo meglio a possibili variazioni di carico entrante. Infatti, in base ai risultati dei test eseguiti a valle della sintesi e tuning dei sistemi di controllo per entrambe le configurazioni, si è visto come la configurazione reattori raffreddati permetta una maggiore flessibilità del sistema (i test condotti sono stati di riduzione del carico, i.e. portata di H₂ entrante, del -5 e -30%, e uno studio di aumento di +5%). Si è poi ottimizzata tale configurazione e si sono eseguiti dei test di start-up e shut-down considerando due possibili catalizzatori nel reattore: a base Ru e a base Ni, sintetizzando e tunando due sistemi di controllo ad hoc. Infine si è sviluppato un modello 2D di un metanatore catalitico raffreddato monotubo.

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

- "POWER-TO-GAS: ANALISI DI PROCESSO E STRATEGIE DI CONTROLLO PER SISTEMI DI METANAZIONE CATALITICA IN DINAMICO", G. Vilardi, C. Bassano, P. Deiana, N. Verdone

LA 3.8 - Power-to-Gas: sperimentazione di sistemi catalitici innovativi di metanazione

POLIMI [1/1/2020-31/12/2020]

Come previsto dall'accordo di collaborazione, le attività si sono articolate su 3 tasks. Inizialmente (Task1) è stato effettuato uno studio termodinamico e sperimentale avente lo scopo di valutare la configurazione di processo ottimale per ottenere, nella metanazione di correnti concentrate di CO₂, una corrente di metano compatibile con l'immissione diretta in rete (H₂ < 1%, CO₂ < 2.5%, CO < 0.1% vol/vol su base secca). Lo screening ha interessato tre configurazioni di processo: singolo stadio, due stadi in serie operanti a diversa temperatura, due stadi in serie con rimozione intermedia di H₂O. L'utilizzo di quest'ultima configurazione e operando il primo stadio a una temperatura maggiore del secondo garantisce vantaggi sia a livello termodinamico che cinetico, permettendo il raggiungimento della specifica di rete in condizioni industrialmente accessibili. In una seconda fase, si è proceduto ad uno studio fondamentale di materiali catalitici operanti a bassa temperatura (a base di Ru) e operanti ad alta temperatura (a base di Ni) (Task 2). Nel caso dei catalizzatori al Ru, è stato ottimizzato il carico della fase attiva, sfruttando la structure-sensitivity della reazione di metanazione, arrivando ad un carico ottimale del 3-5% in peso. Per i catalizzatori a base di Ni sono stati valutati diversi metodi preparativi (co-precipitazione, impregnazione, precipitation/deposition); catalizzatori co-precipitati a base di Ni-Al hanno mostrato le migliori

performances, permettendo il raggiungimento di carichi di Ni molto elevati ($\text{Ni} > 50\%$ in peso) e mantenendo un'elevata stabilità e selettività. Da ultimo, prevedendo l'utilizzo di catalizzatori pellettizzati in reattori intensificati (Task 3), le formulazioni e procedure preparative identificate nel precedente task sono state replicate su supporti preformati di varie dimensioni (fino ai 3 mm) con buoni risultati.

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

- "SPERIMENTAZIONE DI SISTEMI CATALITICI INNOVATIVI PER LA METANAZIONE IN IMPIANTI P2G", A. Porta, C. Larghi, C.G. Visconti, L. Lietti, P. Deiana, C. Bassano
- "REALIZZAZIONE DI CATALIZZATORI ADATTI A REATTORI STRUTTURATI INNOVATIVI IN IMPIANTI P2G", A. Porta, C. Larghi, C.G. Visconti, L. Lietti, P. Deiana, C. Bassano

LA 3.15 - Power-to-Gas: sintesi di catalizzatori bifunzionali solidi per la sintesi diretta di DME da CO e H₂

U. PARMA [1/1/2020-31/12/2020]

L'attività di ricerca ha riguardato la preparazione di catalizzatori eterogenei bifunzionali a base di resine solfoniche e rame da utilizzare nella sintesi del DME seguendo l'approccio della sintesi diretta, che passa attraverso l'ottenimento del metanolo dal syngas e la sua successiva reazione di disidratazione nello stesso reattore.

I materiali preparati sono stati ottenuti utilizzando una resina solfonica perfluorurata commercializzata dalla Solvay (Aquivion), che si era rivelata in precedenti studi essere attiva nel processo di disidratazione del metanolo a DME.

Per la preparazione di tali catalizzatori sono stati utilizzati due tipi di Aquivion: Aquivion in polvere PW66-S, che presenta un peso equivalente EW, espresso in g/eq SO₃H, di 679, e una sospensione acquosa di Aquivion, l'Aquivion D66-20BS, che è caratterizzato da un peso equivalente simile (676 g/eq SO₃H).

La preparazione dei catalizzatori bifunzionali è stata condotta utilizzando l'Aquivion (polvere o soluzione acquosa) e delle soluzioni di rame (rame metallico o nitrato rameico). La procedura ha previsto la miscelazione della resina solfonica con acetonitrile e la successiva aggiunta del rame. La soluzione così ottenuta è stata riflussata per 48 ore e dopo raffreddamento il solvente è stato evaporato sotto pressione ridotta ottenendo dei solidi azzurri. Tali solidi sono stati macinati e setacciati per ottenere materiali omogenei.

Utilizzando vari rapporti tra l'Aquivion ed il rame sono stati così preparati tre tipi di catalizzatori, caratterizzati da un contenuto di rame pari al 69% (Aquivion in polvere e rame metallico), 78% (Aquivion in polvere e nitrato rameico) e 45% (sospensione acquosa di Aquivion e rame metallico). I materiali così preparati, con diverso contenuto di rame e contenuto di pendagli solfonici paragonabile, sono stati inviati a Casaccia per i test catalitici nella produzione del DME.

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

- "SINTESI DI CATALIZZATORI BIFUNZIONALI SOLIDI PER LA SINTESI DIRETTA DI DME DA CO₂ E H₂", R. Maggi, G. Maestri

LA 3.22 - Power-to-Gas/Liquid: studi modellistici delle tecnologie e progettazione degli esperimenti – fase preliminare

U. CAGLIARI [1/1/2020-31/12/2020]

L'attività di ricerca 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 LA22 sono stati sviluppati e validati diversi modelli numerici in ambiente Matlab e Aspen-Plus per la simulazione e l'analisi delle prestazioni energetiche dei processi di sintesi di metano, metanolo e dimetiletere (DME) mediante idrogenazione catalitica della CO₂, con idrogeno prodotto dal surplus di produzione elettrica da fonte rinnovabile. Nel corso dell'attività si è proceduto allo sviluppo e alla validazione di modelli numerici per la simulazione del comportamento e delle prestazioni degli elettrolizzatori. In particolare, i modelli sono in grado di valutare le prestazioni sia di elettrolizzatori a bassa

temperatura (sia ad elettrolita alcalino che PEM) che costituiscono lo standard attuale dei sistemi di produzione dell'idrogeno, che innovativi ad alta temperatura ad ossidi solidi (SOEC), che in una previsione a breve-medio termine assicurano rendimenti di conversione notevolmente superiori. Con la linea di attività LA23 è prevista l'integrazione dei modelli in un unico modello generalizzato per la simulazione dei processi P2G/L di produzione di metano, metanolo e DME.

Infine con l'obiettivo di applicare la metodologia di pianificazione degli esperimenti (Design of Experiments, DoE), 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 ad essi legati (pressioni, temperature, concentrazioni dei reagenti e portate, parametri cinetici, ecc.), con la conseguente individuazione dei fattori di progetto e di esercizio più significativi.

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

- "SVILUPPO DI MODELLI DI SIMULAZIONE E DI PREVISIONE DELLE PRESTAZIONI DI PROCESSO E SISTEMI ENERGETICI BASATI SULLE TECNOLOGIE P2G/L (GAS/LIQUIDS)", V. Tola, G. Cau, D. Cocco, F. Lonis, M. Petrollese
- "STUDI PRELIMINARI SULLA PIANIFICAZIONE STATISTICA DEGLI ESPERIMENTI BASATI SULLE METODOLOGIE DEL DESIGN OF EXPERIMENTS PER LA SPERIMENTAZIONE DEL PROTOTIPO P2G/L (GAS/LIQUIDS)", V. Tola, G. Cau, D. Cocco, F. Lonis, M. Petrollese

LA 3.28 - Integrazione P2G/sistemi generazione elettrica innovativi: fuel-flexibility – tecniche per l'identificazione di instabilità di combustione

U. ROMA TRE [1/1/2020-31/12/2020]

Con riferimento all'attività sperimentale sul bruciatore ROMULUS, è stato sviluppato, messo a punto e validato il codice per lo studio e la predizione degli effetti dell'idrogeno sui comportamenti di instabilità termoacustica. Il codice è implementato in ambiente Labview ed è finalizzato alla ricerca di precursori dell'instabilità che consentano di predirne con sufficiente anticipo l'insorgenza. Tramite il software Labview è stato quindi implementato un algoritmo che produce autonomamente, se necessario anche in tempo reale, gli indici di instabilità.

E' stato inoltre sviluppato un software di autocondizionamento basato sull'analisi wavelet, integrato con il codice per l'analisi caotica. Tale codice è finalizzato alla ricerca di eventi intermittenti ad alto contenuto di energia che vengono selezionati e caratterizzati statisticamente e dei quali ne viene quantificata la loro ricorrenza nel tempo.

L'interfaccia del software presenta la possibilità di scelta tra analisi caotica o wavelet. Nel caso dell'analisi caotica viene mostrato il segnale importato, il segnale campionato (nel caso sia necessaria una riduzione del numero di dati per abbassare il costo computazionale), l'andamento di un parametro matematico funzione della dimensione di incorporamento e la rappresentazione del segnale nello spazio delle pseudo-fasi. Nel caso dell'analisi wavelet il software mostra l'ampiezza e la scala delle firme degli eventi altamente energetici intermittenti. Fornendo al software alcuni input quali: il percorso file del segnale in formato .lvm o .tdms, l'intervallo temporale del ricampionamento (se necessario), la soglia di discriminazione relativa alla mappa di ricorrenza " ϵ " e la lunghezza minima di ricorrenza diagonale " L_{min} ", vengono calcolati automaticamente gli indici RR_{τ} , DET e L_{τ} e graficate le mappe di ricorrenza e le firme dei segnali intermittenti.

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

- "TECNICHE PER L'IDENTIFICAZIONE DI INSTABILITÀ DI COMBUSTIONE", R. Camussi, E. Martellini, T. Pagliaroli, G. Troiani, C. Stringola

LA 3.30 - Integrazione P2G/sistemi generazione elettrica innovativi: cicli a sCO₂ ibridizzati con sistemi di accumulo – progettazione preliminare

U. ROMA TRE [01/01/2020-31/12/2020]

Nell'ambito delle attività WP3 – LA 3.30, il gruppo di ricerca del Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli studi Roma Tre ha focalizzato la propria attenzione sulla progettazione e l'analisi di due turbo-gruppi a

CO₂ trans-critica e supercritica per un impianto di potenza innovativo dotato di sistema di accumulo freddo. In particolare, uno dei due turbo-gruppi attiene alla sezione di potenza e il secondo alla sezione pompa di calore, per un complessivo di quattro macchine elementari identificate quali componenti potenzialmente critici per l'intero sistema messo a punto da ENEA durante l'attività WP3 -LA3.29.

Durante la fase di progettazione preliminare dei due turbo-gruppi sono state privilegiate le architetture più compatte (configurazioni mono-albero esercite a numero di giri fisso) e si è proceduto con il dimensionamento preliminare alla linea media di tutti i componenti e sub-componenti, utilizzando metodologie e modelli per turbomacchine radiali a CO₂ trans-critica e supercritica sviluppati ad-hoc dal gruppo di ricerca di Roma Tre durante il PTR 2015-19. Per le turbomacchine assiali, invece, sono stati utilizzati modelli e metodologie noti da letteratura. Per le migliori configurazioni ottenute, è stata condotta un'analisi numerica tridimensionale per la valutazione delle prestazioni termo-fluidodinamiche di dettaglio tramite l'utilizzo del software commerciale ANSYS-CFX. In particolare, è stato verificato il comportamento delle macchine in condizioni nominali e di picco e, laddove necessario, si è proceduto alla modifica della geometria dei vari sub-componenti per migliorare le prestazioni globali delle macchine. Per le configurazioni migliori, si è, infine, proceduto alla valutazione delle curve caratteristiche e dei limiti operativi. Tali mappe saranno integrate nel simulatore d'impianto nella prossima annualità.

Tuttavia, è stato evidenziato come alcune criticità risultino ineliminabili (transonicità del compressore del gruppo di potenza, basse prestazioni dell'espansore della pompa di calore ecc.) perché legate intrinsecamente al layout d'impianto. Pertanto, sulla base dell'esperienza maturata durante la seconda annualità, si procederà a rivisitare il layout di sistema nel suo complesso per tener conto dei limiti evidenziati dalle macchine analizzate.

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

- “PROGETTAZIONE PRELIMINARE DI UN CICLO A sCO₂ IBRIDIZZATO CON UN SISTEMA DI ACCUMULO FREDDO”, A. Giovannelli, C. Salvini, E.M. Archilei, 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
Porta, A., Falbo, L., Visconti, C.G., Lietti, L, Bassano, C., Deiana, P.	<i>Synthesis of Ru-based catalysts for CO₂ methanation and experimental assessment of intraporous transport limitations</i>	Catalysis Today, 2020, 343, pp. 38–47 IF= 5.825
Lembo et al.	<i>Thermophilic Anaerobic Digestion of Second Cheese Whey: Microbial Community Response to H₂ Addition in a Partially Immobilized Anaerobic Hybrid Reactor.</i>	Processes 2021, 9, 43 IF = 2.973
V. Barbarossa, R. Viscardi, A. Di Nardo, A. Santagata	<i>Kinetic parameter estimation for methanol dehydration to dimethyl ether over sulfonic and polymeric acid catalysts</i>	Journal of Chemical Technology and Biotechnology, Vol. 95, Issue6, Pages 1739-1747, 2020, IF = 2.75
R. Viscardi, V. Barbarossa, R. Maggi, F. Pancrazzi	<i>Development of sulfonic supported acids and their applications in power to gas systems</i>	International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol. 9, No. 9, pp. 1271-1274, 2020, IF = 0.663
R. Viscardi, V. Barbarossa, D. Mirabile Gattia, R. Maggi, G. Maestri, F. Pancrazzi	<i>Effect of surface acidity on the catalytic activity and deactivation of supported sulfonic acids during dehydration of methanol to DME</i>	New J. Chem., 2020,44, 16810-16820, IF = 3.288

Autori	Titolo	Rivista
R. Viscardi, V. Barbarossa, R. Maggi, F. Pancrazzi	<i>Effect of Acidic MCM-41 Mesoporous Silica Functionalized with Sulfonic Acid Groups Catalyst in Conversion of Methanol to Dimethyl Ether</i>	Energy Reports, Volume 6, Supplement 8, 2020, Pages 49-55, IF = 3.595
R. Viscardi, M. Pecoraro	<i>Design of an ammonia electrolyzer for hydrogen production</i>	International Journal of Recent Engineering Science 7.5(2020):18-21, IF = 9.219
Lonis F., Tola V., Cau G.	<i>Assessment of integrated energy systems for the production and use of renewable methanol by water electrolysis and CO2 hydrogenation</i>	Fuel, Vol. 285, 2021, IF = 5.578
Pagliaroli T., Troiani G.	<i>Wavelet intermittent blowout detection in thermoacoustic instability of trapped vortex combustor</i>	Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1589, No. 1, p. 012005), 2020, IF = 3.539
PE Lapenna, G Troiani, R Lamioni, F Creta	<i>Mitigation of Darrieus–Landau instability effects on turbulent premixed flames</i>	Proceedings of the Combustion Institute Vol. 22, 2020, IF = 5.627
Pagliaroli T., Troiani G.	<i>Wavelet and recurrence analysis for lean blowout detection: An application to a trapped vortex combustor in thermoacoustic instability</i>	Physical Review Fluids 5 (7), 073201, 2020, IF = 2.512
G. Troiani, M. Marrocco	<i>Fractal Analysis of Fluorescence Images to Assess Robustness of Reference-surface Positioning in Flame Fronts</i>	Combustion Science and Technology, 1-16 (in press), IF = 1.73
G. Messina, A. Bo, M. Nobili, L. Pagliari	<i>Aergia number: A new non-dimensional group for gas turbine power estimation</i>	International Journal of Energy Research, 2020; p. 1–14, IF = 3.741
A. Di Nardo, A. Bo, G. Calchetti, E. Giacomazzi, G. Messina	<i>Study on the Fuel Flexibility of a Microgas Turbine Combustor Burning Different Mixtures of H2, CH4, and CO2</i>	Journal of Engineering for Gas Turbines and Power - JUNE 2020, Vol. 142 / 061001-1, IF = 1.804
G. Messina	<i>Capitolo “Flessibilità e sicurezza del sistema elettrico in sinergia con la rete gas”</i>	Monografia “Le innovazioni del prossimo futuro X edizione – Volume 2 – settore energia – Tecnologie prioritarie n.24
Giovannelli, A., Archilei, E.M., Di Lorenzo, G., Salvini, C., Bashir, M.A., Messina, G.	<i>Design of power-blocks for medium-scale supercritical carbon dioxide plants</i>	International Journal of Energy Research, 45 (1), pp. 355-378, 2021, IF = 3.741
Biondi, M., Giovannelli, A., Di Lorenzo, G., Salvini, C.	<i>Techno-economic analysis of a sCO2 power plant for waste heat recovery in steel industry</i>	Energy Reports, 6, pp. 298-304, 2020, IF = 3.595
Giovannelli, A., Biondi, M., Di Lorenzo, G., Salvini, C.	<i>SCO2Power Plant for Industrial Waste Heat Recovery: A Case Study</i>	E3S Web of Conferences, 197, 2020, IF = 0.52

Partecipazioni a workshop/congressi, seminari:

Congresso/workshop	Data e località	Partecipazione
Seminario	Queen’s University, Belfast, 6.10.20	“Ru-based catalysts for CO2 hydrogenation to Synthetic Natural Gas”
<i>The 10th International Conference on Key Engineering Materials</i>	<i>Madrid, Spain / March 26-29, 2020</i>	<i>“Development of sulfonic supported acids and their applications in power to gas systems”, R. Viscardi, V. Barbarossa, R. Maggi, F. Pancrazzi.</i>
7th International Conference on Energy and Environment Research, ICEER 2020	14–18 September, ISEP, Porto, Portugal	"Effect of Acidic MCM-41 Mesoporous Silica Functionalized with Sulfonic Acid Groups Catalyst in Conversion of Methanol to Dimethyl Ether", R. Viscardi, V. Barbarossa, R. Maggi, F. Pancrazzi
The 11th International Conference on Advanced Materials Research (ICAMR 2021)	Singapore (Singapore), January 2021	“Engineering modified mesoporous silica catalysts through porosity and surface acidity control for selective production of DME”, F. Pancrazzi, R. Viscardi, R. Maggi, V. Barbarossa
5th Green and Sustainable Chemistry Conference (GREN2020)	November 10-11, 2020	"Performance assessment of energy systems fuelled by methanol from renewable H2 and captured CO2", Tola V., Lonis F., Cau G.

Congresso/workshop	Data e località	Partecipazione
75° Congresso Nazionale ATI	15-16 Settembre 2020	"Performance assessment of integrated energy systems for the production of renewable hydrogen energy carriers", Lonis F., Tola V., Cau G.
7th International Conference on Energy and Environment Research, ICEER2020	14-17 September 2020, Virtual Conference	"Techno-economic analysis of a sCO ₂ power plant for waste heat recovery in steel industry", Biondi, M., Giovannelli, A., Di Lorenzo, G., Salvini, C.
75° Congresso Nazionale ATI	15-16 Settembre 2020, Virtual Conference	"sCO ₂ Power Plant for Industrial Waste Heat Recovery: A Case Study", Giovannelli, A., Biondi, M., Di Lorenzo, G., Salvini, C.
Lezione	Università di Roma La Sapienza	Corso di Dottorato di Processi per l'Industria e per l'Ambiente, Dr. Ing. Giorgio Vilardi con le colleghe Dr. Ing. Benedetta de Caprariis e Dr. Ing. Maria Anna Murmura

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, nei meeting tenuti nel corso dell'annualità, contributi tecnico-scientifici sulle tematiche inerenti il 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) Virtual AGM & Workshop Week	29 June -3 July 2020	Partecipazione E. Giacomazzi, G. Messina, A. Giovannelli, a varie sessioni tecniche: 1. Gas turbines operational and fuel flexibility 2. Next generation power cycles 3.
Flexible Power Generation – ETN Webinar Series – 1st episode	29 September 2020	Partecipazione E. Giacomazzi, G. Messina, A. Giovannelli, a "Challenges and opportunities for flexible power generation in the future energy scenario"
Gas turbines in a carbon-neutral society – bridging session to IGTC 2021	20 October 2020	Partecipazione E. Giacomazzi, G. Messina, A. Giovannelli, a 1. "EU hydrogen strategy" 2. "Cost-Efficient Utilization of Hydrogen in Gas Turbines for Decarbonization of Power"
Flexible Power Generation – ETN Webinar Series – 2nd episode	3 November 2020	Partecipazione E. Giacomazzi, G. Messina, A. Giovannelli, a "FLEXnCONFU. Power-to-X-to-Power solutions for flexible, carbon-free and efficient energy generation"
Flexible Power Generation – ETN Webinar Series – 3rd episode	1 December 2020	Partecipazione E. Giacomazzi, G. Messina, A. Giovannelli, a "HYFLEXPOWER. HYdrogen as a FLEXible energy storage for a fully renewable European POWER system"

Evento	Data e località	Partecipazione
78 th Working Party on Fossil Energy, IEA	20 October 2020	Partecipazione E. Giacomazzi
79 th Working Party on Fossil Energy, IEA	19 May 2020	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 CO₂, 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 2019 il Dipartimento Tecnologie Energetiche ha siglato importanti accordi di collaborazione con società che sono interessate a tali tecnologie:

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

Nel corso del 2020, le attività in questi accordi si sono espletate in diverse riunioni tecniche con gruppi specifici per le varie tecnologie.

SNAM è il primo gestore del sistema di trasporto del gas in Italia per estensione della rete, con circa 32.500 km di rete di trasmissione nazionale (oltre il 90% dell'intera rete) mentre **SGI** è il secondo gestore di sistemi di trasporto gas in Italia per estensione di rete, con circa 1.600 chilometri di gasdotti ad alta pressione nel Centro-Sud Italia. Ambedue, operando nel settore del trasporto di gas, mediante condotte in alta e media pressione, sin dagli anni '60, hanno sviluppato una considerevole esperienza tecnica e know-how relativi a tecnologie nel campo della progettazione e realizzazione di condotte in alta pressione nonché alle tecnologie connesse alla gestione di reti di trasporto. In virtù di tale know-how, le Società hanno chiesto ad ENEA una collaborazione dal punto di vista scientifico per lo sviluppo di tecnologie innovative riconducibili al settore nel quale operano. A tale scopo si sono formalizzati un accordo con SGI nel Marzo del 2019, ed

uno con SNAM all'inizio del 2020, finalizzati a realizzare programmi di comune interesse riguardanti le seguenti tematiche:

- l'accoppiamento delle reti di trasporto di energia elettrica e gas naturale, attraverso le tecnologie del power to gas, al fine di rendere più efficiente il sistema energetico nazionale;
- la produzione e l'impiego di gas diversi dal gas naturale quali biometano, idrogeno e metano di sintesi (e loro miscele) mediante l'applicazione dei processi di elettrolisi dell'acqua e della metanazione;
- l'iniezione dei gas prodotti nella rete di trasporto;
- l'utilizzo innovativo delle infrastrutture gas esistenti;
- il riutilizzo della CO₂ proveniente da processi industriali e sorgenti naturali;
- lo stoccaggio dell'H₂ e della CO₂;
- gli aspetti di sicurezza legati all'utilizzo di combustibili alternativi;
- l'evoluzione della normativa tecnica applicabile alle iniziative suddette.

Un altro importante accordo è stato formalizzato con la **NPI** (Nuovo Pignone International) del gruppo Baker Hughes, che è coinvolta in attività di ricerca e sviluppo per le tecnologie dell'Energia e dell'Oil&Gas ed è leader mondiale del settore, dall'estrazione, al trasporto ed all'uso finale.

L'accordo, formalizzato all'inizio del 2020, è finalizzato a cooperare individuando aree di comune interesse che potrebbero essere oggetto di un impegno congiunto per lo sviluppo di soluzioni tecnologiche innovative su temi quali:

- idrogeno: produzione, trasporto, utilizzo;
- bilanciamento ed integrazione delle reti energetiche, stoccaggio dell'energia, macchine ibride;
- cicli turbogas alimentati a idrogeno e/o ammoniaca a percentuali variabili tra 0% e 100%;
- cicli termodinamici di potenza a CO₂ supercritica;
- Power To Gas

L'obiettivo di ENEA è la valorizzazione dei risultati delle proprie ricerche, anche ottenuti all'interno di questo Piano Triennale, in progetti di trasferimento tecnologico di interesse nazionale/internazionale in collaborazione con queste grandi aziende. A titolo di esempio, si riporta il progetto Europeo CO₂OLHEAT finanziato in ambito HORIZON 2020 sullo sviluppo e realizzazione di un impianto pilota a CO₂ supercritica per waste-heat recovery, che vede ENEA e NPI collaborare insieme ad altri partner Europei (kick-off previsto il 14-15 giugno 2021).