



CONVEGNO

COMBUSTIBILI DI SINTESI (E-FUELS)

3-4 OTTOBRE 2024

ABSTRACT

Comitato ordinatore: Vincenzo AQUILANTI (Linco, Università di Perugia), Lidia ARMELAO (Direttrice DSCTM, CNR), Silvia BORDIGA (Linco, Università di Torino), Gianluca FARINOLA (Presidente SCI, Università di Bari), Cristiana GABURRI (Federchimica), Gaetano GUERRA (Linco, Università di Salerno), Maurizio PRATO (Linco, Università di Trieste), Giuseppe RICCI (Presidente AIDIC, ENI), Adriano ZECCHINA (Linco, Università di Torino)

PROGRAMMA

Combustibili di sintesi, noti anche come e-fuels ed attualmente oggetto di molti studi a livello internazionale, potrebbero diventare una rilevante classe di vettori energetici. È un tema su cui è opportuno focalizzare l'attenzione di ricercatori e tecnologi. Si tratta infatti di una potenziale alternativa per ridurre le emissioni di gas serra, soprattutto per trasporti marittimi ed aerei a lunga distanza.

Giovedì 3 ottobre

14.30 *Indirizzi di saluto*

della Presidenza dell'Accademia Nazionale dei Lincei

Maria Chiara CARROZZA (Presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche)

Chair: Gaetano GUERRA (Linco, Università di Salerno)

14.50 Silvia BORDIGA (Linco, Università di Torino): *Cosa sono e come vengono prodotti gli e-fuel?*

15.10 Giuseppe RICCI (Presidente AIDIC, ENI): *Il ruolo degli e-fuels nella decarbonizzazione dei trasporti*

Chair: Gianluca FARINOLA (SCI, Università di Bari)

15.30 Vito DI NOTO (Università di Padova): *Perché l'idrogeno verde è la soluzione della transizione energetica?*

15.50 Marco TADDEI (Università di Pisa): *Cattura di CO₂ con sorbenti: aspetti scientifici e tecnologici*

16.10 Adele BRUNETTI (CNR ITM, Rende): *Operazioni a membrana per la valorizzazione di CO₂*

16.30 Intervallo

Chair: Maurizio PRATO (Linco, Università di Trieste)

16.50 Massimo VIVIANI (CNR ICMATE, Genova): *Sviluppo di celle a ossidi solidi avanzate per la produzione di combustibili di sintesi*

17.10 Giulia MONTELEONE (TERIN, ENEA): *Principali attività di ricerca nel settore degli e-fuels*

**Coordinatori: Lidia ARMELAO (CNR)
Mario MARCHIONNA (SAIPEM)
Monica SANTAMARIA (Università di Palermo)**

17.30 Presentazioni poster

18.30 Visita ai Poster

Venerdì 4 ottobre

Chair: Cristiana GABURRI (Federchimica)

- 9.00 Andrea AMOROSO (GdL Transizione Energetica AIDIC): *La "Roadmap" industriale dei carburanti da materie prime rinnovabili*
- 9.20 Francesco MAESTRI (General Manager Tecno Project Industriale, Gruppo SIAD): *Dalla cattura della CO₂ al suo riciclo chimico per la sintesi di e-fuel: un approccio olistico alla tematica CCUS*
- 9.40 Flavio MANENTI (Politecnico di Milano): *L'accelerazione tecnologica per gli e-fuels: dalla scala di laboratorio alla produzione industriale*
- 10.00 Adalgisa SINICROPI (Università di Siena): *Approccio LCA per la valutazione dei costi ambientali dei combustibili di sintesi*
- 10.20 Intervallo

Tavola rotonda: progetti di ricerca e sviluppo su e-fuels

Coordinatori: Gianfranco PACCHIONI (Linco, Università degli Studi di Milano-Bicocca)
Giuseppe RICCI (Presidente AIDIC, ENI)

- 10.40 Marcella BONCHIO (Università di Padova), Gabriele CENTI (ERIC, Università di Messina), Alessio FUOCO (CNR ITM, Rende), Simelys HERNÁNDEZ (Politecnico di Torino), Ilenia ROSSETTI (Università di Milano), Sabrina ZIGNANI (CNR ITAE, Messina)
- 12.00 *Conclusioni*

POSTERS

1. Carmen RIZZUTO (CNR-ITM): *Membrane a matrice mista per cattura e conversione della CO₂.*
2. Francesca MAROCCO (CarpeCarbon): *L'approccio di CarpeCarbon per la Cattura Diretta di CO₂ dall'Aria.*
3. Daniele FRANCHI (CNR ICCOM): *Produzione di idrogeno guidata dalla luce visibile utilizzando semiconduttori sensibilizzati con coloranti organici.*
4. Andrea ZAFFORA (Università degli Studi di Palermo): *Elettrodi economici privi di PGM: verso un'elettrolisi dell'acqua più sostenibile per la produzione di idrogeno verde.*
5. Ilaria CREA (Università di Padova): *Disegno di un ambiente polimerico ottimizzato per l'ossidazione catalitica dell'acqua a ossigeno.*
6. Serena TODARO (CNR/ITAE): *Idrogenazione diretta di CO₂ a etere dimetilico su catalizzatori "zebra" realizzati mediante stampa 3D.*
7. Alessia AIRI (INRIM): *Nuovi orizzonti per la transizione energetica e un esempio di successo, la conversione tandem da CO₂ a idrocarburi.*
8. Carolina CASTELLO (CNR/ICCOM): *La conversione di CO₂ in formiato di potassio per lo stoccaggio di energia rinnovabile.*

9. Martino PANZERI (Politecnico Milano): *Nuovo reattore strutturato per l'intensificazione della sintesi di Fischer-Tropsch.*
10. Luca CONSENTINO (CNR ISMN): *Approcci strutturali innovativi per migliorare l'attività del catalizzatore Ni-La nella metanazione della CO₂.*
11. Hilmar del Carmen GUZMAN MEDINA (Politecnico Torino): *Scale-up del processo di cattura e conversione elettrochimica della CO₂ a gas di sintesi impiegando energia solare diretta.*
12. Daniele GIUSI (Università di Messina): *Sviluppo di elettrodi GDE innovativi per la produzione di e-fuel.*
13. Alice BARBERO (Università di Torino): *La riduzione elettrochimica di CO₂ per la sintesi di e-fuel.*
14. Leonardo DURANTI (Università degli Studi di Roma Tor Vergata): *Più elettrochimica, meno CO₂: cattura e riutilizzo mediante elettrolizzatori ad ossidi solidi.*
15. Miriam MARCHI (Università Trieste): *Sviluppo di elettrocatalizzatori per il processo di conversione della CO₂ a etil formiato.*
16. Andrea MARTINI (Max Planck Fritz Haber Institut, Berlin): *Studio della dinamica dei siti a singolo atomo durante l'elettroreduzione della CO₂ tramite spettroscopia XAS e XES.*
17. Nicola SANGIORGI (CNR ISSMC): *Fotoelettrodi a base di perovskite per la produzione di combustibili solari.*
18. Giulia ERRICHIELLO (Università di Padova): *Studio di sistemi supramolecolari per la fotosintesi artificiale e la produzione di combustibili solari.*

Il convegno è organizzato in collaborazione con la Società Chimica Italiana, l'Associazione Italiana di Ingegneria Chimica, il Dipartimento di Scienze Chimiche e Tecnologie dei materiali del CNR e Federchimica.

ROMA - PALAZZO CORSINI - VIA DELLA LUNGARA, 10
Segreteria del convegno: convegni@lincei.it – <http://www.lincei.it>

Tutte le informazioni per partecipare al convegno sono disponibili su:

All information for attending the conference is available at:

<https://www.lincei.it/it/manifestazioni/combustibili-di-sintesi>

Per partecipare al convegno è necessaria l'iscrizione online
Fino alle ore 10 è possibile l'accesso anche da Lungotevere della Farnesina, 10
I lavori potranno essere seguiti dal pubblico anche in streaming

L'attestato di partecipazione al convegno viene rilasciato esclusivamente a seguito di partecipazione in presenza fisica e deve essere richiesto al personale preposto in anticamera nello stesso giorno di svolgimento del convegno

Cosa sono e come vengono prodotti gli e-fuel?

Silvia BORDIGA (Lincea, Università di Torino)

Per e-fuel si intendono tutti i combustibili liquidi o gassosi, di origine sintetica, ottenuti a partire da anidride carbonica ed idrogeno prodotto tramite processi alimentati da energia elettrica rinnovabile. Gli e-fuel, chiamati anche electrofuel, powerfuel o Power-to-X (PtX), si possono vedere come un modo di accumulare energia elettrica, trasformandola in energia chimica. L'anidride carbonica emessa nel momento in cui un e-fuel viene sottoposto ad un processo di combustione, non incide sull'aumento delle emissioni, perché il carbonio presente nel combustibile proviene da anidride carbonica non emessa o sottratta all'atmosfera. Tra gli elementi a favore degli e-fuel c'è il fatto che possono essere usati direttamente nei motori tradizionali, i processi necessari alla loro sintesi si rifanno a tecnologie in gran parte note, infine sono esenti da impurezze e possono avere le più svariate composizioni. D'altra parte, la produzione di e-fuel richiede molti passaggi, comportando una bassa efficienza dei processi globali ed alti costi, limitandone la competitività verso i combustibili tradizionali. Inoltre, la produzione di e-fuel richiede un'ampia disponibilità di anidride carbonica, di idrogeno e di elettricità prodotta da fonti rinnovabili, fattori che non è semplice trovare congiuntamente. L'interesse per gli e-fuel deriva dal fatto che, nella maggior parte degli scenari proposti per raggiungere il traguardo di azzeramento delle emissioni dirette di anidride carbonica nel 2050, il settore dei trasporti è molto difficile da decarbonizzare e l'elettrificazione e l'uso di idrogeno come vettore energetico, non saranno adatti e sufficienti a tutte le esigenze. In particolare, secondo l'agenzia internazionale per l'energia, il settore dei trasporti aerei è certamente il più critico in quanto meno del 10% sarà alimentato da idrogeno o elettricità e dovrà ricorrere in maniera consistente agli e-fuel.

I processi industriali che portano alla sintesi di e-fuel si sviluppano secondo due filoni. Nel primo, l'anidride carbonica reagisce con l'idrogeno per dare monossido di carbonio più acqua secondo la reazione di "reverse water gas shift" (RWGS), seguita dalla reazione di Fischer Tropsch, che porta alla sintesi di idrocarburi a catena lunga che sono poi convertiti nei combustibili desiderati. Nel secondo, gli idrocarburi sono ottenuti passando attraverso la sintesi di metanolo, a sua volta originato o dal gas di sintesi secondo la reazione di RWGS o direttamente da anidride carbonica ed idrogeno. Benché nessuna di queste reazioni sia nuova e la sintesi di e-fuel, sia già una realtà, la ricerca è molto attiva, sia per quanto concerne gli aspetti più chimici e di scienza dei materiali, che per quelli ingegneristici, al fine di rendere questa tecnologia sostenibile ed economicamente competitiva.

Il ruolo degli e-fuels nella decarbonizzazione dei trasporti

Giuseppe RICCI (Presidente AIDIC, ENI)

La transizione energetica è un processo lungo e complesso, che richiede una visione chiara e pragmatica. Oltre agli impatti ambientali, è fondamentale considerare le ripercussioni economiche, sociali e di sicurezza energetica. Ad esempio, il gas, demonizzato per anni, ha dimostrato la sua importanza nella transizione in seguito alla crisi del 2021 e poi alla guerra Russo-Ucraina. Un altro caso è il bando della EU al motore a combustione interna, che ha indirizzato su un'unica tecnologia, senza considerare i costi, gli impatti infrastrutturali, la dipendenza da pochissimi Paesi per le materie critiche e i risvolti economico-sociali e di competitività dell'industria europea, le cui conseguenze sono oggi purtroppo ben evidenti.

Nel settore dei trasporti, che rappresenta il 25% delle emissioni globali, la decarbonizzazione è particolarmente difficile, soprattutto per segmenti cosiddetti Hard to Abate (HTA) come i trasporti pesanti, aerei e marittimi, dove le alternative sono limitate e certamente non si può imporre l'elettrificazione. L'utilizzo di biocarburanti HVO (Hydrogenated Vegetable Oil), come l'HVO Diesel e il biojet SAF (Sustainable Aviation Fuel), prodotto nelle bioraffinerie, offre una soluzione concreta e già disponibile per ridurre le emissioni, peraltro senza dover apportare interventi strutturali sui motori e sulla logistica di distribuzione. Ugualmente sarà con gli e-fuels, anche se lo sviluppo tecnologico e l'abbattimento dei costi di produzione rappresentano

ancora una sfida importante, che dovrà impegnare la scienza e la tecnologia nei prossimi anni. Altre soluzioni come l'H₂, l'NH₃ e il metanolo saranno complementari.

Questa premessa per dimostrare che ci sono molte soluzioni valide per la decarbonizzazione dei trasporti e che va applicato il principio di neutralità tecnologica e non va seguito un principio ideologico dove, invece di focalizzarsi sull'obiettivo (la riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera) e sugli effetti collaterali (costi per la comunità, sicurezza energetica, impatti sociali, ecc.), ci si innamora di un'unica soluzione da adottare ad ogni costo.

L'approccio di neutralità tecnologica è certamente più efficiente ed efficace perché considera tutte le soluzioni disponibili sulla base del loro potenziale di decarbonizzazione, ricercando semmai sinergie e complementarietà tra di loro, in funzione dello specifico segmento di utilizzo (per esempio la tipologia di trasporto), della sicurezza della filiera e della diversificazione degli approvvigionamenti, del costo complessivo e dell'impatto sociale e sulla competitività delle imprese. Questo ultimo aspetto, quello sociale, rischia di diventare determinante perché, se la conseguenza del "Green Deal" europeo è la perdita di competitività di interi settori industriali (automotive ne è un esempio, ma non solo), la perdita di milioni di posti di lavoro e l'incremento del costo complessivo dell'energia, difficilmente potrà andare a compimento.

Venendo al ruolo che gli e-fuels, oggi classificati come carburanti sintetici liquidi o gassosi prodotti con idrogeno verde (ovvero ottenuto dall'elettrolisi dell'acqua) e anidride carbonica catturata dall'aria, questi offrono certamente una soluzione interessante per raggiungere gli obiettivi climatici, anche se oggi le tecnologie di produzione sono ancora molto costose e non del tutto mature. Il loro sviluppo dipenderà dalla riduzione dei costi delle rinnovabili, dall'applicazione di principi di neutralità tecnologica nel sistema normativo attuale (abilitando l'utilizzo del meno costoso idrogeno blu e la meno costosa cattura di CO₂ da fumi di combustione), dal progresso tecnologico e dai sempre necessari incentivi economici soprattutto alla ricerca e sviluppo. Inoltre, i diversi sistemi di produzione di e-fuels (dal Fischer-Tropsch all'Alcohol-to-Jet) possono essere una leva per incentivare la riconversione industriale di raffinerie e petrolchimici, così come già avvenuto per la trasformazione di raffinerie tradizionali in bioraffinerie.

Sempre applicando il principio di neutralità tecnologica, bisognerà stare molto attenti a non considerare biocarburanti ed e-fuels come vettori energetici in competizione ma, al contrario, da applicare secondo concetti di efficienza ed efficacia e sarà compito nostro ricercare e sinergie tra di loro, così come dobbiamo trovarle con il vettore elettrico e tutte le altre soluzioni, come l'idrogeno, che si stanno affacciando sul mercato.

Il nostro obiettivo resta sempre quello di raggiungere tutti i target ambientali al minimo costo e al minimo impatto sociale, assicurando la fattibilità e la sicurezza energetica durante il lungo periodo di transizione. Seguendo questi principi alla decarbonizzazione dei trasporti, potremmo sviluppare un nuovo modello di mobilità in grado di incontrare le esigenze di tutti. L'evoluzione del PNIEC (Piano Nazionale Integrato Energia e Clima) sta andando in questa direzione e dovremo auspicare che il quadro normativo europeo abbandoni l'approccio ideologico e diventi anche esso più pragmatico e attento alla sostenibilità integrata della transizione energetica.

Perché l'idrogeno verde è la soluzione della transizione energetica?

Vito DI NOTO (Università di Padova)

L'idrogeno rappresenta una soluzione chiave per sostenere un sistema energetico rivoluzionario, in grado di integrare fonti rinnovabili e di ridurre drasticamente le emissioni di gas serra, contribuendo così a mitigare il riscaldamento globale. Le celle a combustibile (Fuel Cells, FCs) e gli elettrolizzatori (Electrolyzers, ELs) sono i pilastri di questo nuovo paradigma energetico pulito, attualmente oggetto di ricerca, sviluppo e implementazione.

In questo contributo, si analizzerà innanzitutto il ruolo dell'idrogeno nella transizione energetica, con particolare attenzione alla prospettiva europea delineata dal Green Deal e dalle strategie dell'Unione Europea per contrastare i cambiamenti climatici. Verrà poi approfondita la cosiddetta "Hydrogen Economy" e il suo sviluppo, focalizzandosi sull'importanza delle FCs e degli ELs come elementi fondanti di questo nuovo sistema energetico.

Verranno illustrati inoltre lo stato attuale e le prospettive future delle tecnologie a base di idrogeno, con riferimento a parametri chiave di prestazione, agli aspetti economici e ai costi di implementazione. Saranno analizzati gli scenari europei più recenti, inclusi gli aggiornamenti dall'Annual Strategy Meeting dell'EERA (Madrid, 14-15 giugno 2023), le implicazioni del pacchetto "Fit for 55" su gas e idrogeno, e le negoziazioni relative alla Direttiva sulle Energie Rinnovabili (RED). Saranno infine discusse le iniziative dell'Unione Europea, come l'European Hydrogen Bank e il Green Deal Industrial Plan, con un focus sull'atto normativo per l'industria a zero emissioni nette.

Cattura di CO2 con sorbenti: aspetti scientifici e tecnologici

Marco TADDEI (Università di Pisa):

La cattura di CO2 è una tecnologia che può rivestire un ruolo importante nel processo di decarbonizzazione del sistema energetico ed industriale, come testimoniato dalla sua costante presenza negli scenari di emissioni future che permettono di mantenere l'aumento di temperatura globale al di sotto degli 1.5 °C entro la fine del secolo. In questi scenari, la cattura viene associata sia allo stoccaggio geologico della CO2 come soluzione a lungo termine, sia all'utilizzo della CO2 come materia prima per l'ottenimento di vari prodotti attualmente derivati da fonti fossili, fra cui i combustibili di sintesi. Anche nel più ottimistico degli scenari, la quantità cumulata di CO2 catturata nel corso del secolo con questa tecnologia si attesta sui 600 miliardi di tonnellate.

L'approccio più rilevante nel breve-medio termine è la cattura postcombustione, che ha come obiettivo quello di impedire che le emissioni provenienti da grandi sorgenti puntuali, quali centrali termoelettriche a carbone, gas o biomassa e stabilimenti industriali, raggiungano l'atmosfera, fungendo quindi da tecnologia ponte nel processo di decarbonizzazione. La cattura diretta dall'aria permette invece di rimuovere dall'atmosfera anche CO2 proveniente da sorgenti distribuite, quali ad esempio automezzi e caldaie per riscaldamento domestico, e fa parte delle cosiddette "negative emissions technologies" che si prevede saranno necessarie nella seconda parte del secolo per stabilizzare la temperatura del pianeta.

In ciascuno di questi scenari, giocano un ruolo centrale i processi di separazione basati su assorbimento da parte di liquidi (quali soluzioni acquose di ammine o idrossidi metallici) o su adsorbimento da parte di solidi porosi (quali zeoliti, silici, carboni o metal-organic framework). Il sorbente ideale per questi processi deve essere in grado di catturare selettivamente la maggior quantità possibile di CO2 e rilasciarla in forma concentrata con il minimo input energetico e nel minor tempo possibili, avere un basso costo, essere durevole nel tempo e non essere tossico e/o pericoloso. Nonostante l'importanza cruciale del sorbente, per lo sviluppo di processi di cattura capaci di garantire le migliori prestazioni (in termini di recupero, purezza, produttività della CO2, e quindi di costi) è essenziale che esso sia calato in un contesto di parametri di processo che possano valorizzare al meglio le sue caratteristiche, richiedendo quindi uno sforzo congiunto da parte di chimici, scienziati dei materiali ed ingegneri.

Operazioni a membrana per la valorizzazione di CO2

Adele BRUNETTI (CNR ITM, Rende)

L'idrogeno è considerato come un'alternativa verde ai tradizionali combustibili fossili per produrre energia con zero emissioni di carbonio.

Il suo stoccaggio in vettori energetici come gli e-fuel (Metano, Dimetiletere, Metanolo), è oggi considerato una modalità di successo per il trasporto e lo stoccaggio dell'idrogeno prodotto da fonti rinnovabili ed una strategia promettente per il riciclo della CO2.

L'ingegneria delle membrane è un attore chiave per la progettazione di processi sostenibili ed efficienti per la produzione di e-fuel, mirati a massimizzare la produttività e la selettività del processo.

Le attività condotte dal nostro gruppo di ricerca mirano a sviluppare e potenziare **processi catalitici e fotocatalitici assistiti da membrane** e operati in continuo che accoppiano catalizzatori funzionali avanzati con membrane zeolitiche e/o polimeriche in un processo integrato per la conversione diretta di CO₂ off-gas proveniente da impianti di upgrading del biogas e H₂ rinnovabile in e-fuel, quali Metano, MeOH e DME. Le membrane sono usate sia con funzione di contattori per migliorare il trasferimento di materia tra le fasi e il contatto tra reagenti e catalizzatore, sia con funzioni separative per rimuovere selettivamente un prodotto dall'ambiente di reazione o per trattare le correnti di upstream e downstream del processo catalitico.

Obiettivo finale della ricerca è di contribuire ad aumentare la durata, l'affidabilità, la flessibilità e a diminuire il costo e l'impatto ambientale del percorso di valorizzazione della CO₂ lungo tutta la catena di fornitura come uno dei principali strumenti per contribuire al raggiungimento di un sistema energetico pulito e sicuro.

Tale attività, sviluppata negli anni nell'ambito di progetti nazionali ed internazionali quali MERANET – BIOVALUE, PON-PHOTORIDUCO₂, è, attualmente oggetto di attività di ricerca nell'ambito dei progetti POR-ADP-MITE, PNRR TECH4YOU (Spoke 2 - GO2.1 PP3), RFCS-HYDROMINE.

Sviluppo di celle a ossidi solidi avanzate per la produzione di combustibili di sintesi

Massimo VIVIANI (CNR ICMATE, Genova)

Negli ultimi 20 anni la tecnologia delle celle a combustibile a ossidi solidi ha compiuto notevoli progressi, rendendole pronte per un utilizzo su larga scala, sia come generatori di potenza sia come strumenti per l'accumulo di energia sotto forma di idrogeno verde.

La loro elevata efficienza le rende adatte anche per la riduzione simultanea di CO₂ e H₂O, un processo che, grazie alla crescente disponibilità di energia elettrica rinnovabile, apre la strada alla produzione sostenibile di combustibili di sintesi.

Per realizzare questo processo è tuttavia necessario migliorare ulteriormente l'efficienza e la stabilità dei materiali attivi presenti nelle celle a ossidi solidi, oltre a diminuirne la temperatura di esercizio, portandola a circa 600 °C.

Le ricerche presentate mostrano diversi approcci basati sia sull'utilizzo di materiali ceramici alternativi sia sulla realizzazione di interfacce ottimizzate per la catalisi delle reazioni elettrochimiche coinvolte.

Principali attività di ricerca nel settore degli e-fuels

Giulia MONTELEONE (TERIN, ENEA)

Ing. Claudia Bassano, Dott.ssa Giuseppina Vanga, Dott.ssa Rosanna Viscardi, Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili – ENEA

Nei recenti scenari considerati dalla Commissione Europea vengono presentati gli e-fuel come una delle potenziali tecnologie idonee sia per raggiungere gli obiettivi dell'accordo di Parigi, sia per contribuire alla decarbonizzazione del sistema energetico europeo entro il 2050, come richiesto dal Green Deal.

Gli e-fuel, vengono definiti nella Direttiva RED II come "Renewable liquid and gaseous transport Fuels of Non-Biological Origin, RFNBO". In letteratura vengono anche indicati come synthetic fuel, elettrofuel (e-fuel) o Power to Gas o Liquid (PtL o PtG). In termini puramente qualitativi, sono ottenuti dalla combinazione di "idrogeno verde" prodotto dall'elettrolisi dell'acqua usando elettricità rinnovabile e CO₂, proveniente da una fonte concentrata, quale un sito industriale, o dalla separazione dall'aria (attraverso la tecnologia DAC-Direct Air Capture). Quando si utilizza l'elettricità da fonti rinnovabili e l'anidride carbonica di origine biogenica (ad esempio dalla biomassa o dalla cattura diretta dall'aria), le emissioni nette sono considerate prossime allo zero.

L'adozione degli efuels nel sistema energetico presenta molteplici vantaggi tra cui, operando come tecnologie di stoccaggio energetico, quello di contribuire a favorire la penetrazione delle energie rinnovabili, specie quelle aleatorie, poiché consentono di assorbire significative quantità di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili nei periodi di overgeneration, trasformandola in un combustibile di sintesi. Gli efuels, sia liquidi che gassosi, agiscono, inoltre, come vettore per la fornitura di energia rinnovabile in applicazioni difficilmente elettrificabili dall'industria alla mobilità. Ulteriori caratteristiche correlate agli efuels liquidi sono: la sostenibilità climatica, il facile trasporto, l'utilizzo di infrastrutture già esistenti e quindi la riduzione del costo da sostenere per nuovi investimenti, il facile stoccaggio nonché l'elevata densità energetica.

Nello specifico della loro implementazione nella mobilità essi si inseriscono all'interno della mobilità sostenibile che mira a un trasporto eco-compatibile, contribuendo a minori emissioni, minore consumo di risorse non rinnovabili e miglioramento della salute pubblica. In quest'ambito, gli efuels sia liquidi che gassosi si pongono come una delle soluzioni alla decarbonizzazione di questo settore, insieme a soluzioni che implicano l'adozione di concetti di mobilità intelligente, motori più efficienti, veicoli elettrici e l'adozione di biocarburanti. In particolare, gli efuels liquidi, sfruttando la loro elevata densità energetica, trovano applicazione specie per i settori dove l'elettrificazione diretta potrebbe essere di difficile implementazione, come il trasporto marittimo, aereo e il trasporto stradale pesante.

Nel quadro europeo e in conformità con la revisione della Direttiva RED II, gli efuels, intesi come RNFBO, vengono sostenuti attraverso la definizione di specifici target di utilizzo al 2030 e l'introduzione di sistemi incentivanti dedicati e regolamentati, con l'obiettivo di accelerare l'utilizzo di questi nuovi carburanti rinnovabili ed alternativi. Parimenti al livello nazionale, la recente emanazione del PNIEC nel 2023 promuove la produzione e utilizzo di idrogeno prodotto da elettricità rinnovabile nei trasporti, offrendo il duplice vantaggio di ridurre le emissioni da combustibile e da altri prodotti di raffinazione, consentendo allo stesso tempo di immagazzinare l'elettricità rinnovabile in eccesso generata quando l'offerta supera la domanda. Attualmente gli e-fuels non presentano ancora una maturità pienamente commerciale; tuttavia, differenti sono le iniziative di attività sperimentali che dalla ricerca di base, alla scala prototipale e dimostrativa, consentiranno di testare i diversi processi, per passare ad una loro implementazione nel mercato. Verranno pertanto discusse in generale le principali attività di ricerca nel settore degli e-fuels, evidenziando in particolare il ruolo e le opportunità offerte dalla ricerca attualmente in ENEA.

La “Roadmap” industriale dei carburanti da materie prime rinnovabili

Andrea AMOROSO (GdL Transizione Energetica AIDIC)

La roadmap individua le principali strade che portano alla produzione industriale di carburanti da materie prime rinnovabili attraverso le tecnologie oggi conosciute.

Vengono illustrate sia le vie di produzione industriale di carburanti “bio” tradizionali e di ultima generazione, (in particolare HVO e SAF prodotti da tecnologie di tipo HEFA), sia le diverse strade di produzione industriale dei carburanti di origine “non bio” (RFNBO) ovvero i cosiddetti “e-fuels”.

Particolare attenzione viene data alle due principali vie di produzione industriale a partire da “idrogeno verde” e CO₂ “catturata” ovvero la via “Fischer Tropsch” (FT) e la via “Alcohol to Jet” (AtJ), destinata quest'ultima alla produzione di SAF.

La competizione tecnologica di queste due alternative sta contribuendo allo sviluppo degli e-fuels nella direzione di migliorare le prestazioni e ridurre i costi.

Nonostante i processi di produzione degli e-fuels siano ben conosciuti dal punto di vista tecnologico, gli e-fuels sono tuttavia ancora lontani da uno sviluppo su larga scala industriale e commerciale.

Il principale fattore limitante sta evidentemente nei costi di produzione, considerato che nell'ambito dei carburanti decarbonizzati gli attuali costi di produzione dei biocarburanti sono

significativamente più bassi di quelli degli e-fuels e sembrano destinati a rimanerli per ancora molto tempo.

I fattori abilitanti per lo sviluppo degli e-fuels sono principalmente legati alla riduzione del costo delle RES, in quanto il costo degli e-fuels è pesantemente condizionato da quello dell'energia elettrica.

Infine, nel breve-medio termine, sarà determinante il supporto normativo garantito in UE dalla RED III e dal Regolamento 2023/2405 (c.d. ReFuelEU Aviation).

Grazie a questi fattori gli e-fuels potranno diventare uno degli elementi chiave per il raggiungimento del target della decarbonizzazione, non in competizione ma in sinergia con biocarburanti ed elettrico.

Dalla cattura della CO2 al suo riciclo chimico per la sintesi di e-fuel: un approccio olistico alla tematica CCUS

Francesco MAESTRI (General Manager Tecno Project Industriale, Gruppo SIAD)

Le emissioni di gas serra, fra cui la CO₂, sono oggi concordemente riconosciute come una delle principali cause, di origine antropica, della limitata efficienza di dissipazione termica del pianeta verso l'universo, contribuendo così al suo progressivo riscaldamento.

La cattura della CO₂ dai processi industriali che maggiormente contribuiscono alla sua produzione è pertanto destinata ad acquisire un'importanza sempre maggiore, con particolare riferimento a quei settori (noti come "hard-to-abate") per i quali l'abbattimento alla fonte delle emissioni è tecnologicamente reso critico dalla necessità di fornire ingenti quantità di energia ad alte temperature.

I processi di sequestro della CO₂ si suddividono in processi di cattura, da gas che ne sono relativamente poveri (quali un convenzionale gas di combustione, all'8-10% in volume di CO₂), e in processi di recupero, da gas in cui la CO₂ ha già una concentrazione in volume maggiore dell'80%.

I processi di cattura CO₂ sono basati sull'assorbimento selettivo della CO₂, ad esempio, con solventi amminici e sul successivo stripping con vapore della CO₂ catturata, che parallelamente rigenera il solvente di assorbimento.

Fondamentali per questi processi sono aspetti di consumo energetico associati all'operazione di stripping e di degradazione del solvente amminico, favorita da alti tenori di ossigeno nei fumi di combustione originari.

I processi di recupero della CO₂, ne prevedono invece la liquefazione in pressione. In tale ambito si annoverano processi (come quello sviluppato da Tecno Project Industriale), che consiste non già in una mera liquefazione monostadio della CO₂, ma nella sua contemporanea purificazione tramite rettifica.

Tale soluzione di processo consente l'ottenimento di CO₂ qualitativamente idonea a utilizzi alimentari anche a partire da flue-gas provenienti dai settori hard-to-abate più inquinanti.

La vera sfida per il futuro non è tuttavia limitata alla sola cattura o recupero della CO₂ (oggi in gran parte interrata in giacimenti esausti), bensì il suo riciclo chimico.

A causa delle caratteristiche termodinamiche della CO₂, una delle specie di elezione per riconvertire la CO₂ in prodotti utili, quali carburanti sintetici (o e-fuels), è l'idrogeno sulla base di processi industriali già noti da tempo, sebbene oggetto di ottimizzazioni tecnologiche anche recenti.

La chiave è in questo senso rappresentata, in un'ottica olistica e non propagandistica, dalla tecnologia con cui l'idrogeno necessario è generato, la quale non deve essere essa stessa causa di emissioni di CO₂, fatto che invece accompagna i processi industrialmente più rilevanti di produzione dell'idrogeno stesso, quali lo steam-reforming del metano.

La generazione di idrogeno green mediante elettrolisi dell'acqua pone tuttavia a monte di tutto il tema della fonte energetica rinnovabile da impiegare a tal fine, con l'obiettivo di generare idrogeno verde in quantità sufficiente e a condizioni economicamente sostenibili.

In quest'ottica, gli sviluppi della tecnologia nucleare potrebbero in futuro rappresentare la soluzione del problema: una risposta che dalla cattura della CO₂ ci porterà alla sua

riciclabilità, non mediante un approccio univoco, ma attraverso il contributo sinergico di diversi ambiti scientifici e tecnologici.

Approccio LCA per la valutazione dei costi ambientali dei combustibili di sintesi
Adalgisa SINICROPI (Università di Siena)

Nell'intervento saranno presentati alcuni esempi di lavori di analisi del ciclo di vita (LCA) per la produzione di combustibili di sintesi con particolare riferimento al metanolo. Nel far questo, verranno messe in evidenza le criticità nell'approccio metodologico della LCA per tecnologie a basso TRL rispetto alla sua applicazione a tecnologie mature e diffuse sul mercato.”