



Scheda informativa

Come volare senza carburanti fossili¹

(Stato: maggio 2020)

Senza innovazioni tecniche di grande portata, il cherosene e carburanti simili continueranno ad essere ancora a lungo necessari per alimentare i motori dei grandi aerei. Per questo motivo, la chiave per volare senza carburanti fossili è la produzione di carburanti di altra origine.

L'energia di cui un aereo ha bisogno per il volo deve essere già a bordo all'inizio del viaggio, immagazzinata in un adeguato sistema di stoccaggio. Per poter coprire lunghe distanze con passeggeri, merci e carburante a bordo, l'efficienza energetica di un aereo deve essere elevata. Questo significa anche che, in particolare, i sistemi di stoccaggio dell'energia utilizzati non devono pesare troppo, poiché ogni chilogrammo supplementare trasportato deve essere compensato con più spinta. Le turbine degli aerei sono relativamente leggere e sono tra i motori a combustione interna più efficienti in assoluto. L'introduzione di carburanti di origine non fossile potrebbe ridurre drasticamente l'impatto climatico dell'aviazione². La via verso il volo senza carburanti fossili porta quindi alla domanda se in futuro il cherosene potrà essere ottenuto anche da fonti non fossili.

Già oggi il cherosene può essere prodotto sinteticamente a partire da qualsiasi fonte di carbonio insieme all'idrogeno e con la corrispondente energia di processo. Come fonti di carbonio possono essere utilizzati biomassa, rifiuti, gas di scarico contenenti CO₂ o CO₂ estratto dall'aria. Come energia di processo può essere usata l'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili («power to liquid»). L'idrogeno necessario per la produzione di cherosene può essere prodotto, per esempio, per elettrolisi, cioè con acqua ed elettricità. Un'altra possibilità è quella di usare l'energia solare direttamente come calore concentrato per estrarre i componenti del cherosene dall'aria («sun to liquid»). «Power to liquid» è già ben sviluppato per la produzione di cherosene su scala industriale, mentre lo sviluppo della tecnologia «sun to liquid» è ancora agli inizi. Il problema principale finora è l'alto costo di questi metodi di produzione del cherosene.

1. Vettori energetici a confronto

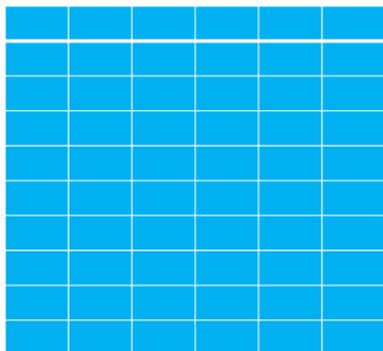
1.1. Cherosene ed energia elettrica

In ogni chilogrammo o in ogni litro di cherosene è immagazzinata molta energia. Questo carburante richiede quindi poco spazio (elevata densità energetica in relazione alla massa e al volume). A parità di peso, il contenuto energetico del cherosene è circa 60 volte superiore a quello delle migliori batterie

¹ Il materiale informativo ha tenuto conto di suggerimenti e fonti fornite dal Prof. K. Boulouchos del PF di Zurigo, direttore dei centri di competenza svizzeri per la ricerca energetica (SCCER), che ne ha curato anche la revisione. Il contenuto è stato verificato per quanto riguarda la correttezza delle informazioni generali nell'ambito di uno scambio tra l'Ufficio federale dell'energia (UFE) e l'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM).

² Il CO₂ di origine fossile può essere drasticamente ridotto. Il potenziale di riduzione di ulteriori effetti sul clima da parte dei carburanti non fossili non è chiaro.

ricaricabili attualmente disponibili. D'altra parte, l'efficienza di un aereo a batteria sarebbe teoricamente pari al doppio se il peso dell'aereo rimanesse uguale³.



Contenuto energetico di 1 kg di cherosene



Contenuto energetico di 1 kg di batteria ad alta efficienza

Allo stesso tempo, a parità di contenuto energetico, il volume richiesto per le batterie odierne è almeno 20 volte superiore a quello del cherosene. Il cherosene è un vettore energetico ideale anche per quanto riguarda la sicurezza del volo⁴. Inoltre, l'infrastruttura necessaria per il rifornimento di cherosene è presente in tutto il mondo. La corrispondente infrastruttura per il volo elettrico dovrebbe essere completamente costruita ex novo ovunque. Nonostante la maggiore efficienza dei motori elettrici, non sarà possibile a lungo termine far funzionare gli aerei passeggeri in modo completamente elettrico. Neanche un aumento di cinque volte della densità energetica delle attuali batterie ad alte prestazioni sarebbe sufficiente⁵. Nel campo della propulsione elettrica i sistemi ibridi sono quelli che con maggiore probabilità saranno implementati nei prossimi decenni. Questi usano ancora il cherosene come principale accumulatore di energia, e dispongono inoltre di batterie e di motori elettrici. Inoltre, vi è tutta una serie di altre condizioni quadro che rendono irrealistica ed ecologicamente problematica, per molti anni ancora, la realizzazione di aerei passeggeri elettrici (per i dettagli, vedi *scheda informativa Volo elettrico*).

1.2. Idrogeno

L'idrogeno può essere usato per produrre elettricità in celle a combustibile e quindi per alimentare motori elettrici in combinazione con batterie, oppure può essere iniettato direttamente nelle turbine degli aerei come vettore energetico di propulsione. L'idrogeno è un carburante privo di carbonio che può essere prodotto direttamente a partire dall'acqua attraverso un processo di elettrolisi; come fonte energetica può ad esempio essere utilizzata l'«elettricità in eccesso» prodotta dagli impianti fotovoltaici o eolici.

Un chilogrammo di idrogeno contiene quasi il triplo di energia di un chilogrammo di cherosene, ma il volume di stoccaggio richiesto per ogni kWh di energia è molto maggiore e rappresenta quindi il problema principale per il trasporto di grandi quantità di energia in un aereo. Per poter utilizzare l'idrogeno negli aerei, il suo volume deve essere ridotto al minimo. Lo stoccaggio a pressioni molto elevate (circa 700 bar), come nel caso delle prime autovetture a idrogeno disponibili in commercio, è fuori questione per gli aerei, visti i corrispondenti requisiti di autonomia. In considerazione della quantità di energia necessaria per i voli, i serbatoi sarebbero ancora troppo grandi e troppo pesanti. Una variante molto più leggera e compatta è lo stoccaggio dell'idrogeno in forma liquida - come nel caso dei razzi spaziali. Affinché rimanga liquido in condizioni di pressione normale, l'idrogeno deve essere immagazzinato a temperature estremamente basse in serbatoi termicamente isolati. La temperatura di stoccaggio a pressione atmosferica per l'idrogeno liquido è di -253° C, cioè vicina allo zero assoluto (criogenia⁶). Il volume

³ L'efficienza termica delle turbine per aerei (cherosene → rotazione dell'elica) è superiore al 50% nel volo di crociera. L'efficienza elettrica (batteria → rotazione dell'elica) è superiore al 90%.

⁴ Il punto di infiammabilità è sufficientemente elevato. Il punto di congelamento (per il comune Jet A1) è di -47°C.

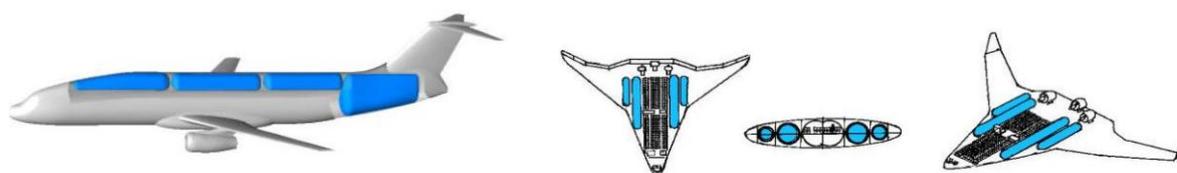
⁵ Analisi UFAC e Bauhaus Luftfahrt

⁶ La criogenia è la tecnica utilizzata per produrre e utilizzare materiali a temperature molto basse, di solito sotto i -150°C. Per ragioni fisiche, per poter essere liquefatto l'idrogeno deve essere portato a una temperatura inferiore a -240°C. Anche a una pressione pari a diverse volte quella atmosferica, l'idrogeno deve essere mantenuto a una temperatura inferiore a -240°C perché rimanga liquido.

di stoccaggio richiesto è ancora circa quattro volte maggiore di quello necessario per il cherosene. Nonostante la liquefazione, l'idrogeno richiede quindi un volume di stoccaggio troppo elevato per consentire il trasporto di sufficiente energia a bordo di un aereo a lungo raggio.

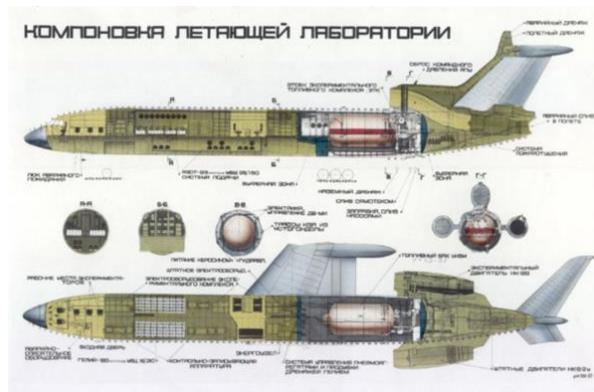
Nel 1988 il costruttore russo Tupolev ha trasformato un aereo TU-154 per consentirne il funzionamento con idrogeno liquido (designazione: TU-155). Il costruttore di aerei Tupolev ha così dimostrato la fattibilità di un aereo a idrogeno. Nel complesso, però, solo pochi voli sono stati effettuati con questo sistema. Non è chiaro quali ragioni abbiano portato all'abbandono del progetto; Più tardi, l'aereo è stato convertito al funzionamento con gas naturale liquefatto.

Dal 2000 al 2002, un ampio progetto di ricerca dell'UE(CRYOPLANE)⁷ guidato da AIRBUS ha studiato l'ulteriore sviluppo di aerei passeggeri a idrogeno liquido per un possibile lancio sul mercato. È emerso che un tale aereo non sarebbe più pesante di un aereo convenzionale per le stesse prestazioni di trasporto, ma che probabilmente richiederebbe circa il 10% di energia in più a causa del maggiore volume. Le seguenti immagini, tratte dal RAPPORTO DI RICERCA CRYOPLANE, mostrano delle varianti di sistemazione dei serbatoi dell'idrogeno liquido:



Fonte:CRYOPLANE

Sia la produzione che lo stoccaggio intermedio e il trasporto di idrogeno liquido a - 253° C sarebbero costosi e richiederebbero molta energia. Il PROGETTO CRYOPLANE ha stimato un fabbisogno energetico aggiuntivo del 30% e ha indicato che i costi per la sola costruzione di un'infrastruttura di rifornimento completamente nuova e globale per l'idrogeno criogenico sarebbero molto elevati. Al contrario, il chero-



Disegno originale di Tupolev. Il serbatoio dell'idrogeno si trova nella parte posteriore della fusoliera, ventilata a pressione, per trasportare all'esterno l'idrogeno evaporato. Il motore destro è stato modificato per la combustione dell'idrogeno. (Fonte: Tupolev)



Foto del TU-155 dopo la sua messa fuori servizio. (Fonte: Juergen Schiffmann)

sene è facile da conservare, trasportare e distribuire.

Anche 17 anni dopo il progetto CRYOPLANE, lo stoccaggio dell'idrogeno per aerei passeggeri aventi le dimensioni e l'autonomia abituali costituisce un grosso problema⁸. Una combinazione cella a combustibile-batteria viene per il momento scartata come tecnologia di propulsione a causa dell'elevato fabbisogno di potenza dei grandi aerei: Con la tecnologia oggi disponibile, il peso delle batterie tampone per le sole celle a combustibile supererebbe il peso totale degli attuali aerei passeggeri⁹. Sia nel caso delle

⁷ Numero del progetto UE GRD1-1999-10014, Liquid Hydrogen Fuelled Aircraft – System Analysis

⁸ Materiali durevoli per lo stoccaggio e le tubature dell'aereo, perdite di stoccaggio (boil-off), trattamento in aria, durata dei componenti

⁹ Limiti della potenza massima di uscita delle celle a combustibile e delle batterie e relazione con la vita utile. Un aereo da 180 posti ha bisogno di circa 30 megawatt di potenza di propulsione al decollo. Dettagli sul peso: vedi scheda informativa Volo elettrico

celle a combustibile che in quello delle turbine a gas non vi sarebbero emissioni di CO₂ ma ad alta quota le emissioni di vapore acqueo aumenterebbero fino a un fattore 3 rispetto al caso dei motori a cherosene¹⁰. Non è chiaro se questo possa portare a un aumento dell'impatto climatico non determinato dal CO₂. Nel settembre 2018 è stato lanciato in Europa il progetto di follow-up ENABLEH₂¹¹, che indaga ulteriormente gli aspetti tecnici, ecologici ed economici.

1.3. Idoneità dei diversi carburanti

A causa delle particolarità fisiche e tecniche, la produzione e l'esercizio di aerei a propulsione elettrica o a idrogeno costituiscono per la scienza e l'ingegneria delle sfide tecniche e pratiche per le quali non esistono attualmente soluzioni. Pertanto, se i problemi descritti verranno risolti, aerei passeggeri di grandi dimensioni con motori alternativi potranno probabilmente essere introdotti solo tra qualche decennio. Gli aerei alimentati a cherosene messi in servizio oggi e nei prossimi anni hanno una vita media di 30 anni. Di conseguenza, il cherosene dovrebbe rimanere il principale vettore energetico per l'aviazione globale almeno fino al 2050. In considerazione di ciò, per ottenere una riduzione realistica del CO₂ fossile nell'aviazione nel prossimo futuro ci si dovrà concentrare principalmente, oltre che sulla riduzione del consumo, sulla produzione di cherosene non contenente carbonio di origine fossile e ottenuto utilizzando energia di processo proveniente da fonti rinnovabili¹².

2. Produzione di carburante con carbonio non fossile

Già oggi il cherosene può essere prodotto sinteticamente a partire da qualsiasi fonte di carbonio insieme all'idrogeno e con la corrispondente energia di processo. Per una riduzione reale e globale del CO₂ sono fondamentali la scelta della fonte di carbonio e della fonte dell'energia utilizzata per la produzione del carburante. La fonte di energia deve generare solo poco CO₂, altrimenti si corre il rischio che attraverso la produzione di carburante sintetico si produca globalmente ancora più CO₂ che con l'uso di cherosene di origine fossile¹¹.

2.1. Fonti di carbonio

Le *piante* sono già utilizzate oggi come fonte di carbonio per la produzione di carburanti sintetici. Esse prelevano dall'aria il carbonio di cui hanno bisogno per la crescita (fotosintesi). Poiché questo ritorna nell'atmosfera quando il carburante con esso prodotto viene bruciato, il ciclo del carbonio si chiude. L'uso di carburanti biogeni può quindi contribuire a una riduzione dell'impatto sul clima, dato che durante la combustione non viene rilasciato ulteriore CO₂ nell'atmosfera. Tuttavia, questo uso delle piante è in concorrenza con la produzione di cibo e comporta un grande consumo di suolo e un elevato fabbisogno di acqua¹³.

I carburanti possono anche essere prodotti a partire da *rifiuti contenenti carbonio* (per esempio rifiuti domestici, agricoli e industriali). Considerando tutta la catena del processo, questo tipo di produzione ha un migliore potenziale di riduzione del CO₂ rispetto all'uso di piante coltivate specificamente a questo scopo. Tuttavia la limitata disponibilità di materia prima consente di contribuire solo limitatamente alla produzione di carburanti alternativi.

Il carbonio per la produzione di carburante può infine essere ottenuto tramite *prelievo del CO₂ dall'atmosfera*: la produzione di combustibile con carbonio prelevato dall'atmosfera o proveniente da processi produttivi che emettono CO₂ non fossile¹⁴ è la soluzione più efficace per il clima, a condizione che l'energia di processo sia ottenuta per quanto possibile direttamente dalle fonti di energia rinnovabile a

¹⁰ Stima sulla base del fabbisogno di energia delle varianti di propulsione per prestazioni di trasporto simili e delle equazioni delle reazioni chimiche

¹¹ ENABLing cryogenic Hydrogen based CO₂ free air transport, EC grant no 769241, Horizon 2020, <https://www.enableh2.eu/>

¹² Come in altri settori, la misura più efficiente in termini di impatto ambientale sarebbe una riduzione globale del consumo.

¹³ German Environment Agency (UBA), *Power to Liquids Potentials and Perspectives for the Future Supply of Renewable Aviation Fuel*, 2016, Authors: LBST, BHL M. S. Wigmostaet al., National microalgaebiofuel production potential and resourcedemand, Water Resour. Res., 47, W00H04, 2011. Un esempio particolarmente negativo è la produzione di olio di palma.

¹⁴ Per esempio, dalla produzione di cemento: In questo caso, il CO₂ prodotto durante il processo sarebbe emesso durante il volo. Per contro, l'impiego di CO₂ emesso da una centrale elettrica a combustibile fossile sarebbe inapplicabile come misura di riduzione delle emissioni globali di CO₂ (vedi nota 15).

minori emissioni di CO₂ (energia idroelettrica, energia solare diretta). Per la produzione mediante energie rinnovabili di carburanti con impatto il più possibile neutro sul clima, sono fundamentalmente necessari i seguenti passi:

1. prelievo di CO₂ e H₂O (acqua) dall'aria;
2. riduzione di questi componenti ai cosiddetti gas di sintesi (syngas) CO (monossido di carbonio) e H₂ (idrogeno);
3. produzione di cherosene dai gas di sintesi.

3. Produzione di cherosene dai gas di sintesi

La scelta della fonte di energia per il processo, oltre alla materia prima, determina quanto sia neutro per il clima il carburante prodotto. Secondo gli attuali studi dei centri di competenza svizzeri per la ricerca energetica (SCCER)¹⁵, l'energia idroelettrica è quella che genera meno CO₂ per kWh, seguita dall'energia eolica e dal fotovoltaico. Se si usano il fotovoltaico e l'eolico, per garantire il funzionamento continuo degli impianti sono necessari anche sistemi di stoccaggio dell'elettricità la cui fabbricazione, a sua volta, provoca emissioni di CO₂ e costi aggiuntivi. Sarebbe quindi ideale utilizzare energia idroelettrica. Per la Svizzera, tuttavia, un'ulteriore espansione della produzione idroelettrica appare difficile, sebbene tale forma di energia sia quella più rispettosa del clima. C'è molta concorrenza fra i settori energetici per lo sfruttamento dell'energia idroelettrica proprio perché è molto preziosa ed economica a lungo termine sotto forma di energia elettrica rinnovabile di banda (24 ore al giorno) e di regolazione. Senza entrare nel merito delle particolarità di ciascun Paese, l'energia di processo dovrà quindi essere generata anche dal fotovoltaico e dal vento.

Esistono processi di produzione del carburante, come il «solar to liquid» (vedi sotto), che non richiedono principalmente elettricità, ma calore ad alta temperatura. Se il calore di processo per la produzione del carburante è ottenuto direttamente dalla radiazione del sole, l'uso dell'energia solare comporta un livello di emissioni di CO₂ estremamente basso, analogo a quello dell'energia idroelettrica. Lo stoccaggio locale a breve termine di calore ad alta temperatura per superare i momenti di copertura nuvolosa o la notte è anche molto più semplice da realizzare dello stoccaggio dell'energia elettrica.

Per i primi due passi della produzione di carburante (vedi sopra) sono oggi disponibili almeno due processi:

- a. «Direct Air Capture **Power to Liquid (PtL)**»: il CO₂ viene estratto direttamente dall'aria per mezzo di grandi impianti di filtraggio. Parallelamente, viene prodotto idrogeno dall'acqua con un processo di elettrolisi alimentato da energia rinnovabile. Una parte dell'idrogeno è usata per convertire il CO₂ in CO¹⁶. Il risultato è il cosiddetto syngas (CO e H₂), con il quale può essere prodotto cherosene. Per quanto riguarda il CO₂, il bilancio complessivo del carburante prodotto dipende da quanto l'infrastruttura utilizzata sia ad alta intensità energetica e di risorse e da quanto l'energia di processo (energia termica ed elettrica) provenga da fonti energetiche rinnovabili.
- b. «**Sun to Liquid (StL)**»¹⁷: il CO₂ e il vapore acqueo sono estratti direttamente dall'aria ambiente e convertiti in monossido di carbonio (CO) e idrogeno (H₂) con l'ausilio di reattori termochimici riscaldati dalla radiazione solare concentrata (tramite specchi solari). Anche qui, dal gas di sintesi risultante viene prodotto cherosene. Il bilancio complessivo in termini riduzione del CO₂ e conservazione delle risorse può essere considerato molto buono, dato che il carbonio e l'idrogeno, i componenti di base del carburante, provengono dall'aria e il calore di processo direttamente dal sole.

¹⁵ SCCER Joint Activity: White Paper Power-to-X, giugno 2019, PSI, PF, Empa, Università di Ginevra, ZHAW, HSR, Università di Lucerna; al suo interno: C. Bauer, S. Hirschberg (eds.) et al., «Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies», 2017

¹⁶ Tramite la cosiddetta reazione di spostamento del gas d'acqua (water-gas shift reaction) inversa

¹⁷ <https://www.sun-to-liquid.eu/>



Dimostratore StL, Móstoles, Spagna (Foto: Christophe Ramage ©ARTTIC 2019)

La terza fase, la produzione di cherosene dai gas di sintesi, avviene già da decenni in varie applicazioni ed è certificata per l'aviazione. Questa fase genera più energia termica di quella necessaria per mantenere il processo in funzione. Una volta che il processo è iniziato, non è quindi necessaria nessun'altra fonte di energia esterna.

I due metodi (PtL e StL) offrono i seguenti vantaggi:

1. Il CO₂ rilasciato in atmosfera durante la combustione del cherosene è già stato prelevato dall'aria durante la produzione del carburante. In questo senso, il carburante è neutro rispetto alle emissioni di CO₂.
2. Con il metodo StL, l'energia rinnovabile per il processo di produzione del carburante non ha bisogno di essere immagazzinata o convertita, poiché il processo è orientato all'uso diretto del calore solare.
3. Il carbonio e l'idrogeno sono estratti dall'aria. Questo permette di realizzare gli impianti di produzione anche su terreni inospitali.
4. Nel caso del metodo StL, la superficie richiesta per gli specchi solari (eliostati) è relativamente piccola se la produzione avviene in regioni soleggiate. Una superficie leggermente maggiore di quella della Svizzera potrebbe essere sufficiente a coprire l'attuale fabbisogno globale di cherosene¹⁸.
5. Il metodo PtL ha già raggiunto un elevato livello di sviluppo.
6. Già oggi il carburante ottenuto può essere miscelato in tutti gli aerei operati con cherosene convenzionale in una proporzione del 50% senza che sia necessario alcun adattamento tecnico dell'aereo. I nuovi aerei potrebbero essere progettati in modo tale da poter utilizzare il 100% di cherosene sintetico da PtL o StL¹⁹.
7. L'infrastruttura logistica e di rifornimento disponibile in tutto il mondo per il trasporto aereo può essere utilizzata senza restrizioni. Non occorrono risorse aggiuntive perché non si devono costruire nuove infrastrutture per la distribuzione globale del carburante e per il rifornimento.
8. Il cherosene ottenuto in entrambi i processi è privo di zolfo e di composti aromatici e riduce anche le emissioni di particolato nei motori esistenti, il che ha un ulteriore effetto positivo sulla qualità dell'aria locale negli aeroporti e sull'impatto climatico del traffico aereo (evitando i nuclei di condensazione del vapore acqueo).

3.1. Sfide

Costi: attualmente i costi di produzione del cherosene sintetico non possono competere con quelli del prodotto a base di petrolio, carbone o gas naturale²⁰. Per i piccoli impianti dimostrativi di oggi, il costo per litro di cherosene sintetico è di cinque o sei volte superiore a quello del cherosene di origine

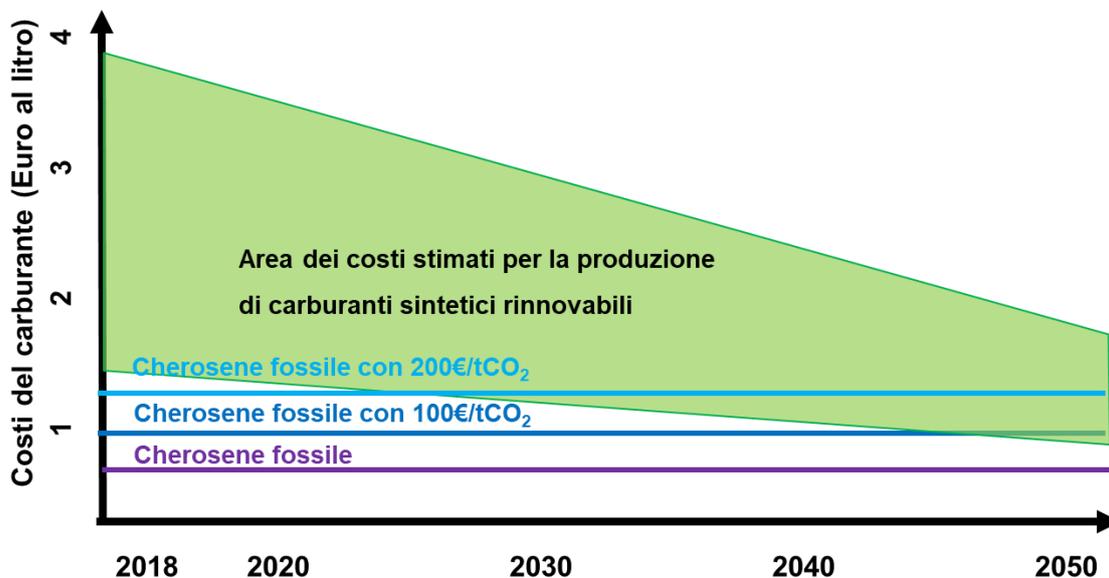
¹⁸ Comunicazione personale del Prof. Aldo Steinfeld, ETH

¹⁹ Il cherosene sintetico senza composti aromatici ha un basso effetto lubrificante.

²⁰ SUNtoLIQUID DeliverableD1.6: Economic analysis and risk assessment

fossile. I costi dovrebbero ridursi di molto con il progredire dell'industrializzazione. Allo stesso tempo, la fissazione del prezzo del CO₂ di origine fossile da parte del sistema di scambio delle emissioni e dello standard CORSIA globale²¹ aumenta la competitività del cherosene sintetico. Nel caso del PtL e dell'uso di CO₂ prelevato dall'aria, l'ostacolo maggiore è costituito dai costi dei sistemi di filtraggio del CO₂.

Secondo le stime, il costo del cherosene sintetico potrebbe scendere al di sotto del costo del cherosene di origine fossile già prima del 2030 se per il CO₂ di origine fossile potesse essere fissato a livello globale un prezzo di 200 euro a tonnellata.



Quellen: 1) AGORA, The future cost of electricity based synthetic fuels, 2) PROGNOSES, Status and Perspectives of Liquid Energy Sources in the Energy Transition
3) Climate Impact and Economic Feasibility of Solar Thermochemical Jet Fuel Production, C. Falter et al., Environmental Science and Technology, 50(1), pp 470 – 477, 2016

Previsione dell'andamento dei prezzi del cherosene sintetico e di origine fossile (UFAC²²)

Scelta del sito di produzione: dal punto di vista della fornitura di energia primaria, i luoghi adatti possono essere definiti in modo relativamente semplice, per esempio sulla base del fabbisogno di radiazione solare diretta annuale. Inoltre, si dovrebbe dare la preferenza a luoghi dove si possono installare «raffinerie verdi» o adattare quelle esistenti. Questo solleva la questione se, tenuto conto delle condizioni esistenti a livello locale, sia effettivamente possibile produrre cherosene sintetico nei luoghi particolarmente adatti a questo scopo.

La realizzazione di impianti di produzione che utilizzano i processi PtL e StL richiede un grande impegno da parte di tutte le parti coinvolte. A questo riguardo è opportuno evidenziare le seguenti tre aree di intervento:

1. aumentare gli sforzi di ricerca per incrementare l'efficienza e sviluppare nuovi materiali per gli impianti PtL e StL, per migliorare l'efficienza dei costi²³;
2. incoraggiare la realizzazione di impianti di grandi dimensioni, in particolare per rendere più competitiva la tecnica StL;
3. promuovere colloqui intergovernativi per trovare siti di produzione adatti e concordare condizioni quadro eque.

²¹ Standard (globale) dell'aviazione per compensare l'aumento delle emissioni di CO₂ del traffico aereo mondiale. Primo anno di valutazione 2020.

²² Fonti: 1) AGORA, The future cost of electricity based synthetic fuels, 2) PROGNOSES, Status and Perspectives of Liquid Energy Sources in the Energy Transition, 3) Climate Impact and Economic Feasibility of Solar Thermochemical Jet Fuel Production, C. Falter et al., Environmental Science and Technology, 50(1), pp 470 – 477, 2016

²³ C. Falter, Climate Impact and Economic Feasibility of Solar Thermochemical Jet Fuel Production, Environ. Sci. Technol., 2016, 50 (1)

A lungo termine è più efficace evitare nuove emissioni di CO₂ che effettuare a posteriori una compensazione delle emissioni.