



QUALI VETTORI PER LA TRANSIZIONE ENERGETICA?

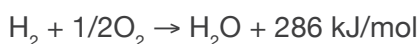
Elettricità e idrogeno sembrano i vettori energetici preferiti per il loro comportamento allo scarico. Pur avendo un fascino evocativo, non sono gli unici in grado di annullare le emissioni dei gas serra (GHG), pertanto la scelta più opportuna va operata sulla base dei comportamenti lungo l'intero ciclo di vita (LCA) dei potenziali candidati. Lo scopo di questo documento è quello di fare un'analisi delle varie opzioni considerate.

Introduzione

Un aspetto importante relativo alle azioni di contrasto ai cambiamenti climatici è la selezione dei vettori energetici più idonei ad uno sviluppo compatibile dal punto di vista ambientale e socio-economico. Il trasporto elettrico e l'idrogeno sembrano essere i vettori di elezione per il loro comportamento "end of pipe", anche se non sono gli unici che possono annullare le emissioni di gas serra. La selezione deve, quindi, considerare il comportamento lungo l'intero ciclo di vita dei potenziali candidati. Lo scopo di questo documento è quello di fare un'analisi dei pro e dei contro delle possibili opzioni.

L'idrogeno come vettore energetico per il trasporto

La combustione dell'idrogeno avviene con il solo rilascio di vapor d'acqua e questo aspetto costituisce la maggiore attrattiva per questo carburante:



Altro aspetto positivo è la densità energetica ponderale che è la più elevata tra i combustibili. Sfortunatamente l'idrogeno è il gas meno denso che si conosca, quindi per generare una quantità di energia interessante per unità di volume, deve essere compresso a pressioni molto elevate, come si evince dalla Tab. 1.

La densità energetica per unità di volume dell'idrogeno è molto bassa. Per un confronto pratico pos-

siamo comparare le densità energetiche di metano e idrogeno (10 °C) a diverse pressioni. Ad esempio, per avere la stessa densità energetica di un metanodotto ad alta pressione (70 bar), l'idrogeno dovrebbe essere compresso a oltre 320 bar (Fig. 1). Il metano utilizzato per l'autotrasporto civile, al fine

Tipo di stoccaggio	Densità ponderale (MJ/Kg)	Densità volumetrica (MJ/L)
Idrogeno (700 bar)	143	5,6
Gas naturale (200 bar)	53,6	10
Benzina	45,9	34,6
Gasolio	45,8	42,3
Batteria al Litio ione	0,54 – 0,72	0,9 – 1,9
Metanolo	19,7	15,6
Etanolo	30	24

Tab. 1 - Densità energetica per alcuni vettori [1]

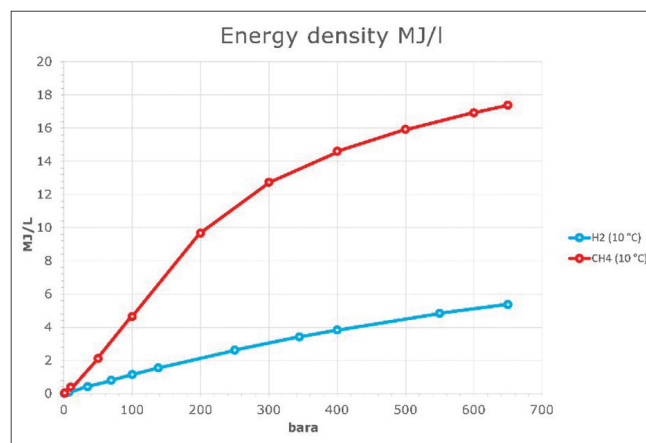


Fig. 1 - Densità energetica di metanolo e idrogeno a diverse pressioni a 10 °C [2]



di assicurare una discreta autonomia è compreso a 240 bar. Come si vede dalla Fig. 1, il contenuto energetico a questa pressione e 10 °C è prossimo a 12 MJ/l. Per avere lo stesso contenuto energetico, l'idrogeno dovrebbe essere compresso a più di 900 bar.

Per questi motivi e per le conseguenze negative dovute a permeabilità e infragilimento di alcuni metalli in presenza di idrogeno, è poco probabile che le attuali reti di metanodotti possano essere utilizzate per il suo trasporto.

Inoltre, sempre a causa della bassa densità, i costi di compressione dell'idrogeno sono molto elevati, come si evince dalla Fig. 2.

Non bisogna poi ignorare le problematiche di sicurezza. L'idrogeno, come abbiamo visto, è un gas a bassa densità, quindi in caso di perdita accidentale tende a disperdersi rapidamente, limitando i problemi di incendio. L'idrogeno compresso ad alta pressione, in caso di rilascio accidentale può invece incendiarsi, dando origine ad una fiamma molto calda, più veloce delle fiamme da idrocarburi e incolore, come riportato nella Fig. 3.

Le caratteristiche citate potrebbero limitare lo sviluppo di un mercato pervasivo per l'idrogeno.

Il trasporto elettrico

L'elettricità appare come il vettore energetico d'elezione per il trasporto da fonti rinnovabili, non solo per l'assenza di emissioni allo scarico, ma anche perché le principali fonti di energia rinnovabile

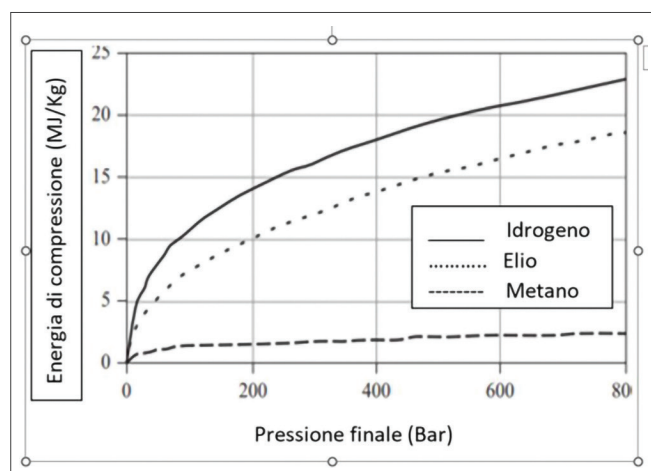


Fig. 2 - Densità energetica di idrogeno, elio e metano a diverse pressioni a 10 °C [3]

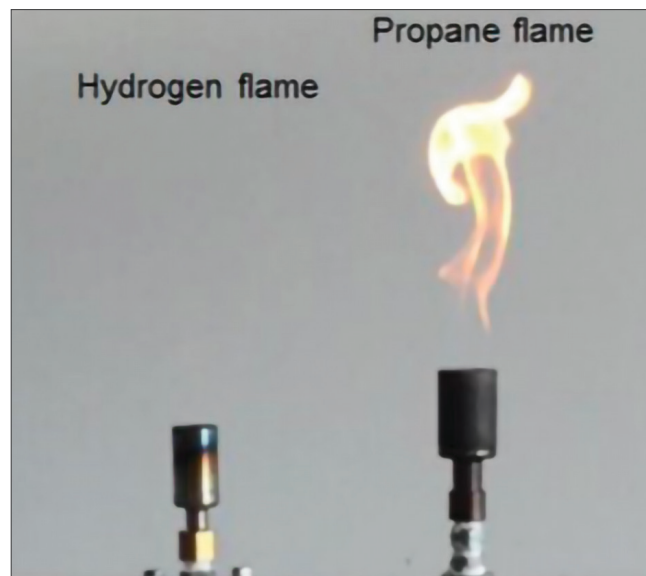


Fig. 3 - Confronto tra una fiamma da idrogeno e una fiamma da gas propano [4]

(fotovoltaico, eolico e idroelettrico) la producono direttamente. L'utilizzo diretto dell'elettricità nei trasporti richiede oggi l'impiego di batterie al litio ione, che presentano diversi inconvenienti da considerare con grande cautela.

Esse sono costituite da due elettrodi: l'elettrodo positivo a base di ossidi di cobalto (o di manganese) dopati con litio e l'elettrodo negativo a base di grafite. La conduzione elettrica è assicurata da un mezzo liquido (elettrolita), costituito generalmente dal sale LiPF_6 (esafluorofosfato di litio) in soluzione all'interno di una miscela di carbonato di etilene e carbonato di propilene o tetraidrofurano.

La batteria agli ioni di litio presenta un rischio di degradazione dovuta a reazione violenta e pericolosa di combustione in caso di cattivo utilizzo. Questa reazione può avere luogo quando la temperatura della batteria supera i 65 °C ed è molto probabile a più di 75 °C [5].

In caso di incendio della batteria, si forma e viene rilasciato acido fluoridrico per reazione di decomposizione termica dell'anione PF_6 dell'elettrolita contenuto nella batteria. Questo rischio è stato riportato in diverse pubblicazioni scientifiche [6].

La disponibilità dei metalli necessari ad una batteria al Li per autotrazione è un altro problema da considerare con attenzione.

In una Tesla Model S si stima ci siano 63 kg di car-

bonato di litio, ma anche 54 kg di grafite e 22,5 kg di cobalto [7].

Il litio è il 25° elemento più abbondante nella crosta terrestre, con una concentrazione di 20 mg per kg di crosta.

Sebbene tale elemento sia largamente disponibile, non si trova in natura allo stato metallico: a causa della sua reattività, infatti, è sempre legato ad altri elementi o composti. È presente in minima parte in quasi tutte le rocce ignee (specialmente il granito) ed anche in molte salamoie naturali.

Per questo motivo i depositi di litio estraibile si trovano concentrati in poche parti del mondo (Cile, che è di gran lunga il maggior produttore, seguito da Australia, Argentina e Cina). Le riserve mondiali stimate di litio sono di 14 milioni di tonnellate con una produzione annua attuale di ca. 35.000 tonnellate [8].

La produzione mondiale di cobalto, è intorno a 100 mila tonnellate l'anno, estratte quasi tutte insieme a rame o nichel. La produzione è concentrata per il 60% nella Repubblica Democratica del Congo (DRC).

Le riserve mondiali stimate di cobalto ammontano a 7 milioni di tonnellate.

Recentemente, Elon Musk, grazie all'accordo con Glencore, si è garantito il 25% della produzione di cobalto della super miniera situata nella regione del Katanga, nel sud-est della DRC.

La quantità che Musk acquisterà è di 6.000 t del prezioso metallo blu all'anno, quattro volte quanto acquistato da Tesla nel 2019 [9].

Relativamente alle estrazioni minerarie nella DRC e in alcuni stati limitrofi, l'OECD ha lanciato un segnale di attenzione sulla possibilità che nelle miniere venga usata manovalanza minorile e che alcuni proventi di questa attività possano finanziare gruppi terroristici [10]. La sezione 1502 del Dodd-Frank Act statunitense richiede alle società quotate negli Stati Uniti di rivelare se usano i cosiddetti "conflict minerals" (stagno, tungsteno, tantalio e oro) e se questi minerali provengono dalla Repubblica De-

mocratica del Congo (DRC) o una confinante nazione [10]. L'utilizzo di minerali non permessi dal Dodd-Frank Act può costare la sospensione dal listino. Sorprendentemente tra i "conflict minerals" non è incluso il cobalto.

Un altro aspetto da considerare è relativo alle acquisizioni di diverse società cinesi nelle partecipazioni alle riserve di metalli della Repubblica Democratica del Congo [11].

La Cina oltre ad avere acquisito assets nella produzione dei metalli, sta anche diventando leader nella produzione delle batterie al litio (Fig. 4).

Inoltre, tra i 10 maggiori produttori mondiali di pannelli fotovoltaici, sette (Longi, Astroenergy, Sun-Tech, Risen Energy, Jinko Solar, JA Solar, Trina Solar) sono cinesi. Questa situazione può portare ad uno scenario in cui una sola nazione possa avere il controllo mondiale di assets strategici come energia rinnovabile, mobilità, comunicazioni, IT. La transizione verso un sistema energetico pulito mette in gioco nuovi modelli commerciali di energia, Paesi e considerazioni geopolitiche (Fig. 5).

Altro tema da considerare è quello legato alla disponibilità dei metalli, in uno scenario dominato dai veicoli elettrici.

B. Steubing, dell'Università di Leiden, rielaborando alcune previsioni della IEA ha stimato che in uno scenario di batterie dominate dai sali di nichel, cobalto e litio, la domanda dei metalli possa aumentare di fattori 18-20 per il litio, 17-19 per il cobalto, 28-31 per il nichel e 15-20 per la maggior parte de-

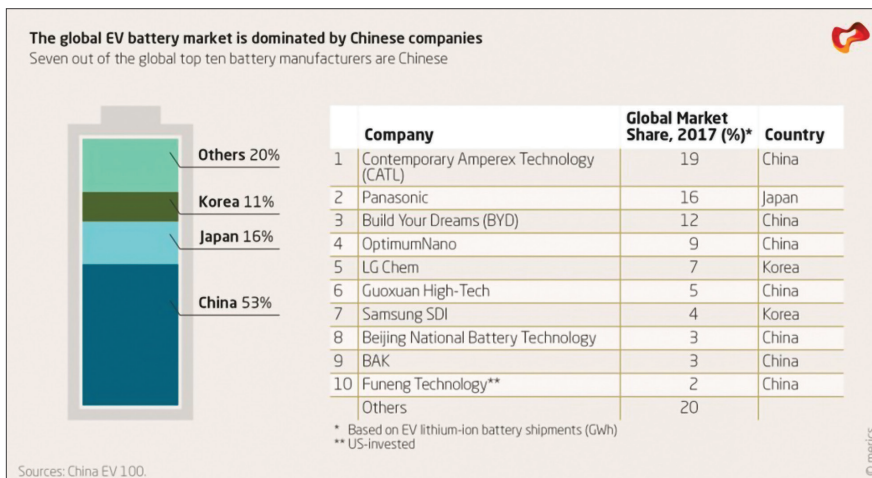


Fig. 4 - Le maggiori compagnie produttrici di batterie per i veicoli elettrici [12]

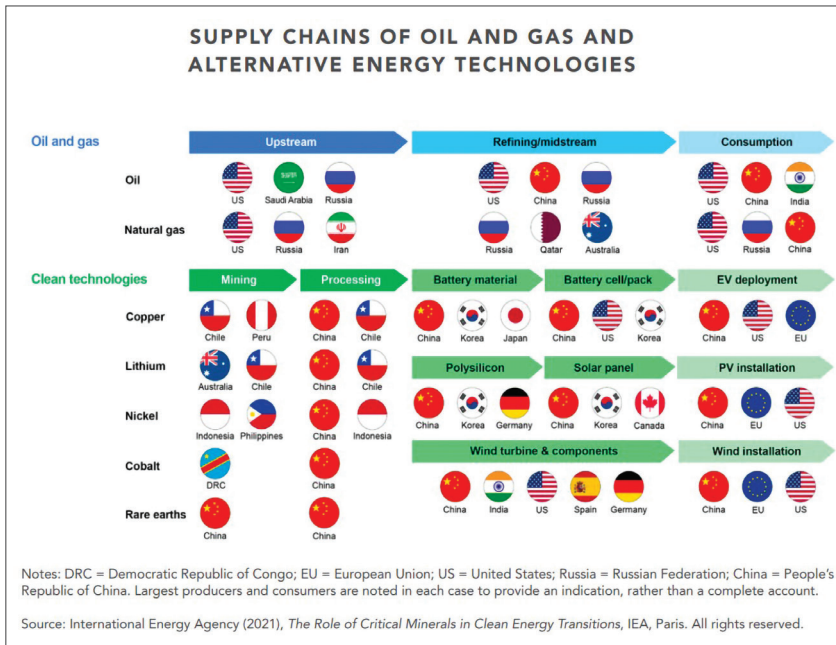
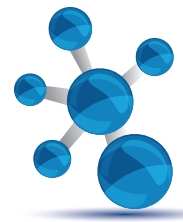


Fig. 5 - Filiera indicativa di petrolio e gas e tecnologie selezionate per l'energia rinnovabile [13]

gli altri materiali dal 2020 al 2050. Questi aumenti fanno prevedere una drastica espansione delle catene di approvvigionamento e una probabile richiesta di scoperta di risorse aggiuntive [14].

È chiaro che l'utilizzo massiccio di batterie al litio, impone il riciclo dei materiali utilizzati. Le operazioni di recupero sono oggi ancora complesse e onerose. Recentemente ad un'intervista alla BBC Anderson, co-direttore del Birmingham Center for Strategic Elements and Critical Materials, ha affermato che attualmente, a livello globale, è molto difficile ottenere cifre dettagliate su quale percentuale di batterie agli ioni di litio vengono riciclate, ma il valore che tutti citano è di circa il 5% [15].

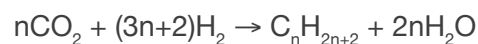
Per quanto esposto riguardo l'utilizzo di elettricità e idrogeno come vettori energetici, nonostante l'analisi del comportamento allo scarico sia attraente, gli altri inconvenienti rendono prudente valutare la possibilità di individuare altri vettori energetici in grado di soddisfare le esigenze ambientali e quelle di una mobilità libera, sicura e compatibile anche per gli aspetti socio-economici.

Gli e-fuels: nuovi carburanti per il trasporto

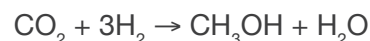
Possibili carburanti alternativi sono quelli di origine vegetale, ottenuti o per fermentazione di sostanze

zuccherine (etanolo), o per idrogenazione di oli vegetali. Attualmente ci sono diverse controindicazioni all'impiego di questi vettori energetici, principalmente per la competizione che questi generano con le produzioni vegetali per uso alimentare o per il rischio di deforestazione, soprattutto in alcune aree della terra per far posto alla produzione di olio di palma. La produzione di olio e biomassa dalle alghe potrebbe portare a sviluppi molto interessanti, ma per ora l'utilizzo di queste materie prime per la produzione di vettori energetici è ancora molto onerosa.

Carburanti di origine carbonica, come paraffine o ossigenati (metanolo), possono essere prodotti per idrogenazione dell'anidride carbonica con H₂ verde (*e-fuels*), tramite la reazione di Fischer-Tropsch:



o la sintesi del metanolo:



Questo può essere considerato un modo per trasformare l'idrogeno gassoso in un carburante liquido, rendendo così meno onerosi i costi per il trasporto e lo stoccaggio. Il prezzo da pagare è il costo di trasformazione per le reazioni sopracitate e la perdita energetica legata alla attivazione della CO₂. Un altro costo importante da considerare è quello relativo alla produzione di idrogeno verde attraverso l'elettrolisi dell'acqua. In un recente report della International Renewable Energy Agency (IRENA 2022) è riportato un quadro esaustivo sulla ricerca e lo sviluppo di nuovi elettrolizzatori [16]. Da un punto di vista ambientale gli *e-fuels* sono neutri rispetto alle emissioni di gas serra, in quanto prodotti a partire da CO₂ resa disponibile da emissioni industriali o, in prospettiva dalla cattura diretta dall'aria, qualora si riuscisse a sviluppare una tecnologia economicamente sostenibile. Le altre

emissioni correlate (particolato, NO_x, ossigenati) possono essere totalmente eliminate grazie alle nuove tecnologie motoristiche e catalitiche.

La scelta di produrre idrocarburi paraffinici o metanolo va fatta considerando diversi fattori. Gli idrocarburi paraffinici da Fischer-Tropsch possono costituire un ottimo carburante per motori diesel e, dopo un trattamento di idroisomerizzazione, possono diventare un ottimo carburante per aerei. Il metanolo è una molecola molto versatile e con numerose applicazioni: può essere utilizzato nei motori a benzina, dopo disidratazione a dimetil-etero può essere un ottimo carburante per motori diesel, tramite il processo Methanol To Gasoline (MTG) può produrre miscele di idrocarburi utilizzabili come benzine e carburanti per aerei e composti aromatici per l'industria chimica, oppure tramite il processo Methanol To Olefins (MTO) si possono produrre miscele di etilene e propilene, materie prime per la chimica. Il metanolo, come vedremo più avanti può essere prodotto anche tramite il solare termico o fotovoltaico, senza passare attraverso la mediazione dell'elettricità. Per questa sua versatilità, il metanolo può diventare un vettore estremamente interessante per la transizione energetica.

Il metanolo come vettore energetico e materia prima per la chimica

Vediamo ora quali sono le principali caratteristiche chimico-fisiche del metanolo. Il suo punto di ebollizione è di 64,7 °C, quindi è liquido a temperatura ambiente e pressione atmosferica. A causa dei legami di idrogeno, la sua tensione di vapore (12,8 kPa a 20 °C) è inferiore a quella della benzina (40-90 kPa media annuale). Quando usato in miscela con benzina, la tensione di vapore può essere portata a specifica modificando opportunamente il taglio dei componenti la benzina. La sua densità è di 793 kg/m³ ed è più denso della benzina (750 kg/m³ a 15 °C). Il numero di ottano del metanolo è molto elevato: 113÷120 [(RON+MON)/2]. A causa della presenza dell'ossigeno, il suo potere calorifico inferiore, 19,7 MJ/kg, è più basso di quello della benzina (43,6 MJ/kg). Questa proprietà, peggiorativa sul lato consumo di carburante rispetto alla benzina, è in realtà compensata da una maggiore densità e dalle ottime proprietà in combustione

che, assieme al più alto numero di ottano, consentono di aumentare l'efficienza di rendimento del motore.

Il metanolo bulk è corrosivo nei confronti di alcuni metalli e loro leghe e può alterare il comportamento di alcuni plastomeri ed elastomeri. Questi difetti possono essere facilmente eliminati in una benzina M15 (al 15% di metanolo) con una opportuna additivazione che rende il carburante utilizzabile da qualsiasi vettura oggi in circolazione senza la richiesta di alcuna modifica. Per contenuti di metanolo più alti, ad esempio M85 (85%v metanolo), è sufficiente cambiare alcune guarnizioni delle vetture e sostituire gli elementi in alluminio.

Il metanolo è un composto classificato tossico per ingestione, inalazione e contatto con la pelle:

- ha una tossicità specifica per il sistema oculare, provocando cecità [17];
- un valore limite di esposizione (8 ore) di 260 mg/m³ [18];
- la dose letale minima è di 0,3-1 g/kg di peso corporeo;
- dal 1984 in Italia è vietato l'utilizzo del metanolo nella produzione di alimenti e bevande, di prodotti per l'igiene personale e di tutti i prodotti di uso domestico [19].

Il metanolo è quindi un alcool tossico per l'uomo, ma non più di molte altre sostanze con cui conviviamo giornalmente (benzina, ammoniacca, acido muriatico ecc.).

Il metanolo, come l'etanolo, è solubile in acqua a differenza degli idrocarburi.

Nel caso di perdite accidentali gli idrocarburi si accumulano nel terreno o sulla superficie dell'acqua mentre il metanolo è trasportato più facilmente per diffusione e convezione. Il metanolo subisce una degradazione più veloce degli idrocarburi nei vari ambienti.

	Rapporto C/H	Pot Cal Sup (kJ/g)	CO ₂ rilasciata (moli/MJ)	CO ₂ rilasciata (Kg/MJ)	CO ₂ rilasciata (Kg/Kg)
Carbone	1/1	39.3	2.0	0.088	3.5
Petrolio	1/2	43.6	1.6	0.070	3.1
Metano	1/4	51.6	1.2	0,053	2.7
Metanolo	1/4	22.7	1.4	0.061	1.4

Tab. 2 - Confronto per le emissioni di CO₂ per MJ prodotti dal metanolo verso altri vettori fossili



Fig. 6 - Esempi di uso del metanolo per autotrazione nel mondo

La combinazione delle due caratteristiche porta a un'elevata velocità di dimezzamento della sua concentrazione nell'ambiente, come riportato nel riferimento dell'ARPA della Regione del Veneto [20]. La domanda mondiale di metanolo, ha sfiorato i 100 milioni di t nel 2019 [21].

Gli utilizzi attuali sono nell'ambito della produzione di prodotti chimici (formaldeide, acido acetico, olefine, metil-mercaptani, metilammine, metilmetacrilato ecc.), di prodotti energetici (blending benzine, biodiesel, MTBE, dimetiletere). In una prospettiva di impiego come vettore energetico rinnovabile il metanolo potrebbe essere utilizzato per produrre tutti i prodotti oggi ottenibili dal petrolio.

Per gli usi energetici, rispetto alle fonti fossili, il metanolo, dopo il metano, ha le minori emissioni di CO₂ per unità di energia prodotta (Tab. 2).

Grazie all'elevato numero di ottano, il metanolo, quando usato come carburante per autoveicoli, consente di usare un elevato rapporto di compressione. Per questo motivo, per diversi anni è stato utilizzato come unico carburante ammesso al gran premio di Indianapolis. L'uso come sostituto o in miscela con la benzina è già nella pratica corrente in diverse na-

zioni, mentre sperimentazioni su questo utilizzo sono in corso in diverse parti del mondo (Fig. 6). La reazione di disidratazione del metanolo è realizzabile in modo semplice:



producendo il di-metil-etere (DME), un composto che, a causa del suo elevato numero di cetano, ne fa un valido sostituto del gasolio nei motori diesel, che possono essere adattati all'uso del DME con modifiche non invasive [22].

Il metanolo o il DME possono essere usati anche come carburanti marini e diverse sperimentazioni hanno già dimostrato la loro applicabilità in sostituzione del *bunker-fuel* [23] ed è già stato utilizzato anche per l'alimentazione di centrali elettriche o la combustione in caldaie domestiche [24].

Esso è oggi prodotto a partire dal syngas, una miscela di ossido di carbonio e idrogeno ottenuta per trattamento con vapore di carbone o di metano. Esistono altre tecnologie per la produzione di metanolo fossile o rinnovabile con diverse tecnologie, in parte dimostrate e in parte allo stato sperimentale (Fig. 7).

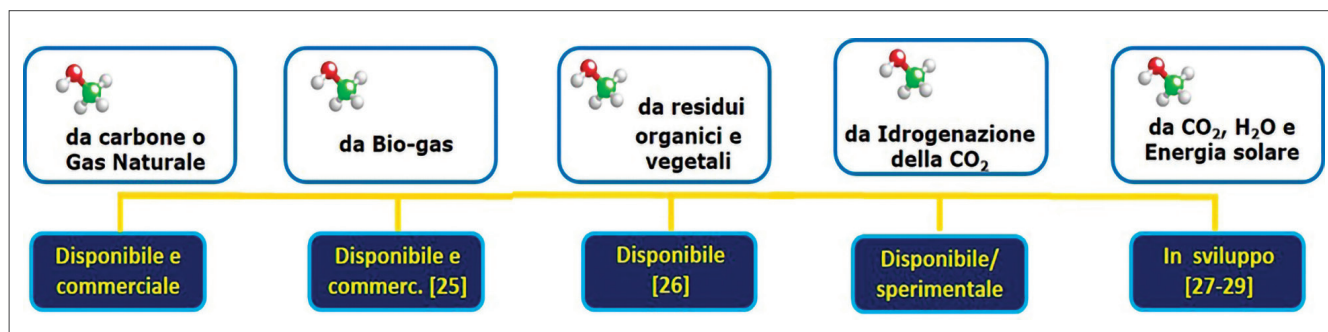


Fig. 7 - Tecnologie per la produzione di metanolo

Di seguito si riportano alcune informazioni sulle tecnologie più sfidanti per la produzione di metanolo rinnovabile tramite l'utilizzo di energia solare. Una tecnologia per la produzione di metanolo da impianti solari termici è in via di sviluppo da parte della società svizzera Synhelion, uno spin-off del Politecnico di Zurigo [27, 28]. La tecnologia si basa sulla proprietà dell'ossido di cerio di perdere reversibilmente grandi quantità di ossigeno quando portata ad alta temperatura (ca. 1400 °C). Il materiale ridotto può poi, a ca. 1000 °C, interagire con acqua riossidandosi e producendo idrogeno o con anidride carbonica producendo ossido di carbonio. L'ossido di carbonio e l'idrogeno possono essere poi utilizzati nella sintesi di metanolo rinnovabile. Il costo del metanolo completamente rinnovabile è ancora più elevato di quello del metanolo fossile. In una versione ibrida di questa tecnologia, l'ossido di cerio può essere ridotto a ca. 1000 °C, usando metano e producendo al contempo una miscela di ossido di carbonio e idrogeno di origine fossile. L'ossido di cerio ridotto può poi essere impiegato per produrre il syngas rinnovabile. In questo modo sarebbe possibile ottenere del metanolo parzialmente rinnovabile con dei costi competitivi con quelli del metanolo fossile [27].

Un'altra tecnologia allo studio di università svizzere e norvegesi, prevede l'installazione di campi fotovoltaici marini dai quali produrre energia elettrica. Il concetto si basa sull'idea di costruire dei clusters di isole galleggianti, su cui le celle fotovoltaiche convertono la luce solare in energia elettrica per produrre H₂ e da cui estrarre CO₂ dall'acqua di mare, dove è in equilibrio con l'atmosfera. I gas vengono quindi fatti reagire per produrre il metanolo, che può essere spedito via nave al consumatore finale [29].

Conclusioni

Le azioni volte al contenimento del Climate Change, dovranno considerare anche quale possa essere l'utilizzo dei diversi vettori energetici disponibili, soprattutto in tema di mobilità.

L'idrogeno, pur essendo attraente per le emissioni end-of-pipe, ha delle forti limitazioni applicative per la sua bassa densità.

L'auto elettrica appare oggi come la soluzione più attraente, soprattutto per la sua capacità di ridurre localmente anche le emissioni nocive da NO_x e particolato. Le batterie più avanzate (Li-ione) per questa applicazione hanno ancora problemi di costo, tecnologici (produzione e distribuzione di energia elettrica, tempi di ricarica, limiti di percorrenza) e ambientali (disponibilità e approvvigionamento dei metalli, recupero delle batterie esauste, emissioni correlate di gas serra). Si va delineando una situazione di controllo quasi monopolistico della produzione e del processamento dei metalli necessari per le batterie da parte della Cina. È prudente quindi cercare una soluzione che possa essere alternativa, nel caso peggiore o complementare all'elettrico.

Il metanolo sembra un vettore energetico particolarmente attraente per far fronte ai bisogni già presenti, ma, soprattutto, futuri di energia e mobilità ambientalmente compatibili.

Bibliografia

- [1] https://it.wikipedia.org/wiki/Densit%C3%A0_energetica
- [2] https://www.engineeringtoolbox.com/methane-density-specific-weight-temperature-pressure-d_2020.html; <https://webbook.nist.gov/cgi/fluid>.



- [cgi?Action=Page&ID=C1333740](#)
- [3] http://www.afdc.energy.gov/pdfs/hyd_economy_bossel_eliasson.pdf
- [4] T. Okino, S. Yamahira *et al.*, <https://www.imagesensors.org/Past%20Workshops/2017%20Workshop/2017%20Papers/P34.pdf>
- [5] Q. Wang, J. Sun, G. Chu, *Fire Safety Science*, 2005, **8**, 375, DOI: [10.3801/IAFSS.FSS.8-375](https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.8-375)
- [6] F. Larsson, P. Andersson *et al.*, *Sci. Rep.*, 2017, **7**, 10018, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09784-z>
- [7] <https://www.ilsole24ore.com/art/non-solo-litio-cobalto-grafite-ecco-metalliche-volano-l-effetto-tesla-AEawKcX>
- [8] <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/lithium-statistics-and-information>
- [9] <https://insideevs.it/news/429439/batterie-tesla-cobalto-glencore/>
- [10] <https://www.oecd.org/daf/inv/mne/OECD-Guidance-and-Dodd-Frank-Act.pdf>
- [11] https://www.repubblica.it/green-and-blue/2021/06/15/news/la_cina_detiene_il_72_delle_riserve_di_cobalto-306024070/
- [12] <https://zhuanlan.zhihu.com/p/68237796>
- [13] <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- [14] X. Chengjian, D. Qiang *et al.*, *Nature Communications Materials*, 2020, **1**(99).
- [15] <https://www.bbc.com/news/business-56574779#:~:text=They%20contain%20hazardous%20materials%2C%20and,%25%2C%22%20says%20Dr%20Anderson>
- [16] https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/May/IRENA_EPO_Electrolysers_H2_production_2022.pdf
- [17] Regolamento CE N. 1272/2006.
- [18] Allegato XXXVIII, D.lgs. 81/2008 e s.m.i.
- [19] Legge n. 408 del 28 luglio 1984.
- [20] https://www.arpa.veneto.it/servizi-ambientali/rischio-industriale/file-allegati/documenti/documenti-old/studio-sulla-dispersione-di-sostanze-tossiche-nella-laguna-di-venezia/Allegato3_Biodegradazione.pdf
- [21] https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jan/IRENA_Innovation_Renewable_Methanol_2021.pdf
- [22] <https://www.rinnovabili.it/le-aziende-informano/etere-dimetilico-al-posto-del-diesel-per-alimentare-un-iveco-eurocargo/>
- [23] <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2020/04/Updates-from-Stena-Germanica-Per-Stefenson.pdf>
- [24] https://www.methanex.com/sites/default/files/about-methanol/methanol-and-energy/Methanex_PowerBrochure.pdf; <https://advancedbiofuelsusa.info/methanol-new-energy-applications-in-china-boilers-and-cook-stoves/>
- [25] F. Manenti *et al.*, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2022, **61**(5), 2206; <http://smea-srl.com/nostri-impianti/energia/centrali-biogas/fat-citta-castello/>
- [26] <https://www.mairetecnimont.com/it/media/news/nextchem-cresce-nelleconomia-circolare-nasce-myrechemical-la-controllata-le-tecnologie-waste>
- [27] <https://synhelion.com/>
- [28] R. Schäppi, D. Rutz *et al.*, *Nature*, 2021, **601**(7891), 63.
- [29] B.D. Patterson, F. Moc *et al.*, *PNAS*, 2019, **116**(25), 12212.

What Energy Carriers for the Energy Transition?

Electricity and hydrogen seem the preferred energy carriers because of their end of pipe behavior. Although they have an evocative charm, they are not the only ones that can cancel out GHG emissions, therefore the most appropriate choice must be made on the basis of the behavior along the entire LCA of potential candidates. The purpose of this document is to make an analysis of the various options considered.