

Chimica & Energia

VETTORI ENERGETICI PER IL FUTURO: IDROGENO O AMMONIACA?

Carlo Giavarini

Esperto del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (LLPP)
per il gas naturale e gli idrocarburi

L'idrogeno è da molti considerato il principale vettore energetico per il futuro. Esistono però alcuni problemi da risolvere riguardo la sua pericolosità durante l'uso, il trasporto e lo stoccaggio. Per contro, l'ammoniaca (ricca di idrogeno), è molto più sicura e può impiegare, per il trasporto e lo stoccaggio, strutture e mezzi simili a quelli del propano. Uno svantaggio di NH_3 è però la sua difficile combustione. Sono comunque allo studio processi per produrre ammoniaca "verde" e per rendere più efficiente la sua combustione. È probabile che il trasporto marittimo sia il primo a convertirsi all'uso dell'ammoniaca. Al momento è ipotizzabile il suo uso futuro come combustibile, in parallelo all'idrogeno, in applicazioni particolari.



Un serbatoio per l'ammoniaca

Energy Carriers for the Future: Hydrogen or Ammonia?

Hydrogen is now considered one of the most important fuels for the future. However, there are a number of problems to be solved, related to safety concerns during its use, transport and storage. Ammonia contains a high percentage of hydrogen and is safer during transport and storage, and can use structures similar to those utilized by propane. A drawback is its difficult combustion. Presently, processes are proposed for the production of "green" ammonia and for making more efficient its combustion. Sea carriers could be the first to be converted to the use of ammonia as a fuel. At the moment we can forecast its partial use as a fuel, in parallel to hydrogen, for special applications.

L'idrogeno

L'idrogeno si sta imponendo come combustibile pulito e vettore energetico principale per il nostro futuro (Fig. 1). Innumerevoli sono le iniziative e i progetti in corso e in realizzazione pratica [1]. Esistono però alcuni importanti aspetti, non ancora risolti, che riguardano la pericolosità di questo gas, in termini di stoccaggio e trasporto. Lo stoccaggio di H_2 gassoso a temperatura ambiente richiede pressioni molto alte; così, ad esempio, per avere nei trasporti una percorrenza simile a quella di benzina e gasolio, quando si installano celle a combustibile, occorre avere a bordo una bombola con gas compresso a 700 bar. L'idrogeno liquido richiede strutture e materiali adatti per mantenerlo ad almeno 161 °C sotto zero. La pericolosità dell'idrogeno è, inoltre, a tutti nota [1].

Fig. 1 - Lo stoccaggio dell'idrogeno



Per risolvere in parte il problema del trasporto nell'immediato futuro, si pensa di utilizzare le tubazioni del gas naturale, miscelando il 5-30% di H₂ col metano. La realizzazione di apposite *pipeline* per l'idrogeno (sia gassoso che liquido) ha, infatti, tempi di realizzazione e costi elevati, così che è necessaria una fase transitoria. Resta poi il problema della separazione di H₂ dal metano, se

non si vuole utilizzare questo combustibile misto. Tale separazione può essere fatta con l'utilizzo di membrane (tipo le poliammidiche) o con adatti sistemi di adsorbimento.

L'ammoniaca

Un approccio completamente diverso prevede il trasporto dell'idrogeno sotto forma di ammoniaca (NH₃), che lo contiene in alte percentuali. Lo stoccaggio e il trasporto di NH₃ è simile a quello del propano (componente del GPL) e quindi non offre particolari problemi; ad esempio, possono essere impiegate le stesse navi usate per il trasporto del propano.

Per la sintesi dell'ammoniaca (NH₃) si parte dalla produzione dell'idrogeno. La produzione tradizionale impiega il metano, attraverso gli stadi di *steam reforming* primario con vapore (preparazione del gas di sintesi H₂ + CO) e di *reforming* secondario con aria (per introdurre l'azoto), seguiti dalla conversione dell'ossido di carbonio e dalla separazione della CO₂ formatasi. La miscela così ottenuta contiene idrogeno e azoto e viene inviata al reattore di sintesi dell'ammoniaca "blu" [2].

L'idrogeno necessario può essere prodotto per elettrolisi dell'acqua con un dispendio di energia molto superiore rispetto allo *steam reforming* e quindi, fino ad ora, questo processo non è stato industrialmente utilizzato. Servendosi di questo idrogeno, è inoltre necessario un impianto per la liquefazione dell'aria, onde ricavare separatamente l'azoto necessario per la sintesi di NH₃ "verde".

Attualmente sono allo studio (e anche in fase di avanzata progettazione e realizzazione) processi che prevedono di produrre l'idrogeno elettrolitico da fonti rinnovabili. Nel caso dell'ammoniaca, uno dei primi impianti sperimentali per produrla da fonti rinnovabili è stato annunciato nel 2020 in Danimarca, tramite una partnership in cui figurano Vestas e Topsoe, leader nelle tecnologie catalitiche. Turbine eoliche e pannelli solari forniranno energia a una unità elettrolitica per produrre idrogeno, che verrà poi usato per la sintesi dell'ammoniaca "verde" (processo Power-to-X). Non è chiara la provenienza dell'azoto. Il costo di tale ammoniaca è ovviamente molto superiore a quello dei processi da combustibili fossili.

Un ambizioso progetto è allo studio anche in Abu Dhabi: verrà realizzato a Kizad, sfrutterà l'energia solare, e sarà connesso mediante *pipeline* al porto di Khalifa per l'esportazione dell'ammoniaca prodotta. Tramite la sua posizione strategica, tra est e ovest, e le sue connessioni multimodali, Abu Dhabi ha l'ambizione di divenire uno dei maggiori *hub* per l'esportazione di idrogeno e ammoniaca verdi.

L'ammoniaca come combustibile

L'uso dell'ammoniaca per produrre fertilizzanti e altri *chemicals* è noto a tutti, meno lo è la prospettiva di impiegare NH₃ come carburante e vettore di H₂. Sono quindi necessarie alcune considerazioni e confronti. La Tab. 1 compara le principali caratteristiche di ammoniaca, idrogeno, metano e propano.

L'ammoniaca liquida può essere stoccata a soli 10-15 bar o refrigerata a -33 °C, contro i -161 °C dell'idrogeno (a 1 bar). Quindi è un buon accumulatore di energia in condizioni non troppo

drastiche: allo stato liquido, la sua densità energetica (12,7 MJ/l) è superiore a quella dell'idrogeno (8,5 MJ/l). L'intervallo di infiammabilità in aria di NH_3 è molto più stretto di quello di H_2 e la sua temperatura di ignizione è superiore. L'ammoniaca è poco infiammabile e la sua temperatura di fiamma è più bassa; essa ha bisogno di un *pilot fuel* (combustibile ausiliario) per facilitare l'innesco e la combustione. Anche il trasferimento di calore per radiazione è inferiore a quello degli idrocarburi; un altro aspetto negativo è la produzione di ossidi di azoto (NOx), pur non essendo essi (in teoria) il prodotto finale della combustione. Rispetto agli altri gas della Tab. 1, la tossicità di NH_3 è molto più alta, anche a basse concentrazioni. Ciò rende più difficile l'accettazione di stoccaggi, impianti e *pipeline* da parte della popolazione, non ancora matura nei confronti di qualsiasi tipo di eventuale rischio (*community readiness*).

	Ammoniaca	Idrogeno	Metano	Propano
T. ebollizione a 1 bar, °C	-33,4	-253	-161	-42,1
P. condensazione a 25 °C, bar	9,90	N/A	N/A	9,40
P. C. inferiore, MJ/kg	18,6	120	50,0	46,4
Limiti infiamm. aria (ossigeno)	15,2-27 (13,5-79)	4-74,2 (4,65-93,9)	5-15 (5,4-59,2)	2,12-9,35
T. adiabatica fiamma, °C	1.800	2.110	1.950	2.000
Max. lamina burn. vel., m/sec	0,07	2,91	0,37	0,43
T. autoignizione minima, °C	650	520	630	450

Tab. 1 - Proprietà di alcuni gas impiegabili come vettori energetici

Nonostante ciò, si è tentato di usare l'ammoniaca come combustibile fin dagli anni Quaranta del secolo scorso, anche per impieghi militari e per i razzi. Per favorire la combustione, sono state impiegate miscele con polverino o gas di carbone (*coal gas*); pure usate sono state miscele con metano e aria arricchita di ossigeno. La Man Energy Solutions sta realizzando un motore a 2 tempi alimentato da NH_3 . Gli studi attuali tendono a migliorare la combustione e a ridurre la produzione di NOx.

L'ammoniaca nel trasporto navale

Uno dei settori che potrebbero, prima di altri, prendere in considerazione l'impiego dell'ammoniaca come *fuel* è quello del trasporto marittimo, che incide per il 2,3% delle emissioni globali di CO_2 , secondo una stima del Lloyd Register. Il 2030 rappresenta una data limite per l'entrata in servizio di nuove navi a emissioni zero. Insieme a idrogeno e biocombustibili, l'ammoniaca rappresenta una delle possibili opzioni. Già esiste una rete di porti attrezzati per commercializzare e stoccare l'ammoniaca, impiegata per i fertilizzanti; negli USA esistono *pipeline* di NH_3 per circa 2000 miglia. Le prime navi alimentate da NH_3 potrebbero essere le esistenti navi cisterna per il trasporto di questo prodotto, essendo già in grado di gestirlo (Fig. 2).



Fig. 2 - Nave per il trasporto dell'ammoniaca

Conclusioni

A tutt'oggi non è facile rispondere alla domanda sulla possibilità di usare estesamente, come vettore energetico e *fuel*, l'ammoniaca al posto dell'idrogeno. L'ammoniaca offre indubbiamente molti vantaggi, se ci si riferisce al trasporto e allo stoccaggio, sia dal punto di vista della sicurezza che dell'economia. Presenta però anche qualche svantaggio per la sua difficile combustione e per l'emissione di NOx. La sua produzione dovrà basarsi su fonti rinnovabili, problema che comunque interessa anche l'idrogeno. L'eventualità di impiegare direttamente l'ammoniaca come *fuel* è attualmente studiata e sperimentata, al fine di superare i citati svantaggi. È probabile che il trasporto marittimo sia il primo a convertirsi all'uso dell'ammoniaca; anche il trasporto su rotaia potrebbe prenderla in considerazione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C. Giavarini, *La Chimica e l'Industria online*, 2021, 5(3), 50, DOI: <http://dx.medra.org/10.17374/CI.2021.103.3.50>
- [2] C. Giavarini, *Guida allo studio dei processi di raffinazione e petrolchimici*, Ed. Siderea, Roma, 2008, Ed. Efesto, Roma, 2017.