

Produzione, accumulo e trasporto dell'idrogeno

Produzione dell'idrogeno

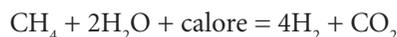
Per la produzione le fonti primarie di partenza possono essere sia fossili che rinnovabili.

Produzione da fonti fossili

Le tecnologie di produzione dell'idrogeno a partire dai combustibili fossili sono già ampiamente utilizzate.

Nel mondo vengono prodotti annualmente circa 500 miliardi di Nm³ di idrogeno, e di questi circa il 40% rappresenta un sottoprodotto dell'industria chimica, mentre il 60% deriva da combustibili fossili, gas naturale e olio pesante, attraverso processi di reforming e di ossidazione parziale.

Tali processi prevedono la produzione del gas attraverso successivi stadi di raffinazione e di frazionamento delle molecole degli idrocarburi fino alla completa eliminazione del carbonio. In questo modo oggi viene prodotta una grandissima quantità di idrogeno, tutta quella consumata sul mercato della chimica dei fertilizzanti di sintesi e nella metallurgia dell'acciaio. Il processo più diffuso, *steam reforming*, consiste in una reazione a caldo del metano con vapore a 800 °C, in modo da ossidare il carbonio e liberare idrogeno dalla molecola con emissione di anidride carbonica secondo la reazione:



Proprio questo è l'inconveniente della produzione da fonti fossili: causare, come prodotto di scarto, l'emissione di grandi quantità di CO₂. Quindi l'idrogeno, pur utilizzabile in modo pulito, è anch'esso causa di effetto serra per l'inquinamento prodotto nel ciclo di lavorazione.

Per ovviare a ciò occorrerebbe raccogliere e confinare **1** la CO₂ prodotta; si potrebbe ipotizzare una parziale riconversione dei grossi impianti delle compagnie petrolifere, che consenta di produrre idrogeno dagli idrocarburi: idrogeno che verrebbe poi utilizzato negli autoveicoli.

Dal punto di vista ambientale, questa soluzione avrebbe il vantaggio di evitare le emissioni di CO₂ di una miriade di veicoli sparsi sul territorio, concentrandole negli impianti petrolchimici da dove però potrebbero essere catturate con opportuni filtri, trasformate in forma liquida o solida e poi immagazzinate in giacimenti geologici profondi e di caratteristiche adeguate che ne dovrebbero impedire la reimmissione in atmosfera.

1 Immagazzinare in giacimenti geologici per impedire la reimmissione in atmosfera.

2 Ammassi di rocce sedimentarie porose permeabili e saturate di acqua.

Le opzioni principali sono due:

- pompaggio nei giacimenti esauriti di gas e petrolio;
- immissione nei cosiddetti acquiferi salini 2, formazioni stabili sotterranee non altrimenti utilizzabili, e in fondali oceanici situati a grande profondità (oltre 1.000 m sotto il livello del mare) dove la CO₂ si manterrebbe allo stato liquido indefinitamente a causa dell'enorme pressione ivi esistente.

Produzione da fonti rinnovabili

Per quanto riguarda la produzione di idrogeno da fonti rinnovabili i processi possono essere sommariamente distinti in:

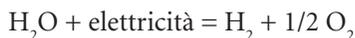
- produzione da biomasse;
- produzione dall'acqua.

Produzione da biomasse

Nella produzione di idrogeno a partire da biomasse nessun processo ha ancora raggiunto la maturità industriale. Le diverse alternative (gassificazione; pirolisi e successivo reforming della frazione liquida prodotta; produzione di etanolo e reforming dello stesso; produzione biologica attraverso processi basati su fenomeni di fotosintesi o di fermentazione) richiedono tutte un impegno notevole di ricerca e sviluppo.

Produzione dall'acqua

L'idrogeno può essere prodotto dall'acqua scindendo la stessa nei suoi componenti (idrogeno e ossigeno) attraverso l'elettrolisi. Schematicamente la reazione è la seguente:



Si può notare subito che la reazione di elettrolisi risulta esattamente inversa a quella che avviene nelle celle a combustibile (v. paragrafo 3 del testo). Pertanto, l'intero processo di produzione e consumo è ambientalmente sostenibile purché sia disponibile una corrispondente quantità di energia elettrica pulita, in grado di alimentare il processo di elettrolisi. È immediato pensare al sole come sorgente di questa energia, sfruttabile attraverso l'utilizzo di impianti di conversione fotovoltaica, la cui tecnologia già oggi può essere considerata tecnicamente affidabile e adeguata, anche se non ancora competitiva.

Infatti, mediante l'uso di energia solare fotovoltaica si può produrre idrogeno elettrolitico e ossigeno che poi possono essere fatti ricombinare nelle celle a combustibile per produrre l'energia elettrica di cui abbiamo bisogno. Come prodotto finale di scarto si genera una quantità di acqua pura pressappoco uguale a quella di partenza, chiudendo in tal modo il ciclo senza emissioni inquinanti. Infine, è evidente che le grandi distese oceaniche altro non sono che enormi riserve di idrogeno: ogni kg di acqua pura contiene 111 g di idrogeno che, una volta bruciato, potrebbe produrre 3.200 chilocalorie di energia termica. Pertanto dall'acqua, in linea di principio, sarebbe possibile estrarre tutto l'idrogeno necessario a soddisfare in modo pulito le esigenze energetiche dell'umanità.

Il problema attualmente è il costo. Con l'elettrolisi dell'acqua, infatti, è vero che si può ottenere idrogeno praticamente puro, ma solo a un prezzo che può diventare economicamente accettabile in una prospettiva ancora lontana, quando le innovazioni tecnologiche consentiranno un costo estremamente basso dell'energia elettrica, prodotta da fonti rinnovabili (o da nucleare).

Pertanto tale scelta non appare, allo stato attuale delle conoscenze, economicamente ed energeticamente perseguibile, se non per applicazioni particolari (per esempio aree remote).

La dissociazione dell'acqua può essere effettuata anche facendo uso di processi termochimici che utilizzano calore ad alta temperatura (800-1000 °C) ottenuto da fonti diverse (prima fra tutte l'energia solare termica); sono in corso, anche in Italia, attività di ricerca e sviluppo tese a dimostrare la fattibilità industriale di tali processi e il potenziale nel lungo termine sembra essere molto interessante.

Altri processi, ancora allo stato di laboratorio, sono la fotoconversione che scinde l'acqua usando organismi biologici o materiali sintetici, e i processi fotoelettrochimici, che usano per lo stesso scopo una corrente elettrica generata da semiconduttori.

Accumulo dell'idrogeno

Compressione

Il modo più semplice ed economico per accumulare idrogeno è di utilizzarlo sotto forma di gas compresso a pressione di 200-250 bar (e oltre). La tecnologia risulta tuttavia non facilmente proponibile per l'uso a bordo di auto tradizionali, a causa del peso e ingombro dei serbatoi attualmente utilizzati, che rappresentano un limite all'autonomia e capacità di carico del veicolo.

Di recente, notevoli progressi sono stati fatti con l'introduzione di serbatoi con struttura metallica o termoplastica rinforzata con fibre di carbonio o di vetro, che presentano un peso 3-4 volte inferiore a quello dei comuni serbatoi e che consentono di superare in parte gli inconvenienti dell'uso delle bombole tradizionali. Questi serbatoi sono in grado di operare a pressioni fino a 350 bar (potenzialmente fino a 700 bar) e consentono quindi di ottenere densità di accumulo di idrogeno adeguate all'uso a bordo di veicoli. Le caratteristiche di sicurezza sono solitamente molto elevate, grazie alla robustezza dei serbatoi e all'introduzione di fusibili anti-scoppio in caso di incendio, e di valvole di interruzione del circuito in caso di urto.

Per quanto riguarda normative di sicurezza e licenze per uso a bordo di veicoli, le bombole di idrogeno sono soggette a restrizioni analoghe a quelle adottate nel caso del gas naturale.

Liquefazione

L'idrogeno può essere immagazzinato anche in forma liquida a una temperatura di -253 °C. Per mantenere queste temperature sono stati messi a punto serbatoi criogenici a doppia parete, con un'intercapedine, dove viene fatto il vuoto (serbatoi tipo «dewar»). Questa tecnologia è ormai consolidata in Germania, dove la BMW la utilizza da oltre 15 anni su auto a idrogeno alimentate con motori a combustione interna.

L'accumulo in forma liquida è forse la tecnologia che oggi meglio soddisfa, da un punto di vista teorico, le esigenze specifiche dell'autotrazione; tuttavia anch'essa presenta dei limiti. A sfavore dell'idrogeno liquido giocano la maggiore complessità del sistema, non solo a bordo del veicolo ma anche a terra, per la distribuzione e il rifornimento, e i maggiori costi a esso associati.

Anche il costo energetico della liquefazione è considerevole, corrispondendo a circa il 30% del contenuto energetico del combustibile, contro un valore compreso tra il 4% e il 7% per l'idrogeno compresso.

Accumulo chimico

L'idrogeno può legarsi chimicamente con diversi metalli e leghe metalliche formando idruri, composti in grado di intrappolare idrogeno a pressioni relativamente basse. Il gas penetra all'interno del reticolo cristallino del metallo, andando a occupare i siti interstiziali. Tale tecnologia permette di raggiungere densità

energetiche potenzialmente maggiori dell'idrogeno compresso e paragonabili con quelle dell'idrogeno liquido. Il volume di stoccaggio si potrebbe ridurre di 3-4 volte, rendendo possibile l'uso nelle autovetture, mentre l'energia specifica dipende dal peso specifico del metallo di base. Le percentuali in peso dell'idrogeno sul peso del metallo variano dall'1 al 12,7% (idruro di litio) mentre per le comuni bombole tale percentuale è di poco superiore all'1%.

A fronte di tali caratteristiche positive, esistono ancora numerosi problemi da superare per la realizzazione di sistemi di accumulo veramente competitivi. Per esempio, occorre lavorare ancora per migliorare la stabilità strutturale e termica del materiale, per depurarlo dalle impurità presenti nell'idrogeno, per rendere compatibili temperatura e pressione con le applicazioni previste, ecc.

Comunque, allo stato attuale, i materiali disponibili portano a sistemi di accumulo troppo pesanti: a parità di peso, il veicolo presenta un'autonomia tre volte inferiore a quella ottenibile con idrogeno liquido o compresso con serbatoi di tipo avanzato. Sono invece indubbi i vantaggi in termini di convenienza, compattezza, stabilità dello stoccaggio, sicurezza.

Una tecnologia recentissima e ancora sperimentale riguarda l'utilizzo di nanostrutture di carbonio (nanotubi e nanofibre di carbonio), scoperte all'inizio degli anni 90, che stanno dimostrando buone capacità di assorbimento dell'idrogeno, con risultati in alcuni casi sorprendenti. Su questi materiali sono in corso ricerche da parte di numerosi gruppi di lavoro, ma i risultati ottenuti, spesso in contrasto tra di loro, sono per il momento difficilmente confrontabili in quanto le esperienze sono state effettuate su campioni di materiali di diverso tipo, provati in condizioni di pressione e temperatura molto diverse tra loro. Il campo di variazione della pressione va da pochi bar ad alcune centinaia di bar, la temperatura da 80 °K a 800 °K, le percentuali di assorbimento in peso variano da valori inferiori all'1% a un incredibile 60%.

Distribuzione dell'idrogeno

A seconda delle quantità interessate, l'idrogeno può essere trasportato per mezzo di autocisterne o con idrogenodotti. Fra le due opzioni, entrambe praticabili con le tecnologie attuali, esistono grosse differenze di costo e quindi solo specifiche analisi tecnico-economiche per le singole applicazioni possono determinare quale sia di volta in volta la soluzione migliore.

Tubazioni di grosse dimensioni in acciaio standard (e quindi senza requisiti specifici) hanno trasportato idrogeno in Germania, nel distretto della Ruhr, dai produttori ai consumatori sin dal 1938, senza particolari problemi di sicurezza (le tubazioni erano provviste di sensori per possibili fughe ed erano previste periodiche ispezioni di controllo).

D'altra parte è utile ricordare come anche in Italia, per più di 70 anni, si è distribuito nelle città senza problemi particolari il cosiddetto *gas di città*, costituito da miscele di idrogeno (50%) e monossido di carbonio (50%), dove l'elemento di maggiore pericolosità era il monossido di carbonio, in quanto altamente tossico. Attualmente anche città a densità di popolazione estremamente elevate, come Pechino, sono servite da reti di distribuzione di questo tipo di gas. Idrogenodotti di dimensioni significative sono attualmente presenti in diverse nazioni: esiste una rete di circa 170 km nella Francia del Nord, per un totale nell'intera Europa di più di 1.500 km. Il Nord America, poi, possiede più di 700 km di condutture per il trasporto dell'idrogeno.

L'esperienza accumulata nel settore della distribuzione gas può quindi essere utilizzata in maniera molto diretta anche per la realizzazione e l'esercizio di reti di distribuzione dell'idrogeno, grosso modo simili alle attuali reti per il gas naturale;

le maggiori differenze potrebbero risiedere nei materiali utilizzati (alcuni acciai, tipo quelli al cromo e al molibdeno, hanno migliore compatibilità con l'idrogeno) e nei criteri di progetto delle stazioni di pompaggio. In particolare, sebbene abbia una densità energetica volumetrica minore di quella del gas naturale, l'idrogeno è meno viscoso, per cui, con un'adatta progettazione, l'energia necessaria per il suo pompaggio diventa paragonabile a quella richiesta per la stessa quantità di energia trasportata con il gas naturale.

Reti di distribuzione per idrogeno liquido, risultando particolarmente costose e di difficile gestione, sono state realizzate solo per applicazioni particolarmente specializzate, come il rifornimento di veicoli spaziali.