



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



## Processi di produzione dell'idrogeno

L'idrogeno può essere prodotto utilizzando diversi processi. I processi termochimici utilizzano reazioni chimiche e termodinamiche per ottenere idrogeno da materiali organici come combustibili fossili e biomassa. L'acqua ( $H_2O$ ) può essere suddivisa in idrogeno ( $H_2$ ) e ossigeno ( $O_2$ ) mediante elettrolisi o energia solare. Microrganismi come batteri e alghe possono produrre idrogeno attraverso processi biologici.

**Processi termochimici** Alcuni processi termici utilizzano l'energia in varie risorse, come gas naturale, carbone o biomassa, per ottenere idrogeno dalla loro struttura molecolare. In altri processi, il calore, in combinazione con cicli chimici chiusi, produce idrogeno da materie prime come l'acqua. Ulteriori informazioni sui seguenti processi termochimici:

- [Natural gas reforming](#) (detto anche reforming con metano a vapore o SMR)
- [Gasificazione del carbone](#)
- [Gasificazione della biomassa](#)
- [Reforming di liquidi derivati da biomassa](#)
- [Idrogeno termico solare \(Solar thermochemical hydrogen - STCH\).](#)

**Processi elettrolitici** Gli elettrolizzatori usano l'elettricità per dividere l'acqua in idrogeno e ossigeno. Questa tecnologia è ben sviluppata e disponibile commercialmente e sono in fase di sviluppo sistemi in grado di utilizzare in modo efficiente energia rinnovabile intermittente. Ulteriori informazioni sull'[elettrolisi](#).

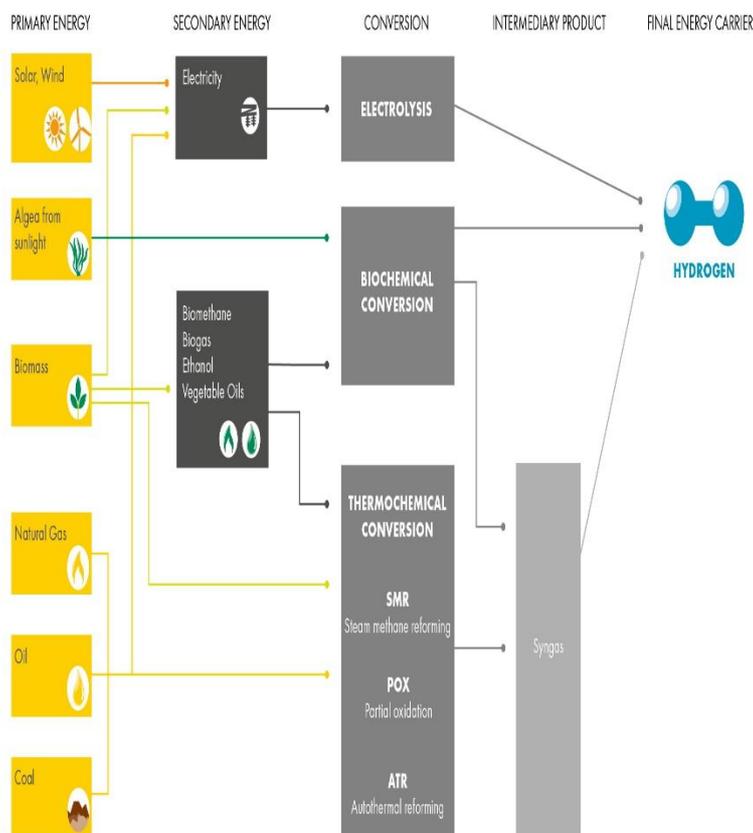
**Processo di scissione solare diretta dell'acqua** I processi di scissione diretta dell'acqua solare o fotolitici utilizzano l'energia della luce per dividere l'acqua in idrogeno e ossigeno. Questi processi sono attualmente nelle primissime fasi della ricerca ma offrono un potenziale a lungo termine per la produzione sostenibile di idrogeno a basso impatto ambientale. Ulteriori informazioni sui seguenti processi di scissione dell'acqua solare:

- [Fotoelettrochimici \(PEC\)](#)
- [Fotobiologici.](#)

**Processi Biologici** I microbi come batteri e microalghe possono produrre idrogeno attraverso reazioni biologiche, usando la luce solare o la materia organica. Questi percorsi tecnologici sono in una fase iniziale di ricerca, ma a lungo termine hanno il potenziale per una produzione sostenibile di idrogeno a basse emissioni di carbonio. Ulteriori informazioni sui seguenti processi biologici

- [Conversione microbiologica della biomassa](#)
- [Fotobiologica.](#)

### Produzione di idrogeno



Shell Hydrogen Study © Shell



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



L'idrogeno potrebbe essere l'elemento più abbondante sulla Terra, ma raramente si trova nella sua forma pura. Ciò significa che per utilizzare l'idrogeno puro, è necessario prima estrarlo dal suo composto

Naturalmente, questo processo di estrazione ha bisogno di energia ma l'idrogeno può essere prodotto o estratto usando praticamente qualsiasi fonte primaria di energia, sia essa fossile o rinnovabile. Tipicamente, l'idrogeno può essere prodotto utilizzando diverse fonti per dividere l'acqua tra cui combustibili fossili, come gas naturale e carbone, biomassa, colture non alimentari, energia nucleare e fonti di energia rinnovabile, come l'energia eolica, solare, geotermica e idroelettrica. Questa diversità di fonti di approvvigionamento è la ragione più importante per cui l'idrogeno è un vettore energetico così promettente.

Sebbene oggi la maggior parte della produzione mondiale di idrogeno sia prodotta attraverso un processo ad alte emissioni di CO<sub>2</sub> chiamato Steam Methane Reforming (SMR), l'idrogeno può anche essere prodotto attraverso un processo che utilizza elettricità rinnovabile, portando alla produzione di "verde" o CO<sub>2</sub> idrogeno neutro.

### Steam Methane Reforming:

Metodo: Reforming – principalmente reforming di gas naturale ma anche di biogas

In breve: i modi principali in cui il gas naturale, principalmente metano, viene convertito in idrogeno comportano una reazione con vapore (reforming con vapore o reforming con metano e vapore SMR quando viene utilizzato il metano), ossigeno (ossidazione parziale) o entrambi in sequenza (reforming autotermico)

In pratica: reforming con vapore: il vapore acqueo puro viene utilizzato come ossidante. La reazione richiede l'introduzione di calore ("endotermico")

- Ossidazione parziale: in questo metodo viene utilizzato ossigeno o aria. Il processo rilascia calore ("esotermico").
- reforming autotermico: questo processo è una combinazione di reforming a vapore e ossidazione parziale e opera con una miscela di aria e vapore acqueo. Il rapporto tra i due ossidanti è regolato in modo tale che non sia necessario introdurre o estrarre calore ("isotermico").

## Idrogeno come sottoprodotto di un impianto industriale

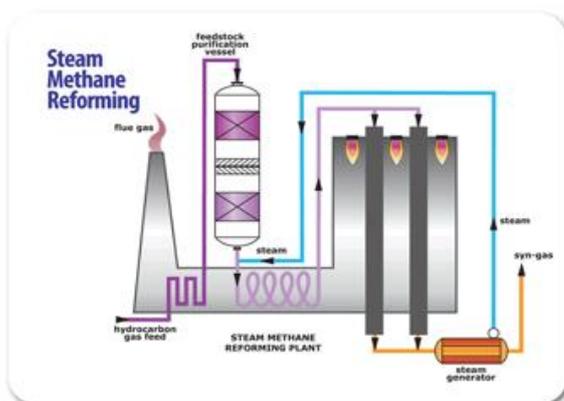
**Metodo:** idrogeno da altri processi industriali che creano idrogeno come sottoprodotto

**In breve:** i processi elettrochimici, come la produzione industriale di soda caustica e cloro, producono idrogeno come prodotto di scarto.

**In Pratica:** la produzione di cloro e soda caustica si riduce al passaggio di una corrente elettrica attraverso la salamoia (una soluzione di sale - cloruro di sodio - in acqua). La salamoia si dissocia e si ricombina attraverso lo scambio di elettroni (erogati dalla corrente) in cloro gassoso, soda caustica disciolta e idrogeno. Per natura della reazione chimica, cloro, soda caustica e idrogeno sono sempre prodotti in un rapporto fisso: 1,1 tonnellate di sostanza caustica e 0,03 tonnellate di idrogeno per tonnellata di cloro.

## Reforming

Reforming del metano con vapore (SMR):



Come già descritto sopra, attualmente, la maggior parte dell'idrogeno prodotto oggi viene prodotto attraverso il processo ad alta intensità di CO<sub>2</sub> chiamato Steam Methane Reforming.

Il vapore ad alta temperatura (700 °C-1.000 °C) viene utilizzato per produrre idrogeno da una fonte di metano, come il gas naturale. Nel reforming vapore-metano, il metano reagisce con il vapore a una pressione di 3–25 bar (1 bar = 14,5 psi) in presenza di un catalizzatore per produrre idrogeno, monossido di carbonio e una quantità

relativamente piccola di biossido di carbonio. Il reforming del vapore è endotermico, ovvero è necessario fornire calore al processo affinché la reazione proceda.

Il vapore ad alta temperatura (700°C - 1.000°C) viene utilizzato per produrre idrogeno da una fonte di metano, come il gas naturale. Nel reforming vapore-metano, il metano reagisce con il vapore a una pressione di 3–25 bar (1 bar = 14,5 psi) in presenza di un catalizzatore per produrre idrogeno, monossido di carbonio e una quantità relativamente piccola di biossido di carbonio. Il reforming del vapore è endotermico, ovvero è necessario fornire calore al processo affinché la reazione proceda.

Successivamente, in quella che viene chiamata "reazione di shift acqua-gas", il monossido di carbonio e il vapore vengono fatti reagire usando un catalizzatore per produrre anidride carbonica e ancora idrogeno. In una fase finale del processo chiamata "adsorbimento con oscillazione di pressione – pressure-swing adsorption", biossido di carbonio e altre impurità vengono rimosse dal flusso di gas, lasciando essenzialmente idrogeno puro. Il reforming del vapore può anche essere utilizzato per produrre idrogeno da altri carburanti, come etanolo, propano o persino benzina.

HySchools

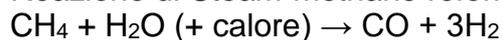
Talent Laboratory

Go-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

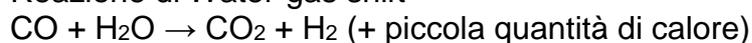


La chimica:

Reazione di Steam-methane reforming



Reazione di Water-gas shift



### Ossidazione parziale

Nell'ossidazione parziale, il metano o altri idrocarburi del gas naturale reagiscono con una quantità minima di ossigeno (tipicamente dall'aria) che non è sufficiente per ossidare completamente gli idrocarburi in anidride carbonica e acqua. Con meno della quantità stechiometrica di ossigeno disponibile, i prodotti di reazione contengono principalmente idrogeno e monossido di carbonio (e azoto, se la reazione viene effettuata con aria anziché ossigeno puro) e una quantità relativamente piccola di biossido di carbonio e altri composti. Successivamente, nella reazione di water gas shift, il monossido di carbonio reagisce con l'acqua per formare anidride carbonica e idrogeno.

L'ossidazione parziale è un processo **esotermico**: emana calore. Il processo è, in genere, molto più veloce rispetto allo steam reforming e richiede un reattore più

piccolo. Come si può vedere nelle reazioni chimiche di ossidazione parziale, questo processo inizialmente produce meno idrogeno per unità di combustibile in ingresso di quanto si ottenga mediante reforming dello stesso combustibile.

*In chimica:*

Reazione di ossidazione parziale del metano  
 $\text{CH}_4 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$  (+ heat)

Reazione di water-gas shift  
 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$  (+ small amount of heat)

### Steam methane reforming (SMR) per biogas

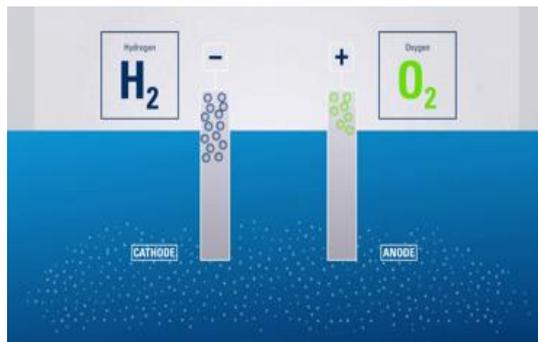
Il processo di steam methane reforming può essere utilizzato anche per produrre idrogeno da biogas.



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



## Electrolysis



L'idrogeno può essere prodotto in molti modi, la tecnologia più interessante e promettente è la produzione di idrogeno attraverso l'elettrolisi dell'acqua.

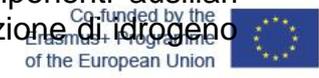
In questo processo, l'elettrolisi scompone l'acqua in idrogeno e ossigeno utilizzando l'elettricità. Se l'elettricità utilizzata, proviene da fonti energetiche rinnovabili come il vento o il fotovoltaico e l'idrogeno prodotto viene utilizzato in una cella a combustibile, l'intero processo energetico non produce nessuna emissione. In questo caso, parleremmo di "idrogeno verde – green hydrogen".

L'elettrolizzatore è costituito da una sorgente in corrente continua CC e due elettrodi di metalli nobili separati da un elettrolita. L'elettrolita o il conduttore ionico possono essere un liquido, ad esempio una soluzione conduttiva di potassa caustica (idrossido di potassio, KOH) per l'elettrolisi alcalina.

In un elettrolizzatore alcalino il catodo (polo negativo) cede elettroni alla soluzione acquosa.

L'acqua è dissociata, portando alla formazione di idrogeno ( $H_2$ ) e ioni idrossido ( $OH^-$ ).

I portatori di carica si muovono nell'elettrolita verso l'anodo. All'anodo (polo positivo) gli elettroni vengono assorbiti dagli anioni  $OH^-$  negativi. Gli anioni  $OH^-$  vengono ossidati per formare acqua e ossigeno. L'ossigeno sale all'anodo. Una membrana impedisce la miscelazione dei gas del prodotto  $H_2$  e  $O_2$  e consente il passaggio di ioni  $OH^-$ . Gli elettrolizzatori sono costituiti da singole celle e componenti ausiliari (balance of plant). Combinando celle elettrolitiche e stack, la produzione di idrogeno può essere adattata alle singole esigenze dell'utenza.



Gli elettrolizzatori si differenziano per i materiali dell'elettrolita e per la temperatura alla quale vengono utilizzati: elettrolisi a bassa temperatura (LTE), compresa l'**elettrolisi alcalina (AE)**, l'elettrolisi con **membrana a scambio protonico (PEM)** e l'elettrolisi con **membrana a scambio anionico (AEM)** (noto anche come PEM alcalina) ed elettrolisi ad alta temperatura (HTE). Quest'ultimo gruppo comprende in particolare l'**elettrolisi ad ossidi solidi (SOE)**, ma questo è ancora in una fase di ricerca e sviluppo e i prodotti non sono ancora disponibili in commercio. Una volta raggiunta la maturità del mercato, i suoi vantaggi dovrebbero includere una maggiore efficienza di conversione e la possibilità di produrre un gas di sintesi direttamente da vapore e  $CO_2$ , per l'uso in varie applicazioni come la sintesi di combustibili liquidi (E4tech 2014, IEA 2015b).

L'elettrolisi ad alta temperatura è particolarmente interessante quando c'è una fonte di calore vicino all'elettrolizzatore (come spesso accade negli impianti industriali) ed è più efficiente economicamente della tradizionale elettrolisi a bassa temperatura. Parte dell'energia per decomporre l'acqua viene fornita sotto forma di calore, che può essere un sottoprodotto gratuito o comunque più economico dell'elettricità, e anche perché la reazione di elettrolisi è più efficiente a temperature più elevate.

La scelta di una determinata tecnologia di elettrolisi dipende dalle esigenze specifiche di utilizzo e dal contesto locale.

L'idrogeno è come l'elettricità, nel senso che il suo utilizzo non produce emissioni nocive. La sua impronta di carbonio è legata alla sua modalità di produzione. Nel caso dell'idrogeno prodotto dall'elettrolisi, la sua impronta di carbonio è direttamente correlata alla fonte di elettricità. L'idrogeno prodotto da elettricità rinnovabile o nucleare priva di carbonio è quindi privo di carbonio. L'idrogeno prodotto da elettricità dalla rete elettrica ha la stessa intensità di carbonio della rete.

### **Idrogeno come sottoprodotto**

Come spiegato in precedenza, l'idrogeno viene prodotto separandolo dai suoi composti chimici.

Se la produzione di idrogeno può essere il primo obiettivo del processo di separazione, può anche essere che il processo di separazione miri innanzitutto a produrre un'altra molecola e produca idrogeno come sottoprodotto.

La produzione di cloro e soda caustica si riduce al passaggio di una corrente elettrica attraverso la salamoia (una soluzione di sale - cloruro di sodio - in acqua). La salamoia si dissocia e si ricombina attraverso lo scambio di elettroni (erogati dalla corrente) in cloro gassoso, soda caustica disciolta e idrogeno. Per natura della reazione chimica, cloro, soda caustica e idrogeno sono sempre prodotti in un rapporto fisso: 1,1 tonnellate di sostanza caustica e 0,03 tonnellate di idrogeno per tonnellata di cloro.

Numerosi studi hanno cercato di quantificare la quantità di idrogeno residuo industriale disponibile. Il progetto UE "Roads 2 HyCom" (Maisonnier et al. 2007) ha prodotto, tra gli altri risultati, una mappa che mostra i siti di produzione dell'idrogeno in Europa. In questa mappa le fonti di idrogeno sono state suddivise in tre categorie: la categoria "mercato" fornisce idrogeno ad altri clienti industriali, mentre la categoria "utilizzo" trattiene l'idrogeno in loco per il proprio uso. Solo come "sottoprodotto" l'idrogeno non viene più utilizzato nel processo o sul sito; questa categoria può essere resa disponibile per altre applicazioni, come i veicoli elettrici a fuel cell.

L'idrogeno come sottoprodotto è una fonte interessante ed economica di idrogeno per avviare lo spiegamento di applicazioni di idrogeno nell'area in cui viene prodotto. Non sorprende che le regioni con elevate quantità di idrogeno come sottoprodotto siano tra le più avanzate nella loro strategia di distribuzione dell'idrogeno.

