

CHIMICA AMBIENTALE

CdL triennale in
Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e la Natura

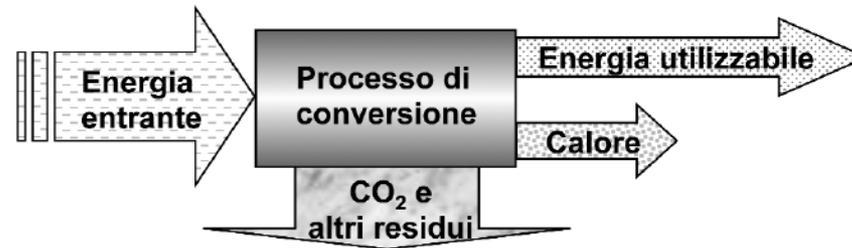
Docente
Pierluigi Barbieri

SSD Chimica dell'ambiente e dei beni culturali, CHIM/12

USO DELL'ENERGIA, COMBUSTIBILI FOSSILI, EMISSIONI DI CO₂

E CAMBIAMENTO CLIMATICO GLOBALE

L'**uso dell'energia** comprende la trasformazione dell'energia da una forma all'altra, fino alla sua degradazione in calore, prodotto di scarto senza problema ambientale globale. Tuttavia produzione o consumo di energia presentano alcuni effetti collaterali seri per l'ambiente (es. clima).



Una **fonte di energia** viene definita **primaria** quando è presente in natura e quindi non deriva dalla trasformazione da parte dell'uomo di nessuna altra forma di energia. Rientrano in questa categoria i combustibili direttamente utilizzabili (petrolio grezzo, gas naturale, carbone), l'energia nucleare, l'energia del sole, del vento, dell'acqua e delle biomasse. **Fonti di energia secondaria** sono l'energia elettrica, la benzina, il GPL, l'idrogeno.

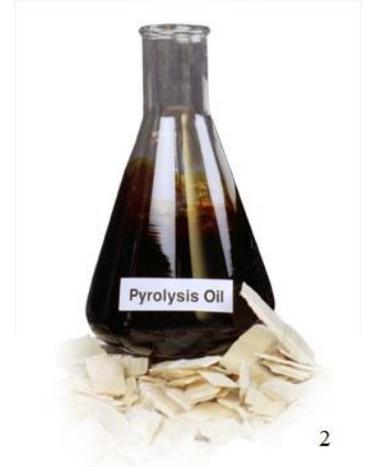
Da biomasse solide

Pirolisi

Biomassa secca scaldata a P ambiente a T di 300-600°C -> biochar,

bio-olio da aerosol e gas condensabili (molti ossigenati), acido pH ca 3

Gas non condensabili (H₂, CH₄, CO, CO₂)



Gassificazione

Materiale con C scaldato a 700-1000°C -> H₂ + CO e catrame

Gas di sintesi o syngas (anche da carbone)

Es. produzione di alcani $n\text{CO} + (2n+1)\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n+2} + n\text{H}_2\text{O}$

Reazioni di Fischer-Tropsch -> benzina sintetica e altri chemicals a seconda di catalizzatori e condizioni (Germania tra le due WW)

Biogas e biometano

La produzione di biogas è una tecnologia consolidata principalmente per la generazione di energia rinnovabile e anche per la valorizzazione dei residui organici. Il biogas è il prodotto finale di un processo mediato da microorganismi, la **digestione anaerobica**, in cui diversi microrganismi seguono percorsi metabolici diversi per decomporre la materia organica. Il processo è conosciuto fin dai tempi antichi ed è stato ampiamente applicato alle abitazioni domestiche fornendo calore ed energia per centinaia di anni.

Oggigiorno, il settore del biogas sta crescendo rapidamente e nuovi risultati creano le basi per la costituzione di impianti di biogas come fabbriche di bioenergia avanzate. In questo contesto, gli impianti di biogas sono la base di un concetto di economia circolare che mira al riciclaggio dei nutrienti, alla riduzione delle emissioni di gas serra e ai fini della bioraffineria. ...

Biogas and its opportunities—A review

Panagiotis G. Kougiass

Irini Angelidaki

Frontiers of Environmental
Science & Engineering

June 2018, 12:14

https://www.researchgate.net/publication/324835236_Biogas_and_its_opportunities-A_review



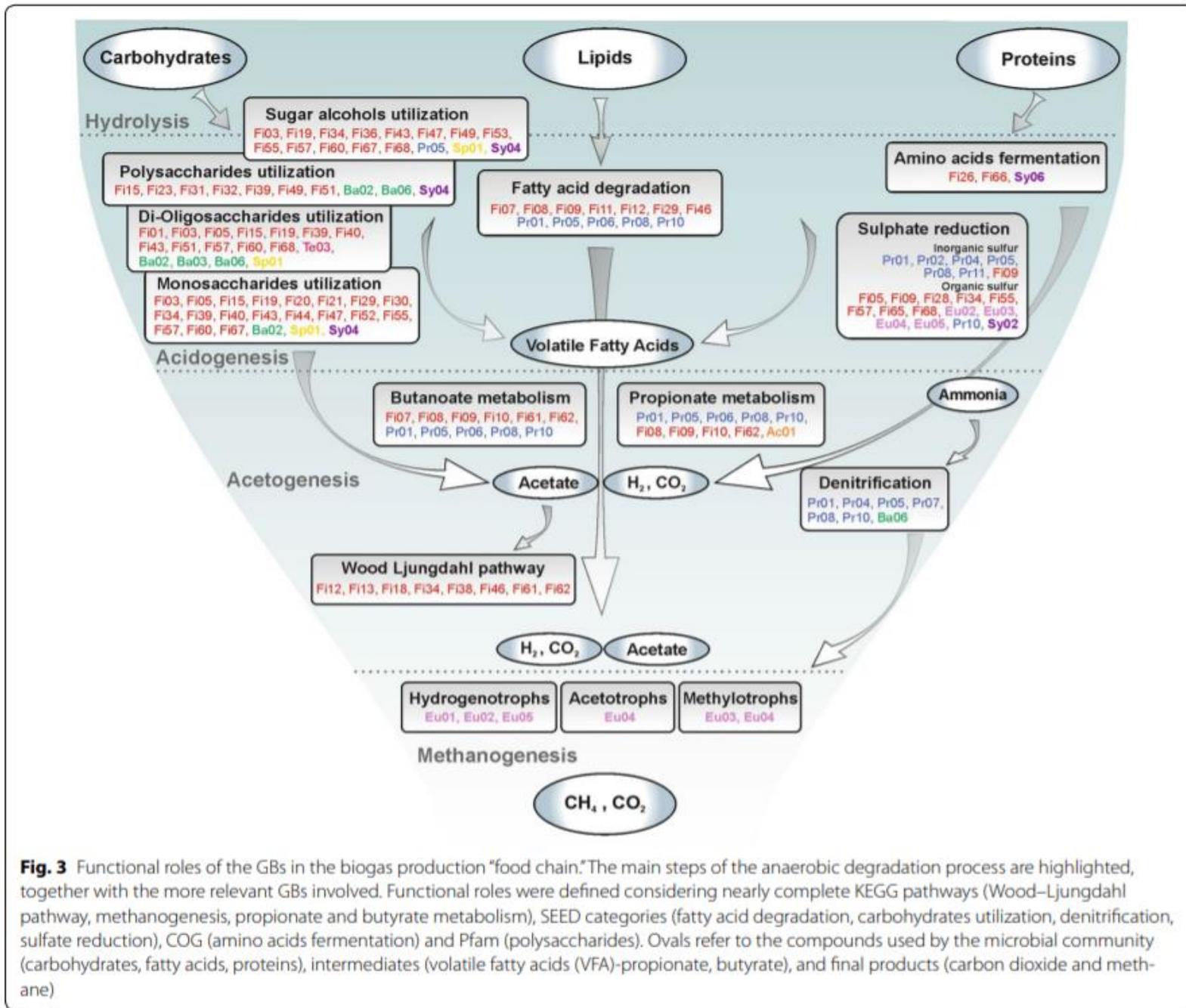


Fig. 3 Functional roles of the GBs in the biogas production “food chain.” The main steps of the anaerobic degradation process are highlighted, together with the more relevant GBs involved. Functional roles were defined considering nearly complete KEGG pathways (Wood–Ljungdahl pathway, methanogenesis, propionate and butyrate metabolism), SEED categories (fatty acid degradation, carbohydrates utilization, denitrification, sulfate reduction), COG (amino acids fermentation) and Pfam (polysaccharides). Ovals refer to the compounds used by the microbial community (carbohydrates, fatty acids, proteins), intermediates (volatile fatty acids (VFA)-propionate, butyrate), and final products (carbon dioxide and methane)

Metagenomic analysis and functional characterization of the biogas microbiome using high throughput shotgun sequencing and a novel binning strategy

Table 1 Taxonomic assignment and basic genome characteristics of the 106 GBs extracted from biogas reactors

Genome bin ID	Genome bin "species name"	GB size (Mbp)	Estimated completeness (%)	Genome bin ID	Genome bin "species name"	GB size (Mbp)	Estimated completeness (%)
Pr02	<i>Gammaproteobacteria sp. DTU038</i>	4.2	84	Fi16	<i>Clostridia sp. DTU025</i>	2.0	95
Fi48	<i>Clostridiaceae sp. DTU079</i>	3.1	99	Fi13	<i>Clostridia sp. DTU022</i>	2.0	89
Fi49	<i>Clostridia sp. DTU080</i>	3.1	86	Fi32	<i>Clostridiales sp. DTU060</i>	2.0	88
Pr05	<i>Alcaligenaceae sp. DTU041</i>	2.9	96	Fi21	<i>Halothermothrix sp. DTU029</i>	2.0	94
Fi40	<i>Clostridiales sp. DTU070</i>	2.9	97	Ac01	<i>Actinomycetales sp. DTU046</i>	1.9	67
Fi30	<i>Clostridiales sp. DTU058</i>	2.9	99	Ba02	<i>Rikenellaceae sp. DTU002</i>	1.9	88
Pr01	<i>Gammaproteobacteria sp. DTU037</i>	2.8	96	Ba01	<i>Rikenellaceae sp. DTU001</i>	1.9	95
Eu04	<i>Methanosarcina sp. DTU009</i>	2.8	95	Fi17	<i>Clostridia sp. DTU026</i>	1.9	82
Ba06	<i>Porphyromonadaceae sp. DTU048</i>	2.7	84	Fi19	<i>Clostridiales sp. DTU053</i>	1.9	96
Fi65	<i>Pelotomaculum sp. DTU098</i>	2.6	97	Fi52	<i>Clostridiales sp. DTU083</i>	1.9	93
Fi67	<i>Clostridiales sp. DTU100</i>	2.6	80	Fi35	<i>Clostridiales sp. DTU064</i>	1.9	86
Fi09	<i>Syntrophomonas sp. DTU018</i>	2.6	97	Sy04	<i>Synergistales sp. DTU085</i>	1.9	93
Fi43	<i>Clostridiales sp. DTU074</i>	2.6	92	Fi53	<i>Clostridia sp. DTU084</i>	1.9	79
Fi28	<i>Clostridiales sp. DTU055</i>	2.6	91	Fi22	<i>Clostridia sp. DTU030</i>	1.8	94
Fi39	<i>Clostridiales sp. DTU069</i>	2.6	92	Eu03	<i>Euryarchaeota sp. DTU008</i>	1.8	98
Fi62	<i>Clostridia sp. DTU095</i>	2.5	88	Fi69	<i>Clostridiales sp. DTU071</i>	1.8	52
Fi08	<i>Syntrophomonas sp. DTU017</i>	2.5	88	Fi06	<i>Clostridia sp. DTU015</i>	1.7	90
Fi15	<i>Clostridiales sp. DTU024</i>	2.5	94	Ba05	<i>Porphyromonadaceae sp. DTU047</i>	1.7	88
Fi12	<i>Clostridia sp. DTU021</i>	2.5	87	Pr07	<i>Campylobacteriales sp. DTU103</i>	1.7	86
Fi51	<i>Clostridiales sp. DTU082</i>	2.5	75	Fi33	<i>Clostridia sp. DTU062</i>	1.7	79
Fi57	<i>Clostridiales sp. DTU089</i>	2.5	92	Fi29	<i>Bacilli sp. DTU057</i>	1.7	98
Pr10	<i>Alcaligenaceae sp. DTU106</i>	2.4	87	Sp02	<i>Treponemaceae sp. DTU108</i>	1.7	71
Fi34	<i>Tepidanaerobacter sp. DTU063</i>	2.3	95	Fi02	<i>Clostridia sp. DTU011</i>	1.7	83
Ba03	<i>Porphyromonadaceae sp. DTU043</i>	2.3	84	Fi11	<i>Clostridiales sp. DTU020</i>	1.7	71

Produzione di Metanolo da miscela H₂/CO/CO₂

La reazione di idrogenazione a metanolo avviene su catalizzatori solidi contenenti una funzione idrogenante: il più utilizzato è costituito da Cu, ZnO ed Al₂O₃.

https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/progetto-polo/report-2017/rds_par2017_224.pdf

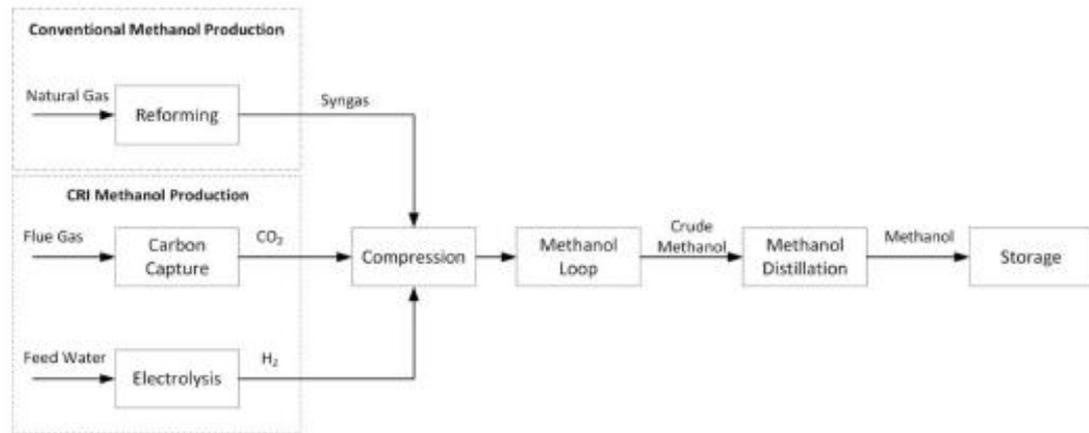
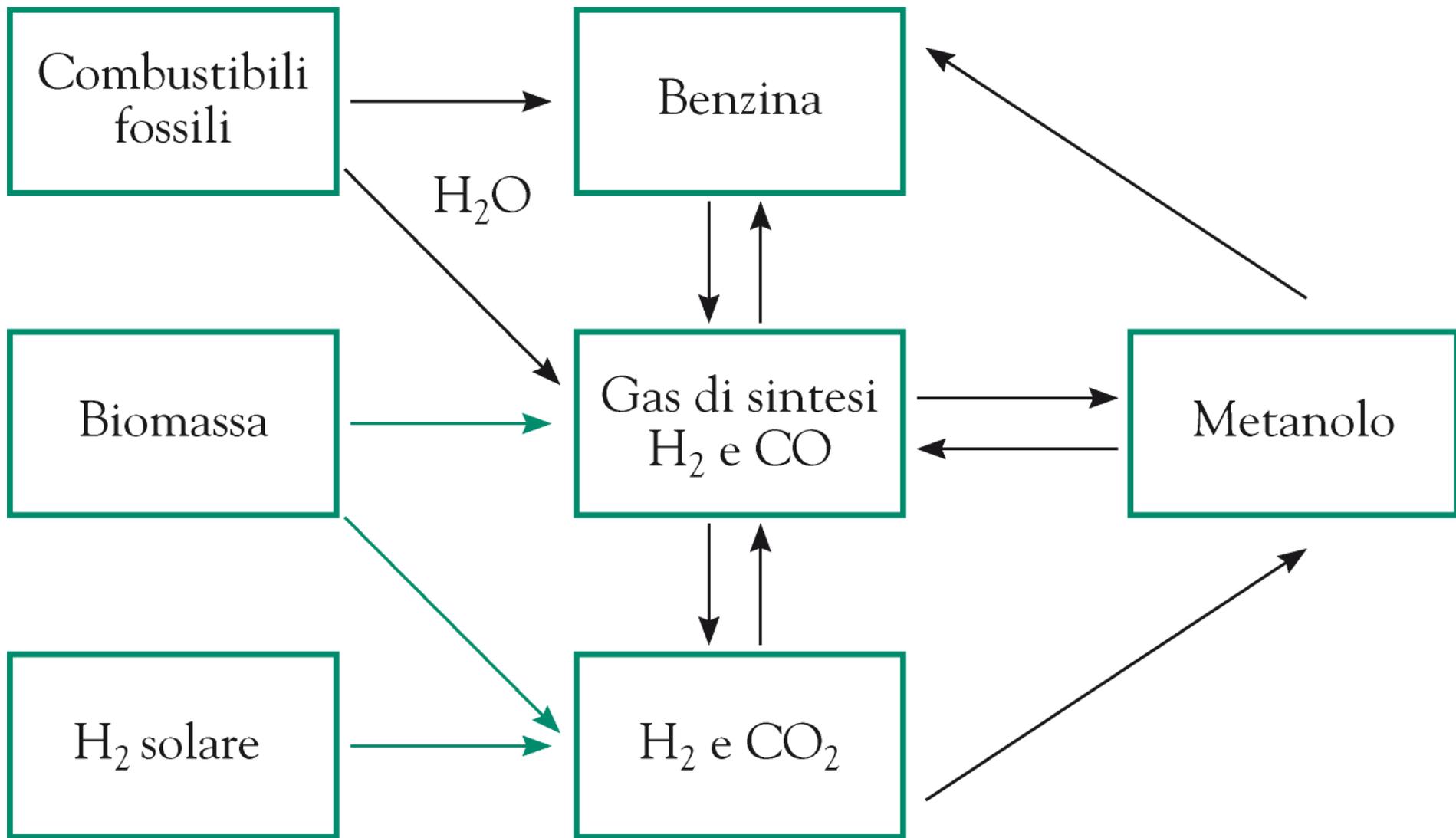


FIGURE 1 | (Top) CRI's George Olah Renewable Methanol plant in Svartsengi, Iceland. **(Bottom)** Block flow diagram showing the different origins of syngas for the conventional process compared to the CRI process starting from CO₂ pointing out the energy intensive reforming process in the former.

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2018.00446/full>

Fonti energetiche diverse possono essere combinate per migliorare la sostenibilità dei sistemi economici



(Vedi prossima lezione)

Continuiamo la trattazione sulla
produzione di energia
e impatti ambientali con esame
di alternative tecnologiche

TRL 9

•Actual system “flight proven” through successful mission operations

TRL 8

•Actual system completed and “flight qualified” through test and demonstration (ground or space)

TRL 7

•System prototype demonstration in a space environment

TRL 6

•System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment (ground or space)

TRL 5

•Component and/or breadboard validation in relevant environment

TRL 4

•Component and/or breadboard validation in laboratory environment

TRL 3

•Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof-of-concept

TRL 2

•Technology concept and/or application formulated

TRL 1

•Basic principles observed and reported

UN CONCEPTO IMPORTANTE:
il *TRL*
technology readiness level

- https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html

https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf

G. Technology readiness levels (TRL)

Where a topic description refers to a TRL, the following definitions apply, unless otherwise specified:

- TRL 1 – basic principles observed
- TRL 2 – technology concept formulated
- TRL 3 – experimental proof of concept
- TRL 4 – technology validated in lab
- TRL 5 – technology validated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)
- TRL 6 – technology demonstrated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)
- TRL 7 – system prototype demonstration in operational environment
- TRL 8 – system complete and qualified
- TRL 9 – actual system proven in operational environment (competitive manufacturing in the case of key enabling technologies; or in space)

<https://projects.leitat.org/demystifying-trls-for-complex-technologies/>

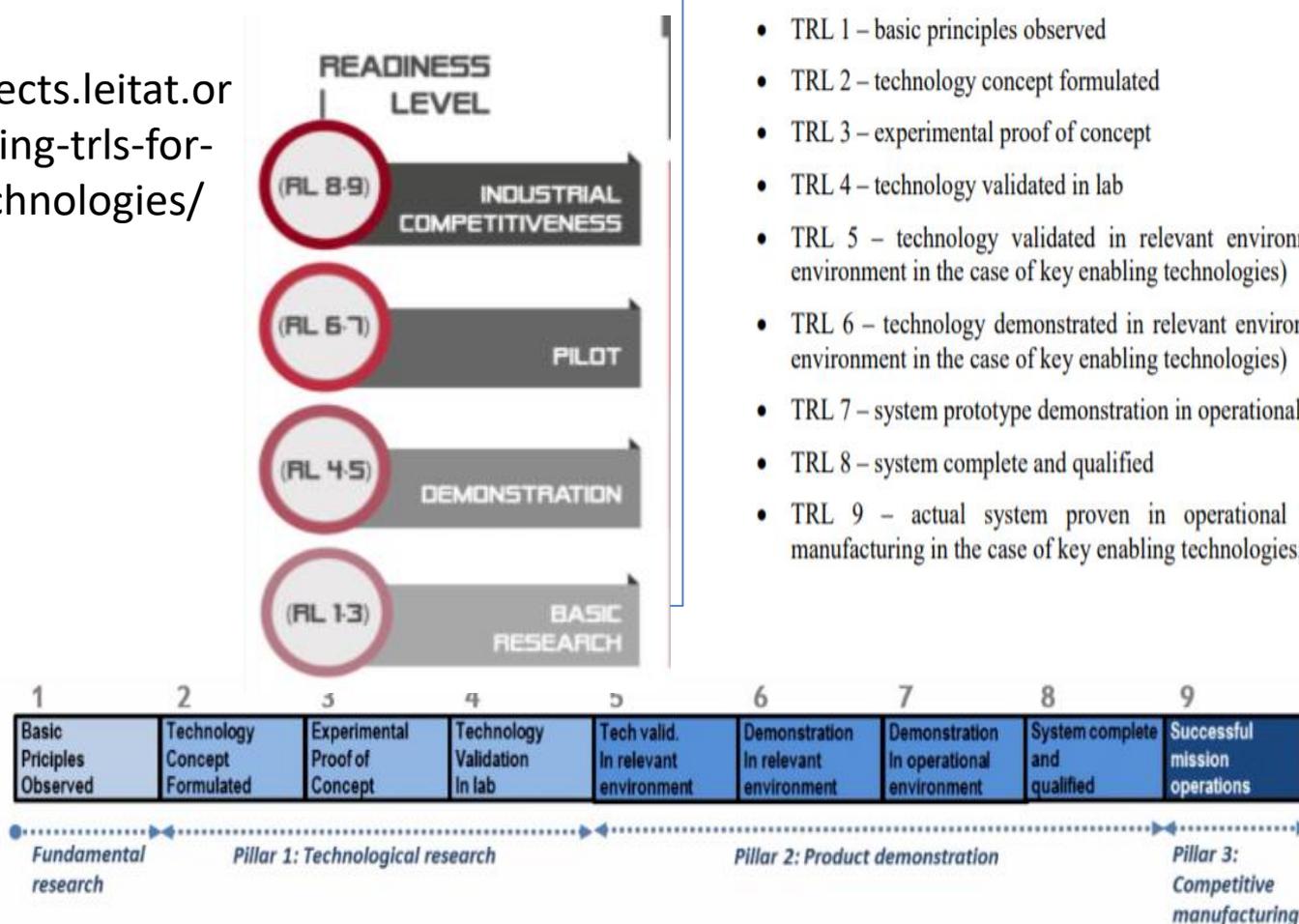
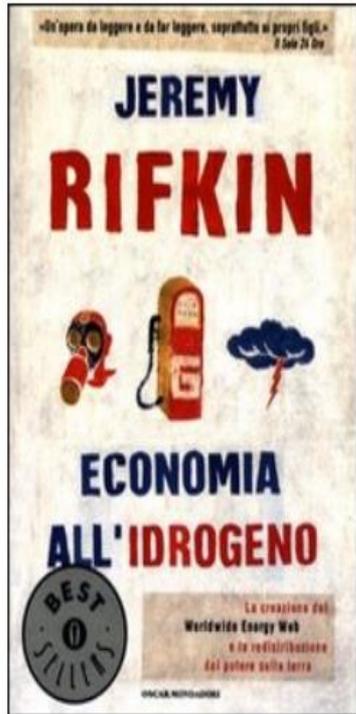


Figure 1. The TRL scale adapted to the KETs HLG three pillar-bridge model from EARTO.

Una fonte di energia secondaria

L'IDROGENO

2003



Economia all'idrogeno. La creazione del Worldwide Energy Web e la redistribuzione del potere sulla terra

Jeremy Rifkin

Traduttore: P. Canton

Editore: Mondadori

Collana: Oscar bestsellers

Anno edizione: 2003

Formato: Tascabile

In commercio dal: 23/09/2003

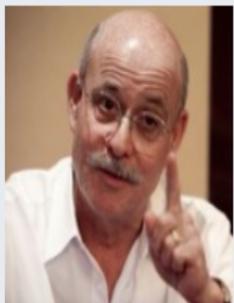
Pagine: 348 p., Brossura

EAN: 9788804521228

Note legali

★★★★★ 7 recensioni

[Scrivi una recensione](#)



Jeremy Rifkin, presidente della Foundation on Economic Trends di Washington, insegna alla Wharton School of Finance and Commerce. I suoi corsi all'Executive Education Program vertono sul rapporto fra l'evoluzione della scienza e della tecnologia e lo sviluppo economico, l'ambiente e la cultura.

Attivista del movimento pacifista negli anni '60 e '70, ha fondato nel 1969 la Citizens Commission per denunciare i crimini di guerra americani nella guerra del Vietnam. È il fondatore e presidente della Foundation on Economic Trends (FOET) e presidente della Greenhouse Crisis Foundation.

Fra i suoi libri tradotti in italiano: *La fine del lavoro* (1995) che ha rivoluzionato l'idea di lavoro gettando le basi per molte delle teorie contemporanee, *Il secolo biotech* (1998), *Entropia* (1982), *L'era dell'accesso* (2000), *Ecocidio* (2001), *Economia all'idrogeno* (2002), *Il sogno europeo* (2004), *La civiltà dell'empatia* (2010), *La terza rivoluzione industriale. Come il «potere laterale» sta trasformando l'energia, l'economia e il mondo* (2011), *La società a costo marginale zero. L'internet delle cose, l'ascesa del «commons» collaborativo e l'eclissi del capitalismo* (2014).



<https://beq.ebooksgratuits.com/vents/Verne-ile.pdf> p.670

"Credo che l'acqua sarà un giorno impiegata come combustibile, che l'idrogeno e l'ossigeno di cui è costituita, utilizzati isolatamente o simultaneamente, offriranno una sorgente di calore e di luce inesauribili e di un'intensità che il carbon fossile non può dare. L'acqua è il carbone dell'avvenire". Scriveva così **Jules Verne** nel suo romanzo "L'isola misteriosa" nel lontano 1875. **A distanza di 141 anni**, la "visione" di uno dei più grandi scrittori di romanzi scientifici di tutti i tempi potrebbe diventare realtà. Grazie alla scoperta - pubblicata sull'ultimo numero di **Nature Communications** - di **Paolo Fornasiero, Maurizio Prato e Michele Melchionna** (Università di Trieste) e di **Marcella Bonchio** (Università di Padova), tutti ricercatori afferenti a INSTM.

*"A parità di peso - spiega Maurizio Prato - l'idrogeno contiene quasi tre volte il contenuto energetico del gas naturale e la sua combustione porta semplicemente alla produzione di acqua. Sembra impossibile immaginare a prima vista una fonte energetica più pulita. Ma una così semplice molecola nasconde in realtà **insidie che finora ne hanno rallentato l'utilizzo in campo energetico**".* Infatti in natura **non esistono miniere o riserve di idrogeno**, come per carbone, petrolio o metano. L'idrogeno si trova sempre legato ad altri elementi in molecole semplici, come l'acqua, o più complesse come gli idrocarburi. Ciò significa che esso **deve essere in qualche modo prodotto**.

L'idrogeno: combustibile del futuro? (Baird & Cann)

L'idrogeno può essere utilizzato come combustibile nello stesso modo dei composti contenenti carbonio; alcuni futuristi credono che il mondo finirà per avere un'economia basata sull'idrogeno. Il gas idrogeno si combina con il gas dell'ossigeno per produrre acqua e nel processo rilascia una notevole quantità di energia:



L'idea che l'idrogeno sarebbe l'ultimo combustibile del futuro risale almeno al 1874, quando fu menzionata da un personaggio del romanzo *L'Isola Misteriosa* di Jules Verne. Infatti, l'idrogeno ha già trovato impiego come combustibile in applicazioni per le quali la leggerezza è un fattore importante, vale a dire, nell'alimentazione dei razzi Saturn sulla luna e negli Space Shuttle statunitensi.

L'idrogeno è superiore persino all'elettricità in qualche modo, poiché la sua trasmissione tramite tubazioni su lunghe distanze consuma meno energia rispetto alla trasmissione attraverso fili della stessa quantità di energia dell'elettricità, e poiché le batterie non sono necessarie per lo stoccaggio locale di energia.

«La **densità energetica di 1 kg del butano** è poco più di un terzo di quella di 1 kg di idrogeno, ma quest'ultimo ha una **densità energetica per unità di volume** che è dieci volte inferiore a quelle del propano e butano che, non a caso, sono più facili da liquefare dell'idrogeno.

Tabella 8. – La densità energetica di alcuni combustibili liquidi e gassosi

Combustibile	MJ/volume	kcal/massa
Gasolio	41 MJ/l	9.799 kcal/kg
Benzina	44 MJ/l	10.031 kcal/kg
Alcol etilico	22 MJ/l	6.479 kcal/kg
Propano	99 MJ/Nm ³	11.796 kcal/kg
Butano	125 MJ/Nm ³	10.984 kcal/kg
Metano	36 MJ/Nm ³	11.940 kcal/kg
Idrogeno	11 MJ/Nm ³	28.567 kcal/kg

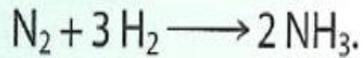
Il volume è espresso in litri (l) o normal m³ (Nm³) a pressione atmosferica standard e a 15 °C.

L'uranio naturale è certamente la fonte con la maggiore densità energetica in assoluto (stimata in 418,7 GJ/kg, pur con metodi di conversione completamente diversi)»

De Leo G., Fiorese G., Guariso G., Energia e Salute della Terra, 2009
<http://www.fondazioneaegboroli.it/images/pdf/energia-salute-terra/energia.pdf>

1 kcal= 4184 J
 G prefisso per 10⁹

⇒ Per produrre ammoniaca viene usato il processo Haber:



**L'IDROGENO GASSOSO
NON E'
UNA FONTE DI
ENERGIA
BENSÌ
UN VETTORE DI
ENERGIA**

Tuttavia, come vedremo nel materiale che segue, i **problemi tecnici sostanziali nella produzione, nello stoccaggio, nel trasporto e nell'uso dell'idrogeno, oltre alla necessità di creare una nuova infrastruttura per esso, significa che un'economia dell'idrogeno è probabilmente ancora lontana.** Infatti, quasi tutto l'idrogeno ora prodotto non è usato come combustibile, ma piuttosto per produrre ammoniaca come **fertilizzante o per migliorare la qualità dei combustibili fossili come quelli delle sabbie bituminose dell'Alberta, e per la gassificazione del carbone e la produzione di combustibili liquidi.**

È importante rendersi conto che l'idrogeno non è una fonte di energia, poiché non si presenta come l'elemento libero sulla crosta terrestre. L'idrogeno gassoso è un **vettore di energia** (solo vettore energetico); deve essere prodotto, solitamente da acqua e / o metano, con consumo di grandi quantità di energia e / o di altri combustibili. **L'infrastruttura industriale che sarebbe necessaria per produrre abbastanza idrogeno per alimentare tutti i veicoli negli Stati Uniti è enorme, dal momento che richiederebbe tanta energia quanto l'attuale capacità di energia elettrica. (Baird&Cann)**

INSERTO:

Reazione chimica rivoluzionaria e impattante:

<https://www.amolachimica.it/processo-haber-agricoltura/>



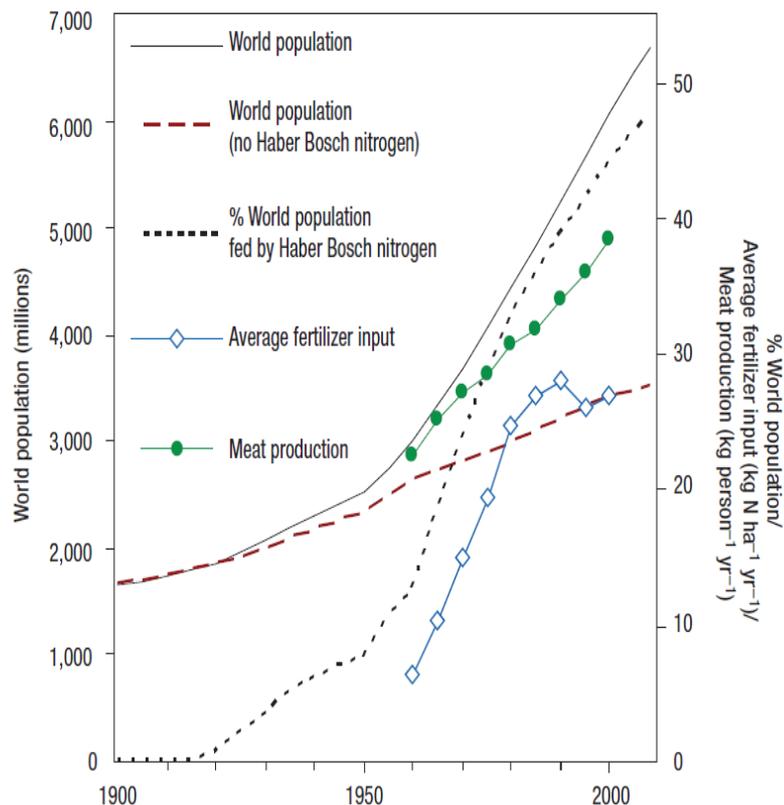
<https://www.nature.com/articles/22672>

millennium essay

Detonator of the population explosion

Without ammonia, there would be no inorganic fertilizers, and nearly half the world would go hungry. Of all the century's technological marvels, the Haber-Bosch process has made the most difference to our survival.

Vaclav Smil Haber's English assistant, remembered that both Bosch and Mittasch came to witness the of the steel industry. It should be risked." And he did it: he solved some unprecedented enei-



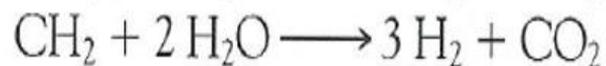
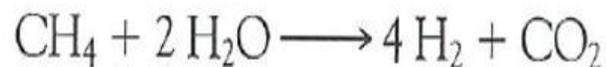
<https://www.researchgate.net/publication/248828433> How a century of ammonia synthesis changed the world

Figure 1 Trends in human population and nitrogen use throughout the twentieth century. Of the total world population (solid line), an estimate is made of the number of people that could be sustained without reactive nitrogen from the Haber-Bosch process (long dashed line), also expressed as a percentage of the global population (short dashed line). The recorded increase in average fertilizer use per hectare of agricultural land (blue symbols) and the increase in per capita meat production (green symbols) is also shown.



Produrre idrogeno da combustibili fossili

Praticamente tutto (il 95%) del **gas idrogeno attualmente prodotto nel mondo è ottenuto per reazione di combustibili fossili**, cioè, in modo **non** sostenibile. Il gas naturale o il petrolio o il carbone vengono fatti reagire con il vapore per formare idrogeno e anidride carbonica. Il valore energetico del combustibile viene trasferito dagli atomi di carbonio a quelli di idrogeno dell'acqua; chimicamente parlando, lo stato ridotto del carbonio viene trasferito all'idrogeno. Le reazioni nette, supponendo che il petrolio abbia la formula empirica CH_2 e il carbone per essere principalmente grafite, sono



Si noti che **viene prodotta in questo modo tanta anidride carbonica quanta si otterrebbe dalla combustione con ossigeno dei combustibili fossili.**

⇒ L'importanza relativa delle varie fonti usate per la produzione di idrogeno è: gas naturale > petrolio > carbone.

Le **conversioni** effettive **si verificano in due passaggi**:

- Prima il combustibile fossile reagisce con il vapore per produrre **monossido di carbonio** e un po' di idrogeno, cioè



Nel caso del gas naturale, il vapore viene preriscaldato a 1000 ° C.

- Quindi la miscela di gas di sintesi CO / H₂ e vapore addizionale vengono fatti passare su un **catalizzatore** adatto per ottenere idrogeno addizionale e **completare l'ossidazione del carbonio** mediante la reazione di spostamento del gas d'acqua guidata nel senso opposto a quella mostrata in precedenza, vale a dire,



L'idrogeno potrebbe essere prodotto in modo rinnovabile dalla biomassa coltivata per questo ciclo.

Inoltre, la ricerca indica che soluzioni acquose di glucosio e **glicerolo** possono essere decomposte a temperature moderate (225-265 ° C) e pressioni (27-54 atm) con un catalizzatore a base di platino per produrre idrogeno e anidride carbonica.

Syngas (synthetic gas) e indica una [miscela](#) di gas, essenzialmente [monossido di carbonio](#) (CO) e [idrogeno](#) (H₂), con la presenza in quantità variabile anche di [metano](#) (CH₄) e [anidride carbonica](#) (CO₂).



ELSEVIER



Overview of glycerol reforming for hydrogen production



Carine Aline Schwengber^a, Helton José Alves^{a,*}, Rodolfo Andrade Schaffner^a,
Fernando Alves da Silva^b, Rodrigo Sequinel^a, Vanessa Rossato Bach^a,
Ricardo José Ferracin^{a,c}

^a Laboratory of Catalysis and Biofuel Production (LabCatProBio), Postgraduate Program in Bioenergy, Federal University of Paraná (UFPR-Setor Palotina), R. Pioneiro, 2153, Jardim Dallas, 85950-000 Palotina, PR, Brazil

^b Postgraduate Program in Chemical Engineering (PEQ), State University of Maringá (UEM), Av. Colombo, 5790, Jardim Universitário, 87020-900 Maringá, PR, Brazil

^c Itaipu Technological Park (PTI), Itaipu Binacional, Av. Tancredo Neves, 6731, 85867-900 Foz do Iguaçu, PR, Brazil

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 December 2014

Received in revised form

7 November 2015

Accepted 27 December 2015

Available online 12 January 2016

Keywords:

Glycerol

Biodiesel

Hydrogen

Catalytic reforming

ABSTRACT

Hydrogen is used by the chemical industry in numerous processes, and today almost 95% is produced from raw materials based on fossil fuels, such as methane (CH₄). However, catalytic reforming technologies face a number of technical and scientific challenges involving the quality of raw materials, conversion efficiency, and safety issues in the integration of systems of H₂ production, purification and use, among others. Glycerol is a versatile raw material for H₂ production because it is the main by-product of biodiesel production, which a few years ago was consolidated in the world energy matrix and whose production continues to grow in the main consumer markets. Moreover, it has the noteworthy characteristic of decentralized production, which is directly reflected in its easy use. This paper presents a literature review on the reforming technologies applied to glycerol, the advantages of each route, and the main problems involved.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

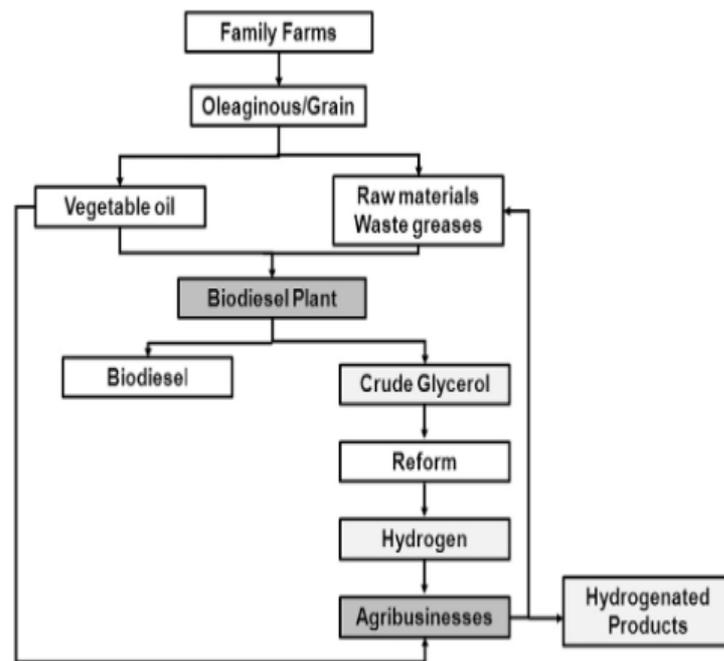


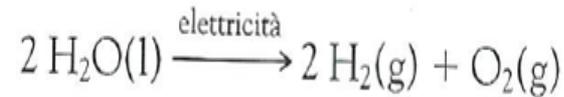
Fig. 1. Example of the interaction between biodiesel plants and agribusinesses with hydrogen.

Si ricordi che ad ogni conversione di un combustibile in un altro sono associate perdite di energia, principalmente come calore dissipato. Alcune di queste perdite sono conseguenza dalla seconda legge della termodinamica e non possono essere evitate. Ad esempio, l'energia può essere trasferita dal gas naturale all'idrogeno con un'efficienza di circa il 72%, o dal carbone del 55-60%, con i processi sopra descritti.



Produzione di idrogeno per elettrolisi

Un modo commerciale costoso per produrre idrogeno è mediante **elettrolisi dell'acqua**, utilizzando **l'elettricità** in corrente continua generata **da altra fonte di energia**:



➔ L'acqua viene resa alcalina e capace di condurre l'elettricità per aggiunta di idrossido di potassio, KOH.

Sfortunatamente, un quarto dell'energia elettrica è convertita in calore e quindi sprecata in questo processo. Attualmente viene prodotta una piccola percentuale di idrogeno in questo modo, usualmente usando energia che altrimenti andrebbe dispersa.

Ci sono impianti prototipali in Arabia Saudita e in Germania che usano **l'elettricità prodotta dall'energia solare per produrre idrogeno**, un processo attualmente efficiente del 13%. L'energia immagazzinata viene in seguito recuperata facendo reagire l'idrogeno con l'ossigeno. **L'elettricità in eccesso proveniente da impianti idroelettrici o nucleari o eolici**, vale a dire energia generata ma non richiesta immediatamente per l'uso, potrebbe anche essere utilizzata per produrre idrogeno mediante elettrolisi dell'acqua e successivamente recuperata. Una speranza per il futuro è che l'energia solare raccolta tramite i collettori fotovoltaici o l'energia eolica sia economicamente efficiente nel fornire elettricità per generare grandi quantità di idrogeno.

Un catalizzatore che è stato trovato per convertire la luce solare in idrogeno mediante l'elettrolisi dell'acqua è il **biossido di titanio**, TiO_2 .

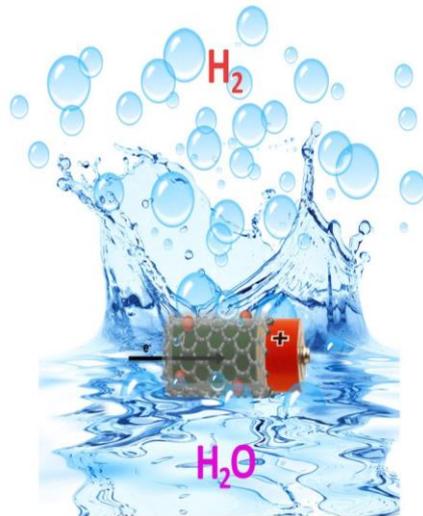
Il diossido di titanio è stabile alla luce solare (a differenza di molti altri potenziali materiali che assorbono la luce) ed economico, ma assorbe solo la luce ultravioletta.

Miscelando carbonio in esso in modo che gli atomi di carbonio sostituiscano alcuni degli ioni ossido, l'efficienza nella produzione di gas idrogeno è aumentata di otto volte, fino a oltre l'8% dell'energia del Sole. L'**aggiunta di carbonio estende l'assorbimento nella regione visibile** (a 535 nm), aumentando così notevolmente l'efficienza nella produzione di gas idrogeno.

A Trieste si studiano nanotecnologie per la produzione sostenibile di H₂

*“Tralasciando per ora importanti aspetti di stoccaggio, distribuzione e sicurezza dell'idrogeno - continua Paolo Fornasiero - il maggiore ostacolo risiede proprio nella sua produzione sostenibile. Al momento esso viene prodotto quasi esclusivamente attraverso un processo chiamato “reazione di reforming”, il quale si basa sulla trasformazione di metano in idrogeno e monossido di carbonio, un **processo di sicuro non sostenibile visto che si basa sull'utilizzo combustibili fossili**”. L'altra strada percorribile è “ottenere una produzione sostenibile di idrogeno partendo da fonti interamente rinnovabili. L'acqua, molecola che ha permesso la vita sulla Terra, può oggi dare vita anche ad una rivoluzione in campo energetico. **L'idrogeno infatti può essere prodotto dall'acqua grazie ad un processo elettrochimico, pulito ed efficiente, noto come elettrolisi**”. Ma per poter essere competitivi è essenziale che i processi di produzione dell'idrogeno siano sempre più efficienti, abbassandone sia i costi sia l'energia impiegata. Ciò richiede necessariamente l'utilizzo di catalizzatori*

Article | [OPEN](#)



Co-axial heterostructures integrating palladium/titanium dioxide with carbon nanotubes for efficient electrocatalytic hydrogen evolution

Giovanni Valenti, Alessandro Boni, Michele Melchionna, Matteo Cargnello, Lucia Nasi, Giovanni Bertoni, Raymond J. Gorte, Massimo Marcaccio, Stefania Rapino, Marcella Bonchio, Paolo Fornasiero ✉, Maurizio Prato ✉ & Francesco Paolucci ✉

Nature Communications **7**,
Article number: 13549 (2016)
doi:10.1038/ncomms13549

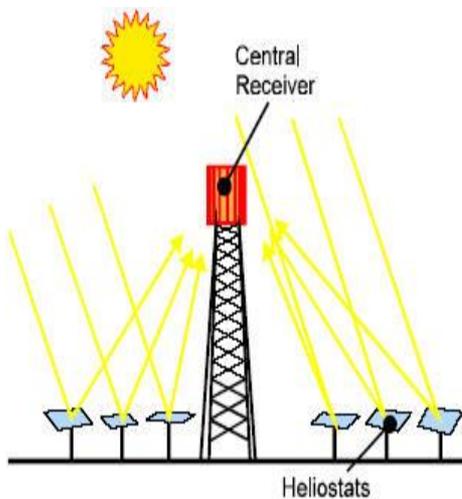
Received: 01 June 2016
Accepted: 13 October 2016
Published: 12 December 2016

Idrogeno dall'acqua: cicli termochimici

In linea di principio, la conversione termica della luce solare in calore può produrre temperature abbastanza calde da decomporre l'acqua in idrogeno e ossigeno.

La ricerca in Israele, utilizzando una torre solare di specchi per concentrare la luce solare di un fattore di 10.000 e quindi produrre temperature di circa 2200°C in un reattore, è riuscita a dividere circa un quarto di vapore acqueo a basse pressioni in H₂ e O₂.

Sono stati proposti vari cicli termochimici mediante i quali l'acqua può essere decomposta indirettamente dal calore in idrogeno e ossigeno. Idealmente, tali cicli dovrebbero funzionare a temperature moderate, essere efficienti nella conversione del calore in idrogeno e non degradare i reagenti in modo che possano essere riciclati.



<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319997000591>



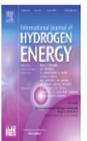
Download full text in PDF

Export ▾



International Journal of Hydrogen Energy

Volume 23, Issue 4, April 1998, Pages 239-245



Solar “tower reflector” systems: A new approach for high-temperature solar plants

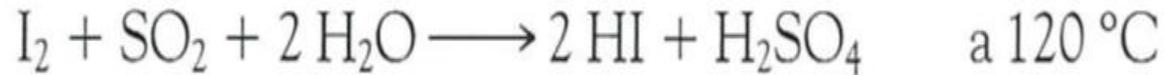
A. Yogev *, A. Kribus *, M. Epstein †, A. Kogan †

Show more

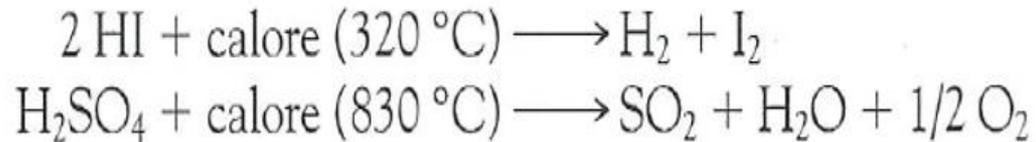
[https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(97\)00059-1](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(97)00059-1)

Get rights and content

Tra i più pratici è il ciclo dello zolfo-iodio, in cui lo iodio elementare viene dapprima ridotto dal biossido di zolfo, SO_2 , a ioduro di idrogeno, HI:



Lo ioduro di idrogeno viene quindi decomposto termicamente per produrre idrogeno gassoso, recuperando lo iodio elementare, e l'acido solforico, H_2SO_4 , viene decomposto termicamente per fornire gas ossigeno, recuperando il biossido di zolfo:



Poiché i reagenti HI e SO_2 sono recuperati in alta resa, il ciclo può essere ripetuto più e più volte. Il calore prodotto dai reattori nucleari potrebbe guidare questo ciclo, che ha un'efficienza di conversione di circa il 50%.

Tuttavia, la progettazione di materiali per resistere a resti di acido solforico concentrato ad alta temperatura rimane una sfida.



Conservazione dell'idrogeno: come liquido o gas compresso

Nelle applicazioni missilistiche, l'idrogeno viene immagazzinato come un **liquido**, così come l'ossigeno.

Dal momento che il punto di ebollizione dell'idrogeno di soli 20 K (-253 °C) a 1 atm è così basso, molta energia deve essere spesa per mantenere l'idrogeno liquido molto freddo, dopo che è stata usata una considerevole energia per liquefarlo. Questo inconveniente limita le applicazioni dell'idrogeno liquido a poche situazioni specializzate in cui la sua "leggerezza" (bassa densità) è il fattore più importante. Le perdite per evaporazione durante periodi di inattività e durante il rifornimento probabilmente impediscono l'uso dell'idrogeno liquido nei veicoli commerciali; tali perdite sono ridotte al minimo quando sono coinvolti grandi volumi, quindi il liquido rimane al momento la migliore opzione per lo stoccaggio.

L'idrogeno può essere immagazzinato come un **gas altamente compresso**, più o meno allo stesso modo di quello utilizzato per il metano sotto forma di gas naturale. Tuttavia, rispetto a CH_4 , questo tipo di immagazzinamento ha un inconveniente: per rilasciare la stessa quantità di energia si deve immagazzinare una quantità molto maggiore di H_2 gassoso. Infatti la combustione di una mole di idrogeno consuma solo un quarto dell'ossigeno e di conseguenza genera circa un quarto di energia, anche se entrambi occupano volumi uguali sotto la stessa pressione (legge del gas ideale). Pertanto la natura "ingombrante" del gas di idrogeno limita le sue applicazioni

Tabella 8. – La densità energetica di alcuni combustibili liquidi e gassosi

Combustibile	MJ/volume	kcal/massa
Gasolio	41 MJ/l	9.799 kcal/kg
Benzina	44 MJ/l	10.031 kcal/kg
Alcol etilico	22 MJ/l	6.479 kcal/kg
Propano	99 MJ/Nm ³	11.796 kcal/kg
Butano	125 MJ/Nm ³	10.984 kcal/kg
Metano	36 MJ/Nm ³	11.940 kcal/kg
Idrogeno	11 MJ/Nm ³	28.567 kcal/kg

Il volume è espresso in litri (l) o normal m³ (Nm³) a pressione atmosferica standard e a 15 °C.



Idrogeno compresso

Tuttavia, la maggior parte delle case automobilistiche prevede di utilizzare l'idrogeno compresso per alimentare la prima serie di auto a idrogeno, poiché le altre alternative sono ancora meno praticabili per i veicoli di piccole dimensioni. Con la tecnologia attuale, il serbatoio del carburante può essere riempito entro tre o cinque minuti. La maggior parte delle flotte di autobus a idrogeno su scala di prova utilizza idrogeno compresso sul veicolo stesso, sebbene possa essere immagazzinato in forma liquida nei depositi. Una pressione di circa 700 atm (70 MPa) di idrogeno sarà probabilmente utilizzata per serbatoi veicolari realizzati in fibra di carbonio; pressioni ancora più elevate non immagazzinano molto più gas poiché è molto meno comprimibile di un gas ideale in queste condizioni estreme.