



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

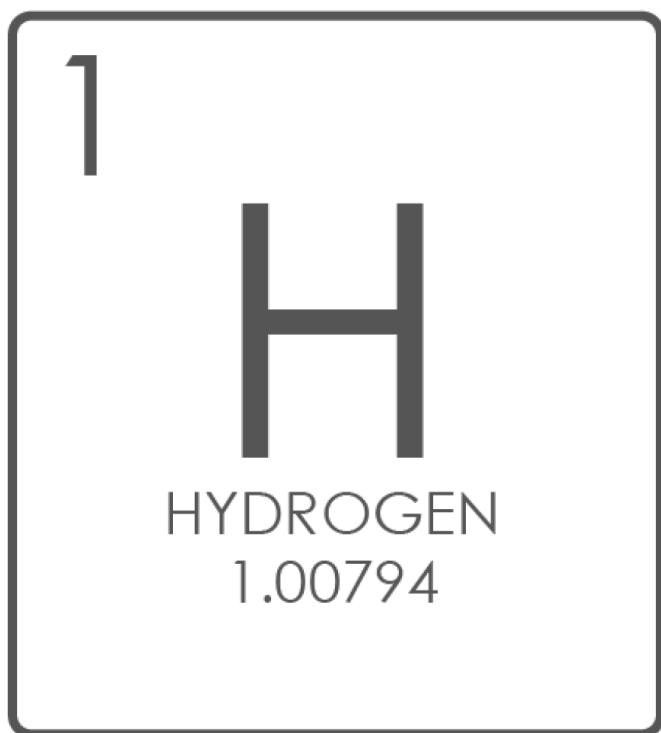
Idrogeno verde per catalisi, fotocatalisi ed elettrocatalisi

Laureanda: Sara Zanette

Relatrice: Antonella Glisenti

Corso di studi in Scienza dei Materiali

Anno accademico: 2023/2024



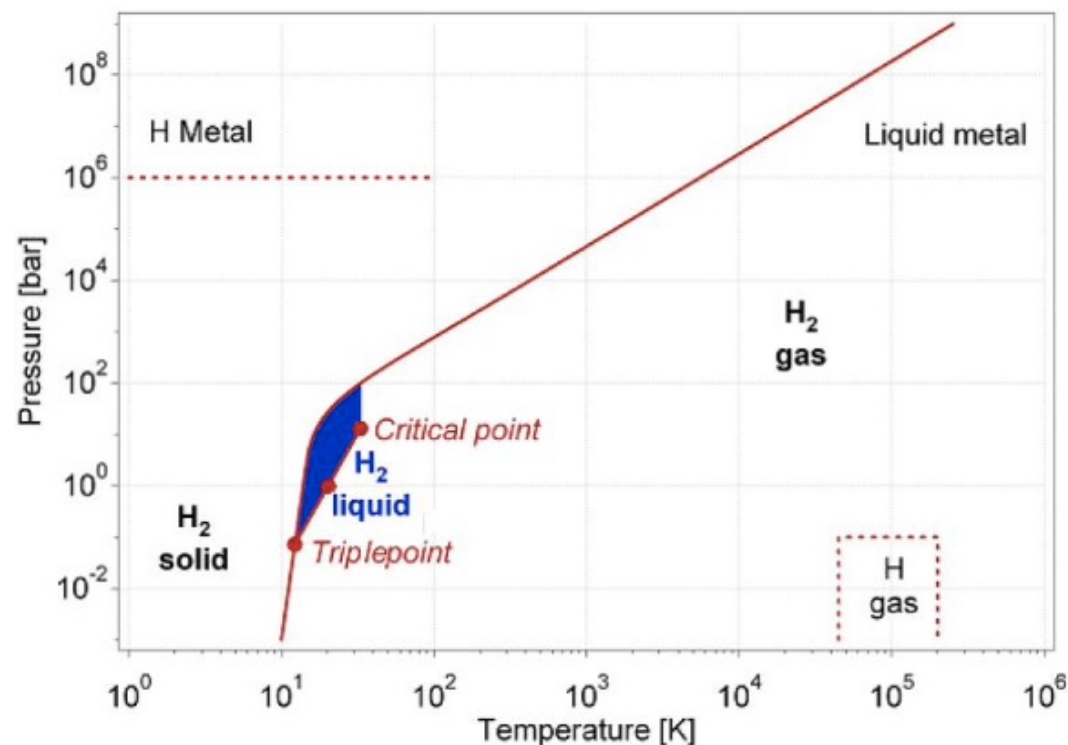
- Introduzione
- Metodi di stoccaggio
- Metodi di produzione di idrogeno verde
- Catalisi
- Elettrocatalisi
- Fotocatalisi
- Tipologie di idrogeno
- Impatto economico
- Conclusioni
- Bibliografia



panoramica sull'idrogeno

Proprietà fisiche:

- 1. Stato fisico:** è un gas incolore, inodore e insapore alla temperatura ambiente.
- 2. Punto di fusione:** ha un punto di fusione molto basso
- 3. Punto di ebollizione:** L'idrogeno ha un punto di ebollizione di 20,28 K
- 4. Densità:** ha una bassa densità e, come tale, è meno denso dell'aria.
- 5. Solubilità:** È leggermente solubile in acqua e in molti altri solventi.





panoramica sull'idrogeno

| | | | |
|------------------------------|-----------|-----------------------|----------|
| Numero Atomico | 1 | Peso Atomico | 1,0079 |
| Valenza | -1 | Numero di Ossidazione | 1,-1 |
| Densità (g/cm ³) | 0,0000899 | Simbolo | H |
| Temp. Fusione (°C) | -259,2 | Nome | Idrogeno |
| Temp. Ebollizione (°C) | -253 | | |

Proprietà chimiche:

- 1. Reattività:** è altamente reattivo e forma facilmente legami chimici con molti altri elementi.
- 2. Combustibilità:** è altamente infiammabile e brucia con una fiamma invisibile in aria.
- 3. Redox:** Può agire sia come ossidante che come riducente.
- 4. Formazione di composti:** forma una vasta gamma di composti con altri elementi

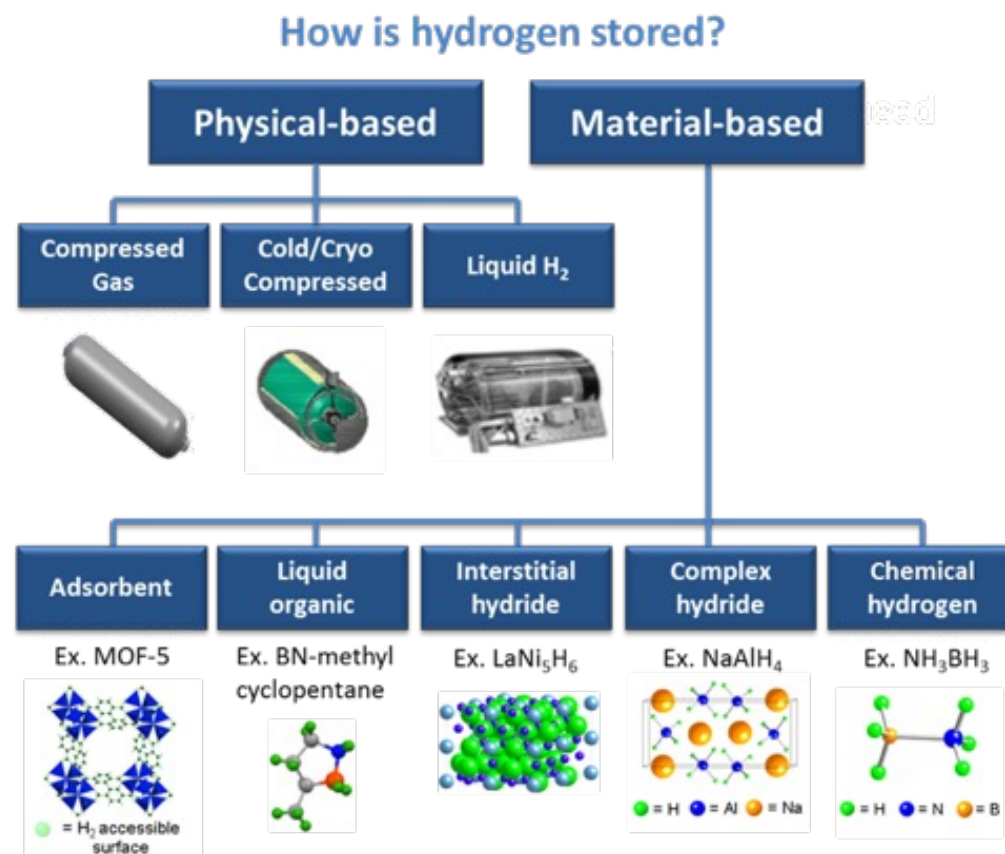


Lo stoccaggio può essere di due tipi, fisico oppure chimico.

Ogni metodo presenta relativi vantaggi e svantaggi.

Fattori determinanti da valutare:

- Costi;
- eventuali tossicità;
- difficoltà nella reperibilità dei materiali;
- parametri di difficile gestione.





Metodi impiegati:

- Catalisi
- Elettrocatalisi
- Fotocatalisi

Si tratta di tecniche che utilizzano catalizzatori per facilitare reazioni chimiche, ma differiscono significativamente nelle fonti di energia necessarie e nei meccanismi attraverso i quali operano.

Fonte di energia:

- **Catalisi:** Non richiede necessariamente una fonte di energia esterna.
- **Elettrocatalisi:** Richiede energia elettrica.
- **Fotocatalisi:** Richiede luce.

Meccanismo di reazione:

- **Catalisi:** riduzione dell'energia di attivazione tramite interazione con il catalizzatore.
- **Elettrocatalisi:** trasferimento di elettroni tra elettrodo e reagenti.
- **Fotocatalisi:** creazione di coppie elettrone-lacuna.



La catalisi nella produzione di idrogeno verde si riferisce all'uso di catalizzatori per migliorare l'efficienza delle reazioni chimiche che producono idrogeno, utilizzando fonti rinnovabili di energia come punto di partenza.

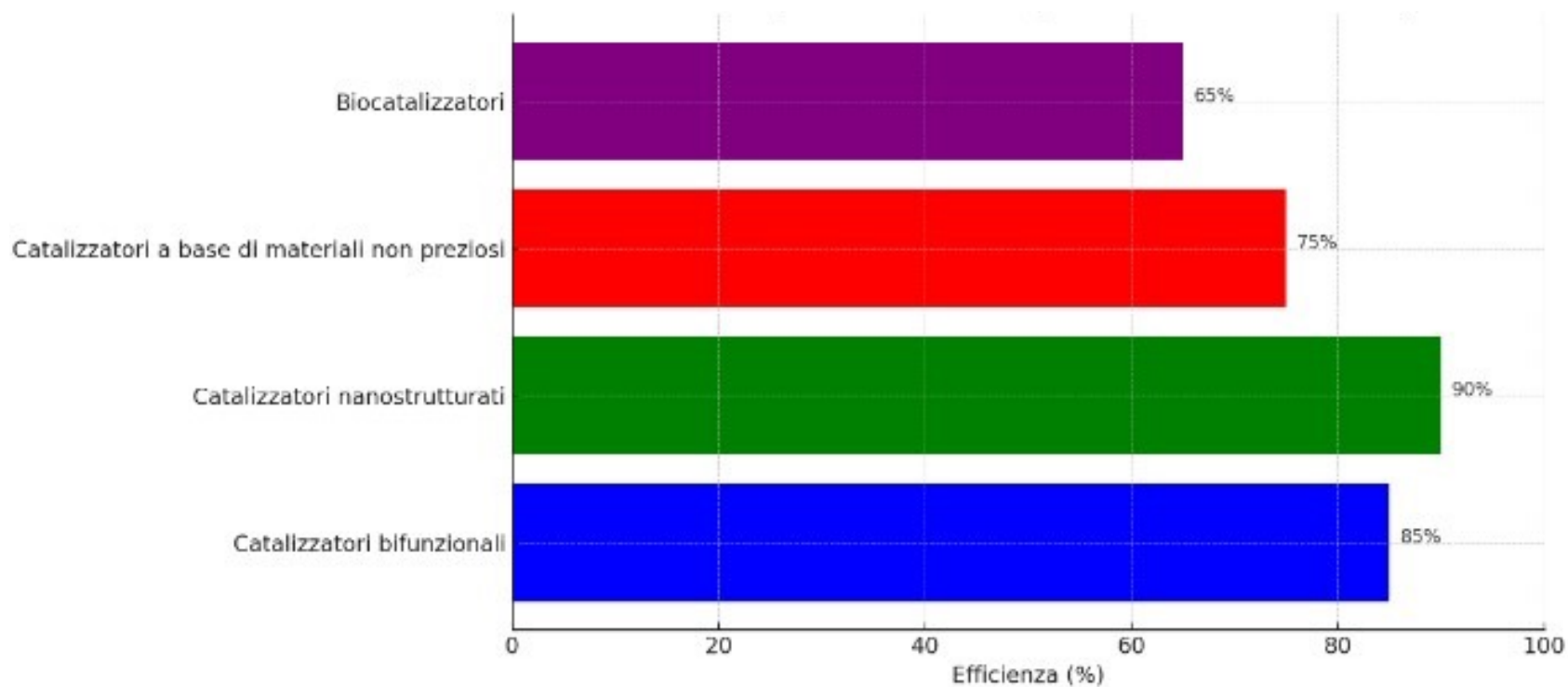
Principali Caratteristiche:

- **Natura chimica:** Può coinvolgere sia reazioni omogenee che eterogenee.
- **Energia:** la reazione avviene grazie alla presenza del catalizzatore stesso.
- **Reforming di Biogas :** processo principale che utilizza catalizzatori per convertire il biogas in idrogeno e altri prodotti. Catalizzatori a base di nichel, platino e altri metalli sono spesso utilizzati per aumentare l'efficienza della reazione.



catalizzatori a confronto

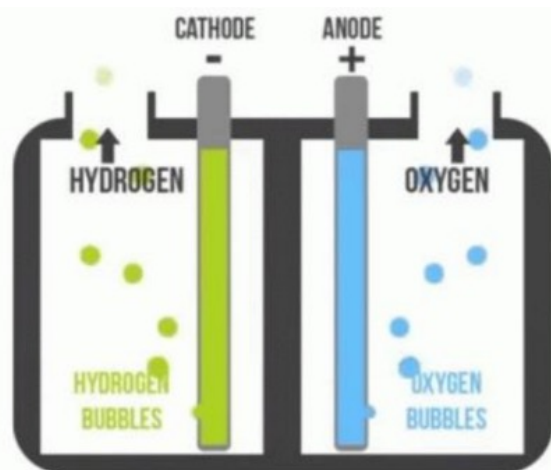
In base al catalizzatore impiegato è possibile ottenere efficienze differenti:





L'elettrocatalisi è fondamentale per l'elettrolisi dell'acqua, un processo che scinde l'acqua in idrogeno e ossigeno utilizzando energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili come solare ed eolica.

Questa reazione può essere suddivisa in due semireazioni che avvengono ai due elettrodi:



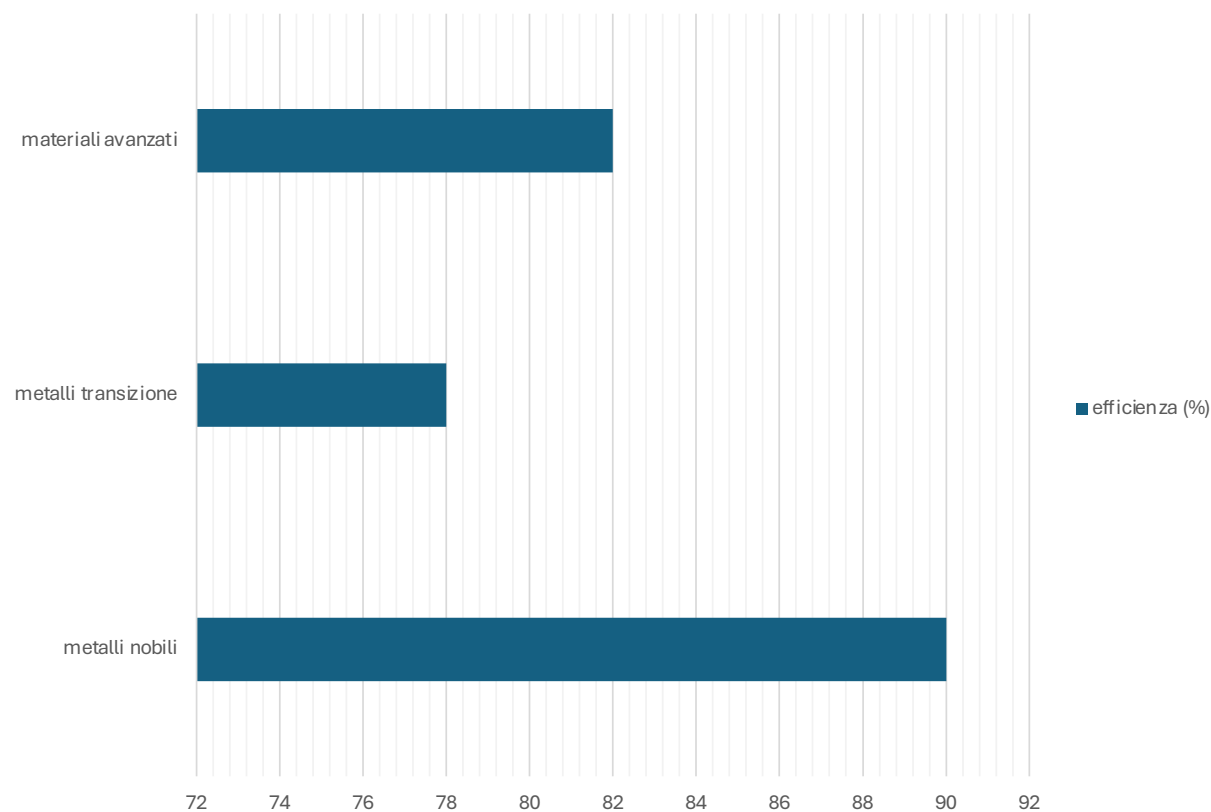
Al catodo (riduzione, reazione HER): $2H_{(aq)}^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_{2(g)}$

All'anodo (ossidazione, reazione OER): $2H_{2}O_{(l)} \rightarrow O_{2(g)} + 4H_{(aq)}^{+} + 4e^{-}$



elettrocatalizzatori comuni

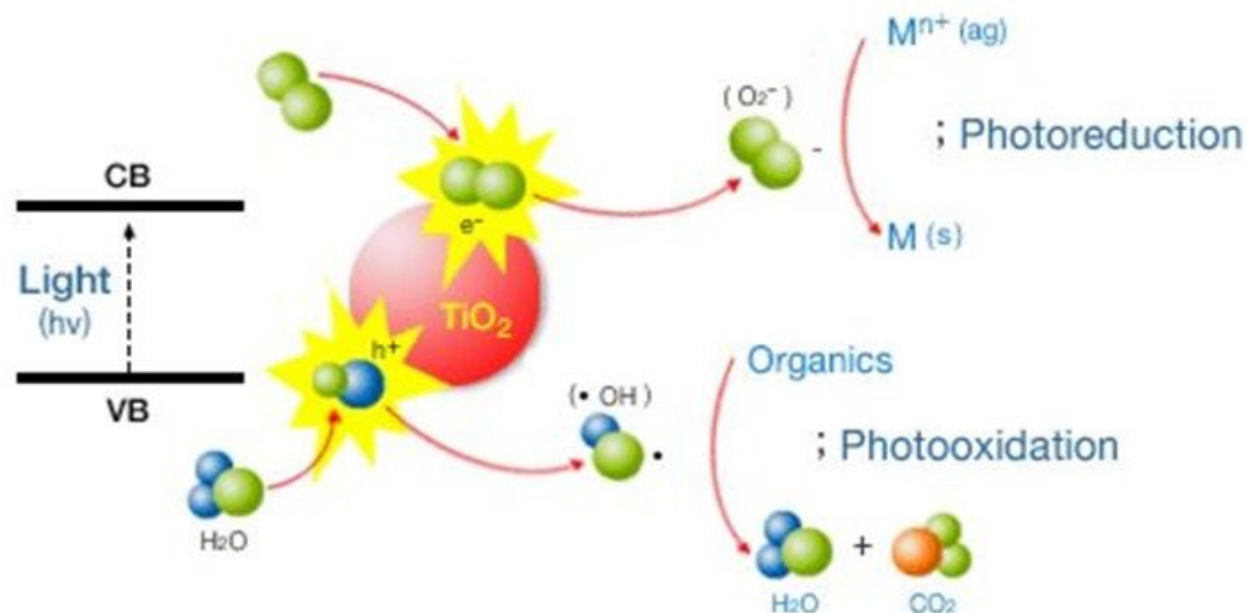
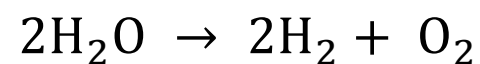
- **Metalli Nobili:** Platino per HER, ossidi di iridio (IrO_2) e rutenio (RuO_2) per OER.
- **Metalli di Transizione:** Ossidi di nichel (NiO), cobalto (Co_3O_4), ferro (Fe_2O_3) e loro composti per ridurre i costi e aumentare la disponibilità.
- **Materiali Avanzati:** Catalizzatori basati su materiali compositi, come ossidi misti, fosfuri e solfuri di metalli, nanomateriali a base di carbonio.

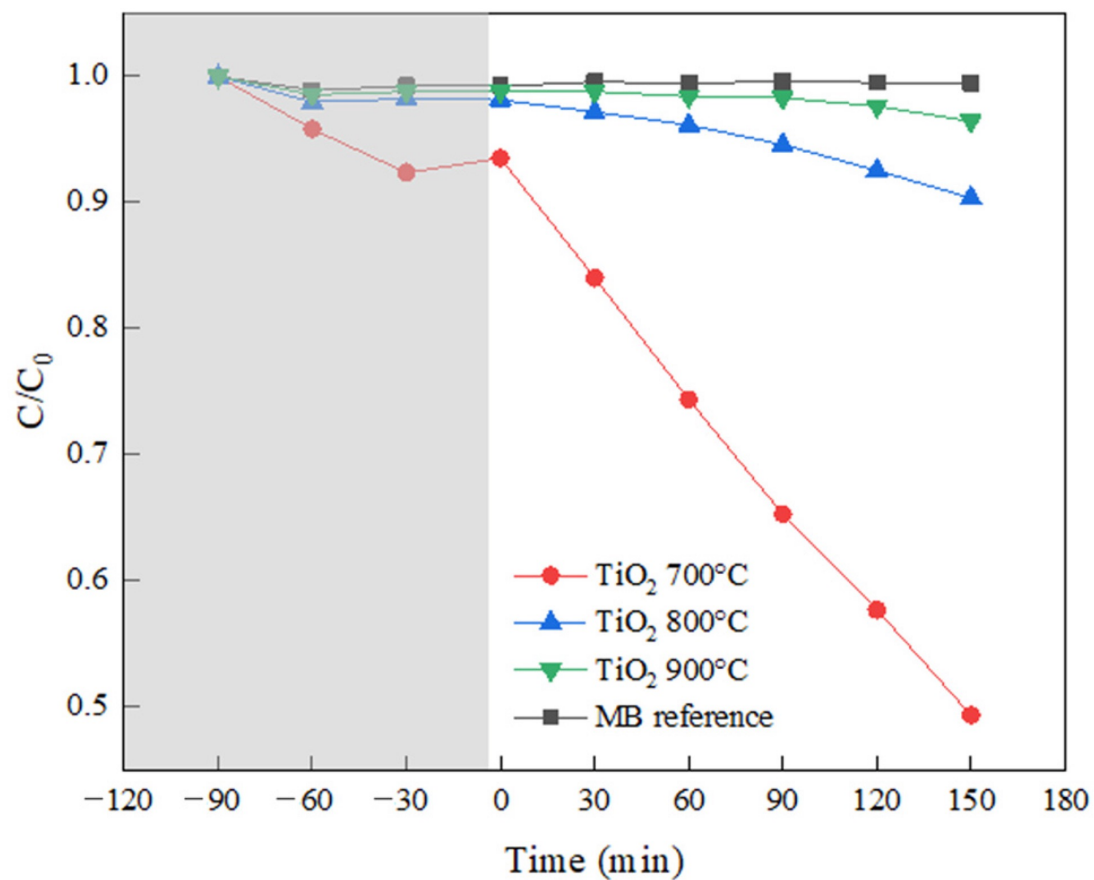




La fotocatalisi è una tecnologia promettente per sfruttare direttamente la luce solare per produrre idrogeno.

1. Assorbimento della luce
2. Separazione delle cariche
3. Reazione di riduzione e ossidazione complessiva:





Fotocatalizzatori comuni:

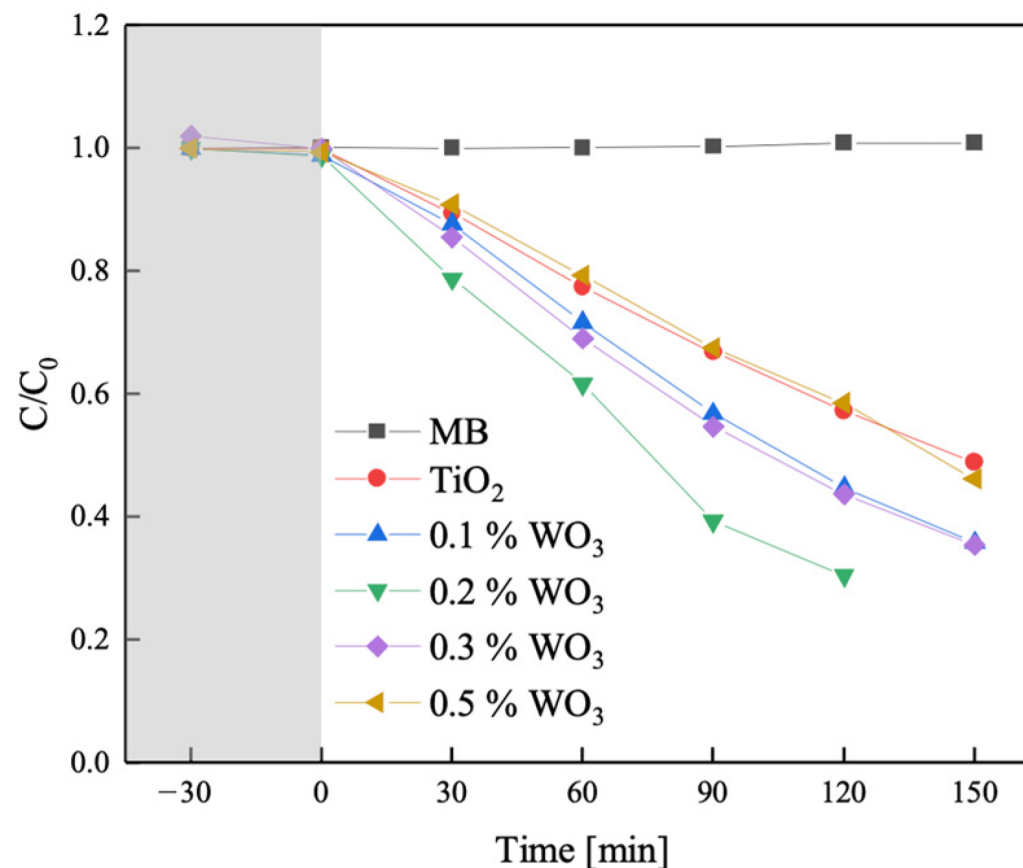
- Ossidi semiconduttori
- Materiali a base di carbonio
- Nanocompositi

Dopo aver stabilito T ottimale è possibile migliorare ulteriormente le prestazioni.



Innovazioni Recenti:

- **Doping del fotocatalizzatore:** Introduzione di impurità nel fotocatalizzatore per migliorare l'assorbimento della luce e la separazione delle cariche.
- **Strutture ibride:** Combinazione di materiali organici e inorganici per ottimizzare le proprietà fotocatalitiche.





Vantaggi:

- **Catalisi:** Può utilizzare risorse rinnovabili come biogas; versatile per diverse applicazioni chimiche;
- **Elettrocatalisi:** Permette l'uso diretto di energia elettrica rinnovabile; alta purezza dell'idrogeno prodotto;
- **Fotocatalisi:** Uso diretto della luce solare; potenziale per costi operativi bassi se le efficienze possono essere migliorate.

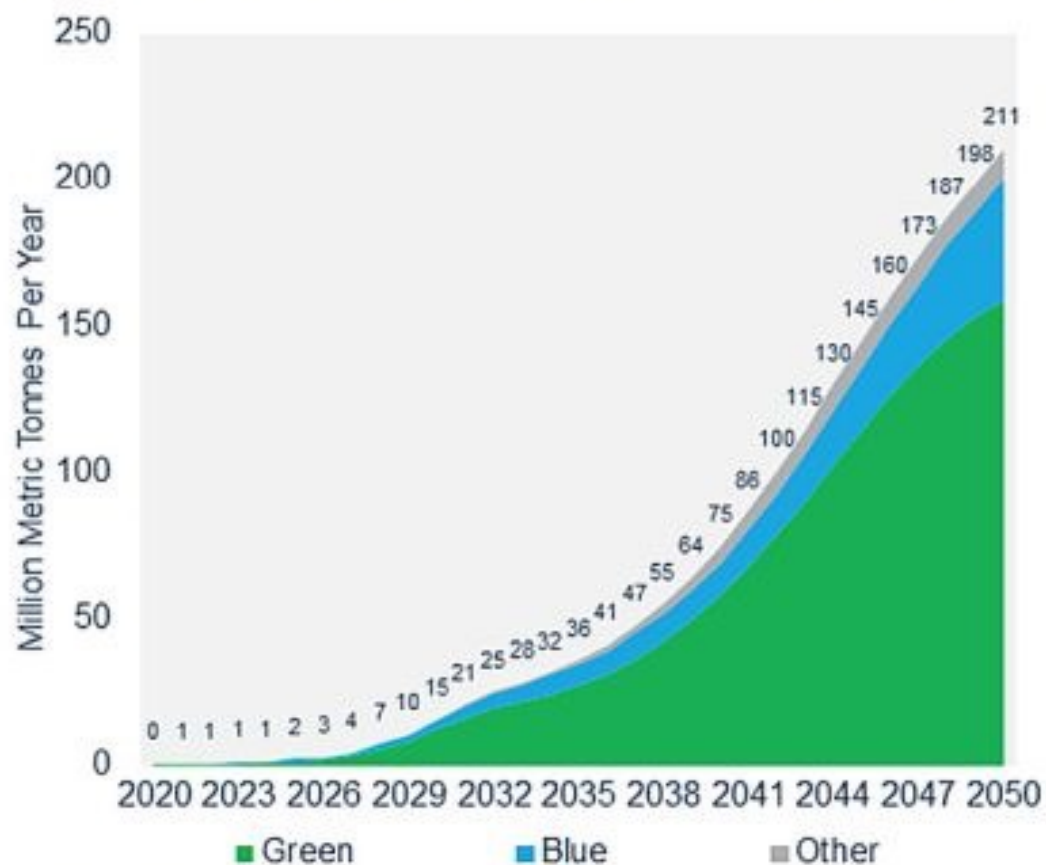
Svantaggi:

- **Catalisi:** Costi elevati dei catalizzatori nobili;
- **Elettrocatalisi:** Costi iniziali elevati per l'installazione; migliorare la durabilità e l'efficienza dei catalizzatori;
- **Fotocatalisi:** Efficienza di conversione ancora relativamente bassa.



tipologie di idrogeno

Global low carbon hydrogen production by colour, 2020 – 2050



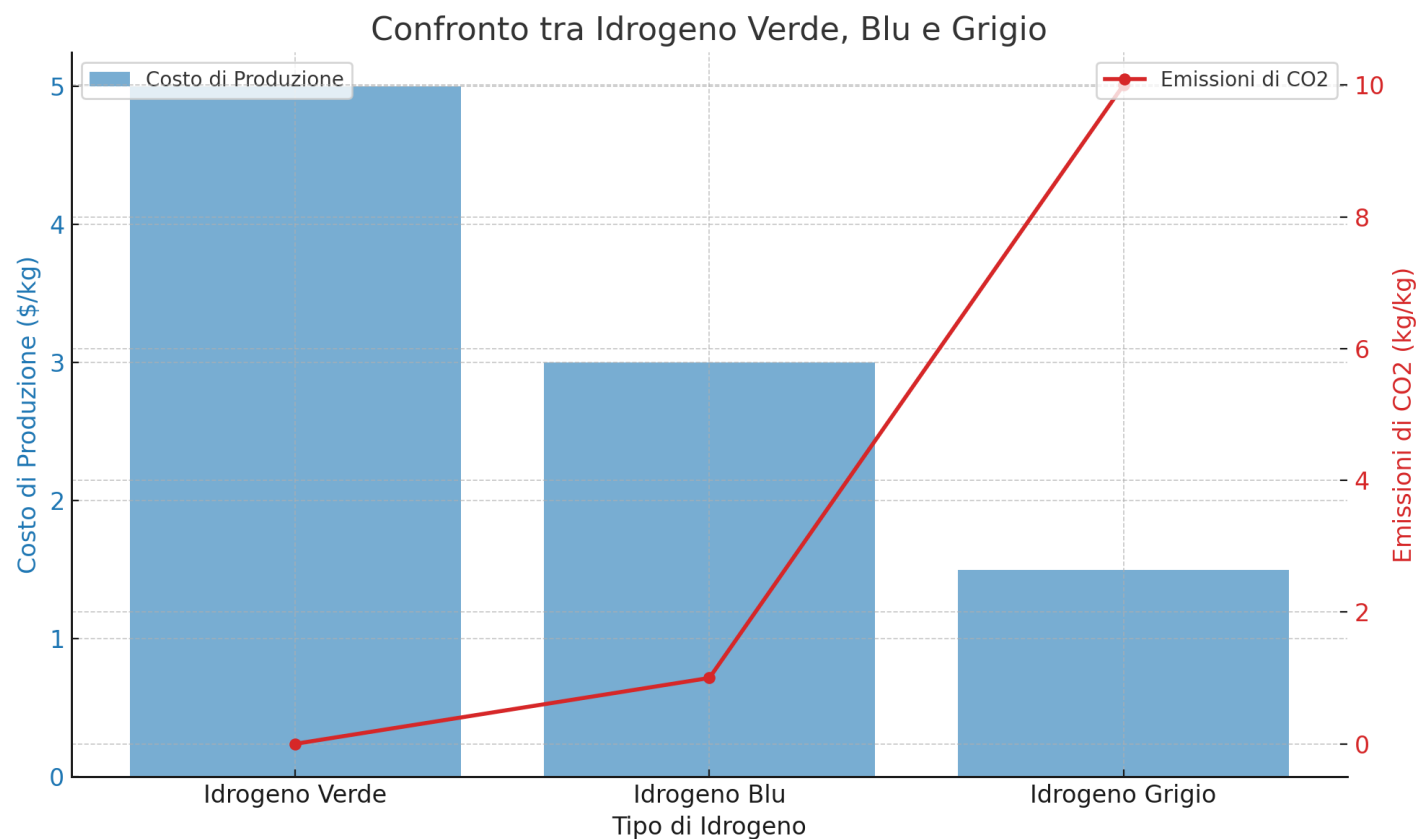
Grigio: significative emissioni di CO_2 a causa dell'uso estensivo di combustibili fossili.

Blu: sostanziale riduzione delle emissioni di CO_2 .

Verde: fonti energetiche rinnovabili, con emissioni minime di CO_2 durante la produzione.



- **Idrogeno Verde:**
Costo produzione :
Circa 5.0 \$/kg
- **Idrogeno Blu:**
Costo produzione :
Circa 3.0 \$/kg
- **Idrogeno Grigio:**
Costo produzione :
Circa 1.5 \$/kg





- I metodi di catalisi, elettrocatalisi e fotocatalisi offrono soluzioni innovative e complementari per ottenere la riduzione delle emissioni di gas serra e alla promozione della sostenibilità energetica.
- L'integrazione di queste tecnologie con sistemi energetici rinnovabili può potenzialmente rivoluzionare il settore energetico, contribuendo a un futuro più pulito e sostenibile.
- Opportunità significative per l'innovazione tecnologica e lo sviluppo economico sostenibile.



- Green hydrogen production by water electrolysis: Current status and challenges, *Bahman Amini Horri, Hasan Ozcan, 2024*
- Environmental and climate impacts of a large-scale deployment of green hydrogen in Europe, *Haiping Shen, Pedro Crespo del Granado, Raquel Santos Jorge, Konstantin Löffler*, Dept. of Industrial Economics and Technology Management, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2024
- Integration for green hydrogen: A review, *Piyali Chatterjee, Mounika Sai Krishna Ambati*, Nanotechnology Lab, Department of Physics, National Institute of Technology, Durgapur 713209, WB, India, 2024
- H₂-sCO₂ direct-fired power system coupled with electrolysis and storage, *A. Vesely, M. Otto, J. Kapat*, Center for Advanced Turbomachinery & Energy Research (CATER), University of Central Florida, Orlando, FL, United States, 2024
- Sviluppo di materiali nanostrutturati e apparati per applicazioni in catalisi eterogenea, *Ostinelli Luca, 2012*
- Sintesi, caratterizzazione e prova di catalizzatori di tipo strutturato in forma di monolita per la produzione di Synthetic Natural Gas da carbone, *M. Martinelli, C.G. Visconti, L. Lietti, P. Forzatti P. Deiana, C. Bassano* [10-11], 2014