



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Reattore a membrana per la produzione di idrogeno ed ossigeno da energia solare

S. Tosti, A. Pozio, L. Farina, A. Santucci
ENEA Dip. FSN e Dip. TERIN

Webinar Confindustria Emilia – 19 Aprile ore 16:00



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000



Sommario

Introduzione

- *decomposizione termica dell'acqua*
- *idrogeno vettore energetico,*
- *sistemi solari ad alta T*

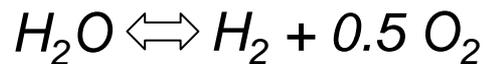
Reattore a membrana

Disegno concettuale

Conclusioni

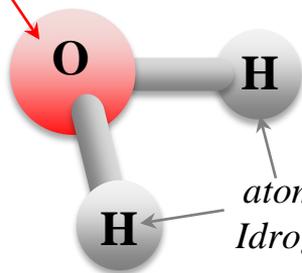
Introduzione

La produzione di idrogeno dall'acqua avviene attraverso la *scissione della molecola H₂O (water splitting)*:

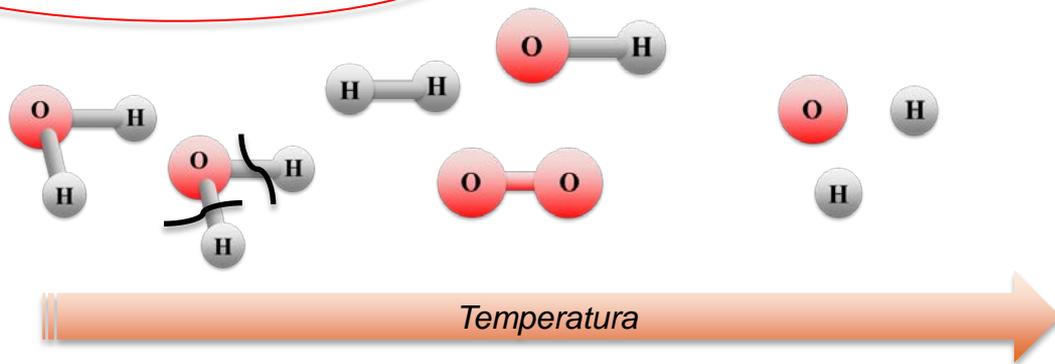


$$\Delta H_{298K} = 241.8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

atomo di
Ossigeno



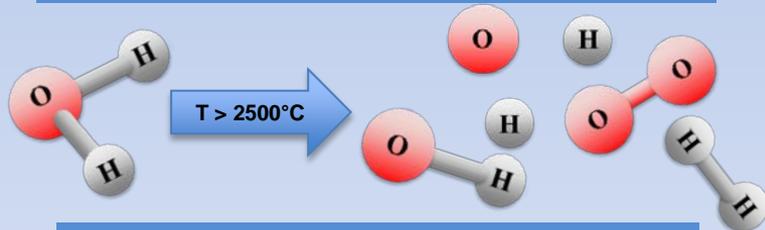
atomi di
Idrogeno



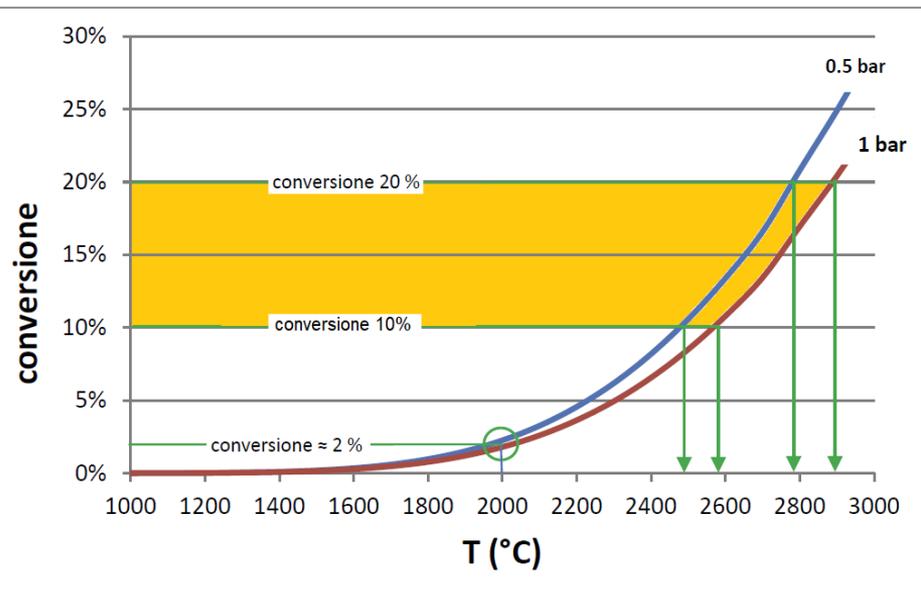
A temperature molto elevate la molecola di acqua si decompone per formare atomi e molecole di idrogeno ed ossigeno ed altri composti (ad esempio OH)

Introduzione

La quantità di acqua che reagisce per formare idrogeno ed ossigeno (**conversione di reazione**) può essere valutata in condizioni di equilibrio termodinamico



In pratica, per scindere la molecola di acqua bisogna fornire molta energia ad alta temperatura



Un reattore chimico tradizionale per ottenere conversioni di reazione tra il 10 e 20% deve operare oltre i 2500 °C mentre al di sotto dei 2000 °C la quantità di acqua che reagisce è trascurabile (pochi %)

Introduzione

L'idrogeno è un vettore energetico

L'utilizzo dell'idrogeno è ad impatto zero solo quando viene prodotto da fonti rinnovabili



I sistemi di cattura dell'energia solare sono ottimi candidati per fornire l'energia necessaria alla reazione di decomposizione dell'acqua

Quali sono le temperature massime raggiungibili con le attuali tecnologie solari ?



Review dei sistemi solari ad alta T - Sistemi solari che concentrano la radiazione solare raccolta da un campo di specchi su torri solari
(Bernhard Hoffschmidt , Receivers for Solar Tower Systems, 2014)

State of art: Molten salt (565 °C) and saturated steam (550 °C)

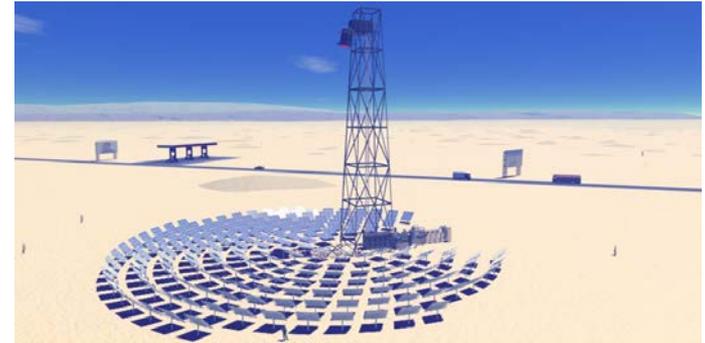
Pilot phase: Pressurized air receivers (800-1000 °C)
Ceramic plate receivers stable up to 1500 °C

Under development: Liquid metal receivers





Pressurized air receivers (800-1000 °C)

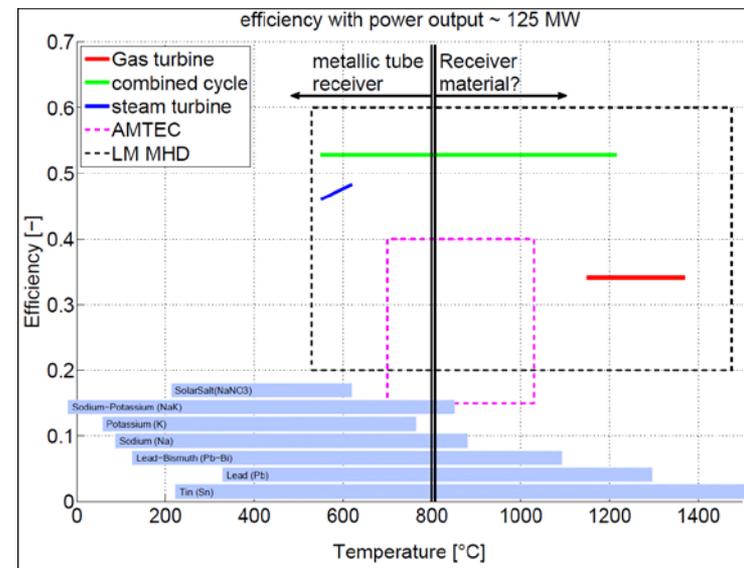
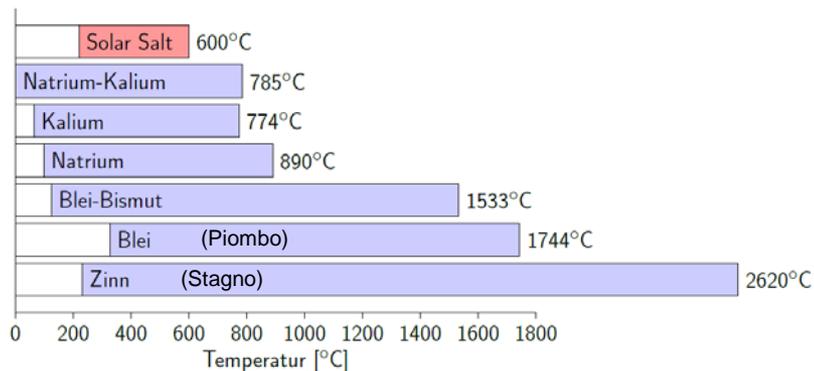


Ceramic plate receiver
stable up to 1500 °C



Liquid metal receivers

Studiati per l'accoppiamento con altri cicli termici
(turbine a gas, vapore, MHD, ecc.)

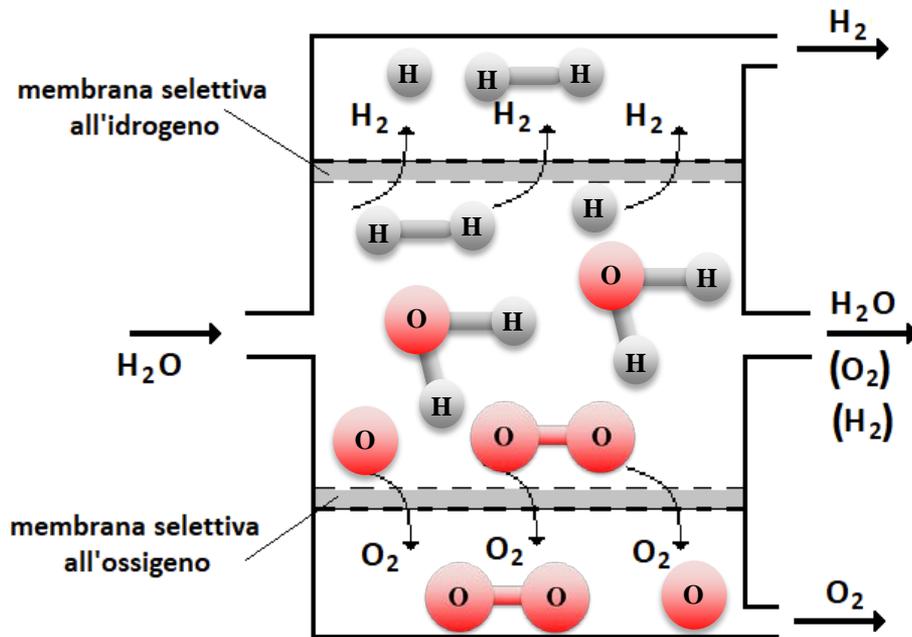


Utilizzo di un “reattore a membrana”

Un reattore a membrana consente di estrarre continuamente l'idrogeno e l'ossigeno prodotti

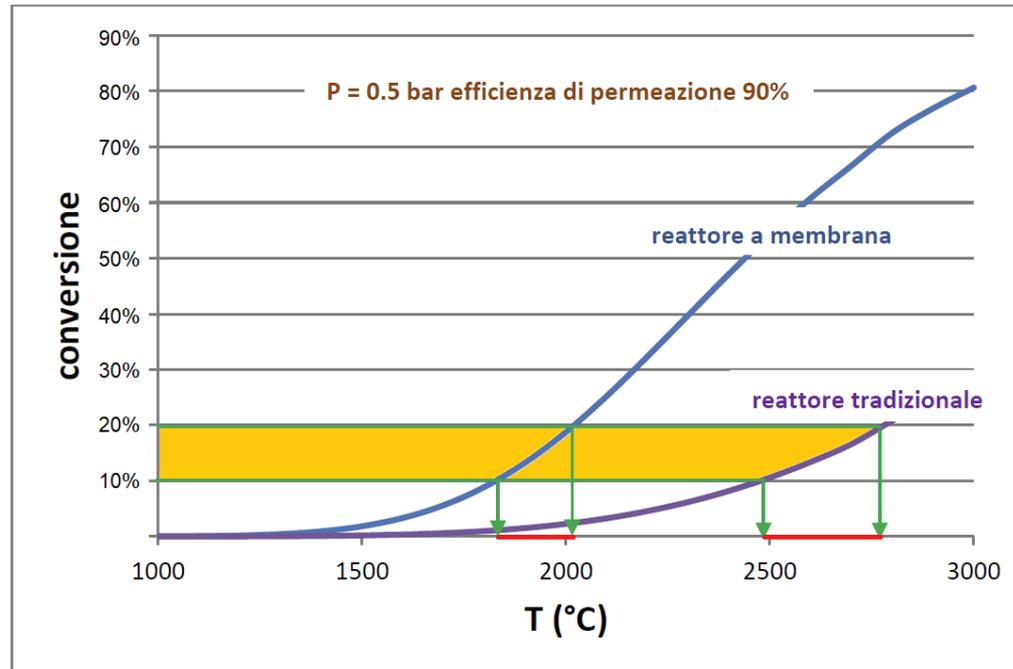
Il sistema “reagisce” a questa perturbazione facendo convertire una maggior quantità di acqua => quindi un reattore a membrana può raggiungere conversioni di reazione maggiori rispetto ad un reattore tradizionale

Un reattore a membrana consente inoltre di recuperare l'idrogeno e l'ossigeno direttamente come gas puri senza la necessità di ulteriori unità di purificazione



Utilizzo di un “reattore a membrana”

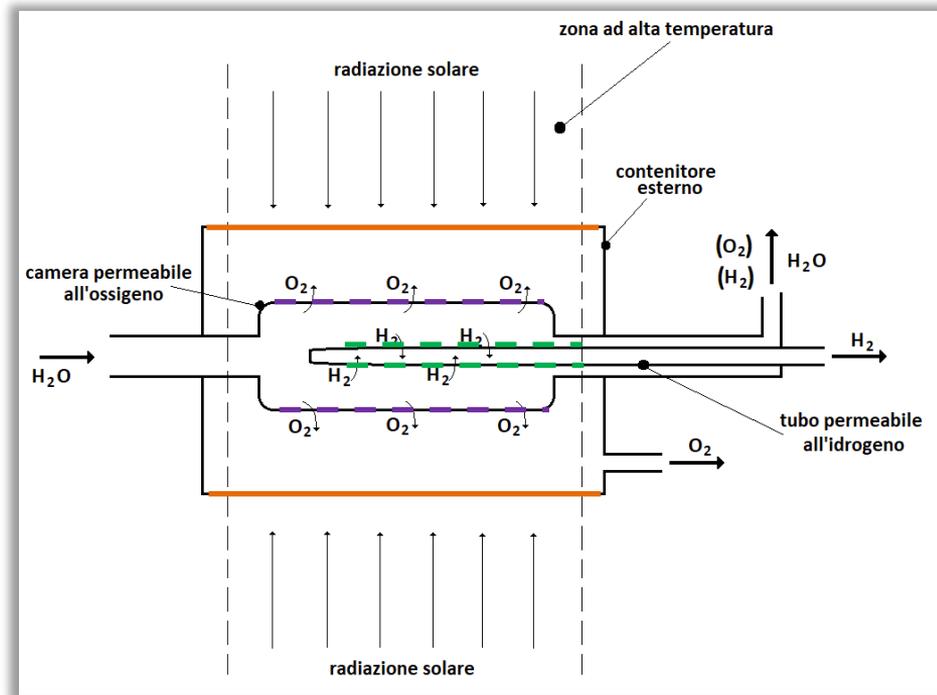
Utilizzando un reattore a membrana per far reagire tra il 10 e 20% dell'acqua le T operative si portano nell'intervallo 1800-2000 °C (invece di circa 2500-2800 °C del reattore tradizionale)



Disegno concettuale

Un reattore a membrana in grado di operare fino a circa 2000 °C può essere realizzato con:

- **Hafnia (HfO_2)** per la camera permeabile all'ossigeno (temperatura di fusione 2758 °C)
- **Tantalio (Ta)** per il tubo permeabile all'idrogeno (temperatura di fusione 3017 °C)
- **Tungsteno** per la realizzazione del contenitore esterno esposto alla radiazione solare (temperatura di fusione 3422 °C)



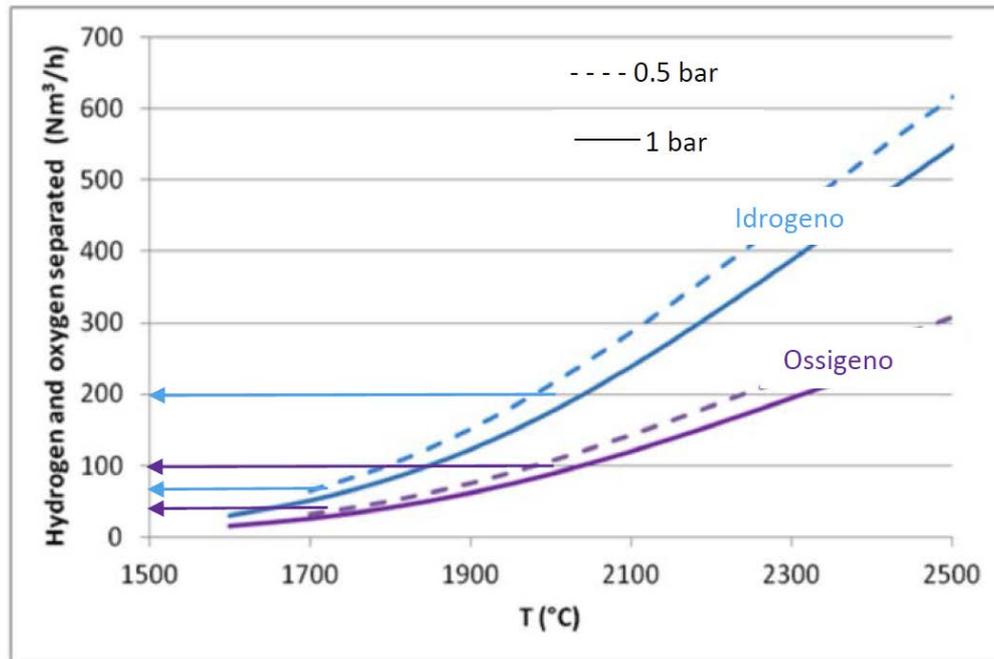
Disegno concettuale

Dati di progetto per il reattore a membrana:

- portata di acqua di alimentazione **1000 kg/h**
- utilizzo di tubi permeatori di tipo composito con un layer di Ta di spessore 10 μm
- camera di hafnia con spessore efficace per la permeazione di 0.1 mm
- pressione di reazione 0.5 bar ed 1 bar
- correnti di permeato di idrogeno ed ossigeno estratte con pompe da vuoto alla pressione di 100 Pa

Risultati:

- intorno ai 2000 $^{\circ}\text{C}$ si producono circa **200 m³/h di idrogeno e 100 m³/h di ossigeno**
- intorno ai 1800 $^{\circ}\text{C}$ si producono circa **80 m³/h di idrogeno e 40 m³/h di ossigeno**



Conclusioni

La decomposizione termica dell'acqua è un processo che avviene ad alte temperature e necessità di una grande quantità di calore



I sistemi solari possono essere ottimi candidati per essere accoppiati a processi di produzione di idrogeno (ed ossigeno) mediante decomposizione termica dell'acqua

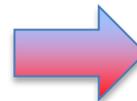


Attualmente i sistemi solari a concentrazione operano a T fino a 1000 °C (stato dell'arte ed impianti pilota), a 1500 °C sono stati provati in alcuni componenti (ceramic plate receivers), mentre T più alte sono attese con lo sviluppo di sistemi a metalli liquidi

In reattori tradizionali la decomposizione termica dell'acqua avviene (con conversioni di reazione tra il 10 e 20%) ad oltre 2500 °C



L'utilizzo di un reattore a membrana consente di ridurre le T operative sotto i 2000 °C , ad esempio a 1800 °C si producono circa $80\text{ m}^3/\text{h}$ di idrogeno e $40\text{ m}^3/\text{h}$ di ossigeno alimentando 1000 kg/h di acqua



Per l'accoppiamento delle due tecnologie (sistemi solari ad alta T e reattori a membrana) vi è un gap misurabile in alcune centinaia di °C

Sviluppi futuri

Le principali sfide tecnologiche riguarderanno:

- La realizzazione di sistemi solari ad alta temperatura (oltre i 1500 °C)*
- lo sviluppo dei materiali avanzati (membrane metalliche per la separazione dell'idrogeno e materiali ceramici per la separazione dell'ossigeno) in grado di operare ad elevata T e con elevati flussi termici*
- lo sviluppo, in particolare, di tecniche di giunzione (saldature, brasature, ecc.) per questi materiali*

I laboratori dell'ENEA sono pienamente qualificati per condurre le future attività di R&D. In particolare:

- Il Dip. TERIN (Casaccia e Trisaia) sviluppa sistemi e componenti innovativi di impianti solari*
- il Dip. FSN (Frascati) sviluppa materiali avanzati per operare ad alta T con elevati flussi termici (materiali affacciati al plasma delle macchine per la fusione nucleare)*

Silvano Tosti
silvano.tosti@enea.it



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000



Dettagli nell'articolo: Hydrogen and Oxygen Production via Water Splitting in a Solar-Powered Membrane Reactor - A Conceptual Study, *Hydrogen* 2021, 2(1), 18-32

Download: <https://www.mdpi.com/2673-4141/2/1/2>