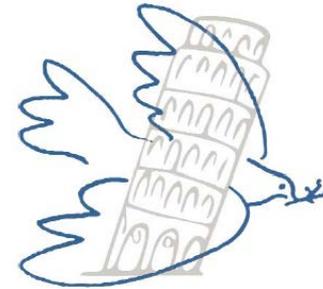


Corso di Laurea in Scienze per la Pace



Prospettive e problematiche dell'idrogeno come vettore energetico

Ing. Alessia Marangon

Agenda

- 1. Introduzione**
- 2. Caratteristiche chimico-fisiche dell'idrogeno / Sicurezza**
- 3. Produzione**
- 4. Utilizzazione**
- 5. Conclusioni**

Introduzione

- **La garanzia di uno sviluppo “compatibile” con la crescita della popolazione è la principale sfida della nostra generazione**

- **Il problema energetico è dovuto essenzialmente a:**
 - a. **Disponibilità delle risorse energetiche**
 - b. **La loro compatibilità ambientale: emissioni di CO₂ ed Effetto Serra**

L'IDROGENO NON E' UNA FONTE ENERGETICA,

MA E' UN

VETTORE ENERGETICO

Introduzione

- **L'idrogeno è un vettore energetico proprio come l'elettricità**
- **L'idrogeno, rispetto all'elettricità, però offre una più alta efficienza di stoccaggio**
- **L'idrogeno inoltre come combustibile offre molteplici possibilità di impiego (sia in campo stazionario che mobile)**

Caratteristiche chimico-fisiche dell'idrogeno

- L'idrogeno è l'elemento più abbondante e più leggero esistente in natura, però non si trova allo stato puro, ma combinato con altri elementi e deve quindi essere prodotto
- L'idrogeno a temperatura e pressione ambiente è un gas completamente privo di odore, sapore e colore; non è un gas tossico
- L'idrogeno è infiammabile e quando brucia la fiamma sviluppata è pressoché invisibile
- L'idrogeno diviene liquido ad una temperatura di $-252.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ e in questa forma può provocare ustioni da freddo
- L'idrogeno ad alte pressioni e certe temperature può provocare infragilimento di alcuni materiali

Caratteristiche chimico-fisiche dell'idrogeno

	<i>Idrogeno</i>	<i>Gas Naturale</i>
Peso molecolare	2.016	16
Temperatura di ebollizione ad 1 atm [°C]	-252.8	-161.5 ⁽¹⁾
Densità gas [kg/m³]	0.08	0.65 ⁽¹⁾
Densità relativa gas (aria = 1)	0.07	0.56-0.59 ⁽²⁾
Densità relativa liquido (acqua = 1)	0.07	ca. 0.42
Coefficiente di diffusione in aria [cm²/s]	0.61	0.16
Viscosità [m-poise]	87.5	100
Temperatura di autoaccensione [°C]	585	540
Energia minima di ignizione in aria [mJ]	0.02	0.29
Limiti di infiammabilità in aria [vol%]	4.0-75.0	5.0-15.0

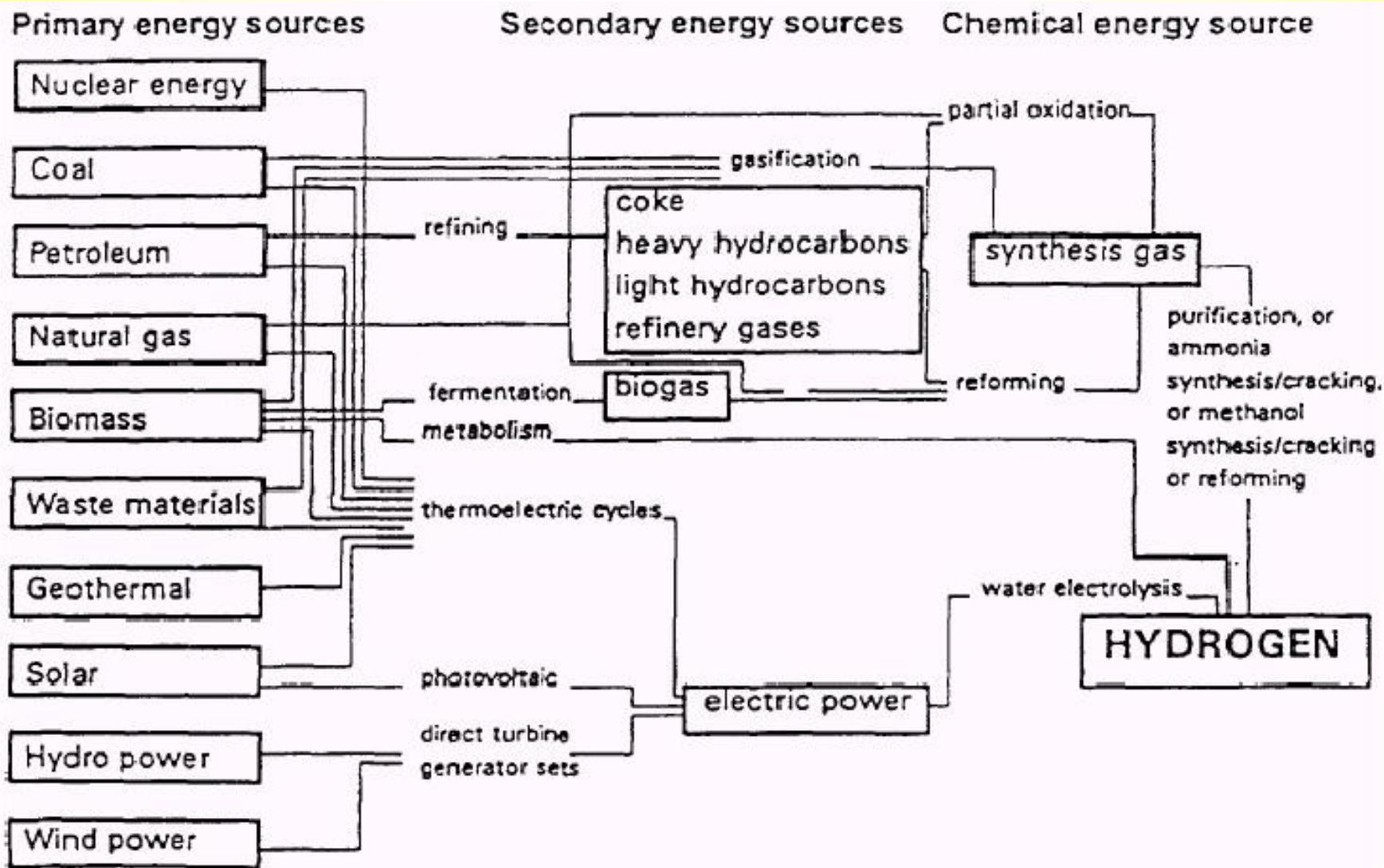
⁽¹⁾ Il dato si riferisce al metano

⁽²⁾ Intervallo di valori in quanto dipende dalla composizione percentuale del gas naturale

L'idrogeno non è una fonte di energia:

**ma deve essere prodotto con processi
chimici e fisici che richiedono
uso di energia**

Produzione dell'idrogeno



Produzione dell'idrogeno

Le tecnologie di produzione dell'idrogeno più interessanti sono:

- Elettrolisi dell'acqua**
- Reforming / Ossidazione parziale di idrocarburi**
- Gassificazione del carbone**
- Gassificazione delle biomasse**
- Energie rinnovabili**
- Nucleare**

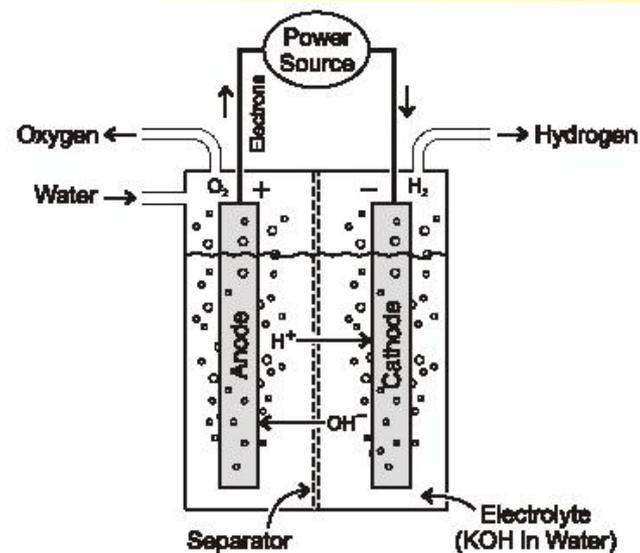
Produzione dell'idrogeno: Elettrolisi

Processo elettrochimico nel quale si usa elettricità per scindere la molecola dell'acqua nei suoi componenti base: idrogeno ed ossigeno

Nonostante i vantaggi offerti in termini di mancanza di emissioni nocive e di produzione di idrogeno molto puro, l'elettrolisi incontra notevoli ostacoli a causa di:

1. quantità limitata di idrogeno prodotta
2. costi, ancora troppo elevati, dovuti all'impiego di energia elettrica (sono richiesti ca. 4-6 kWh/Nm³ idrogeno prodotto)

Attualmente, solo il 4% della produzione mondiale di idrogeno avviene per elettrolisi.



Produzione dell'idrogeno: Elettrolisi

....per il futuro....

Processo molto flessibile: adattabile sia agli impianti di grossa taglia che a quelli di piccola taglia, come per la produzione di idrogeno on-site, ed adattabile alla combinazione con il nucleare e con le energie rinnovabili.

Produzione dell'idrogeno: Reforming di idrocarburi

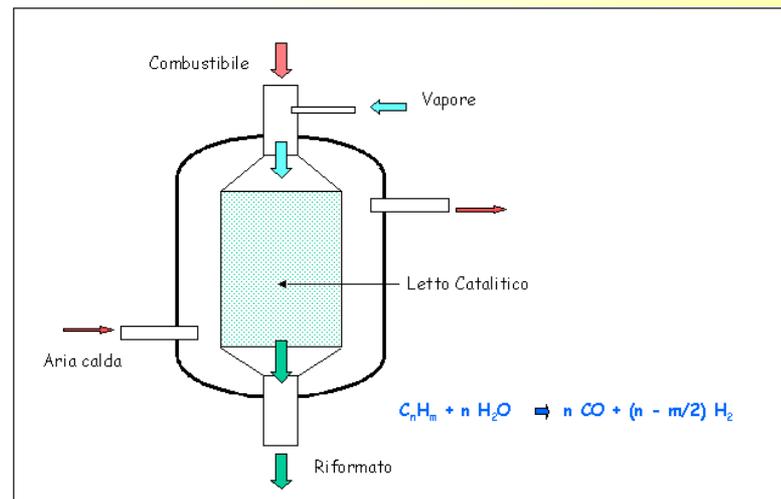
Reazione di ossidazione di idrocarburi catalizzata.

Il reforming è una reazione che avviene tra un idrocarburo ed acqua che genera un gas ricco di idrogeno: syngas o “riformato”, che necessita di successivi stadi di purificazione.

La reazione avviene ad alta temperatura (almeno 700°C) ed ha bisogno di un apporto esterno di calore.

Nonostante che causi la *formazione di CO₂* e che presenti lo svantaggio della *non rinnovabilità della materia prima* è il processo più usato nel mondo per la produzione di idrogeno: processo maturo commercialmente e più economico rispetto all'elettrolisi dell'acqua.

Attualmente ca. il 50% della produzione mondiale di idrogeno avviene per steam reforming del gas naturale



Produzione dell'idrogeno: Reforming di idrocarburi

....per il futuro....

I vantaggi dell'uso di reformer per la produzione di idrogeno, a partire da combustibili tradizionali, sono principalmente:

- 1. nel periodo di transizione, la possibilità di impiego di infrastrutture di trasporto e stoccaggio proprie dei combustibili convenzionali;**
- 2. la necessità di una minore quantità di energia e minor costi, almeno per impianti di grossa taglia (rispetto all'elettrolisi)**

Produzione dell'idrogeno: Gassificazione del carbone

La gassificazione è un processo termochimico che converte un combustibile solido in gassoso mediante l'azione di un agente ossidante che può essere aria, ossigeno o vapor d'acqua con temperature dell'ordine dei 700 - 900 °C; i prodotti della gassificazione sono sostanze volatili, tra cui l'idrogeno, e un residuo solido.

Il calore necessario alla reazione è fornito dall'esotermicità dell'ossidazione del carbone; il gas prodotto è una miscela composta principalmente da H₂ e CO (syngas).

Vantaggi:

- 1. basso costo della materia prima**
- 2. tecnologia matura**

Svantaggi:

- 1. produzione di sostanze inquinanti, principalmente ossidi di zolfo, ossidi di azoto e ceneri, che devono essere separati dal prodotto e poi smaltiti.**

Produzione dell'idrogeno: Gassificazione delle biomasse

La gassificazione, o più esattamente la “idrogassificazione di biomasse”, coinvolge reazioni tra il carbonio presente nella biomassa, l'ossigeno e l'acqua. L'acqua necessaria è fornita dalla stessa biomassa umida; l'intero processo produce una miscela di gas contenente CO, CO₂, CH₄ ed H₂.

Vantaggi:

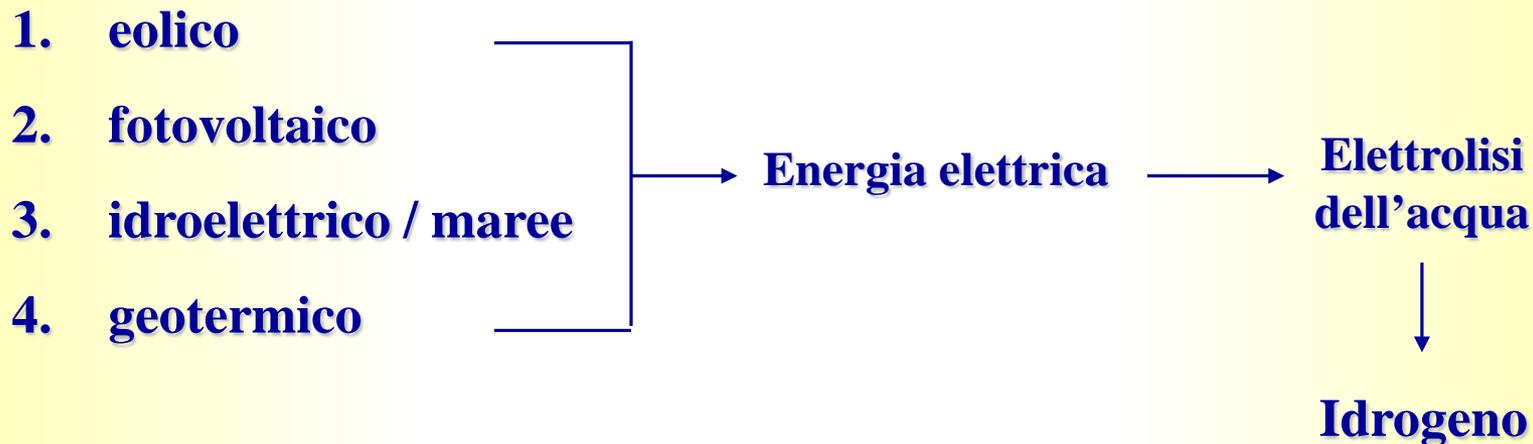
1. la CO₂ da biomassa, è considerata neutrale rispetto all'Effetto Serra dal momento che non va ad incrementare la concentrazione di CO₂ in atmosfera: la % emessa è pari alla quantità utilizzata dalle biomasse per crescere (fotosintesi)
2. produzione di idrogeno da fonti rinnovabili; si offre anche come possibile soluzione al problema dello smaltimento dei rifiuti solidi urbani

Svantaggi:

1. processo economicamente non competitivo: *basso tenore di idrogeno nelle biomasse (solo il 6-6.5% in peso rispetto a quello contenuto nel metano, 25%)*
2. incidenza notevole dei costi di produzione delle biomasse dedicate e della raccolta dei rifiuti

Produzione dell'idrogeno: Le fonti rinnovabili

Le fonti rinnovabili



Vantaggio

La produzione di idrogeno ed il relativo stoccaggio consentono di sopperire alla discontinuità intrinseca delle fonti energetiche rinnovabili.

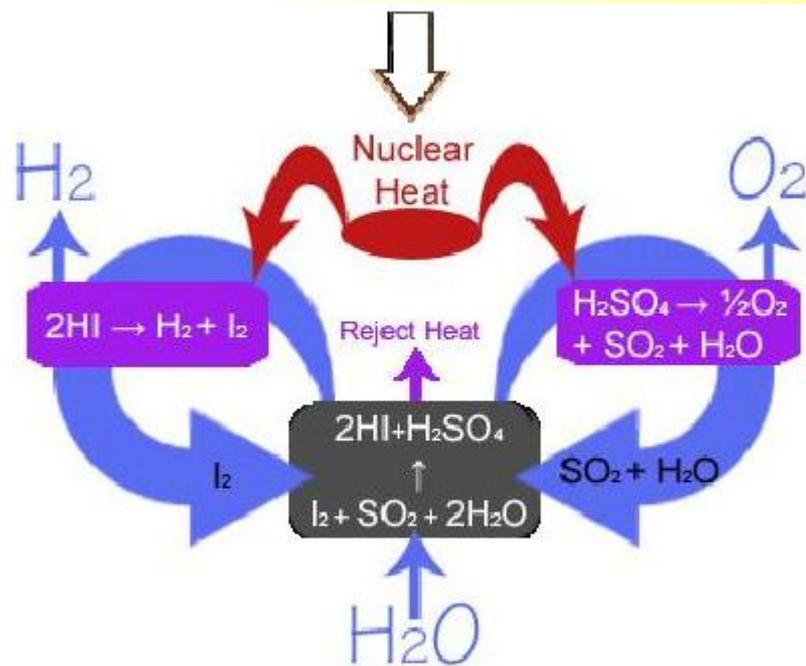
Produzione dell'idrogeno: Il nucleare

Il nucleare

Prodotto	Processo di produzione	Temperatura di reazione (°C)		
		50	500	1000
Gas di sintesi (H ₂ +CO)	- Steam reforming del metano	[Bar chart showing temperature range from ~400 to ~800 °C]		
	- Gassificazione del carbone con vapore (a letto fluido)	[Bar chart showing temperature range from ~800 to ~900 °C]		
Gas idrogeno	- Elettrolisi dell'acqua	[Bar chart showing temperature range from ~50 to ~100 °C]		
	- Elettrolisi del vapore	[Bar chart showing temperature range from ~800 to ~1000 °C]		
	- Scissione termochimica dell'acqua (processo IS)	[Bar chart showing temperature range from ~500 to ~800 °C]		
Processi nucleari ad alta temperatura	Reattori ad acqua	[Bar chart showing temperature range from ~100 to ~300 °C]		
	Reattori ad organico	[Bar chart showing temperature range from ~300 to ~500 °C]		
	LMFBR	[Bar chart showing temperature range from ~500 to ~700 °C]		
	AGR	[Bar chart showing temperature range from ~700 to ~900 °C]		
	HTGR	[Bar chart showing temperature range from ~900 to ~1200 °C]		

Produzione dell'idrogeno: Metodo I-S

Processo di decomposizione termochimica dell'acqua



1. In tale processo l'unico reagente consumato è l'acqua (viene scissa in 3 stadi ad opera del calore fornendo solamente ossigeno ed idrogeno); tutti gli altri reagenti vengono completamente riciclati
2. Il calore residuo, sottoprodotto del processo, è ad una temperatura di ca 100°C e può essere quindi riutilizzato per altre applicazioni

Produzione dell'idrogeno: Costi dei vari metodi di produzione

<i>THE COST OF PRODUCING HYDROGEN</i>	
	<i>\$ per gigajoule</i>
<i>Hydrogen from coal/gas/oil</i>	<i>1-5</i>
<i>Hydrogen from natural gas minus carbon dioxide</i>	<i>8-10</i>
<i>Hydrogen from coal minus carbon dioxide</i>	<i>10-13</i>
<i>Hydrogen from biomass</i>	<i>12-18</i>
<i>Hydrogen from nuclear power</i>	<i>15-20</i>
<i>Hydrogen from onshore wind</i>	<i>15-25</i>
<i>Hydrogen from solar cells</i>	<i>25-50</i>

Note: A gigajoule is a measure of heat. One gigajoule = 948,200 BTUs
Source: International Energy Agency, February 2003

Per l'utente che riceve idrogeno tramite una piccola tubazione o via camion il costo è incrementato di altri \$ 10/GJ rispetto a quello che paga la ditta fornitrice.

Utilizzazione dell'idrogeno: Utilizzi attuali ben consolidati

METALLURGIA

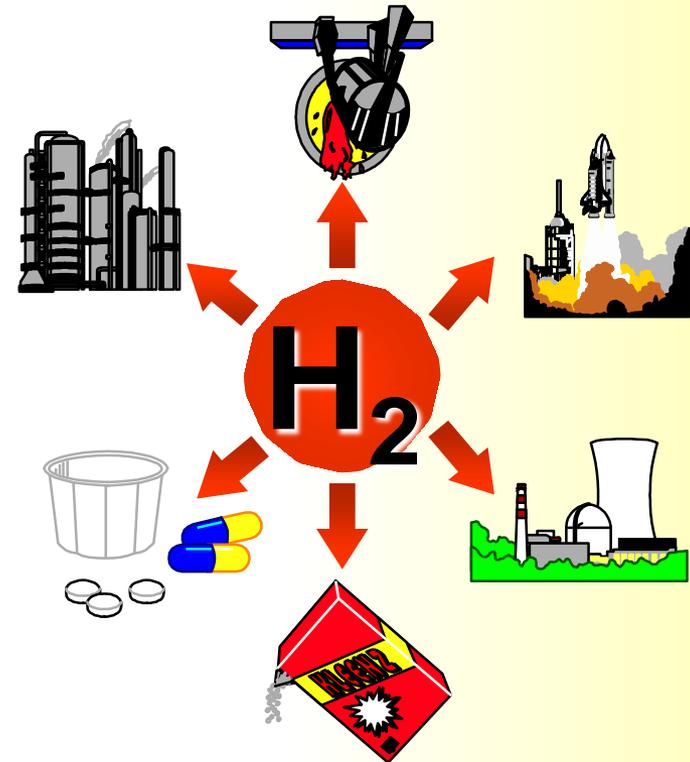
ALIMENTARE

VETRO

ELETTRONICA

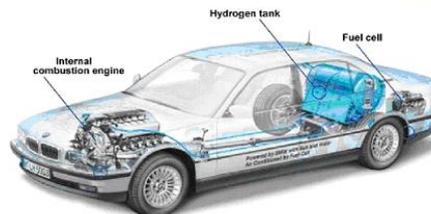
CHIMICA

ALTRE



Utilizzazione dell'idrogeno: utilizzi futuri

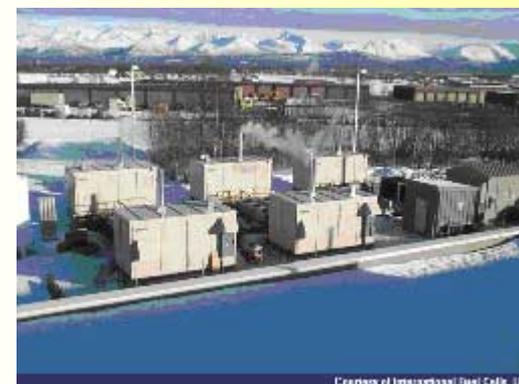
- *Motori ICE*
- *Fuel Cell (FC) per autotrazione*
- *FC Stazionarie*
- *Micro FC*
- *Cogenerazione*
- *Turbine*



BMW: Passenger cars of the 7 series



DaimlerChrysler NECAR + NEBUS

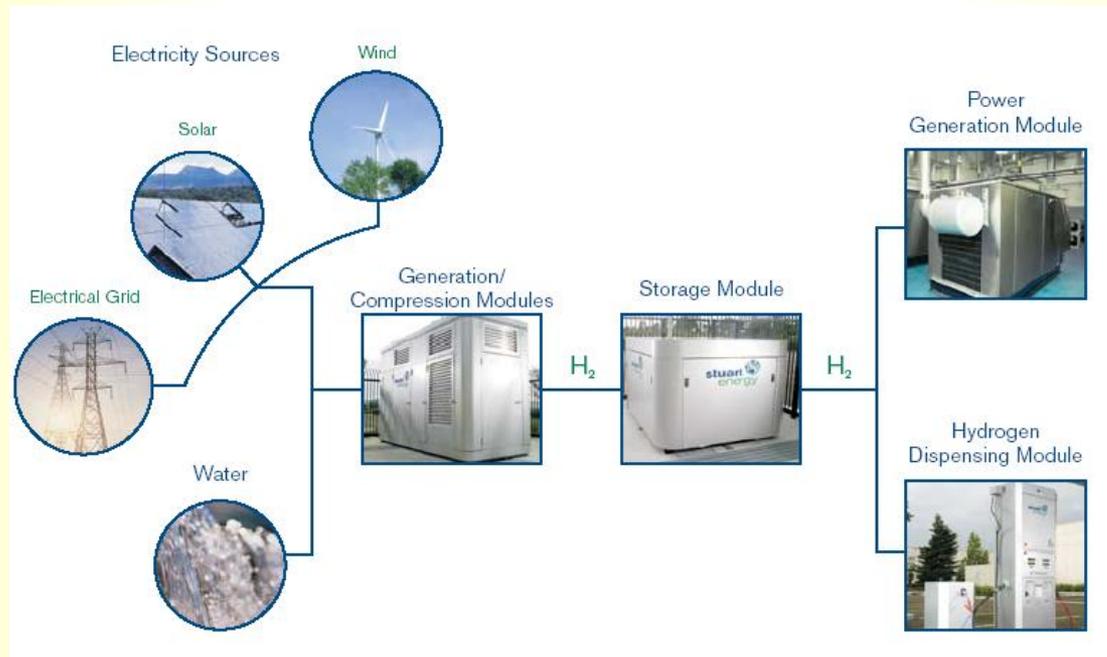


Una prospettiva importante per l'utilizzazione dell'idrogeno come vettore energetico è data dalla possibilità di creare i così detti:

STAND-ALONE POWER SYSTEMS (SAPS)

Utilizzazione dell'idrogeno: STAND-ALONE POWER SYSTEMS (SAPS)

1. Possibile opportunità di impiego in aree dove è carente o addirittura assente la rete di distribuzione di energia elettrica.
2. Opportunità di produrre energia elettrica ed idrogeno mediante fonti rinnovabili (eolico, solare) e di sopperire alla loro discontinuità utilizzando l'idrogeno precedentemente prodotto e stoccato quando carenti.



Conclusioni

Scenari

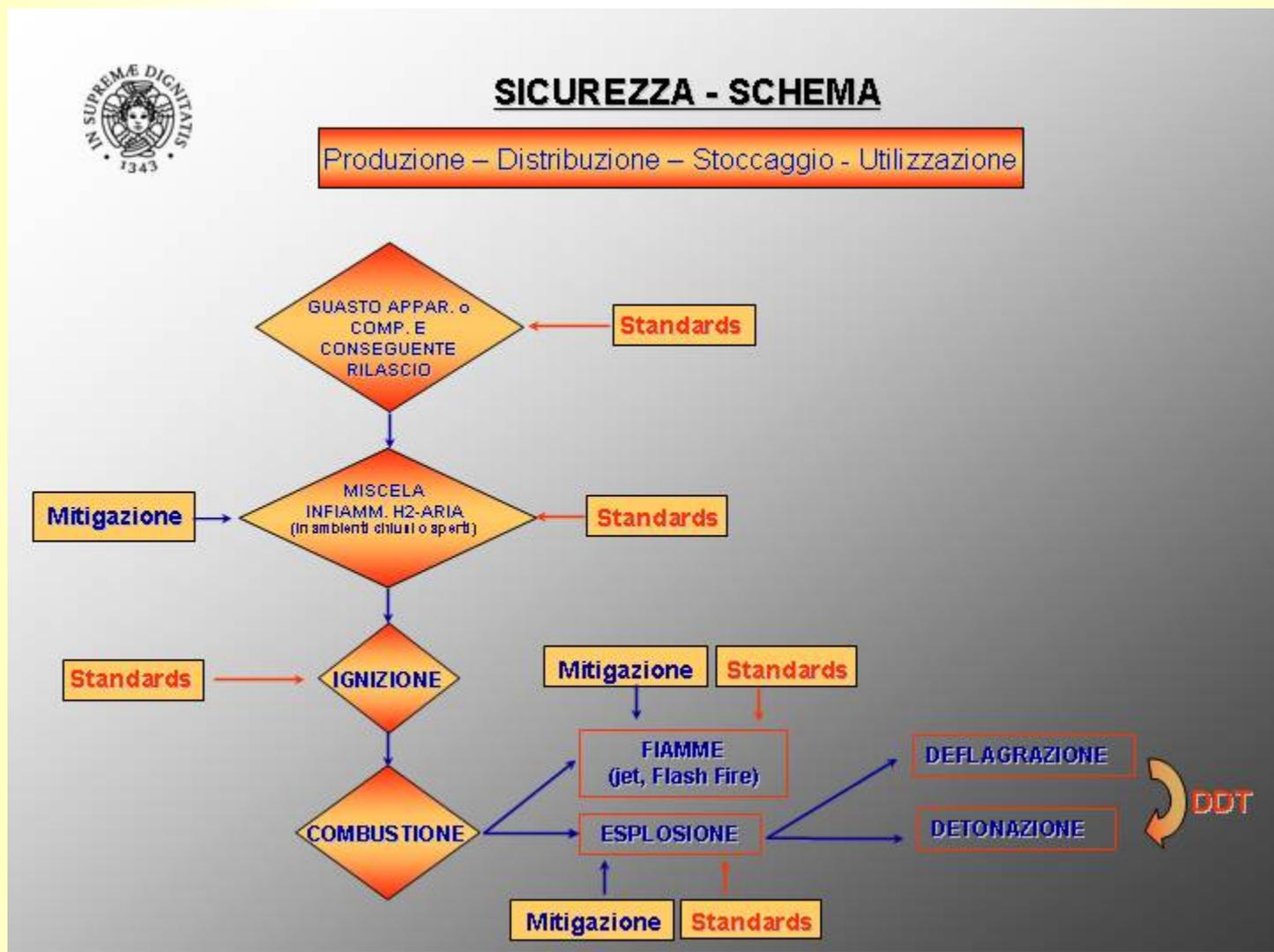
	oggi <i>comb. fossile</i>	domani <i>idrogeno fossile</i>	dopodomani <i>idrogeno rinnov.</i>
fonte primaria dominante	combustibili fossili		fonti rinnovabili
disponibilità	limitata e concentrata		elevata e diffusa
vettori energetici dominanti	energia elettrica comb. fossili	energia elettrica idrogeno	
impatto ambientale	elevato	ridotto	

Conclusioni

I punti chiave per la promozione e lo sviluppo di un'economia basata sull'idrogeno sono quindi i seguenti:

- 1. Sviluppo di adeguate infrastrutture e miglioramento delle tecnologie esistenti**
- 2. Diminuzione dei costi e miglioramento delle efficienze**
- 3. Sviluppo di una normativa di riferimento che aiuti nella gestione dei sistemi (tecnologia e sicurezza)**
- 4. Promozione di campagne di sensibilizzazione per conferire sia agli operatori che agli utilizzatori una certa confidenza con l'idrogeno**

Rischio Idrogeno _ Filosofia della sicurezza





ANALISI DEL RISCHIO

Prevista espressamente dalle Direttive Seveso per
quantità di idrogeno > 5 ton

