
Che ruolo può avere l' Idrogeno nell'autotrazione urbana ?

Gian Paolo Beretta
beretta@ing.unibs.it

Dipartimento di Ingegneria Meccanica
Università di Brescia

Queste ed altre diapositive disponibili al sito:

http://dimgruppi.ing.unibs.it/fisica_tecnica/beretta/gian_paolo_beretta.htm

"Sviluppo sostenibile"

- definizione di Bruntland (primo ministro norvegese, 1987):
"soddisfare i fabbisogni del presente senza compromettere la stessa possibilità per le generazioni future"
- definizione di Schumacher (economista e filosofo, 1973):
"vivere degli interessi e non del capitale delle risorse naturali"

Il miraggio di una "economia a idrogeno"

- ▶ Definita come: produzione, accumulo, distribuzione e uso dell'idrogeno come vettore energetico
- ▶ Si basa su convinzioni diffuse, ma false (disinformazione):
 - abbondante sulla Terra
 - facile da trasportare
 - sicuro da maneggiare
 - facile da accumulare
 - ideale per generazione distribuita di elettricità
 - **ideale per l'autotrasporto a emissioni locali minime**
 - ottimale per ridurre le importazioni di combustibili fossili
 - ottimale per ridurre le emissioni di gas ad effetto serra

"L'H₂ è abbondante sulla Terra"

Si avvera la profezia di Jules Verne ne *L'isola misteriosa* (1874)

" l'acqua sarà il carbone del futuro"

FALSO

E' vero che:

- l'acqua è abbondantissima sulla Terra
- ogni molecola di acqua contiene due atomi di idrogeno
- l'idrogeno molecolare, H₂, può essere generato dall'acqua in abbondanza

... ma le leggi della **TERMODINAMICA** assicurano che

- l'energia ricavabile dall'H₂ (per ricombinazione con l'ossigeno) non sarà mai di più dell'energia consumata per estrarre l'idrogeno dall'H₂O
- lo stesso vale per l'ELETTRICITA'

Non ci sono molecole libere di H₂ sulla Terra.

L'idrogeno **non è una fonte primaria di energia.**

Può essere generato artificialmente, **come l'elettricità**, per usarlo come **vettore energetico**, ma a costi energetici elevati

VERO

"L'H₂ è facilmente trasportabile"

FALSO

In gasdotto

- costo energetico triplo rispetto al trasporto del metano (a pari distanza)
- non possono essere usati gli attuali metanodotti

Compresso in bombole

- a 800 bar per densità di energia pari al metano a 250 bar
- comunque la densità è bassa (volume serbatoio triplo di veicoli a benzina di pari autonomia)
- costo energetico di compressione
- bombole e strutture di contenimento adeguate all'alta pressione (pesanti)

Liquefatto in contenitori criogenici

- liquefazione a -253°C + trasformazione da 75%orto-25%para a 0.3%orto-99.7%para
- costo energetico di liquefazione e trasformazione orto-para
- serbatoio e isolamento termico adeguati alla bassa temperatura
- stessa densità ma minore efficienza del compresso

In ogni caso

- molto più difficile contenere le fughe (molecola più piccola)
- occorrono materiali speciali (l'idrogeno infragilisce quelli comuni)

Non è affatto facile trasportare l'H₂.
I costi energetici sono maggiori rispetto ad altri vettori energetici.

VERO

"L'H₂ liquido o compresso può essere reso sicuro"

FALSO

E' vero che, come la nitroglicerina....,

- può essere maneggiato con sicurezza (da personale esperto)
- non esplode da solo né si autoaccende, senza un energia di attivazione

Però, rispetto agli altri vettori tradizionali,

- ovvero gasolio, benzina, metano, propano (in ordine di sicurezza)
- ha le più piccole energie di autoignizione e detonazione (1/10 del metano)
- i limiti di infiammabilità più ampi (dal 4% al 75% in volume) (metano 5-15%)

In ogni caso

- produce una fiamma invisibile alla luce del giorno
- una fuga si diffonde in aria rapidamente (diffusività quadrupla rispetto al metano), ma...
- basta una semplice scarica elettrostatica per l'ignizione e poi...
- l'elevata velocità di fiamma produce esplosioni più severe di ogni altro idrocarburo
- una singola auto avrebbe a bordo la forza esplosiva di 100 kg di tritolo (5 kamikaze)

Nessuna misura di sicurezza può compensare il fatto che
L'H₂ liquido o compresso è il più pericoloso dei combustibili da trasportare a bordo auto.

Non essendo una fonte primaria, che motivo c'è di introdurre nella nostra vita un vettore energetico così pericoloso?

VERO

"L'H₂ si può facilmente accumulare, l'elettricità no"

FALSO

E' vero che l'H₂ si può accumulare...

- ma i costi energetici di compressione o liquefazione e trasporto sono molto alti
- e si giustificano solo in siti remoti dove non c'è la rete elettrica o per applicazioni di nicchia

E' vero che l'H₂ ha il vantaggio della leggerezza...

- ma il peso aggiunto da bombole e cella a combustibile rende l'auto a idrogeno il 50% più pesante di un'auto elettrica a batterie di pari prestazioni

... ma anche l'elettricità si può accumulare

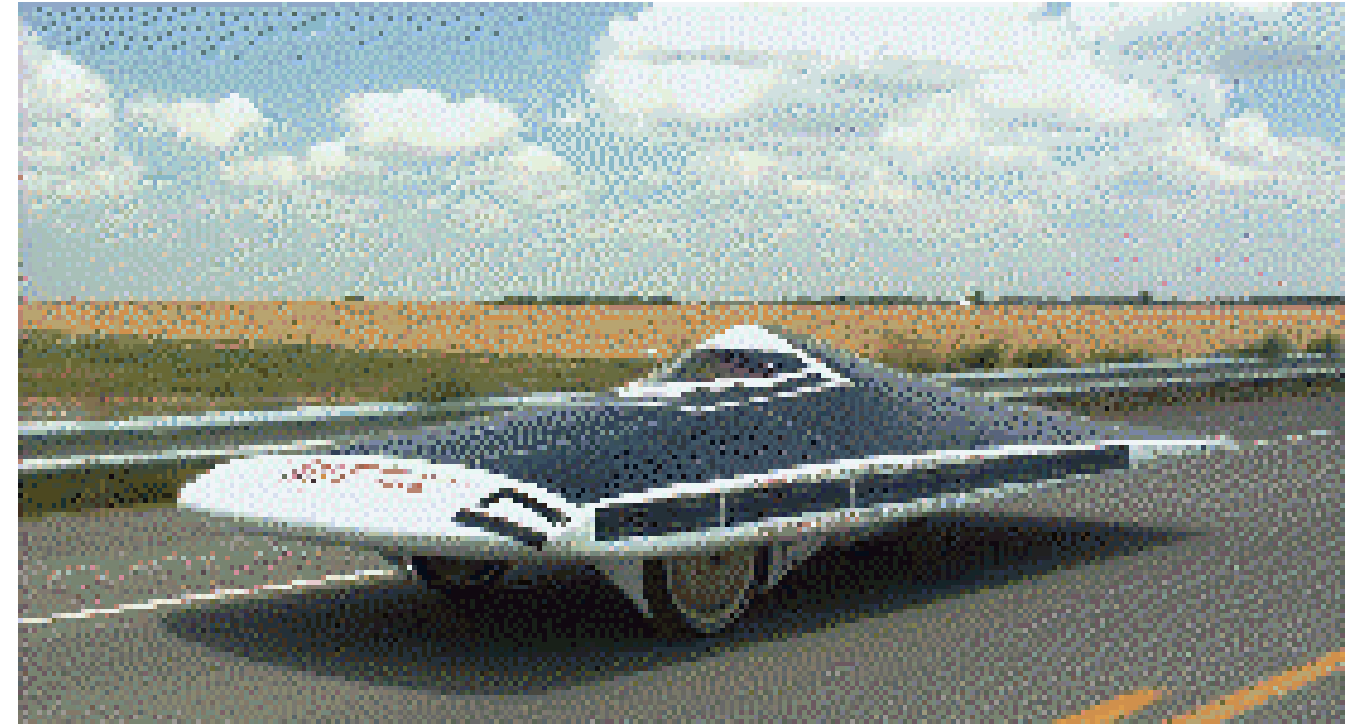
- sia in grandi quantità: il ripompaggio in centrali idrauliche a doppio bacino ha efficienze dell'80% (In Italia ogni notte si accumula energia elettrica, da usare di giorno)
- sia in medie quantità: impianti a volano meccanico, batterie a flusso al vanadio, etc
- sia in piccole quantità: la ricarica e scarica di batterie a ioni di litio ha efficienze dell'83% e le batterie di nuova generazione sono molto più leggere e smaltibili di quelle al piombo

Solo in situazioni di nicchia l'H₂ è più facilmente accumulabile dell'elettricità.

VERO

“L’H₂ è il vettore energetico ideale per l’autotrazione a emissioni locali zero”

FALSO



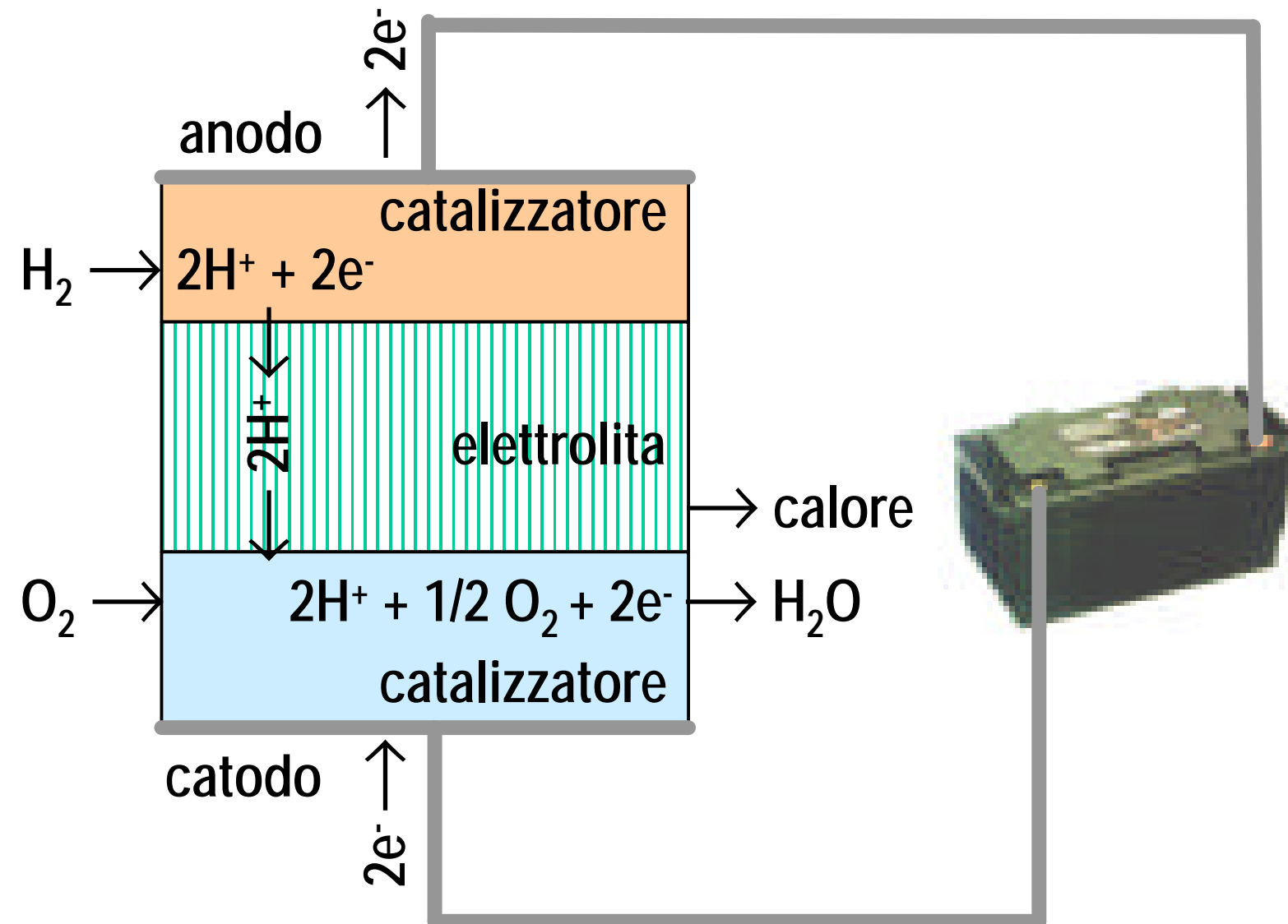
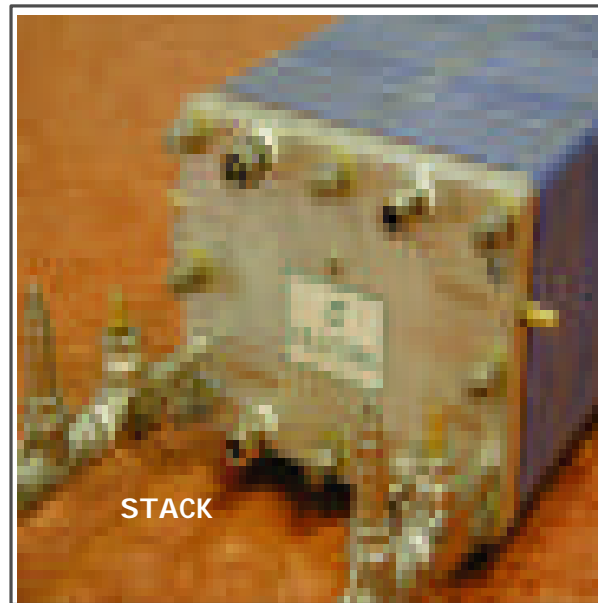
Entrando nel dettaglio delle possibili filiere, concluderemo che

non le auto a idrogeno
ma le auto elettriche e le auto ibride
sono le soluzioni più promettenti
per l’autotrazione a emissioni locali minime

VERO

Che cosa è una "cella a combustibile" o "fuel cell"?

- un convertitore elettrochimico capace di trasformare direttamente l'energia chimica di un combustibile in energia elettrica
 - ve ne sono di vari tipi che usano idrogeno come combustibile
 - l'idrogeno è ricavato da altri combustibili con vari metodi



Attuali metodi di produzione e usi dell'idrogeno

Conversione termochimica

- "steam reforming" di idrocarburi (es. $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$)
- ossidazione parziale catalitica (es. $2\text{CH}_4 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{CO}_2 + 6\text{H}_2$)
- gassificazione del carbone e shift ($\text{C} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2$)
- altre tecnologie: pirolisi di carbone o biomasse, cracking termico di benzina e gasolio bio (es. $\text{C}_8\text{H}_{18} = 8\text{C} + 9\text{H}_2$), fotolisi, fotobiologiche, etc.

Elettrolisi dell'acqua ($2\text{H}_2\text{O} = \text{O}_2 + 2\text{H}_2$)

Usi industriali dell' H_2

- raffinazione petroli (rimozione zolfo, apertura anelli benzenici, rottura lunghe catene di idrocarburi, idrogenazione di idrocarburi)
- industria chimica (produzione ammoniacale, alcool metilico, acido cloridrico riduzione di ossidi di metalli pregiati)
- industria alimentare (idrogenazione di oli vegetali)

Una lunga catena di processi dalla fonte all'uso finale... ... ciascuno con una sua efficienza energetica

| Fonte primaria (gas naturale)

- 98% Estrazione
- 99% Trasporto in gasdotto
- 98% Purificazione
- 97% Distribuzione in gasdotto

| Vettore intermedio (metano)

- 70% Reforming del metano
- 91% Compressione dell'idrogeno
- 98% Trasporto in idrogenodotto
- 96% Distribuzione in stazione di rifornimento

| Vettore finale (idrogeno compresso)

- 90% Accumulo in bombole a bordo auto
- 60% Conversione elettrochimica (fuel cell)

| Vettore intermedio (elettricità)

- 89% Conversione elettromeccanica (motore)

▼ Uso finale (trazione dell'auto)

"energia grigia": realizzazione e smaltimento impianti per tutte la fasi

90%

"dalla fonte
al vettore finale"

55%

"dal vettore finale
all'uso finale"

48%

**AUTO A
IDROGENO**

"dalla fonte
all'uso finale"

24%

Una lunga catena di processi dalla fonte all'uso finale... ... ciascuno con una sua efficienza energetica

Fonte primaria (gas naturale)

- 98% Estrazione
- 99% Trasporto in gasdotto
- 98% Purificazione
- 97% Distribuzione in gasdotto

Vettore intermedio (metano)

- 60% Conversione termoelettrica
- 95% Trasporto in elettrodotto A.T.
- 97% Trasformazione e distribuzione B.T.

Vettore finale (elettricità)

- 83% Carica/scarica batterie a bordo auto
- 89% Conversione elettromeccanica (motore)

↓ **Uso finale (trazione dell'auto)**

"energia grigia": realizzazione e smaltimento impianti per tutte la fasi

90%

"dalla fonte al vettore finale"

51%

"dal vettore finale all'uso finale"

74%

**AUTO
ELETTRICA**

"dalla fonte all'uso finale"

34%

Confronto (fonte primaria: gas naturale)

AUTO A "dalla fonte
IDROGENO all'uso finale" **24 %**

Fonte primaria (gas naturale)

Estrazione
Trasporto in gasdotto
Purificazione
Distribuzione in gasdotto

Vettore intermedio (metano)

Reforming del metano
Compressione dell'idrogeno
Trasporto in idrogenodotto
Distribuzione in stazione di rifornimento

Vettore finale (idrogeno compresso)

Accumulo in bombole a bordo auto
Conversione elettrochimica (fuel cell)

Vettore intermedio (elettricità)

Conversione elettromeccanica (motore)

Usò finale (trazione dell'auto)

AUTO "dalla fonte
ELETTRICA all'uso finale" **34%**

Fonte primaria (gas naturale)

Estrazione
Trasporto in gasdotto
Purificazione
Distribuzione in gasdotto

Vettore intermedio (metano)

Conversione termoelettrica
Trasporto in elettrodotto A.T.
Trasformazione e distribuzione B.T.

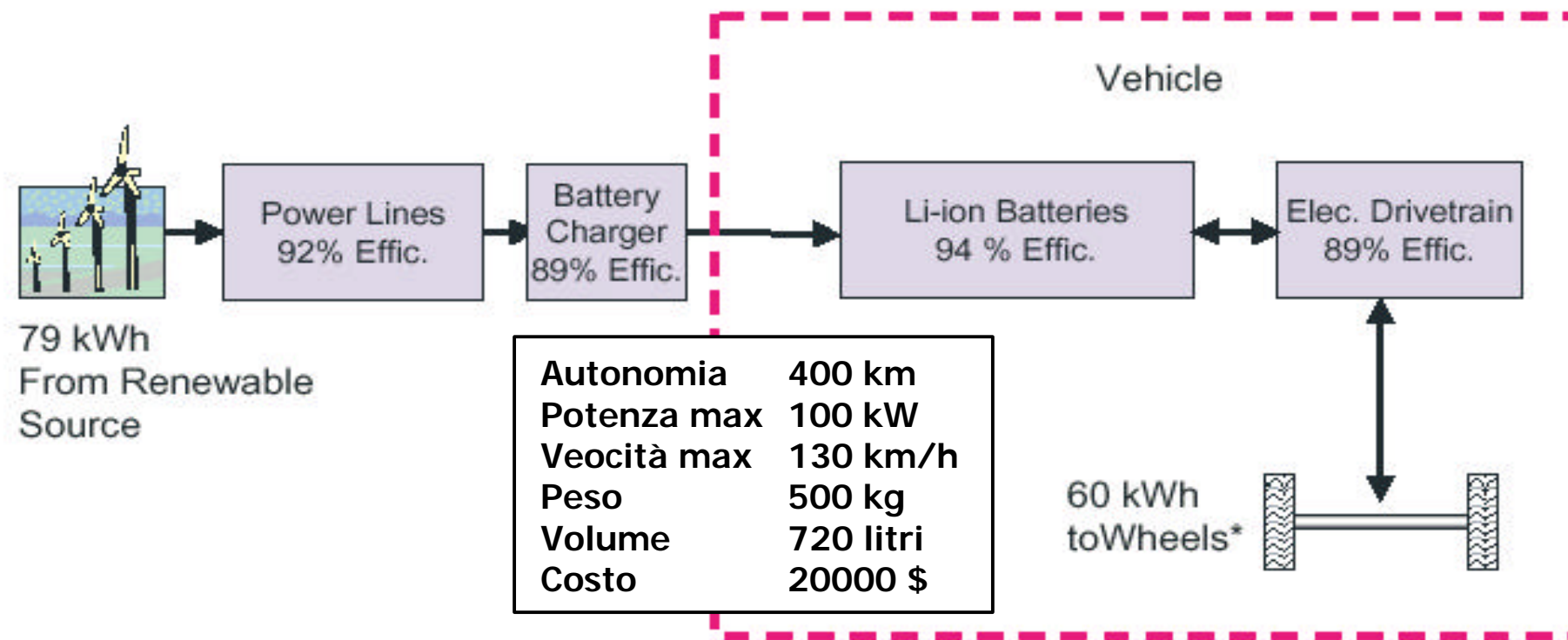
Vettore finale (elettricità)

Carica/scarica batterie a bordo auto
Conversione elettromeccanica (motore)

Usò finale (trazione dell'auto)

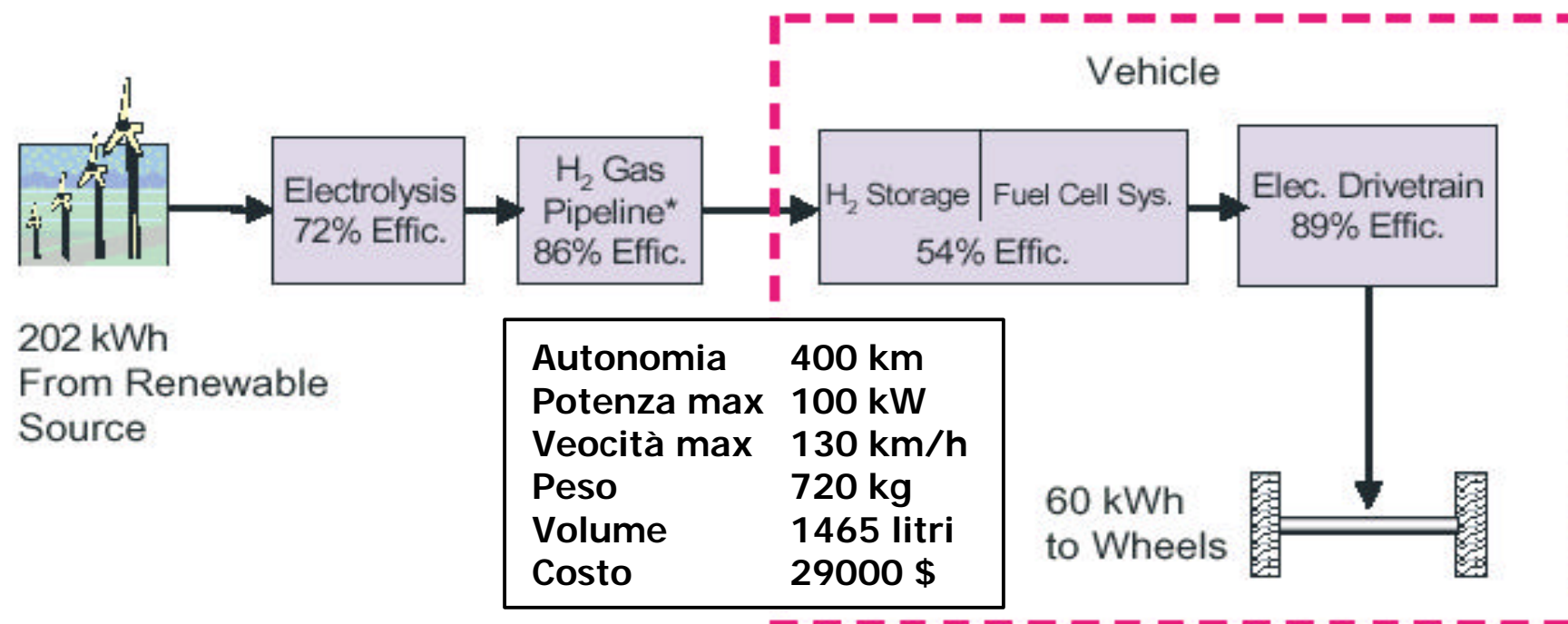
Confronto in uno scenario "tutto rinnovabile"

S. Eaves, J. Eaves / Journal of Power Sources 130 (2004) 208-212



*The BEV regeneration capability reduces the 60kWh requirement by 6kWh while achieving the same range

Fig. 1. Well-to-wheel energy pathway for battery electric vehicle.



* "Pipeline" includes losses from compression, expansion, storage and distribution

Fig. 2. Well-to-wheel energy pathway for fuel-cell vehicle.

AUTO ELETTRICA

"dalla fonte all'uso finale"

62%*

AUTO A IDROGENO

"dalla fonte all'uso finale"

27%*

*Vedi tabelle successive

Altri possibili scenari per l'autotrazione

tenuto conto di tutta la filera di processi "dalla fonte all'uso finale"

Consumo rispetto all'auto elettrica a parità di fonte

Scenario energetico	Fonte primaria	Vettore finale	A bordo auto	Tipo propulsore	$(h_e - h)/h$
Mix fonti tradizionali *Varie: Petrolio/ Gas naturale/ Carbone/ Nucleare/ Biomasse/ Solare	Varie*	Elettricità	batterie	elettrico	0%
	Petrolio	Gasolio	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+1%
	Carbone	Gasolio sintetico LD	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+7%
	Petrolio	Benzina	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+19%
	Gas Naturale	Metano compresso	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+27%
	Carbone	Gasolio sintetico FT	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+30%
	Petrolio	GPL	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+31%
	Varie*	H2 compresso da conv. termoch.	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+43%
	Gas Naturale	Metano compresso	bombole+ reformer+ f.c	elettrico (fuel cell)	+46%
	Varie*	H2 liquido da conv. termoch.	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+69%
	Petrolio	Gasolio	serbatoio	Diesel	+70%
	Petrolio	Benzina	serbatoio	a scoppio	+95%
	Carbone	Metanolo	serbatoio+ reformer+ f.c	elettrico (fuel cell)	+132%
Varie*	H2 compresso da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+156%	
Varie*	H2 liquido da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+199%	
Fonti "rinnovabili"	Idroelettrico / Solare fotovolta. / Vento / Maree	Elettricità	batterie	elettrico	0%
		H2 compresso da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+130%
		H2 liquido da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+172%

Dati di prospettiva tratti in parte da: M.A.Weiss, J.B.Heywood, A.Shafer, V.K.Natarajan, MIT report no.LFEE 2003-01 RP; F.Kreith, R.E.West, Transportation Quarterly, Vol.56, 51 (2002); S.Eaves, J.Eaves, Journal of Power Sources, Vol.130, 208 (2004).

Altri possibili scenari per l'autotrazione

tenuto conto di tutta la filera di processi "dalla fonte all'uso finale"

Consumo rispetto all'auto elettrica a parità di fonte

Scenario energetico	Fonte primaria	Vettore finale	A bordo auto	Tipo propulsore	$(h_e - h)/h$
Mix fonti tradizionali *Varie: Petrolio/ Gas naturale/ Carbone/ Nucleare/ Biomasse/ Solare	Varie*	Elettricità	batterie	elettrico	0%
	Petrolio	Gasolio	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+1%
	Carbone	Gasolio sintetico LD	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+7%
	Petrolio	Benzina	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+19%
	Gas Naturale	Metano compresso	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+27%
	Carbone	Gasolio sintetico FT	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+30%
	Petrolio	GPL	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+31%
	Varie*	H2 compresso da conv. termoch.	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+43%
	Gas Naturale	Metano compresso	bombole+ reformer+ f.c	elettrico (fuel cell)	+46%
	Varie*	H2 liquido da conv. termoch.	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+69%
	Petrolio	Gasolio	serbatoio	Diesel	+70%
	Petrolio	Benzina	serbatoio	a scoppio	+95%
	Carbone	Metanolo	serbatoio+ reformer+ f.c	elettrico (fuel cell)	+132%
Varie*	H2 compresso da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+156%	
Varie*	H2 liquido da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+199%	
Fonti "rinnovabili"	Idroelettrico / Solare fotovolta. / Vento / Maree	Elettricità	batterie	elettrico	0%
		H2 compresso da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+130%
		H2 liquido da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+172%

Dati di prospettiva tratti in parte da: M.A.Weiss, J.B.Heywood, A.Shafer, V.K.Natarajan, MIT report no.LFEE 2003-01 RP; F.Kreith, R.E.West, Transportation Quarterly, Vol.56, 51 (2002); S.Eaves, J.Eaves, Journal of Power Sources, Vol.130, 208 (2004).

Altri possibili scenari per l'autotrazione

tenuto conto di tutta la filera di processi "dalla fonte all'uso finale"

Consumo rispetto all'auto elettrica a parità di fonte

Scenario energetico	Fonte primaria	Vettore finale	A bordo auto	Tipo propulsore	$(h_e - h)/h$
Mix fonti tradizionali *Varie: Petrolio/ Gas naturale/ Carbone/ Nucleare/ Biomasse/ Solare	Varie*	Elettricità	batterie	elettrico	0%
	Petrolio	Gasolio	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+1%
	Carbone	Gasolio sintetico LD	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+7%
	Petrolio	Benzina	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+19%
	Gas Naturale	Metano compresso	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+27%
	Carbone	Gasolio sintetico FT	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+30%
	Petrolio	GPL	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+31%
	Varie*	H2 compresso da conv. termoch.	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+43%
	Gas Naturale	Metano compresso	bombole+ reformer+ f.c	elettrico (fuel cell)	+46%
	Varie*	H2 liquido da conv. termoch.	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+69%
	Petrolio	Gasolio	serbatoio	Diesel	+70%
	Petrolio	Benzina	serbatoio	a scoppio	+95%
	Carbone	Metanolo	serbatoio+ reformer+ f.c	elettrico (fuel cell)	+132%
	Varie*	H2 compresso da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+156%
Varie*	H2 liquido da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+199%	
Fonti "rinnovabili"	Idroelettrico / Solare fotovolta. / Vento / Maree	Elettricità	batterie	elettrico	0%
		H2 compresso da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+130%
		H2 liquido da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+172%

Dati di prospettiva tratti in parte da: M.A.Weiss, J.B.Heywood, A.Shafer, V.K.Natarajan, MIT report no.LFEE 2003-01 RP; F.Kreith, R.E.West, Transportation Quarterly, Vol.56, 51 (2002); S.Eaves, J.Eaves, Journal of Power Sources, Vol.130, 208 (2004).

Altri possibili scenari per l'autotrazione

tenuto conto di tutta la filera di processi "dalla fonte all'uso finale"

Consumo rispetto all'auto elettrica a parità di fonte

Scenario energetico	Fonte primaria	Vettore finale	A bordo auto	Tipo propulsore	$(h_e - h)/h$
Mix fonti tradizionali *Varie: Petrolio/ Gas naturale/ Carbone/ Nucleare/ Biomasse/ Solare	Varie*	Elettricità	batterie	elettrico	0%
	Petrolio	Gasolio	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+1%
	Carbone	Gasolio sintetico LD	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+7%
	Petrolio	Benzina	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+19%
	Gas Naturale	Metano compresso	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+27%
	Carbone	Gasolio sintetico FT	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+30%
	Petrolio	GPL	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+31%
	Varie*	H2 compresso da conv. termoch.	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+43%
	Gas Naturale	Metano compresso	bombole+ reformer+ f.c	elettrico (fuel cell)	+46%
	Varie*	H2 liquido da conv. termoch.	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+69%
	Petrolio	Gasolio	serbatoio	Diesel	+70%
	Petrolio	Benzina	serbatoio	a scoppio	+95%
	Carbone	Metanolo	serbatoio+ reformer+ f.c	elettrico (fuel cell)	+132%
	Varie*	H2 compresso da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+156%
Varie*	H2 liquido da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+199%	
Fonti "rinnovabili"	Idroelettrico / Solare fotovolta. / Vento / Maree	Elettricità	batterie	elettrico	0%
		H2 compresso da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+130%
		H2 liquido da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+172%

Dati di prospettiva tratti in parte da: M.A.Weiss, J.B.Heywood, A.Shafer, V.K.Natarajan, MIT report no.LFEE 2003-01 RP; F.Kreith, R.E.West, Transportation Quarterly, Vol.56, 51 (2002); S.Eaves, J.Eaves, Journal of Power Sources, Vol.130, 208 (2004).

Altri possibili scenari per l'autotrazione

tenuto conto di tutta la filera di processi "dalla fonte all'uso finale"

Consumo rispetto all'auto elettrica a parità di fonte

Scenario energetico	Fonte primaria	Vettore finale	A bordo auto	Tipo propulsore	$(h_e - h)/h$
Mix fonti tradizionali *Varie: Petrolio/ Gas naturale/ Carbone/ Nucleare/ Biomasse/ Solare	Varie*	Elettricità	batterie	elettrico	0%
	Petrolio	Gasolio	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+1%
	Carbone	Gasolio sintetico LD	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+7%
	Petrolio	Benzina	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+19%
	Gas Naturale	Metano compresso	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+27%
	Carbone	Gasolio sintetico FT	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+30%
	Petrolio	GPL	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+31%
	Varie*	H2 compresso da conv. termoch.	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+43%
	Gas Naturale	Metano compresso	bombole+ reformer+ f.c	elettrico (fuel cell)	+46%
	Varie*	H2 liquido da conv. termoch.	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+69%
	Petrolio	Gasolio	serbatoio	Diesel	+70%
	Petrolio	Benzina	serbatoio	a scoppio	+95%
	Carbone	Metanolo	serbatoio+ reformer+ f.c	elettrico (fuel cell)	+132%
Varie*	H2 compresso da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+156%	
Varie*	H2 liquido da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+199%	
Fonti "rinnovabili"	Idroelettrico / Solare fotovolta. / Vento / Maree	Elettricità	batterie	elettrico	0%
		H2 compresso da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+130%
		H2 liquido da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+172%

Dati di prospettiva tratti in parte da: M.A.Weiss, J.B.Heywood, A.Shafer, V.K.Natarajan, MIT report no.LFEE 2003-01 RP; F.Kreith, R.E.West, Transportation Quarterly, Vol.56, 51 (2002); S.Eaves, J.Eaves, Journal of Power Sources, Vol.130, 208 (2004).

Altri possibili scenari per l'autotrazione

tenuto conto di tutta la filera di processi "dalla fonte all'uso finale"

Consumo rispetto all'auto elettrica a parità di fonte

Scenario energetico	Fonte primaria	Vettore finale	A bordo auto	Tipo propulsore	$(h_e - h)/h$
Mix fonti tradizionali *Varie: Petrolio/ Gas naturale/ Carbone/ Nucleare/ Biomasse/ Solare	Varie*	Elettricità	batterie	elettrico	0%
	Petrolio	Gasolio	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+1%
	Carbone	Gasolio sintetico LD	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+7%
	Petrolio	Benzina	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+19%
	Gas Naturale	Metano compresso	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+27%
	Carbone	Gasolio sintetico FT	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ Diesel	+30%
	Petrolio	GPL	serbatoio + batterie	ibrido: elettr.+ a scoppio	+31%
	Varie*	H2 compresso da conv. termoch.	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+43%
	Gas Naturale	Metano compresso	bombole+ reformer+ f.c	elettrico (fuel cell)	+46%
	Varie*	H2 liquido da conv. termoch.	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+69%
	Petrolio	Gasolio	serbatoio	Diesel	+70%
	Petrolio	Benzina	serbatoio	a scoppio	+95%
	Carbone	Metanolo	serbatoio+ reformer+ f.c	elettrico (fuel cell)	+132%
Varie*	H2 compresso da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+156%	
Varie*	H2 liquido da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+199%	
Fonti "rinnovabili"	Idroelettrico / Solare fotovolta. / Vento / Maree	Elettricità	batterie	elettrico	0%
		H2 compresso da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+130%
		H2 liquido da elettrolisi	bombole + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+172%

Dati di prospettiva tratti in parte da: M.A.Weiss, J.B.Heywood, A.Shafer, V.K.Natarajan, MIT report no.LFEE 2003-01 RP; F.Kreith, R.E.West, Transportation Quarterly, Vol.56, 51 (2002); S.Eaves, J.Eaves, Journal of Power Sources, Vol.130, 208 (2004).

"L'uso dell'H₂ riduce le importazioni di combustibili"

FALSO

Se l'H₂ è prodotto da fonti fossili,

- **petrolio, gas naturale e carbone sono consumati in maggiore quantità** poiché l'efficienza complessiva del ciclo energetico è minore rispetto all'uso dell'elettricità
- producendo H₂ anziché elettricità **aumenterebbero le importazioni** di tali fonti

Se l'H₂ è prodotto da fonte nucleare, solare o rinnovabile,

- le importazioni di combustibili fossili sono ridotte
- ma lo sarebbero anche se con tali fonti si produce elettricità anziché H₂
- producendo H₂ anziché elettricità **si sfrutterebbero meno efficientemente tali fonti**

L'uso dell'idrogeno (essendo intrinsecamente meno efficiente dell'uso dell'elettricità e delle auto ibride) comporta un aumento delle importazioni di combustibili fossili

VERO

"L'H₂ è la soluzione ottimale per risolvere i problemi dello smog e dell'effetto serra"

FALSO

E' vero che l'H₂, come l'elettricità, è un vettore pulito a livello locale, ma l'impatto sull'ambiente globale dipende dalla fonte primaria usata

Se l'H₂ è prodotto da fonte fossile,

- la CO₂ è prodotta in minore quantità rispetto all'uso di benzina e gasolio in auto non ibride
- **la CO₂ (e altri inquinanti) è prodotta in maggiore quantità rispetto all'uso di auto elettriche**
- la possibilità di segregare la CO₂ prodotta non sposta il problema a favore dell'H₂ (è un'opzione anche per la produzione di elettricità)
- se l'idrogeno è prodotto localmente da metano su piccola scala, è difficile evitare emissioni di metano (gas serra 20 volte più potente della CO₂)

Se l'H₂ è prodotto da fonte nucleare, solare o rinnovabile,

- la produzione netta di CO₂ è minima
- **le scorie prodotte o gli impianti da realizzare sono in maggiore quantità rispetto all'uso di auto elettriche**

Per risolvere i problemi dello smog e ridurre le emissioni nette di gas serra è meglio un'economia basata sull'elettricità di un'economia basata sull'idrogeno (che peraltro è dubbia e improbabile anche per altri motivi)

VERO

Le celle a combustibile richiedono l' "economia a idrogeno"

FALSO

Le celle a combustibile (fuel cells) sono una delle tante tecnologie di produzione di elettricità

- nel settore civile e industriale (generazione distribuita) sono in competizione con i motori a combustione interna e le microturbine dove oltre a carichi elettrici sono presenti carichi termici e frigoriferi (cogenerazione, trigenerazione). Sono dotate di reformer alimentato a metano e non richiedono distribuzione di idrogeno.
- nel settore autotrazione sono meno efficienti (come visto) rispetto alle auto ibride ed elettriche, ma possono avere ugualmente un ruolo complementare se alimentate in modo da non richiedere infrastrutture di produzione e distribuzione dell'idrogeno gassoso o liquido

Le vetture a celle a combustibile non richiedono un' economia a idrogeno

- possono operare con reformer a bordo da metano, metanolo, biodiesel e altri idrocarburi liquidi molto più economici e maneggiabili dell'idrogeno compresso o liquido
- potranno forse operare anche con altri vettori energetici liquidi in corso di studio mediante trattamento a bordo di idruri di litio o altri metalli, ammoniaca, toluene o altri composti chimici idrogenati

"Cella a combustibile" non è sinonimo di "idrogeno"

VERO

“Economia a idrogeno”? ...un miraggio!

Un'economia energetica basata su produzione, accumulo e distribuzione del **vettore idrogeno per l'autotrazione** è l'opzione più sostenibile?
(minimo consumo di fonti primarie a parità di energia erogata per l'uso finale)

- **NO** se l' H_2 è prodotto da fonti fossili (o nucleare per termoscissione dell' H_2O), perché l'auto a H_2 :
 - consumerebbe più energia primaria dell'opzione auto elettrica (almeno +40%);
 - produrrebbe più gas serra dell'opzione auto elettrica (almeno +40%).
- **NO**, a maggior ragione, se l' H_2 è prodotto con elettricità ottenuta da fonti rinnovabili (solare, eolica, maree, biomasse) o dal nucleare, perché l'auto a H_2 :
 - consumerebbe più energia primaria dell'opzione auto elettrica (almeno +130%).
- **NO**, perché l'auto a H_2 :
 - richiederebbe nuove infrastrutture molto costose (gasdotti, stazioni rifornimento), mentre l'auto elettrica può disporre della rete elettrica già diffusa capillarmente;
 - richiederebbe misure di sicurezza e rischi molto maggiori dell'uso dell'elettricità.

Meglio l'elettricità dell'idrogeno

L'unico ragionevole utilizzo dell'idrogeno sarebbe per far penetrare alcune fonti energetiche (rinnovabili, nucleare e carbone), ora quasi precluse, nel settore trasporti. Ma:

- A livello di trasporti urbani la produzione di **energia elettrica** e l'uso dell'**auto elettrica** è l'opzione più concorrenziale (la meno energivora).
- A livello di trasporti interurbani (lunghe distanze) l'alternativa è la più semplice produzione con il carbone di altri combustibili molto più facilmente maneggevoli (**benzine sintetiche, metanolo ed etanolo**).

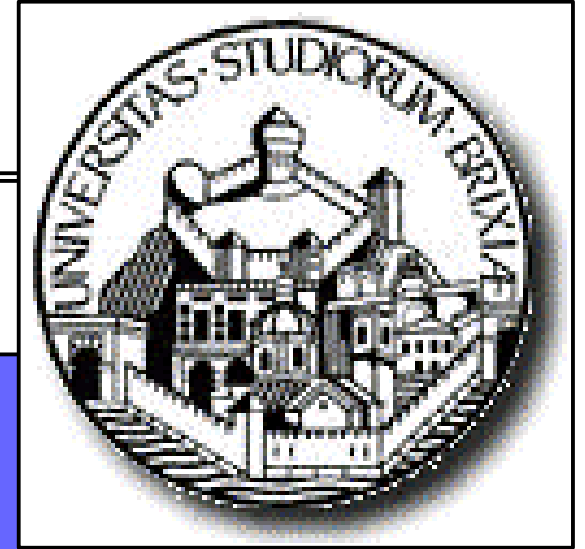
Alcune opzioni praticabili e sostenibili nel breve termine

- Diffusione e sviluppo delle **auto ibride**
- Diffusione e sviluppo delle **auto elettriche a batteria**
- Produzione di **gasoli sintetici** (Fischer-Tropsch, liquefaz.diretta)
 - da carbone, gas naturale, biomasse, nucleare
- Maggiore raffinazione (**idrogenazione**) di **benzina e gasolio**
 - è un uso sostenibile dell'idrogeno prodotto centralmente
 - consente di ridurre l'attuale 30% di composti aromatici
 - consente il recupero di residui pesanti di raffinazione (idrocracking)
- **Imporre maggiori livelli di efficienza dei propulsori**
 - gipponi (SUV), camion leggeri, pick-up, etc.
- **Eliminare il sostegno a tecnologie e soluzioni non sostenibili** anche se hanno risonanza popolare e sostegno di lobbies potenti
- **Rendere le tariffe dell'energia più trasparenti**
 - liberarle da tasse generiche, ma...
 - ...gravarle di tutti i costi esterni, compresi quelli ambientali e della ricerca
 - non è detto che ciò faccia diminuire i prezzi ... ma se mercato libero deve essere...

Complessità, informazione, cultura e ...

- non sottovalutare la **complessità del problema energetico**
- riconoscere la **disinformazione** e spezzarne la catena
- diffidare delle affermazioni tecniche dei non addetti ai lavori
- diffidare di chi propone un'unica soluzione come la panacea di tutti i mali
- non sperperare risorse su tecnologie e infrastrutture non sostenibili
- differenziare e strutturare gli investimenti nella ricerca tecnologica
- i politici si consultino con tecnici esperti e imparziali prima di decidere
- le aziende assumano ingegneri che conoscono i problemi dell'energetica

... formazione universitaria



Corso di **Laurea**
in Ingegneria Meccanica

Curriculum Energia

UNIVERSITÀ DI BRESCIA
FACOLTÀ di INGEGNERIA

Corso di **Laurea Specialistica**
in Ingegneria Meccanica

Curriculum Energia

“Sviluppo sostenibile”

L' idrogeno può avere un ruolo nell' autotrazione urbana?

- l' idrogeno è un vettore energetico, **come elettricità**, benzina, gasolio, GPL
- usato per l' autotrazione non produce inquinanti, **come l' elettricità**
- **non è una fonte primaria di energia:**
 - non ci sono molecole libere di H₂ sulla Terra!
- può essere prodotto artificialmente, **come l' elettricità**, per usarlo come vettore energetico, ma

rispetto all' autotrazione elettrica, a parità di benefici, comporta maggiori rischi e costi, e un **maggiore consumo di fonti primarie di energia**