

“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”



“Sviluppo sostenibile”

Il vettore idrogeno può avere un ruolo?

- L'idrogeno **non è una fonte primaria di energia**: non ci sono molecole libere di H_2 sulla Terra.
- Può essere generato artificialmente, **come l'elettricità**, per usarlo come **vettore energetico**, ma **a parità di benefici comporta maggiori consumi di fonti primarie.**
- Per dimostrare la sostenibilità energetica e ambientale occorre **considerare tutto il ciclo di vita dell'energia**: **dalla fonte primaria all'uso finale** (“from well to wheel”)

Per altre considerazioni vedi: “Vero e falso sull'idrogeno” al sito

<http://www.ing.unibs.it/~beretta>

Confronto (fonte primaria: gas naturale)

AUTO A IDROGENO

"dalla fonte primaria
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)

Uso finale (trazione dell'auto)

AUTO ELETTRICA

"dalla fonte primaria
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.

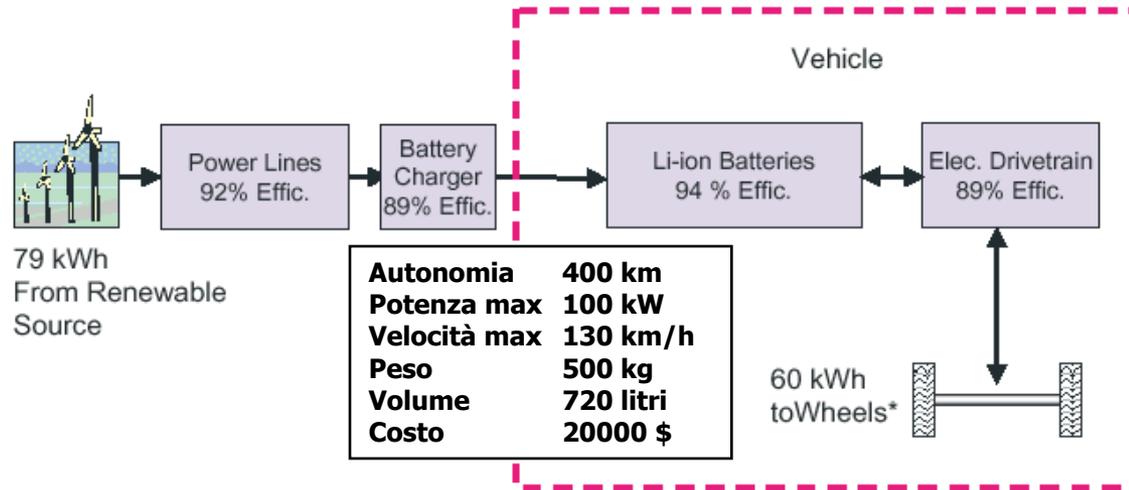
Vettore finale (elettricità)

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

Uso finale (trazione dell'auto)

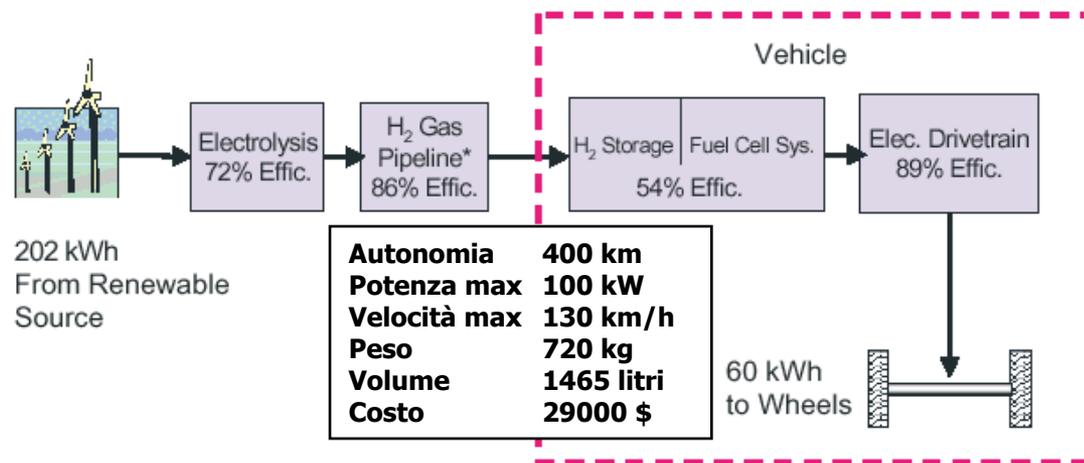
Confronto in uno scenario "tutto rinnovabile"

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%*

Possibili filiere per l'autotrazione

"dalla fonte primaria all'uso finale"

Consumo rispetto all'auto elettrica a parità di fonte

Scenario energetico	Fonte primaria	Vettore finale	A bordo auto	Tipo propulsore	$(\eta_e - \eta)/\eta$
Mix fonti tradizionali	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 H2 + 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 H2 + 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 H2 + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+156%
Varie*	H2 liquido da elettrolisi	bombole H2 + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+199%	
Fonti "rinnovabili"	Idroelettrico /	Elettricità	batterie	elettrico	0%
	Solare fotovolta. /	H2 compresso da elettrolisi	bombole H2 + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+130%
	Vento / Marea	H2 liquido da elettrolisi	bombole H2 + fuel cell	elettrico (fuel cell)	+172%

Assunto $\eta_{griglia} = 90\%$. Dati η' e η'' 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).

* Varie = Petrolio / Carbone / Gas naturale / Nucleare / Biomasse / Solare termico

“Idrogeno vettore del futuro”?

Economia a idrogeno = un'economia energetica basata su produzione, accumulo e distribuzione del **vettore idrogeno**

Economia attuale = un'economia energetica basata su produzione, accumulo e distribuzione del **vettore elettricità** e di un **mix di vettori combustibili per riscaldamento, usi industriali e trazione stradale, navale e aerea**

Per competere con gli attuali vettori energetici, un nuovo vettore deve avere la potenzialità teorica per costituire un'opzione più sostenibile

Un'opzione è “più sostenibile” se comporta un minor consumo di fonti primarie a parità di energia erogata per l'uso finale

“Idrogeno vettore del futuro”? ...un miraggio!

Rispetto al vettore elettricità, per l'autotrazione urbana a impatto ambientale minimo, il vettore idrogeno ha veramente la potenzialità per diventare l'opzione più sostenibile?

(minor consumo di fonti primarie a pari energia erogata per l'uso finale)

- **NO** se l'H₂ è prodotto da fonti fossili (o nucleare per termoscissione dell'H₂O), perché l'auto a H₂:
 - consumerebbe più energia primaria dell'opzione auto elettrica o ibrida (almeno +40%);
 - produrrebbe anche più gas serra dell'opzione auto elettrica o ibrida (almeno +40%).
- **NO**, a maggior ragione, se l'H₂ è prodotto con elettricità ottenuta da fonti rinnovabili (solare, eolica, maree, biomasse) o dal nucleare, perché l'auto a H₂:
 - consumerebbe più energia primaria dell'opzione auto elettrica (almeno +130%).
- **NO**, anche perché l'auto a H₂:
 - 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.

“Idrogeno vettore del futuro”? ...un miraggio!

PRECISAZIONE

Quanto sopra NON è un NO allo sviluppo di:

- celle a combustibile con reformer per usi stazionari
- celle a combustibile per cicli ibridi combinati di generazione e cogenerazione
- reforming e ossidazione parziale dei combustibili
- uso del carbone o heavy oil per sintesi di vettori liquidi o gas, eventualmente con H₂ come composto intermedio in situ
- altre tecnologie energetiche di tipo chimico-fisico-elettrochimico

queste tecnologie sono promettenti per il futuro perché hanno il potenziale teorico di ridurre le irreversibilità tipiche e inevitabili della combustione tradizionale “in fiamma” ma non hanno nessuna relazione con l’uso dell’idrogeno come vettore !!

“Idrogeno vettore di... disinformazione!”

IDROGENO, DISINFORMAZIONE, IPOCRISIA e FALSE SPERANZE

- “Celle a combustibile” non è sinonimo di “idrogeno” (l’equivoco è causa grave di disinformazione verso popolazione, media, decision makers politici e provoca aberrazioni nei finanziamenti di ricerca e sviluppo)
- In quasi tutte le attività “targate H2” (convegni, ricerche, articoli scientifici, progetti) di fatto ci si occupa di Celle a Combustibile !!
- Stop all’alimentazione della falsa speranza che l’H2 come vettore possa avere un ruolo nella mitigazione dei problemi energetici e ambientali futuri

Sviluppo sostenibile nell'autotrazione urbana 'a inquinamento zero'?

An illustration showing two stylized figures riding bicycles. The figure on the left is wearing a green suit and is riding a red gear. The figure on the right is wearing a red suit and is riding a green gear. The gears are interlocking and are set against a background of a warm, orange-to-yellow gradient. The overall style is simple and graphic.

**Meglio l'elettricità
dell'idrogeno...**

**Meglio le auto elettriche e ibride
delle auto a idrogeno**

...meno energivore in ogni plausibile scenario energetico

Autotrazione interurbana 'senza petrolio'?

Meglio GPL, metano, benzine sintetiche (da carbone o altri idrocarburi) **dell'idrogeno**

Sviluppo sostenibile?

**Meglio l'elettricità
dell'idrogeno...**

...meno energivora e quindi globalmente meno inquinante
...anche a lungo termine per le rinnovabili



Come ridurre l'inquinamento nei centri fortemente antropizzati?

- Per l'autotrazione, limitatamente ai centri urbani considerati a rischio:
 - imporre standard di emissioni ragionevoli e differenziati per tipo di veicolo, e farli rispettare rigorosamente a tutti i veicoli che vi accedono (controlli capillari);
 - incentivare la transizione a mobilità urbana elettrica (già possibile con i veicoli ibridi);
 - cominciare dalle flotte dei trasporti e servizi municipali;
 - abbandonare l'idea (insostenibile) di sviluppare infrastrutture di distribuzione dell'H₂;
 - finanziare invece la ricerca e lo sviluppo delle soluzioni effettivamente più sostenibili:
 - **vetture ibride a carburanti tradizionali o sintetici**
 - migliorare autonomia solo elettrica
 - migliorare recupero energia di frenata
 - **vetture solo elettriche**
 - nuove batterie leggere/supercondensatori/polimeri/altre tecnologie
 - metodi di gestione ottimale durata batterie
 - metodi e infrastrutture di ricarica/sostituzione rapida
 - (in futuro) anche vetture a celle a combustibile, ma non a idrogeno, bensì con reformer a bordo di metanolo, metano, combustibili sintetici, ammoniaca...
- Per il riscaldamento e altri usi:
 - incentivare e sviluppare reti di teleriscaldamento (e teleraffreddamento);
 - eliminare riscaldamento a gasolio e a gas nei centri urbani a rischio (accettare i maggiori costi di pompe di calore elettriche, e fornelli elettrici);
 - ma, per favore, un po' di elasticità: non chiudiamo i forni a legna per la pizza!



Grazie dell'attenzione e arrivederci !

**Questa presentazione e altro materiale disponibili al sito:
<http://www.ing.unibs.it/~beretta>**

E-mail: beretta@ing.unibs.it

Altre possibili filiere per l'autotrazione

"dalla fonte al vettore finale"

<i>Fonte primaria</i>		<i>Vettore finale</i>	η'
Petrolio		benzina	88%
		gasolio	86%
		GPL	80%
Gas naturale		metano compresso	83%
Carbone		metanolo	58%
		gasolio sintetico FT	66%
		gasolio sintetico LD	80%
Petrolio/Carbone/ Gas naturale/ Nucleare/ Biomasse/ Solare termico		elettricità	51%
	H ₂ da conv. termoch.	compresso	55%
		liquido	46%
	H ₂ da elettrolisi	compresso	31%
		liquido	26%
	H ₂ da elettrolisi	compresso	62%
liquido		52%	
	elettricità	92%	
Idroelettrico/ Solare fotovolta./ Vento/Maree			

Altre possibili filiere per l'autotrazione

"dalla fonte al vettore finale"

<i>Fonte primaria</i>	<i>Processi caratterizzanti la filiera</i>	<i>Vettore finale</i>	η'	
Petrolio	raffinazione+distillazione+idrogenazione	benzina	88%	
		gasolio	86%	
		GPL	80%	
Gas naturale	purificazione+compressione	metano compresso	83%	
Carbone	gassif.+liquefazione catalizzata	metanolo	58%	
	gassif.+liquefaz.indiretta (Fischer-Tropsch)	gasolio sintetico FT	66%	
	gassificazione+liquefazione diretta (LD)	gasolio sintetico LD	80%	
Petrolio/Carbone/ Gas naturale/ Nucleare/ Biomasse/ Solare termico	conv. termoelettrica +elettrodotti	elettricità 51%		
	conv. termochimica (reforming, oss.parziale, pirolisi, gassif.)+compress./liquefaz.+trasp.	H ₂ da conv. termoch.	compresso	55%
			liquido	46%
	conv. termoelettrica + elettrolisi +compressione+trasporto	H ₂ da elettrolisi	compresso	31%
			liquido	26%
Idroelettrico/ Solare fotovolta./ Vento/Maree	conversione in elettricità+ elettrolisi +compress.+trasporto	H ₂ da elettrolisi	compresso 62%	
			liquido 52%	
	conv. in elettricità+inverter+elettrodotta	elettricità 92%		

Altri possibili scenari per l'autotrazione

"dalla fonte al vettore finale"

<i>Fonte primaria</i>	<i>Vettore finale</i>	η'	
Petrolio	benzina	88%	
	gasolio	85%	
	GPL	80%	
Gas naturale	metano compresso	83%	
Carbone	metanolo	58%	
	gasolio sintetico FT	66%	
	gasolio sintetico LD	80%	
Petrolio/Carbone/ Gas naturale/ Nucleare/ Biomasse/ Solare termico	elettricità		51%
	H ₂ da conv. termoch.	compresso	55%
		liquido	46%
	H ₂ da elettrolisi	compresso	31%
		liquido	26%
Idroelettrico/ Solare fotovolta./ Vento/Maree	H ₂ da elettrolisi	compresso	62%
		liquido	52%
	elettricità		92%

Altri possibili scenari per l'autotrazione

"dalla fonte al vettore finale"

<i>Fonte primaria</i>	<i>Vettore finale</i>		η'	<i>A bordo auto</i>	<i>Tipo propulsore</i>	η''
Petrolio	benzina		88%	serbatoio	a scoppio	22%
				serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+a scoppio	36%
	gasolio		85%	serbatoio	Diesel	26%
				serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+Diesel	44%
	GPL		80%	serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+a scoppio	36%
				serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+a scoppio	36%
Gas naturale	metano compresso		83%	serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+a scoppio	36%
				bombole+reformer+f.c	elettrico (fuel cell)	31%
Carbone	metanolo		58%	serbatoio+reformer+f.c	elettrico (fuel cell)	28%
	gasolio sintetico FT		66%	serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+Diesel	44%
	gasolio sintetico LD		80%	serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+Diesel	44%
Petrolio/Carbone/ Gas naturale/ Nucleare/ Biomasse/ Solare termico	elettricità		51%	batterie	elettrico	74%
	H ₂ da conv. termoch.	compresso	55%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%
		liquido	46%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%
	H ₂ da elettrolisi	compresso	31%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%
		liquido	26%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%
	Idroelettrico/ Solare fotovolta./ Vento/Maree	H ₂ da elettrolisi	compresso	62%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)
liquido			52%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%
elettricità		92%	batterie	elettrico	74%	

Altri possibili scenari per l'autotrazione

"dalla fonte al vettore finale"

<i>Fonte primaria</i>	<i>Vettore finale</i>		η'	<i>A bordo auto</i>	<i>Tipo propulsore</i>	η''	$\eta'\eta''\eta_{\text{grigia}}$
Petrolio	benzina		88%	serbatoio	a scoppio	22%	17%
				serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+a scoppio	36%	29%
	gasolio		85%	serbatoio	Diesel	26%	20%
				serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+Diesel	44%	34%
	GPL		80%	serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+a scoppio	36%	26%
	Gas naturale	metano compresso		83%	serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+a scoppio	36%
			bombole+reformer+f.c		elettrico (fuel cell)	31%	23%
Carbone	metanolo		58%	serbatoio+reformer+f.c	elettrico (fuel cell)	28%	15%
	gasolio sintetico FT		66%	serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+Diesel	44%	26%
	gasolio sintetico LD		80%	serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+Diesel	44%	32%
Petrolio/Carbone/ Gas naturale/ Nucleare/ Biomasse/ Solare termico	elettricità		51%	batterie	elettrico	74%	34%
	H ₂ da conv. termoch.	compresso	55%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%	24%
		liquido	46%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%	20%
	H ₂ da elettrolisi	compresso	31%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%	13%
		liquido	26%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%	11%
	Idroelettrico/ Solare fotovolta./ Vento/Maree	H ₂ da elettrolisi	compresso	62%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%
liquido			52%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%	23%
elettricità		92%	batterie	elettrico	74%	62%	

Altri possibili scenari per l'autotrazione

"dalla fonte al vettore finale"

Consumo rispetto all'auto elettrica a parità di fonte

Fonte primaria	Vettore finale		η'	A bordo auto	Tipo propulsore	η''	$\eta'\eta''\eta_{griglia}$	$(\eta_e - \eta)/\eta$
Petrolio	benzina		88%	serbatoio	a scoppio	22%	17%	+95%
				serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+a scoppio	36%	29%	+19%
	gasolio		85%	serbatoio	Diesel	26%	20%	+70%
				serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+Diesel	44%	34%	+1%
GPL		80%	serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+a scoppio	36%	26%	+31%	
Gas naturale	metano compresso		83%	serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+a scoppio	36%	27%	+27%
				bombole+reformer+f.c	elettrico (fuel cell)	31%	23%	+46%
Carbone	metanolo		58%	serbatoio+reformer+f.c	elettrico (fuel cell)	28%	15%	+132%
	gasolio sintetico FT		66%	serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+Diesel	44%	26%	+30%
	gasolio sintetico LD		80%	serbatoio+batterie	ibrido: elettr.+Diesel	44%	32%	+7%
Petrolio/Carbone/ Gas naturale/ Nucleare/ Biomasse/ Solare termico	elettricità		51%	batterie	elettrico	74%	34%	0%
	H ₂ da conv. termoch.	compresso	55%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%	24%	+43%
		liquido	46%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%	20%	+69%
	H ₂ da elettrolisi	compresso	31%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%	13%	+153%
		liquido	26%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%	11%	+199%
Idroelettrico/ Solare fotovolta./ Vento/Maree	H ₂ da elettrolisi	compresso	62%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%	27%	+130%
		liquido	52%	bombole+fuel cell	elettrico (fuel cell)	48%	23%	+172%
	elettricità		92%	batterie	elettrico	74%	62%	0%

Assunto $\eta_{griglia} = 90\%$. Dati η' e η'' 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.10, 199 (1995).