



fonte: W. Ivancev 2013

CHIMICA & ECOLOGIA



Idrogeno come fonte di energia chimica per macchine



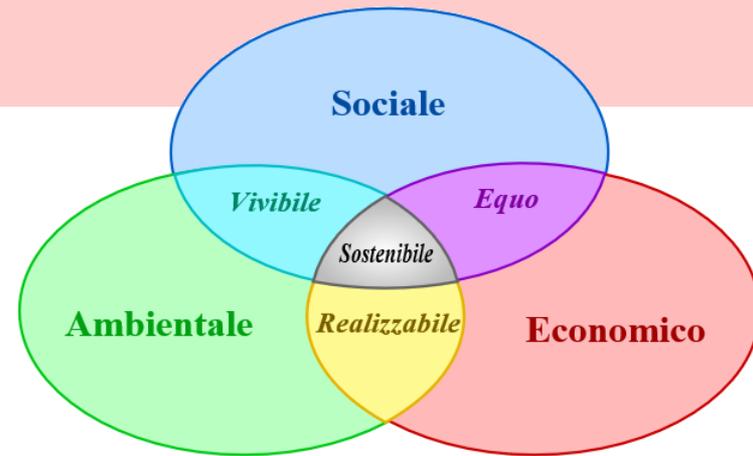
Prof. Wlady Ivancev
2020

Ecologia: temi di chimica da abbinare

- Temi dal programma di chimica della MPT: tipi di composti chimici (ossidi covalenti e formazione di ossiacidi, piogge acide), reazioni chimiche, reazioni di combustione e redox in generale, energia di reazione e di legame, fonti di energia chimica, inquinamento (effetti di certe sostanze nocive).



Ecologia: temi in relazione



- **risorse naturali:** risorse idriche, energetiche, alimentari che esistono senza azione umana;
- **inquinamento:** emissioni nocive da attività umana
- **cicli naturali:** acqua, Carbonio, Azoto, Fosforo ecc, scambi tra le varie ecosfere, effetti di sviluppo negative, equilibri e bilanci di massa/energia;
- **clima locale e planetario, cambiamenti climatici:** riscaldamento dell'atmosfera, gas effetto serra, acidificazione dei mari, desertificazione, incendi, uragani, fusione dei ghiacciai;
- **crisi ecologiche:** cambiamenti ambientali che mettono in pericolo la sopravvivenza continua di popolazioni, disastri naturali; sembra che solo una tale serie può indurre un cambiamento nel comportamento umano;
- **flussi di materia ed energia in un ambiente;**



Sostenibilità: idrogeno come combustibile per il trasporto

- Trasporto di merci e persone, pubblico e privato.
- Popolazione mondiale nel 2020: **7.76 miliardi**.
- Motori a combustione interna ca. **1 miliardo** (2011): benzina, diesel, gas, alcol.
- Emissioni di sostanze nocive: **CO & CO₂, NO_x, SO₂, benzene** e altri **VOCs**.
- Combustibili di origine **fossile**, non rinnovabili in tempi umani tramite cicli naturali.
- Cambiamento climatico con catastrofi, in parte dovuto all'**effetto serra** delle emissioni.



Sostenibilità: combustibili



Energia: fonti tradizionali, fossili



Energia: fonti rinnovabili e non



Sostenibilità: potere calorifico ed indice EPI di combustibili

- Il potere calorifico (massima energia ricavabile tramite combustione) e l'impatto ambientale misurato in grammi di CO₂ emessi per ogni MJ fornito.

combustibile	potere calorifico medio	indice EPI per l'impatto ambientale
UO ₂ (3% di U-235)	2 070 000 MJ/kg	66*
legna secca	18.5	94
carbone	33.5	1000
diesel	45.8	778
benzina	44.8	85
gas naturale	51.0	50
idrogeno	131.0	0
biodiesel	38.0	230
etanolo	28.0	60

* 457 centrali nucleari in 31 paesi (2018), 123 incidenti per 638 G\$ di costi dal 1950 al 2018.



Sostenibilità: idrogeno come combustibile per il trasporto

- Varie idee per cambiare la tecnica dei trasporti: motori elettrici (a batterie di litio oppure a celle combustibili) ed ibridi (benzina-elettrico), pochi esempi di combustione interna d'idrogeno.
- Una possibilità è l'uso di un combustibile legato a un altro ciclo naturale del pianeta, quello dell'acqua (i combustibili fossili sono collegati con il ciclo del Carbonio).



Sostenibilità: idrogeno come combustibile per il trasporto

- Idrogeno (H_2): è un ottimo combustibile, ma non è disponibile in natura (sul nostro pianeta) allo stato puro, va ricavato o dal petrolio (come si fa oggi) o dall'acqua.
- Dati fisici: gas in condizioni normali ($25^\circ C$, 1 atm), fusione a $-259.16^\circ C$, ebollizione a $-252.879^\circ C$, densità 0.08988 g/L (gas) e 0.07099 g/mL (liquido), punto triplo 13.8033 K, 7.041 kPa, punto critico 32.938 K, 1.2858 MPa.
- Proprietà chimiche: estremamente infiammabile, nell'aria spontaneamente a $500^\circ C$, per formare acqua, liberando 286 kJ/mol.
 - Equazione: $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2 H_2O(l)$
- Produzione:
 - **elettrolisi dell'acqua**
 - reforming del vapore ($CH_4 + H_2O$)
 - CO o Carbonio + acqua
 - metalli + acido
 - termodecomposizione catalizzata dell'acqua

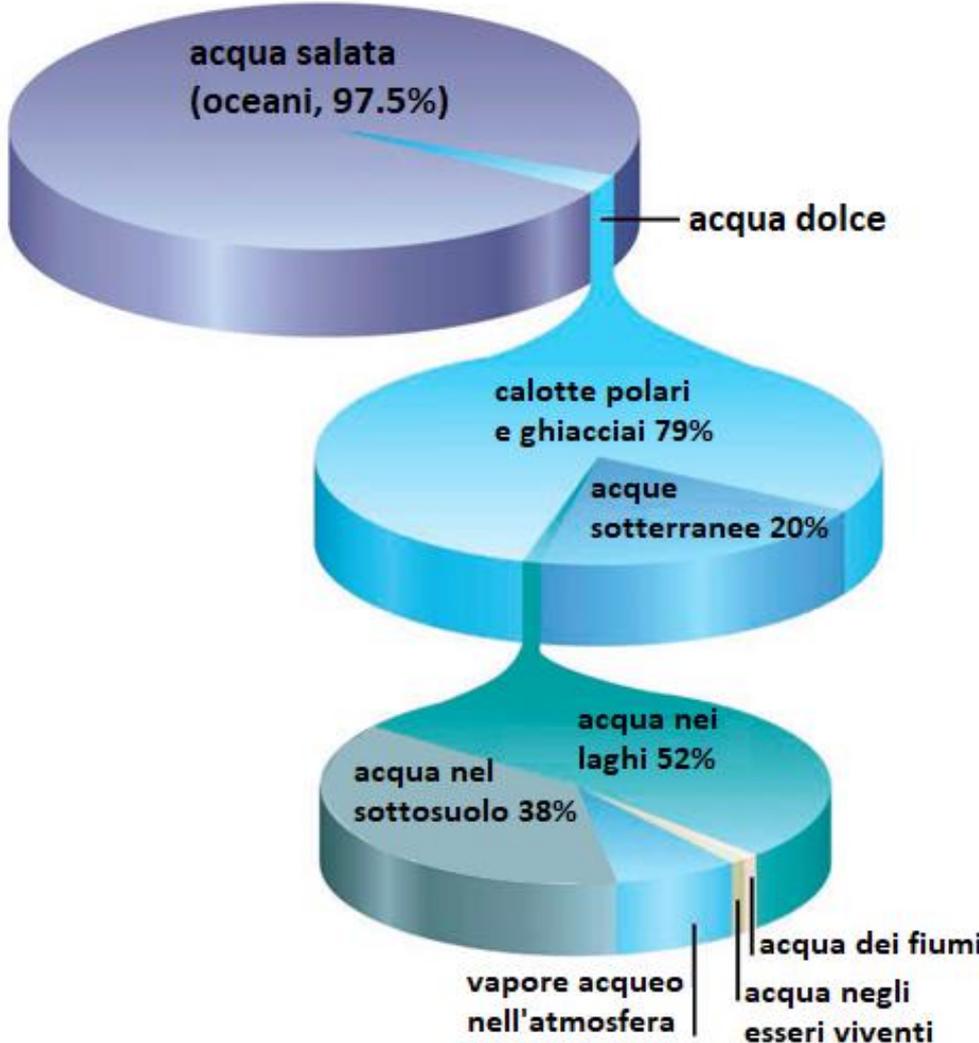


Sostenibilità: l'acqua sul pianeta, ciclo

- L'acqua sul pianeta: abbondante ma distribuita in modo asimmetrico.
- In totale $1.26 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$, di cui 97-98% nei mari (acqua salata al 3-4%!); 2-3% acqua dolce di cui 70% nelle calotte polari e solo 1% pronta all'uso da parte dell'umanità, la crosta terrestre potrebbe contenere 10 volte di più dell'acqua marina; dell'acqua dolce 0.36% nelle falde freatiche, 0.36% in fiumi e laghi e stagni, per il resto nelle nubi e negli esseri viventi.
- Il ciclo dell'acqua riguarda ca. $1.15 \cdot 10^{14} \text{ m}^3$ presenti ogni anno nell'atmosfera di cui il 26% dall'evaporazione degli oceani, il 2% dall'evaporazione degli specchi di acqua dolce, il 4% da quella del suolo e 48% dalla traspirazione dei viventi.
- Nella precipitazione il 20% rievapora, l'80% cade sulla terra di cui il 63% viene bloccato nelle piante (che poi l'11% lo rilasciano nel terreno) e solo il 17 finisce mobile in superficie.

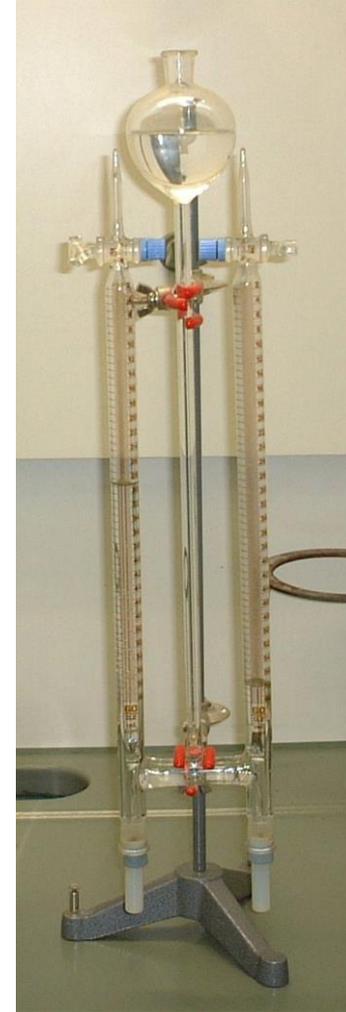


Sostenibilità: l'acqua sul pianeta, ciclo

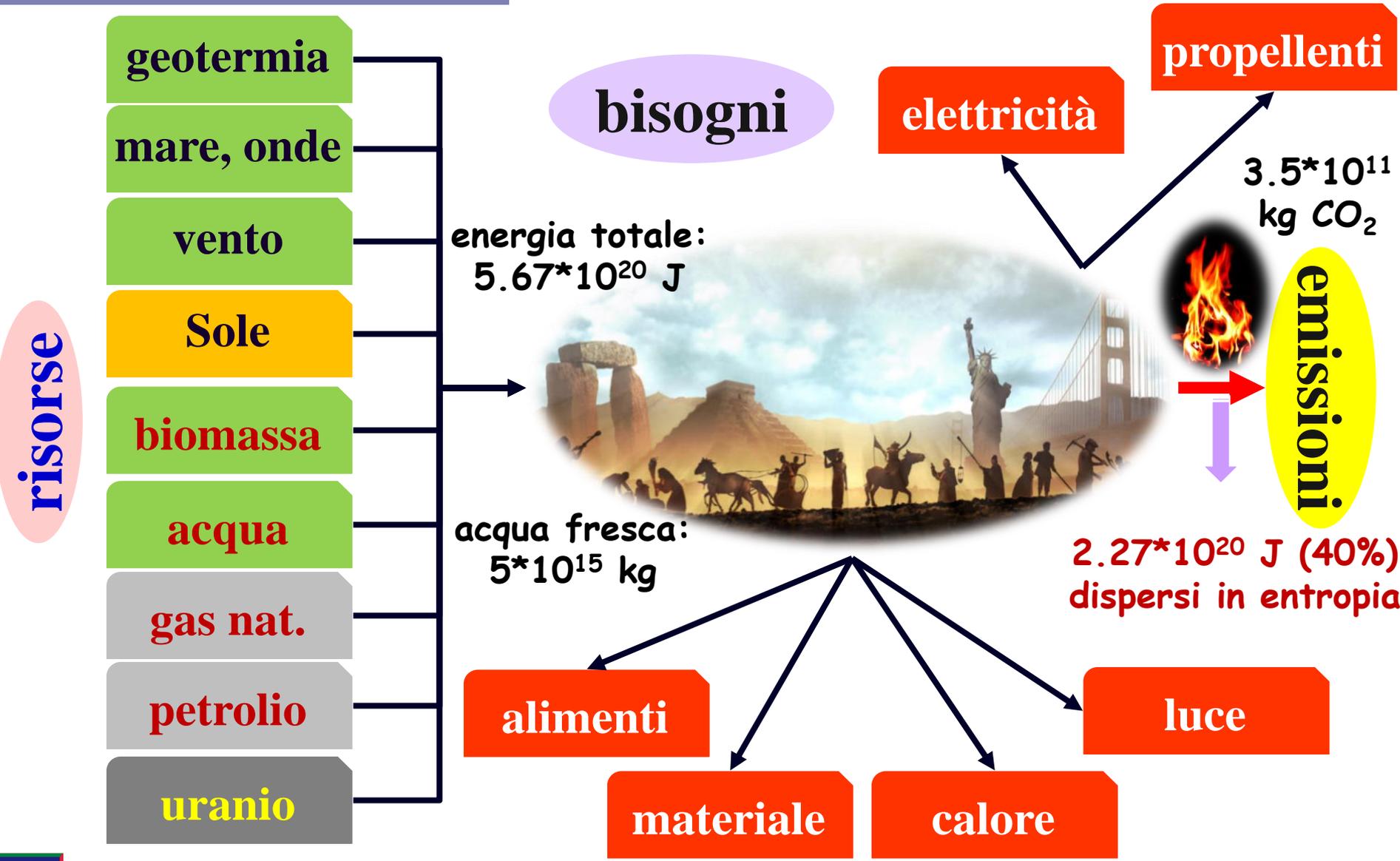


Sostenibilità: produzione di idrogeno dall'acqua

- Un team di ricercatori della Stanford ha migliorato l'elettrolisi dell'acqua marina ricoprendo l'anodo della cella elettrolitica con una miscela di idrossidi di ferro e nickel e con solfuro di nickel, per avere 1000 h di funzionamento prima della corrosione.
- Un motore ad idrogeno richiede 4-7 kg di H_2 per ca. 300 km di autonomia (35 km/kg di combustibile), con una distanza media percorsa di 30-50 km/giorno, cioè una settimana lavorativa.
- Per 1 anno: 360-370 kg/veicolo, allora **364 miliardi di kg**, arrotondiamo a 500 miliardi per consumi superiori alla media.
- Da 1 L di acqua si ricava al massimo l'11% d'idrogeno, quindi 111 g, allora servirebbero ogni anno **$4.5 \cdot 10^{12}$ L** di acqua marina, cioè **$4.5 \cdot 10^9$ m³**, paragone con il Lago Verbano (37.5 miliardi di m³ d'acqua) o con il Lago di Vogorno (85.5 milioni di m³).



Sostenibilità: schema «rinnovabili» e non, emissioni 2015-17

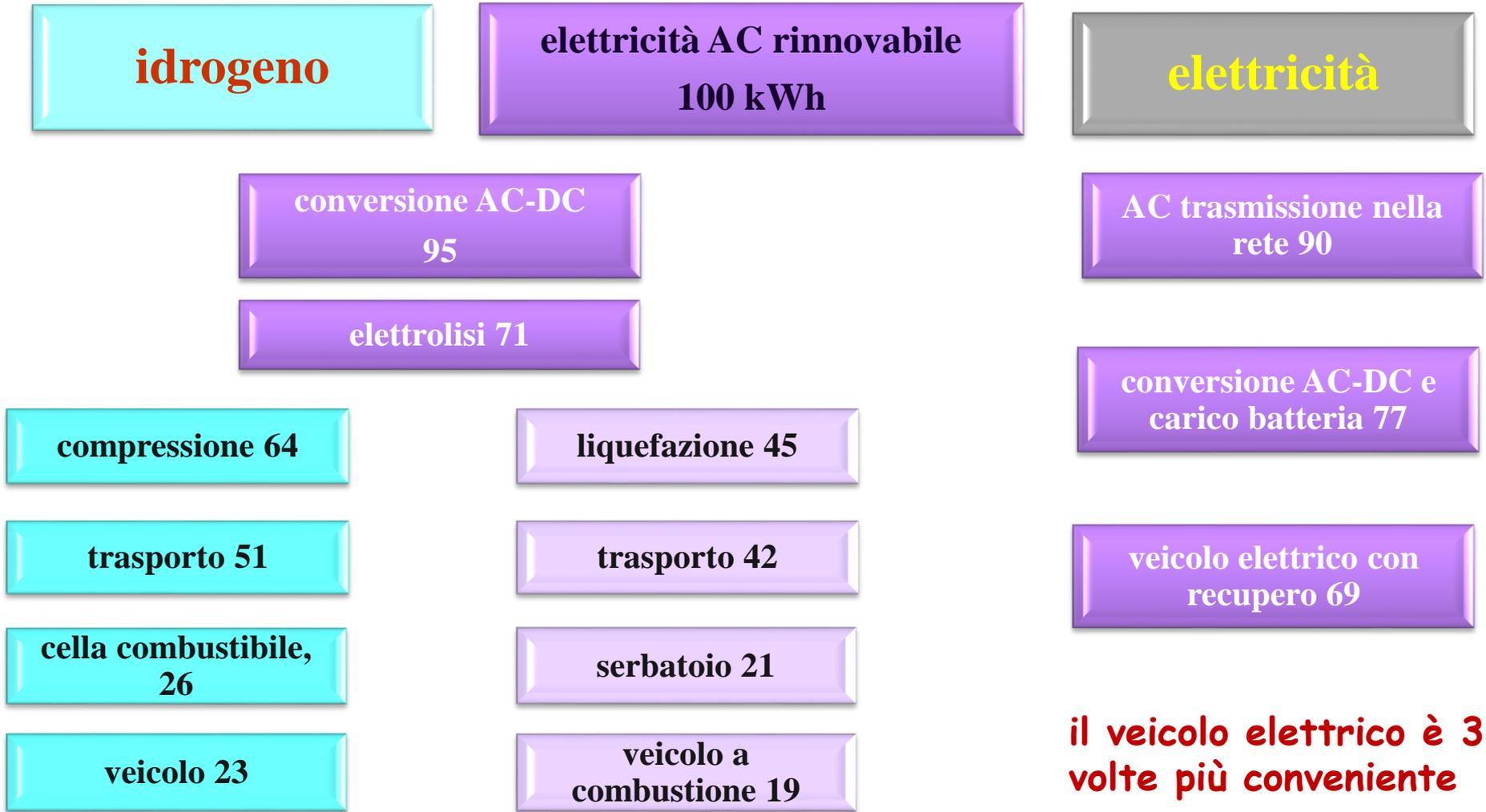


Sostenibilità: bilancio annuale

- Consumo totale di energia: $5.67 \cdot 10^{20}$ J
- Emissioni: $3.5 \cdot 10^{11}$ kg CO_2 e altri gas per $1 \cdot 10^{10}$ kg
- **Variazione di entropia (ΔS)** per l'emissione di CO_2 : $1.0 \cdot 10^{17}$ J/K che, alle temperature medie delle combustioni da 2000°C , equivale a $2.27 \cdot 10^{20}$ J dispersi, cioè il **40%** del consumo!
- L'unica combustione che ha una variazione d'entropia negativa è quella dell'idrogeno, promette migliore efficienza!



Energia: costo dell'economia all'idrogeno, confronto (kWh)

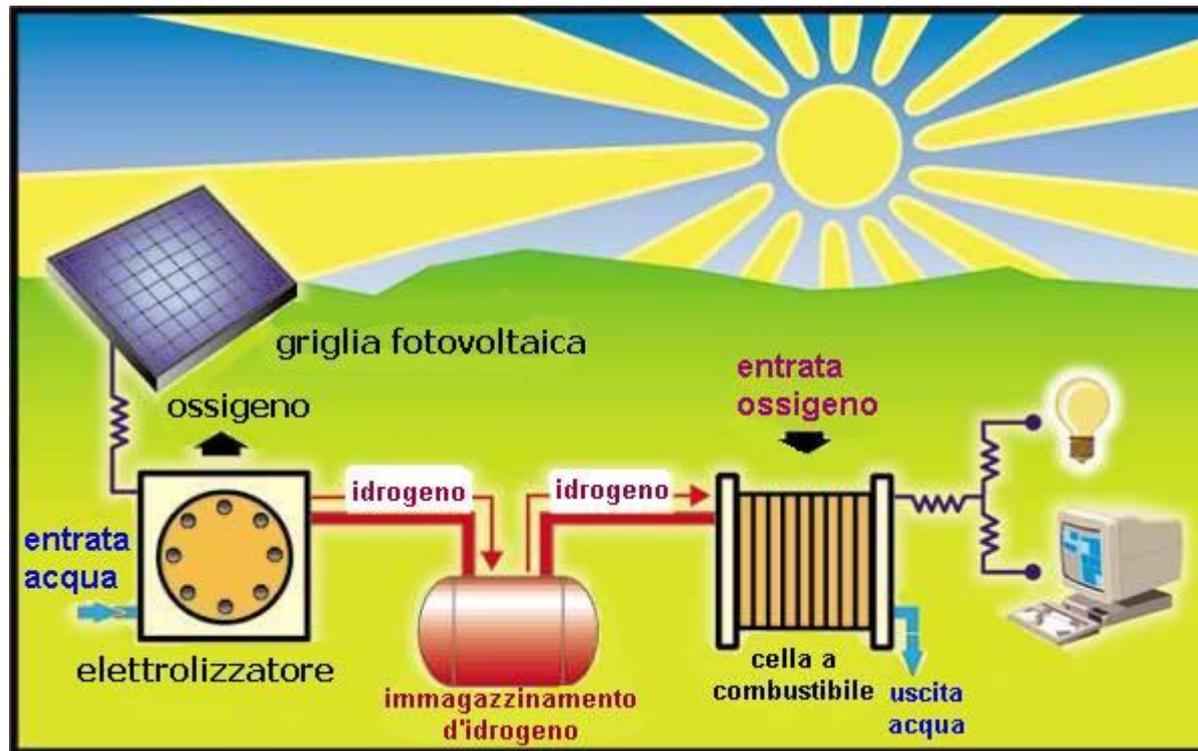
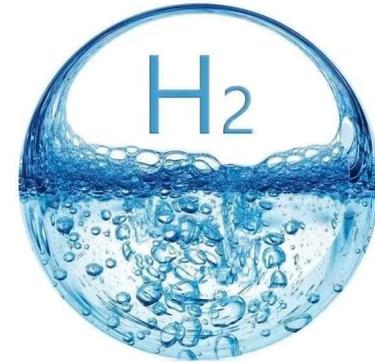


il veicolo elettrico è 3 volte più conveniente

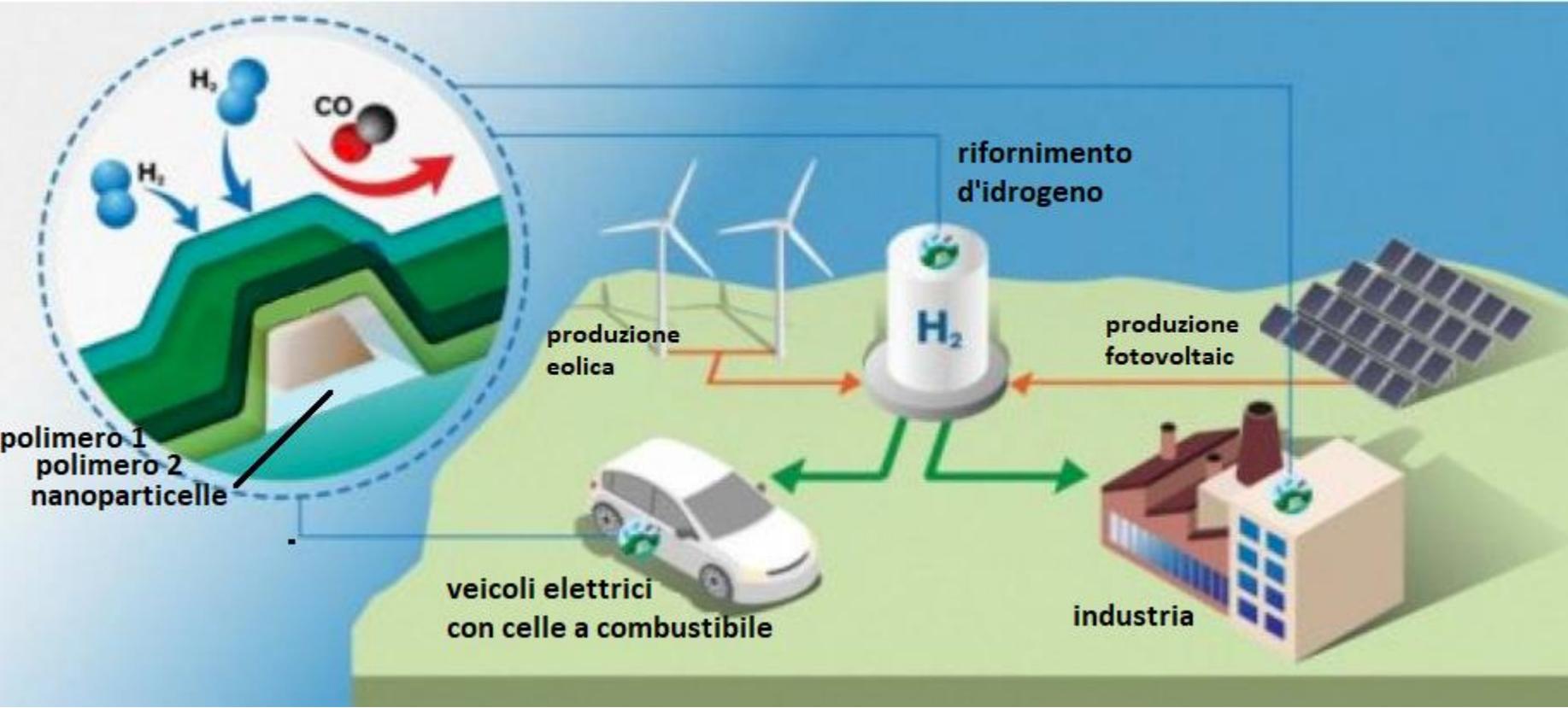


Sostenibilità: disegno globale

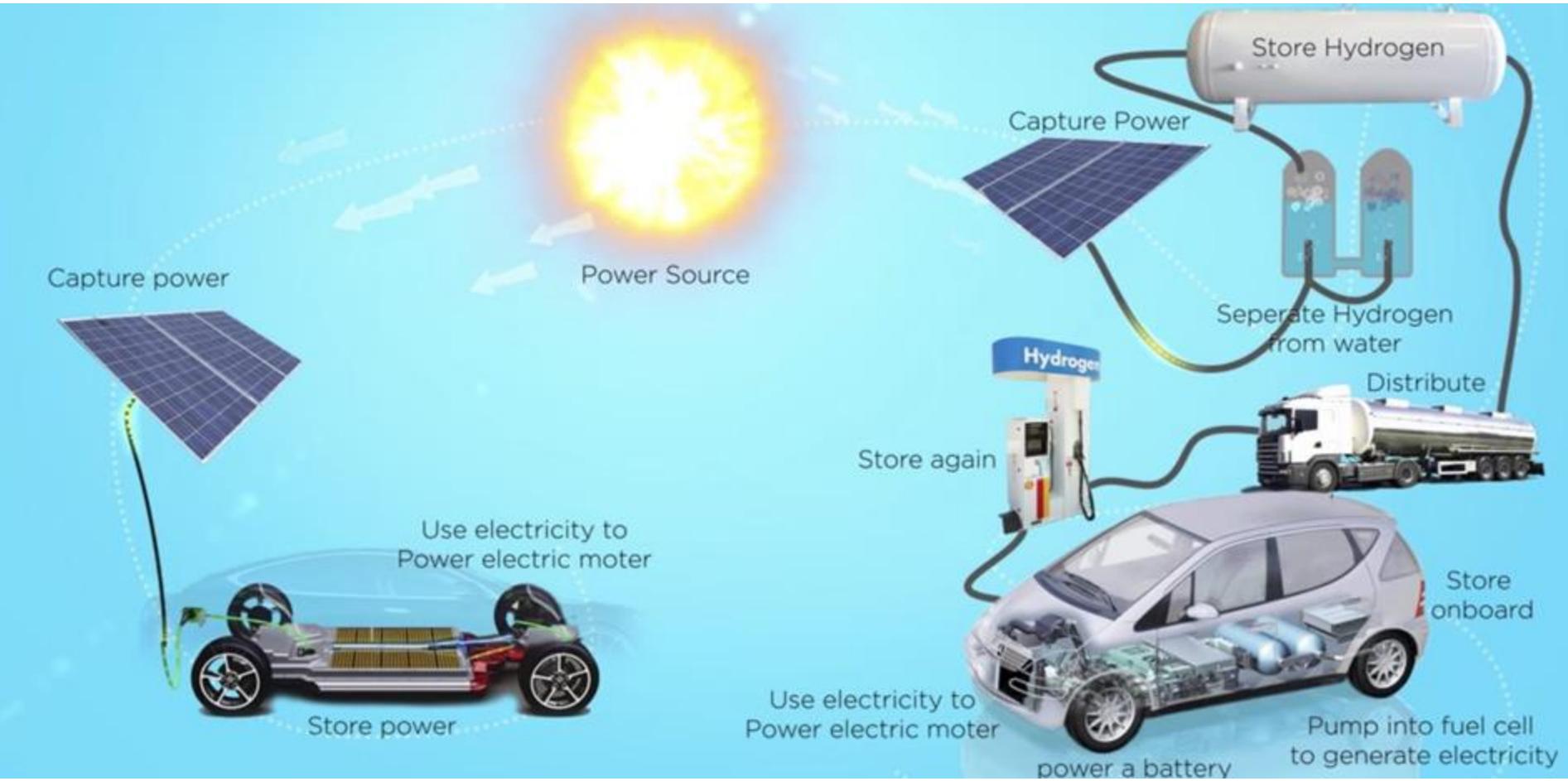
- Fotovoltaica, elettrolisi dell'acqua marina, immagazzinamento, uso del combustibile per motori a combustione interna oppure a cella combustibile, gas scaricato = vapore acqueo.



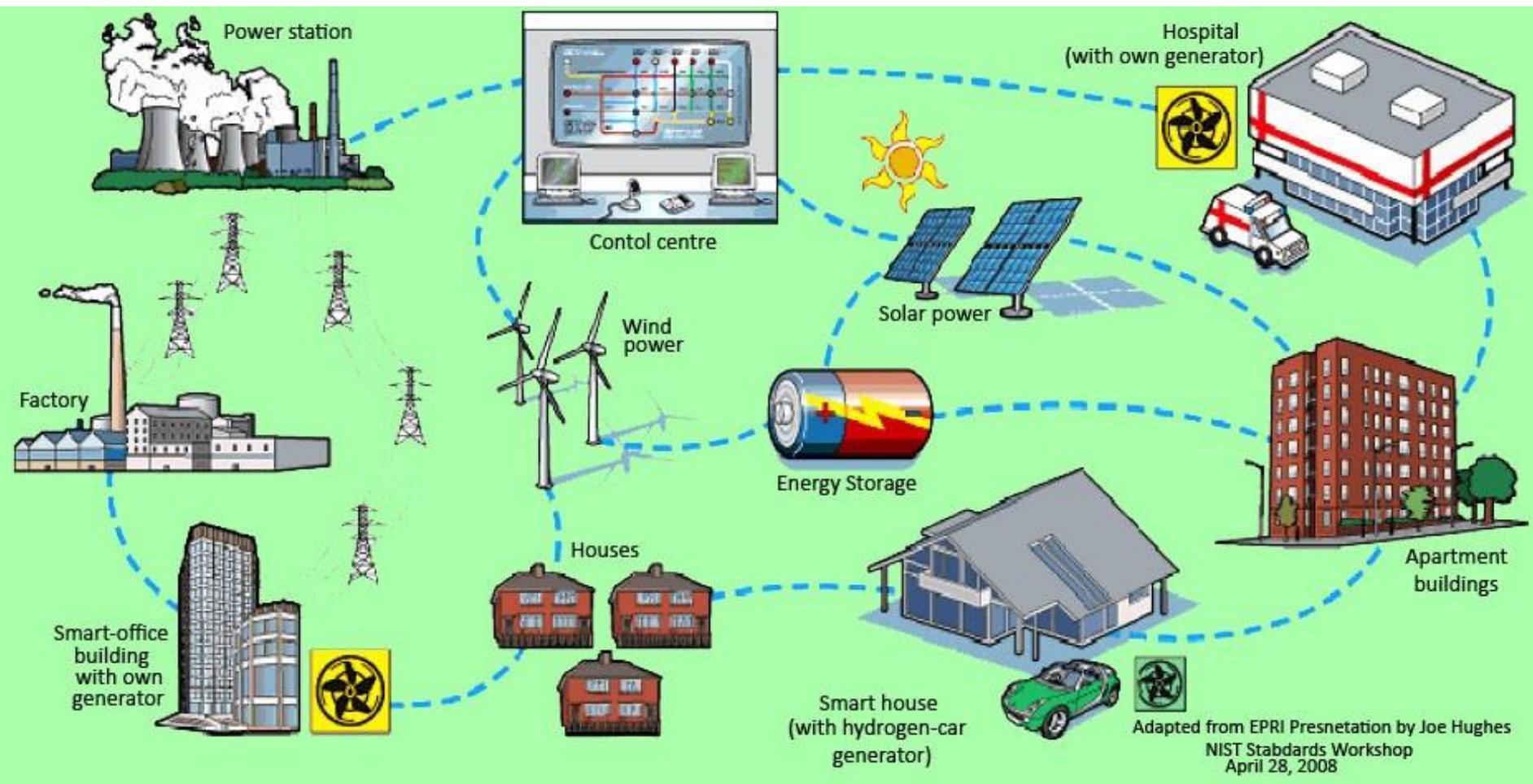
Energia: economia all'idrogeno



Energia: economia all'idrogeno

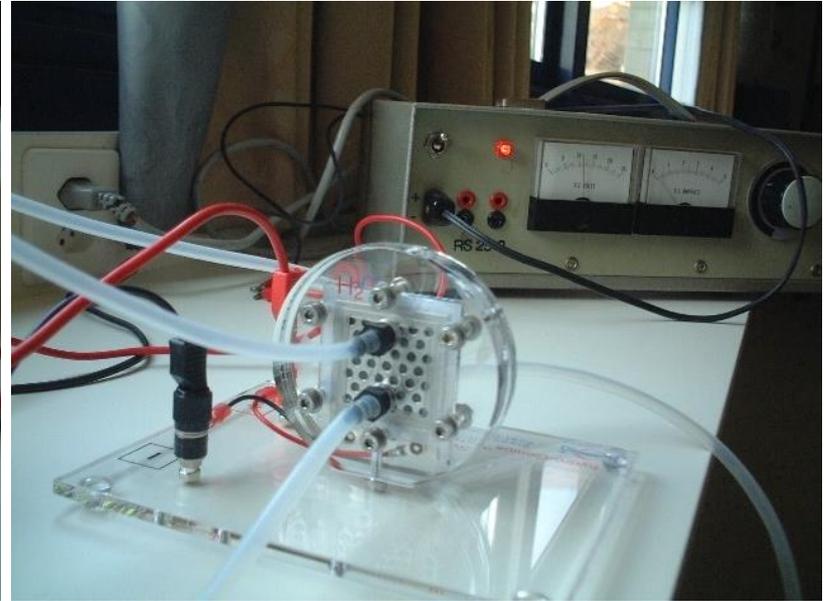


Energia: economia all'idrogeno



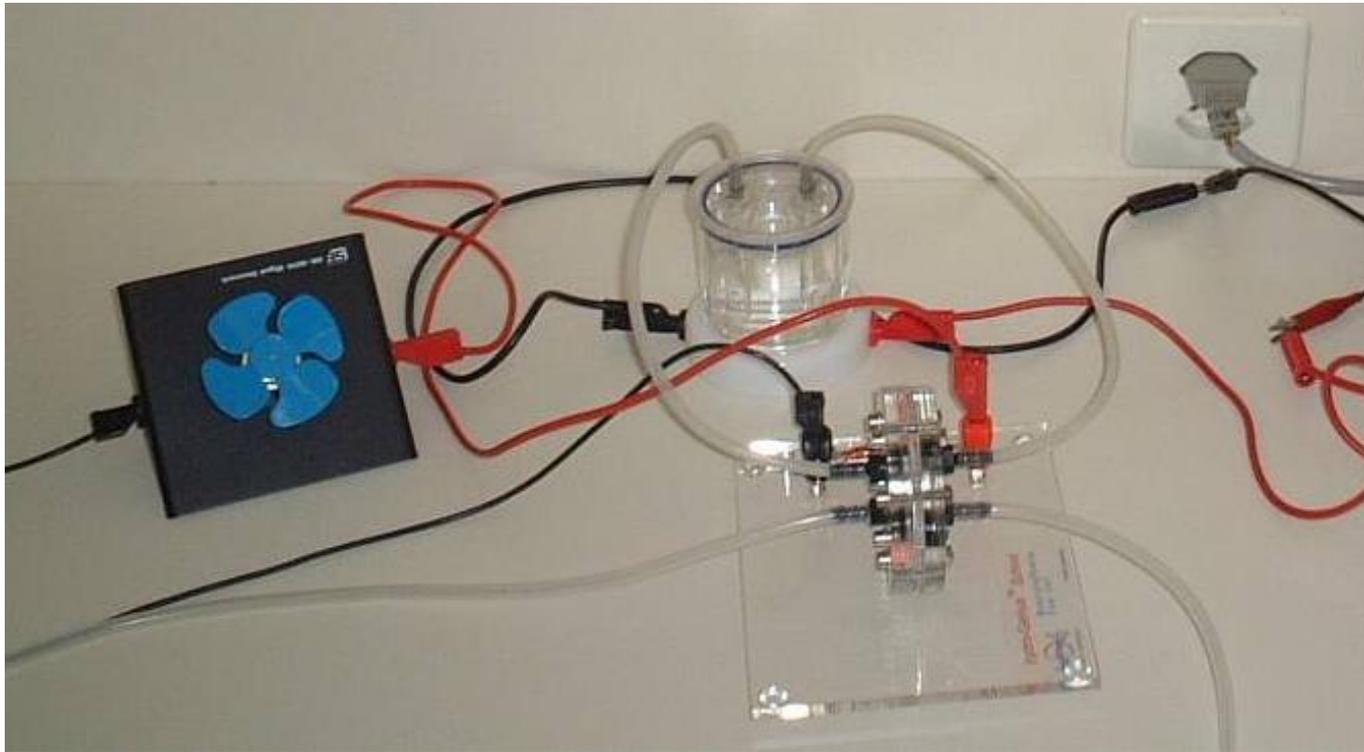
Sostenibilità: disegno globale

- Cella elettrolitica (sul polo negativo - anodo - si forma idrogeno, sull'altro ossigeno, serve al minimo 1.2 V) e cella a combustibile



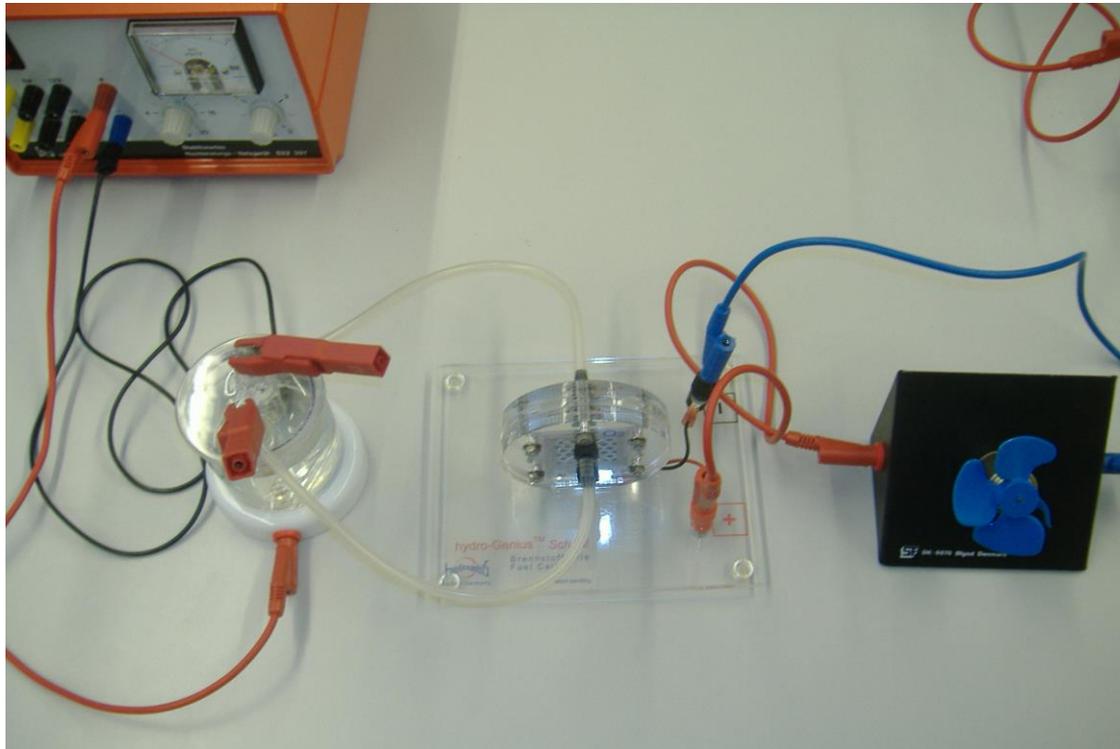
Sostenibilità: disegno globale

Cella elettrolitica, cella a combustibile e motorino elettrico.



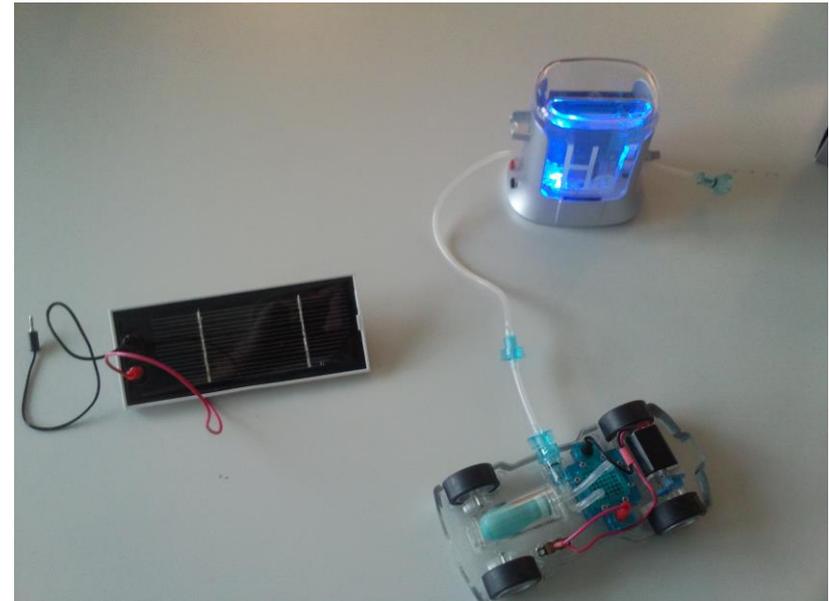
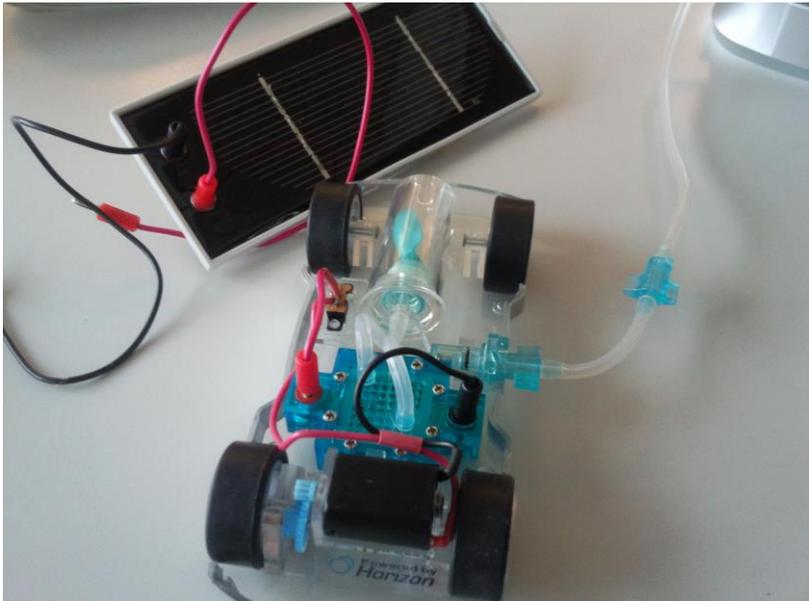
Sostenibilità: disegno globale

- In questo caso si fa uso di energia elettrica prodotta con il nucleare o l'idroelettrico, ma servirebbe quella solare!



Sostenibilità: disegno globale

- Riempito l'elettrolizzatore tramite l'uso di un pannello solare, si trasferisce l'idrogeno nel serbatoio a bordo di un'automobile.



Sostenibilità: disegno globale



- Effetti sull'idrosfera: la distribuzione asimmetrica dell'acqua non cambierà in modo sensibile, e nemmeno la % di vapore acqueo nell'atmosfera o la quantità di acqua nei mari.



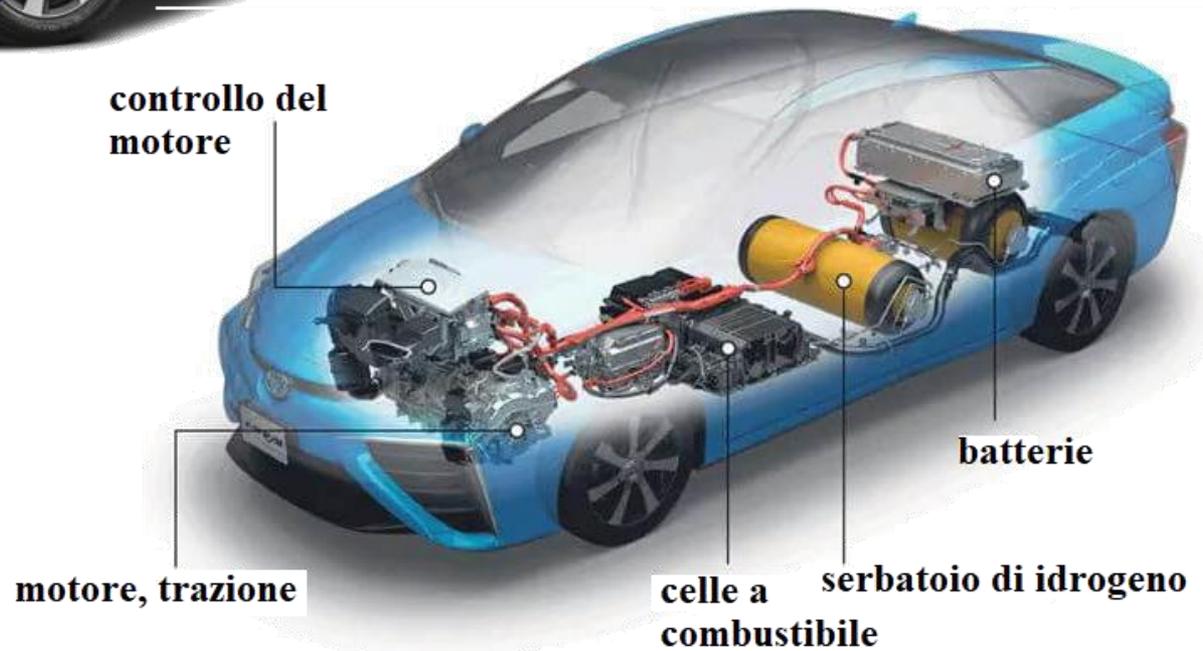
Sostenibilità: modello di auto all'idrogeno



Sostenibilità: modello di auto all'idrogeno



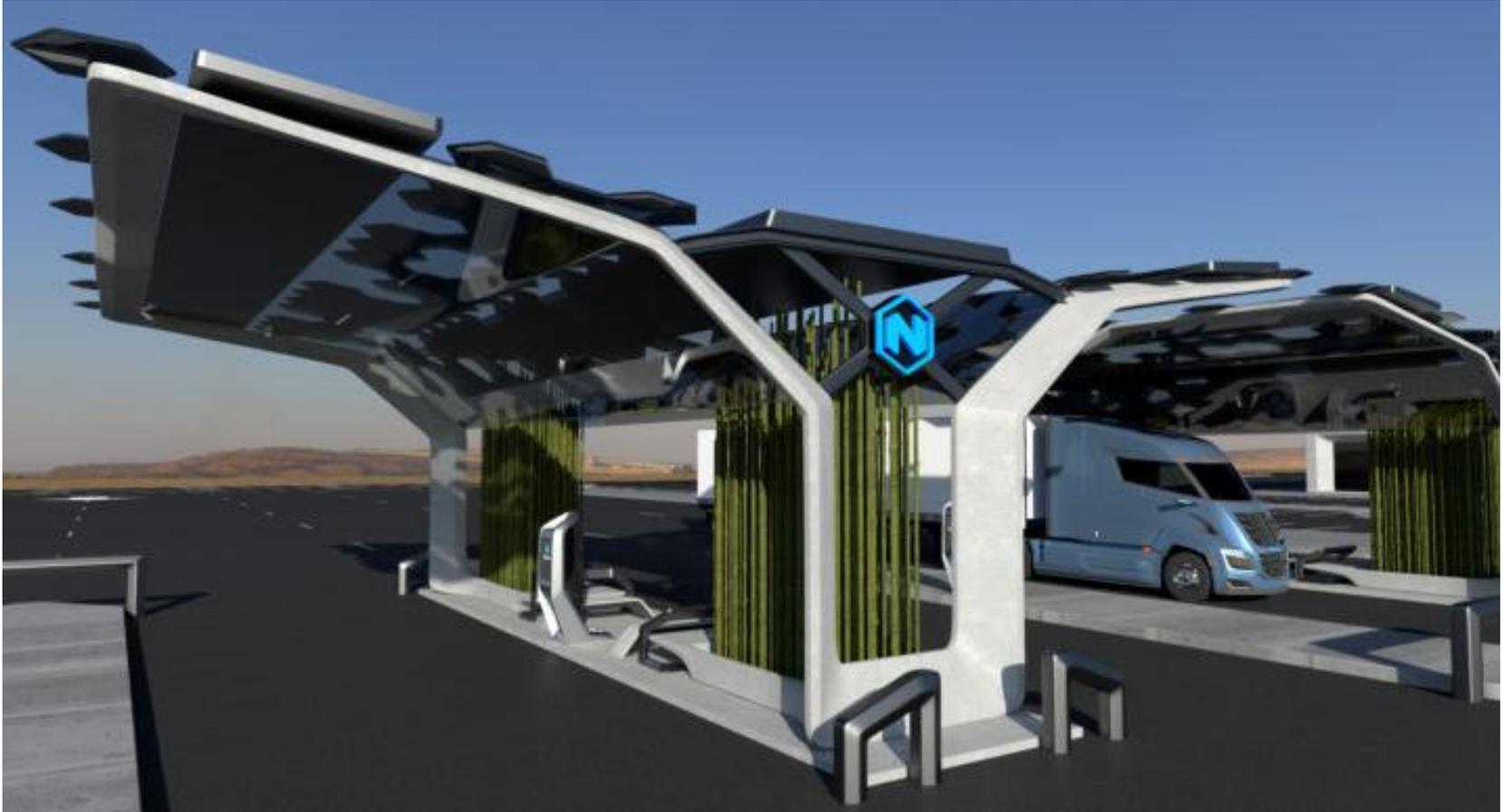
Sostenibilità: modello di auto all'idrogeno



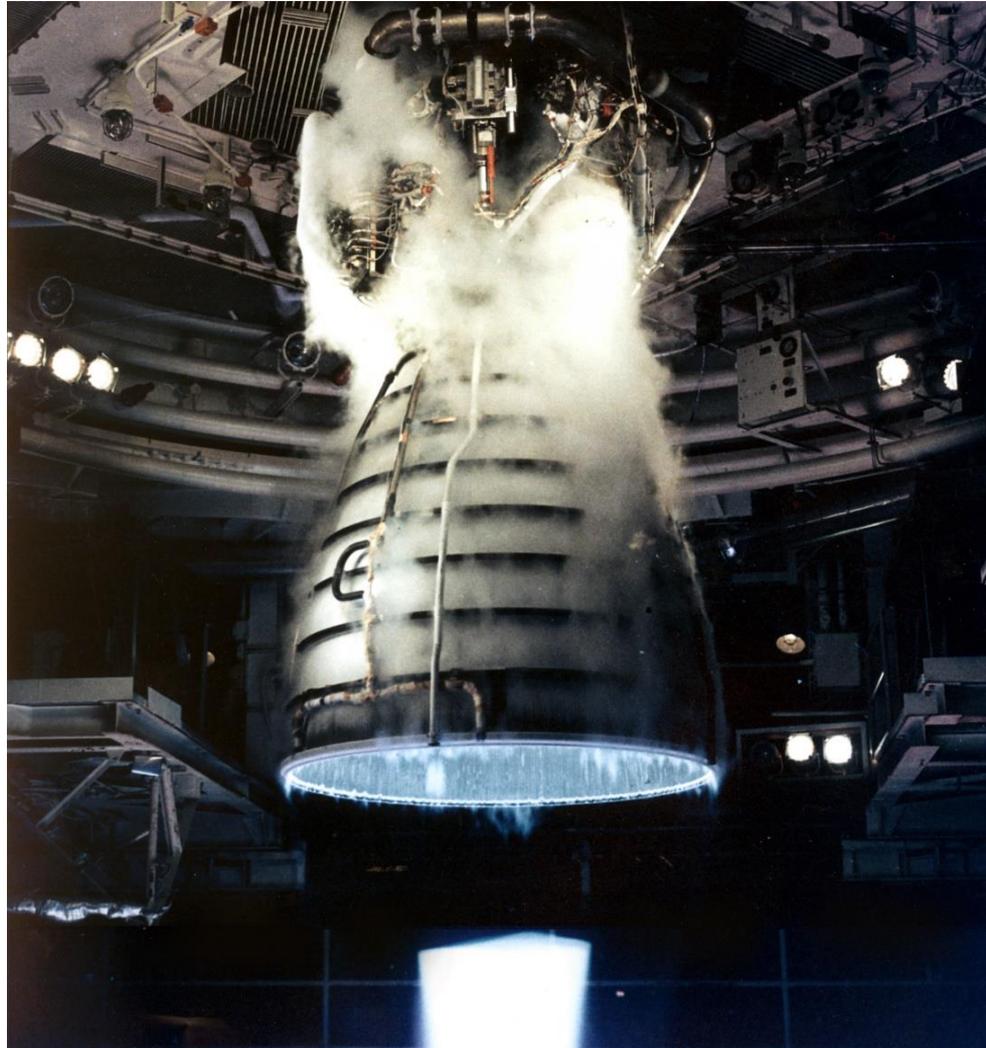
Sostenibilità: modello di auto all'idrogeno



Sostenibilità: modello di auto all'idrogeno

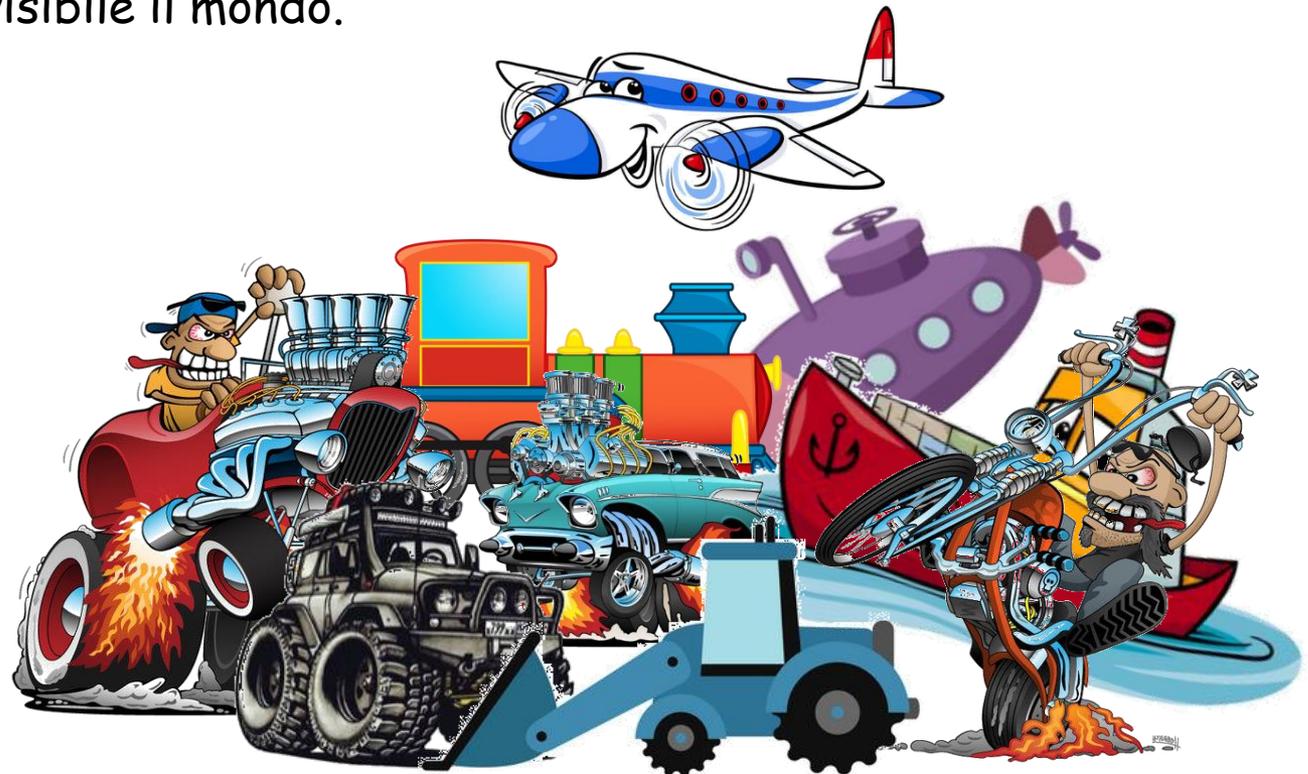


Idrogeno: nel test del motore principale dello shuttle USA



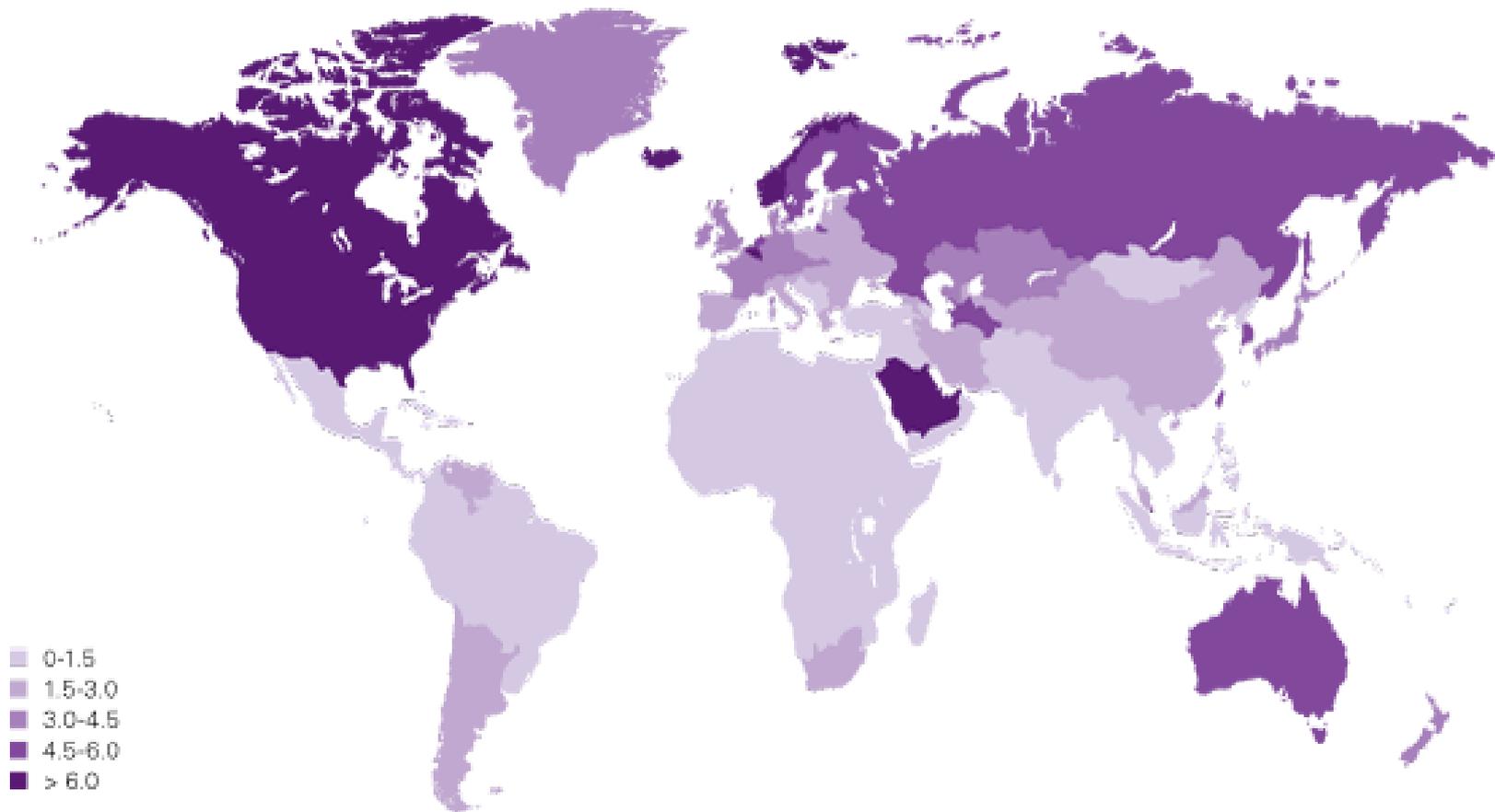
Sostenibilità: idrogeno come combustibile per il trasporto

- Conseguenze: diminuzione delle emissioni di CO_2 nell'arco di un secolo, miglior efficienza dei processi di trasformazione di energia.
- Il costo del nuovo sviluppo va finanziato con risparmi e freno dell'esplosione demografica.
- Insieme allo sfruttamento più ampio dell'energia solare si può arrivare a cambiare in modo visibile il mondo.



Energia: consumo mondiale 2009

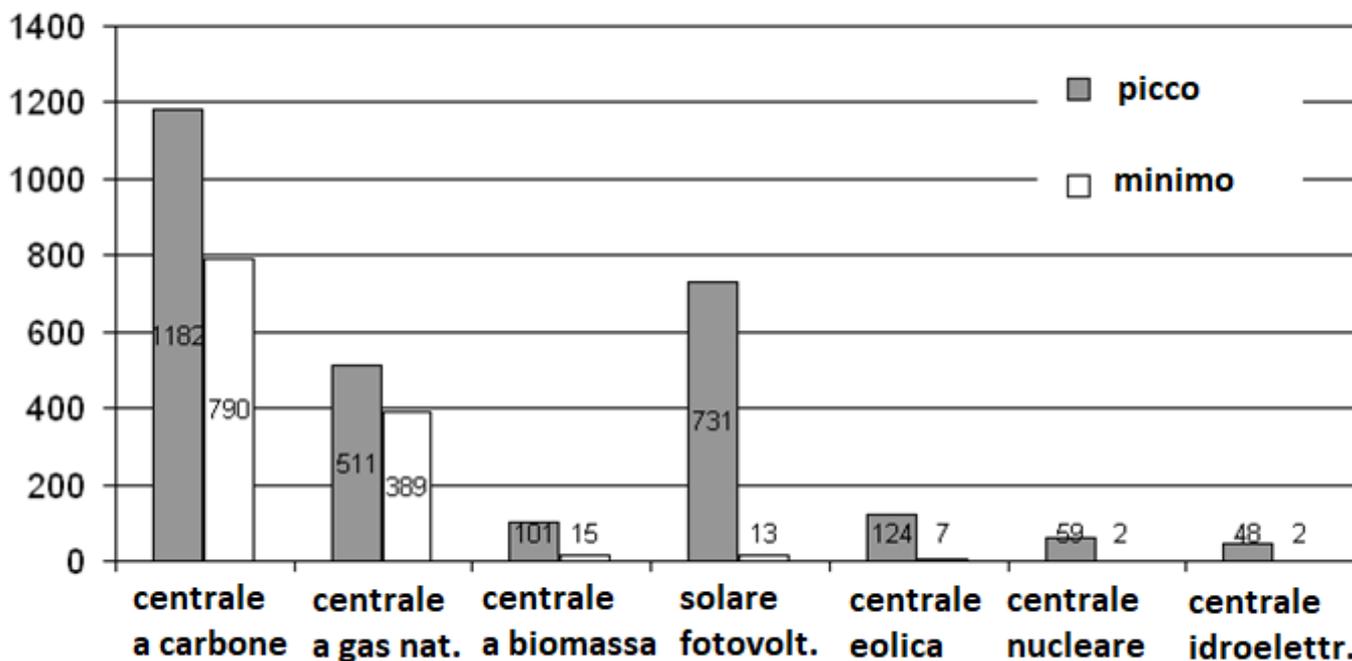
- [toe] = tonnellata equivalente di petrolio, ovvero 41.868 GJ oppure 11'630 kWh (consumo medio CH 2013: 52'500 kWh).



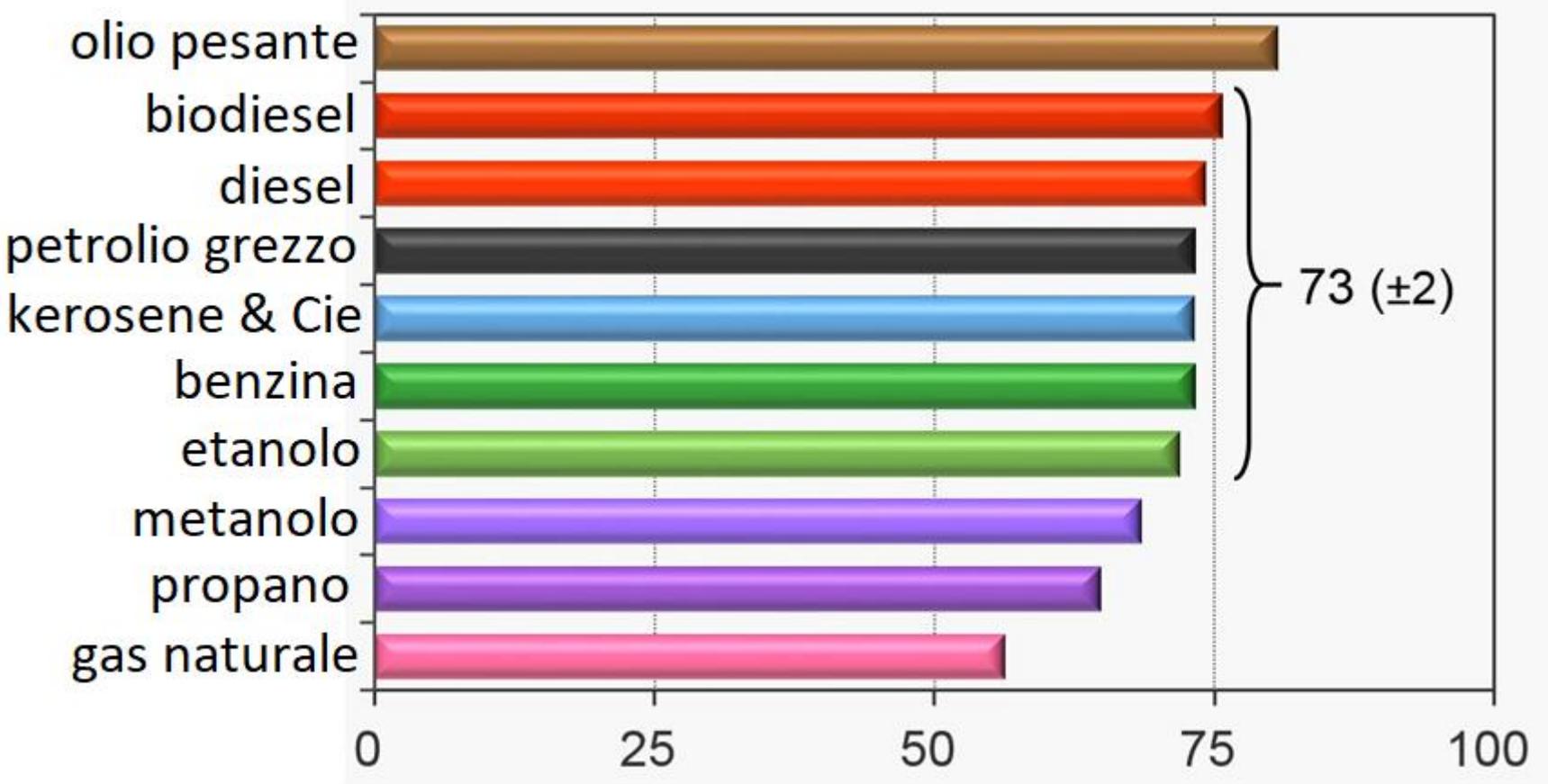
Energia: produzione ed effetto serra (IEA 2000)

- Emissioni di gas ad effetto serra nella produzione di elettricità.

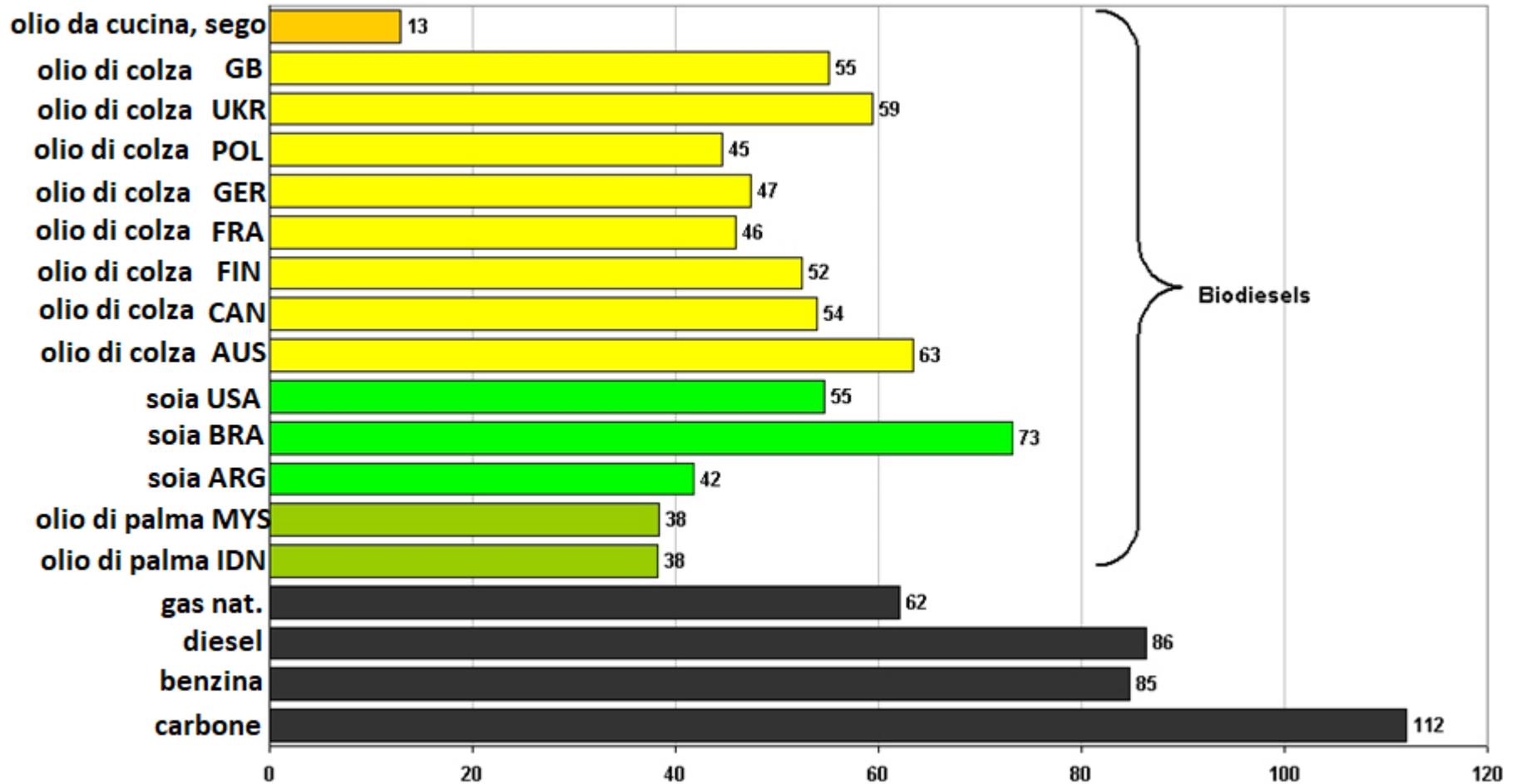
g CO₂equiv/kWh



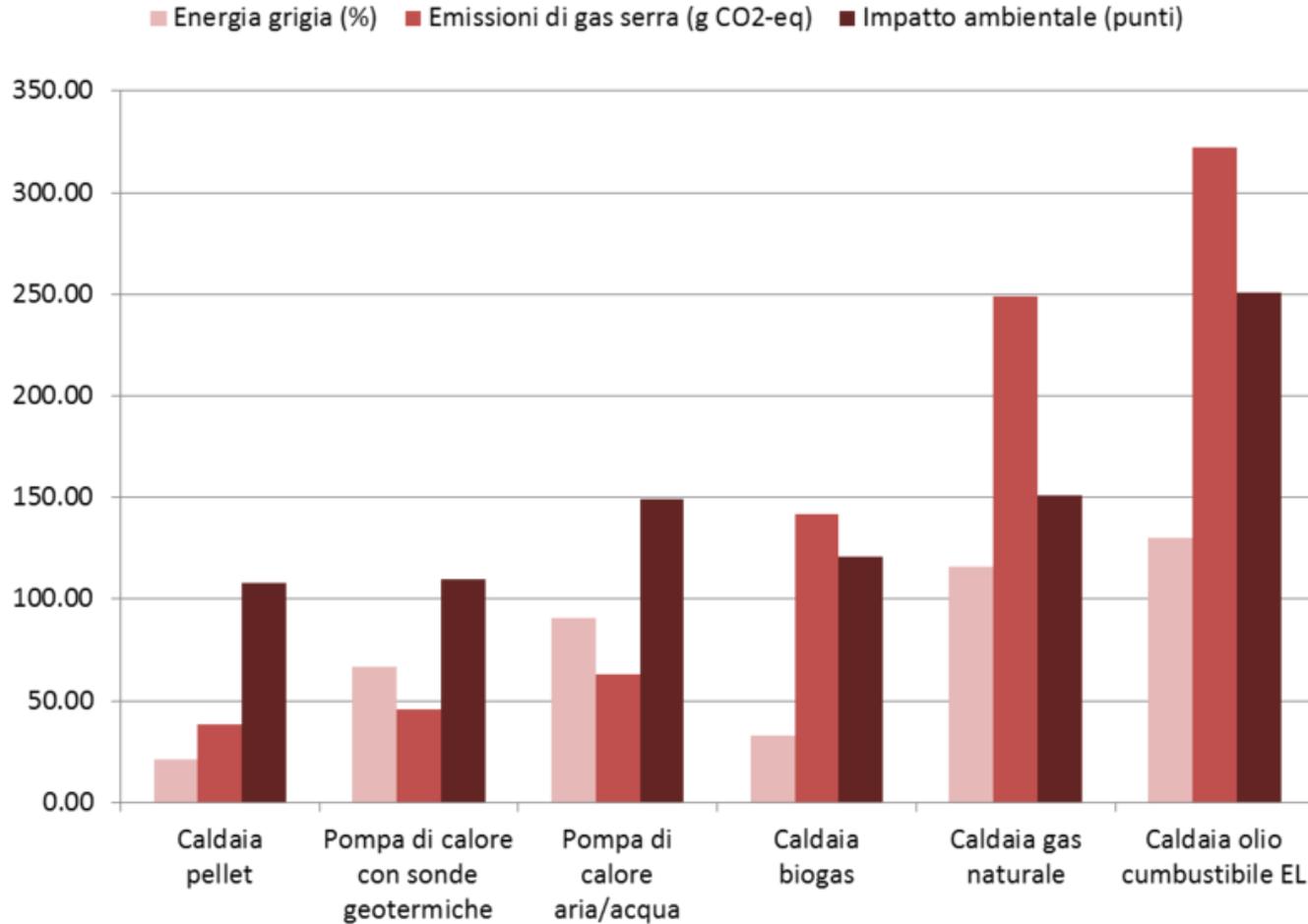
Energia: emissioni di CO2 nelle combustioni



Energia: biodiesel ed emissioni di CO2 nella produzione dell'energia in (g/MJ)



Energia: energia grigia ed emissioni di gas serra, impatto (2009)



Fonte: Ökobilanzdaten im Baubereich, KBOB / eco-bau / IPB 2009/1:2016

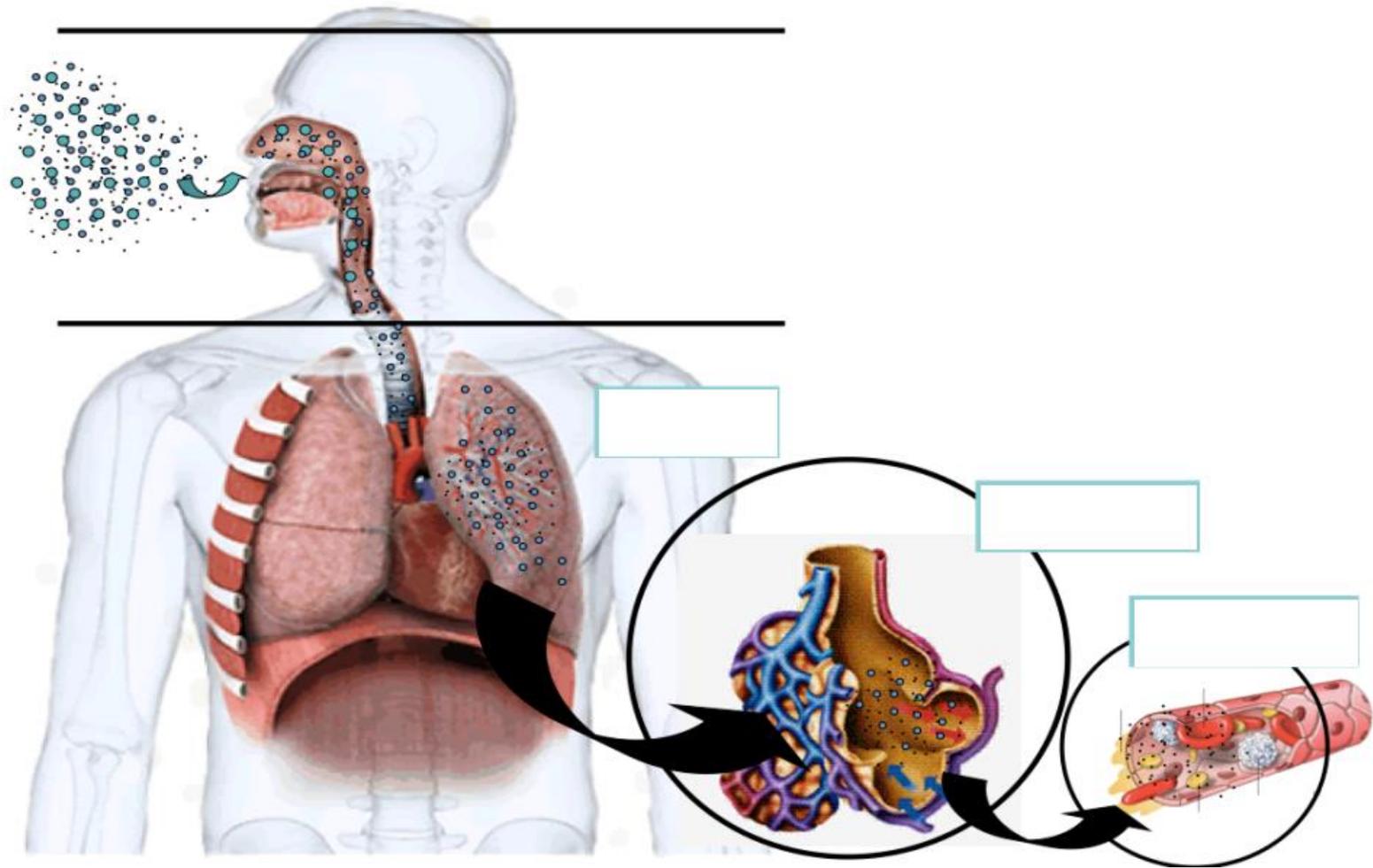


Energia: energia grigia ed emissioni di gas serra, impatto (2009)

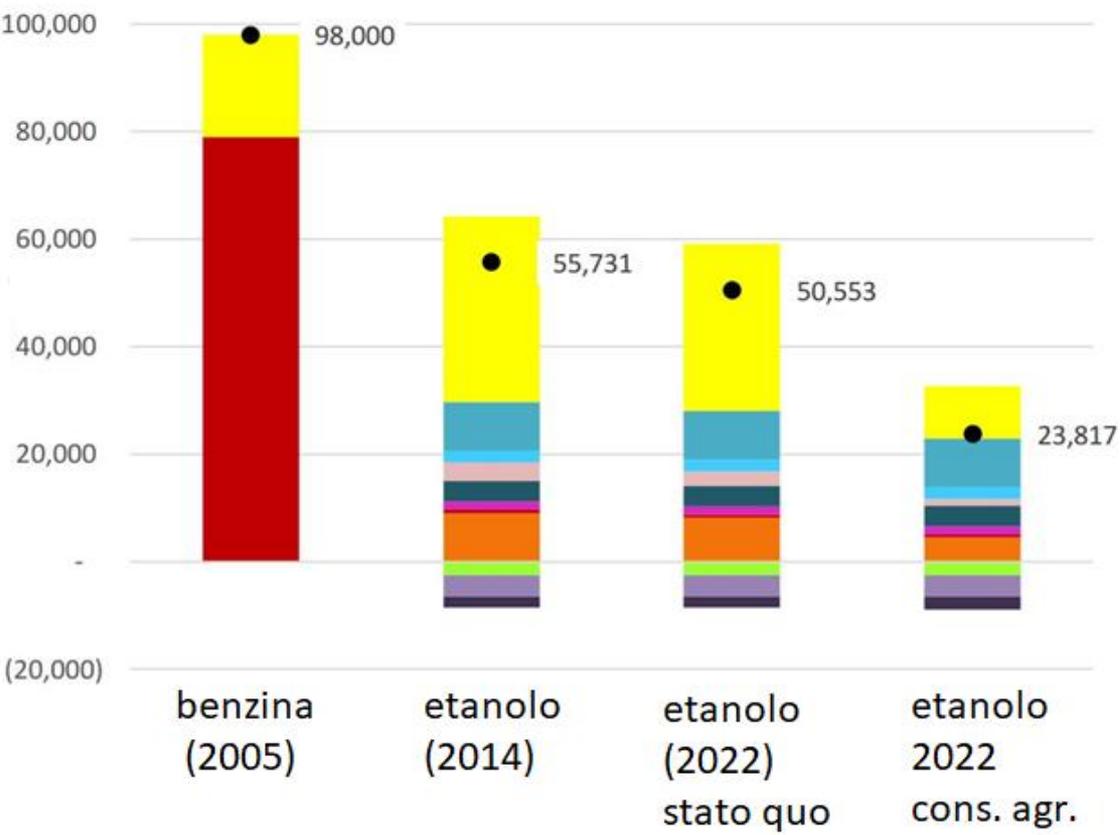
categoria	buccia del riso	combustibili fossili
riscaldamento globale (kg CO ₂ -eq/MWh)	17.27	734.41
acidificazione (kg SO ₂ -eq/MWh)	0.92	2.34
formazione di fotoossidanti (kg C ₂ H ₄ -eq/MWh)	0.34	0.01
arricchimento di nutrienti (kg N-eq/MWh)	0.39	0.73
scarti solidi, cenere (kg/MWh)	198.21	n.a.



Energia: emissioni ed effetti sulla salute



Energia: emissioni globali di CO2 (g/GJ), proiezione

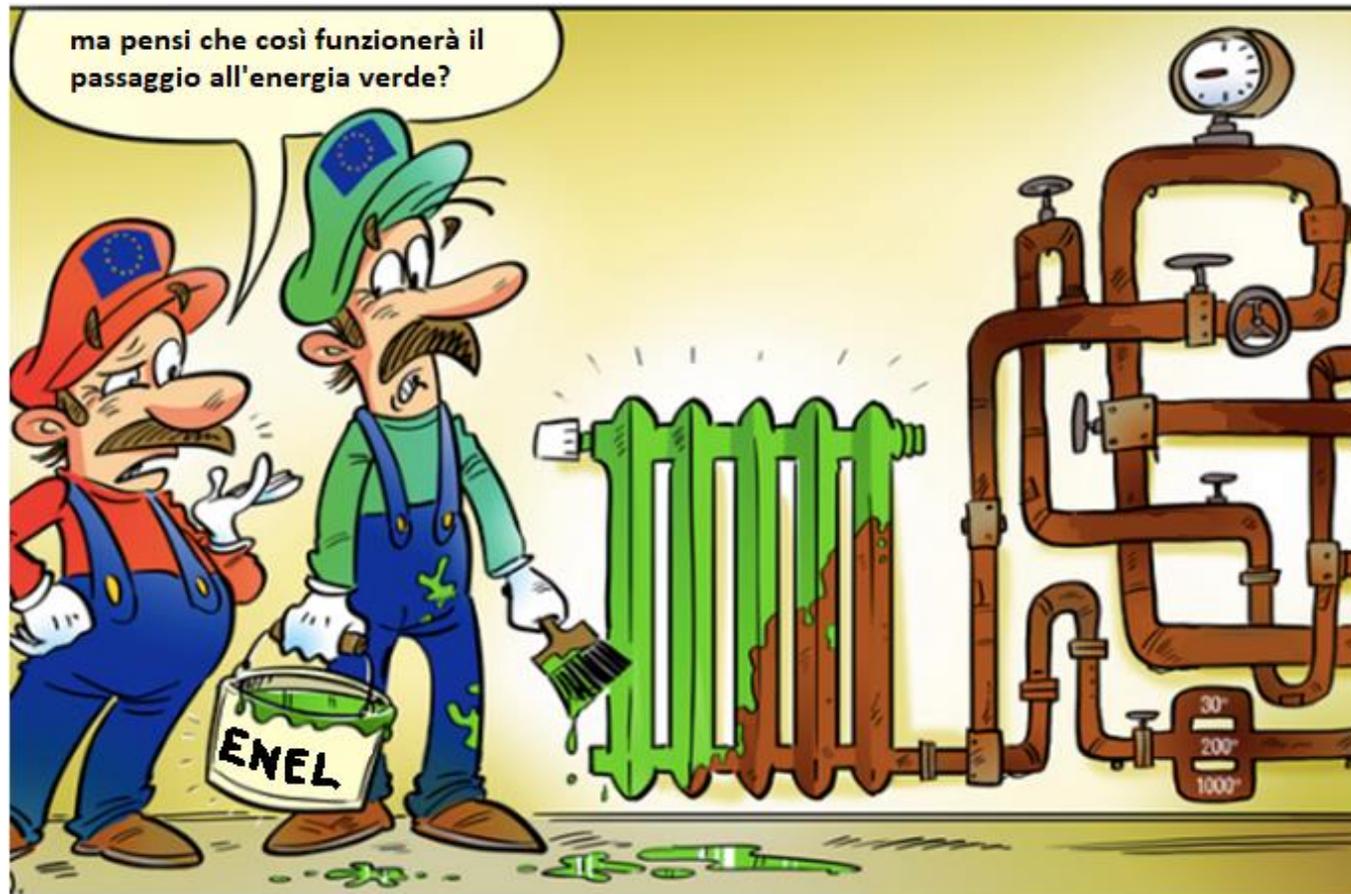


- produzione di carburante
- cambiamento nell'uso della terra
- agricoltura, fertilizzanti
- trasporto
- allevamento del bestiame
- metano dalla prod. di riso
- gas di scarico
- agricoltura, fertilizzanti
- cambiamento nell'uso della terra
- metano dalla prod. di riso
- allevamento del bestiame



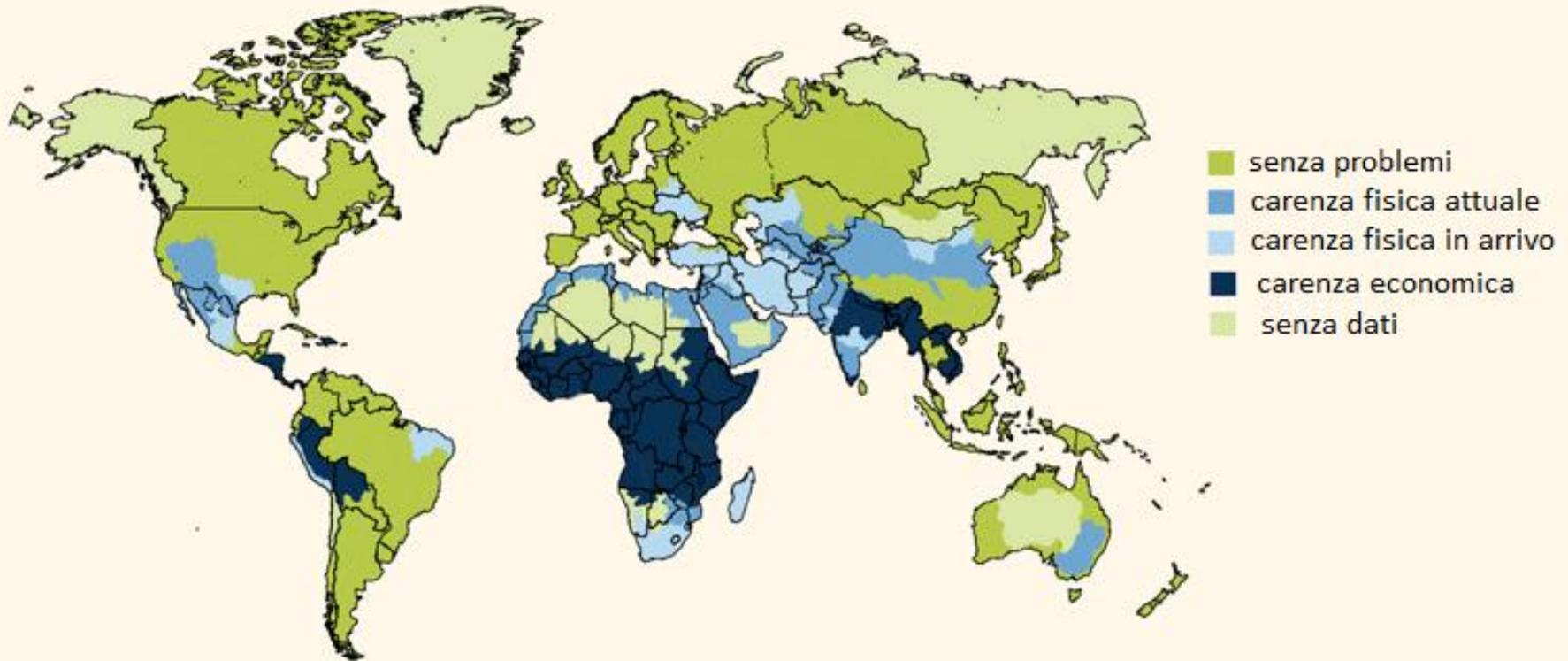
Energia: trasformazione verde del settore termico

- Tra produzione di picco, tasse sul CO_2 , incentivi per l'implementazione, oscillazioni del prezzo dei combustibili fossili, costi dell'ammortamento e della modernizzazione, direttive politiche, orientamento dei consumatori....



Acqua: carenza fisica ed economica (2010)

- https://en.wikipedia.org/wiki/Water_scarcity
- Ca. 3 miliardi di persone colpite, di cui la metà manca proprio di acqua potabile!



Acqua: carenza fisica ed economica (2010)



Impatto ambientale ed energia



Impatto ambientale ed energia



Impatto ambientale ed energia



Impatto ambientale ed energia: miniera di uranio in Namibia



Fonti, bibliografia, riferimenti

- https://en.wikipedia.org/wiki/Motor_vehicle
- <https://www.worldometers.info/world-population/>
- https://it.wikipedia.org/wiki/Potere_calorifico
- https://en.wikipedia.org/wiki/File:Greenhouse_Gas_Emissions_from_Electricity_Production_IEA.PNG
- https://en.wikipedia.org/wiki/Life-cycle_greenhouse-gas_emissions_of_energy_sources
- <http://greenecon.net/page/4>
- <https://www.energycentral.com/c/ec/separating-fact-fiction-newest-us-federal-ethanol-study>
- https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-58768-4_7
- <http://large.stanford.edu/courses/2013/ph240/bechstein1/>
- <http://www.decaaced.eu/download/normative/Combustibili%20-%20Biodiesel.pdf>
- https://en.wikibooks.org/wiki/High_School_Earth_Science/Water_on_Earth
- https://en.wikipedia.org/wiki/Water_distribution_on_Earth
- <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2745.12025>
- https://www.researchgate.net/figure/Water-consumption-in-the-world-in-1950-and-1995-2025-estimated-value_fig1_258289351
- <https://people.ohio.edu/piccard/huwe/index.html>



Fonti, bibliografia, riferimenti

- https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_power_by_country
- https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nuclear_power_accidents_by_country
- <https://www.thebalance.com/chernobyl-nuclear-power-plant-disaster-economic-impact-3306335>
- <https://www.nationalgeographic.com/culture/topics/reference/chernobyl-disaster/>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_disaster
- https://en.wikipedia.org/wiki/Fukushima_Daiichi_nuclear_disaster
- <https://medium.com/@danielro997/where-the-climate-change-comes-f-ab12f43c65c8>

