

in ricordo di Antonio Floriano

Elettrochimica: la grande protagonista della transizione energetica

Catia Arbizzani

*Alma Mater Studiorum – Università di Bologna
Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician"*

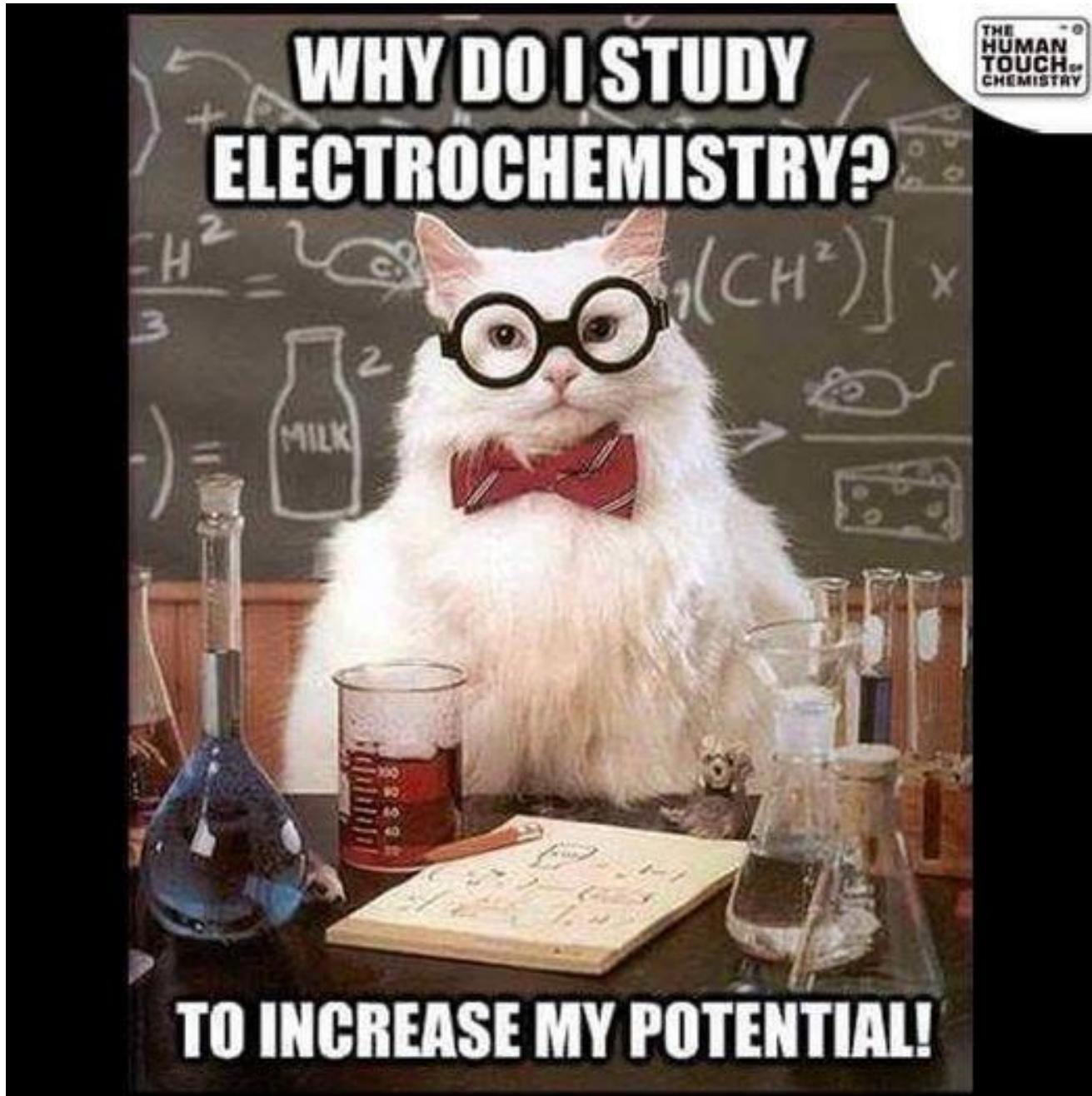


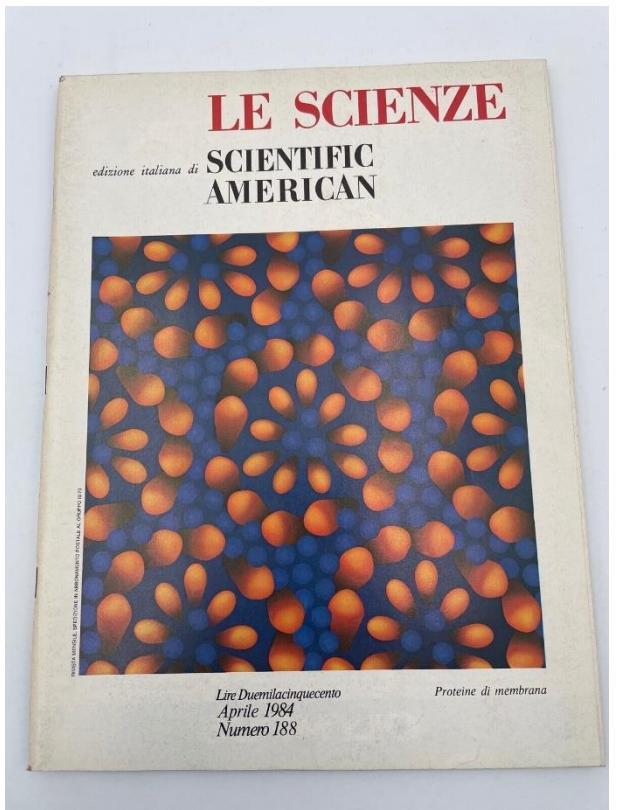
SOMMARIO

- ***Case study: studentessa di Chimica (Catia Arbizzani)***

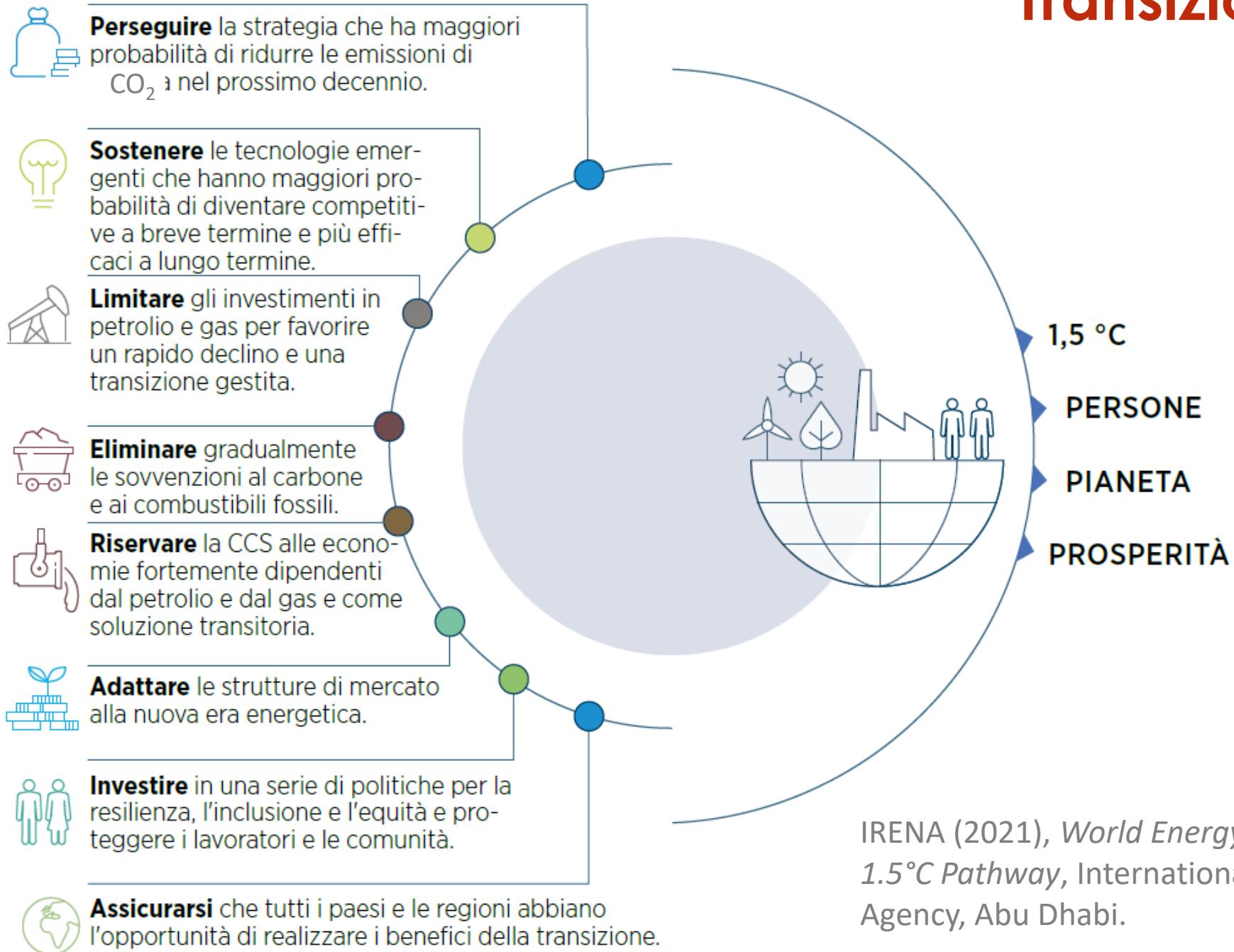
- **Transizione energetica e il ruolo dell'elettrochimica**
- **Fotovoltaico e DSSC**
- **Batterie Li-ione e litio**
- **Idrogeno**
- **Celle a combustibile**
- **Corrosione**
- **Risparmio energetico**
- ***Take-home messages***

- **Ringraziamenti**





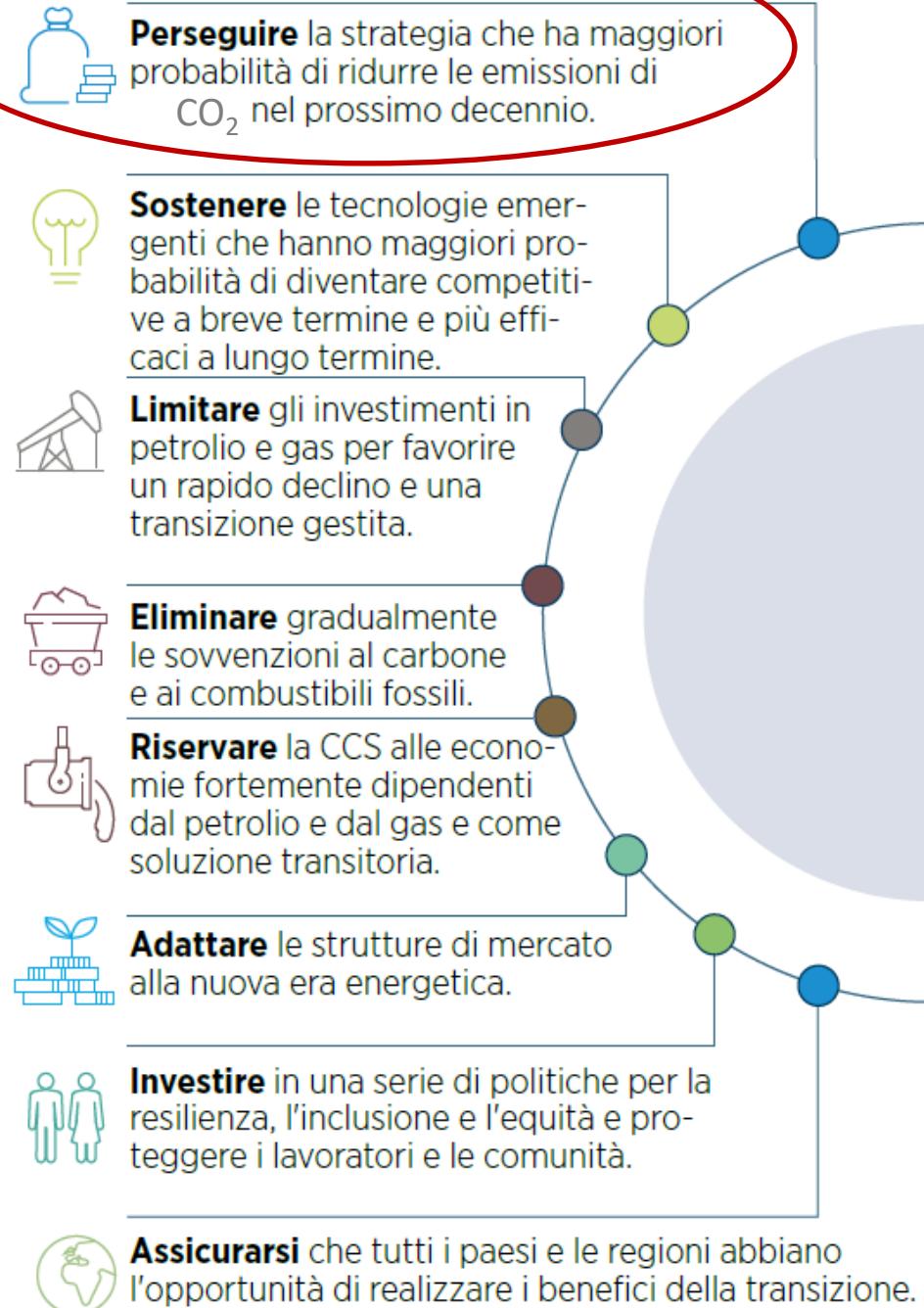
Transizione energetica



IRENA (2021), *World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.



Transizione energetica



IRENA (2021), *World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

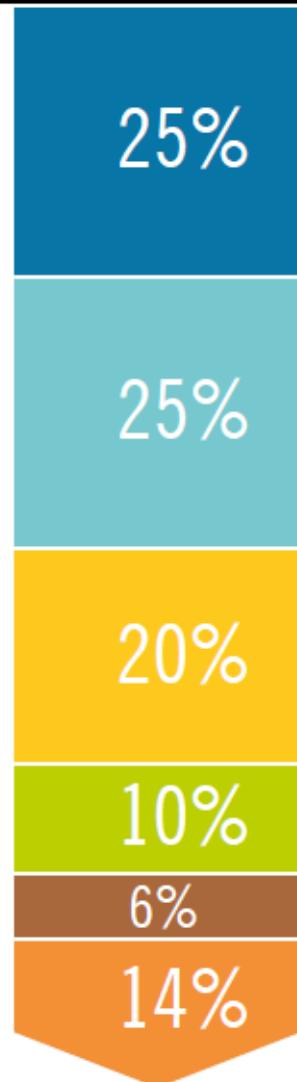


Riduzione delle emissioni di carbonio nello Scenario 1,5 °C (%)

Abbattimenti

2050

- Energie rinnovabili (energia e usi diretti)
- Conservazione ed efficienza energetica*
- Elettrificazione in impieghi finali (diretta)
- Idrogeno e suoi derivati*
- Settore CCS e CCU
- BECCS e altre misure di rimozione del carbonio

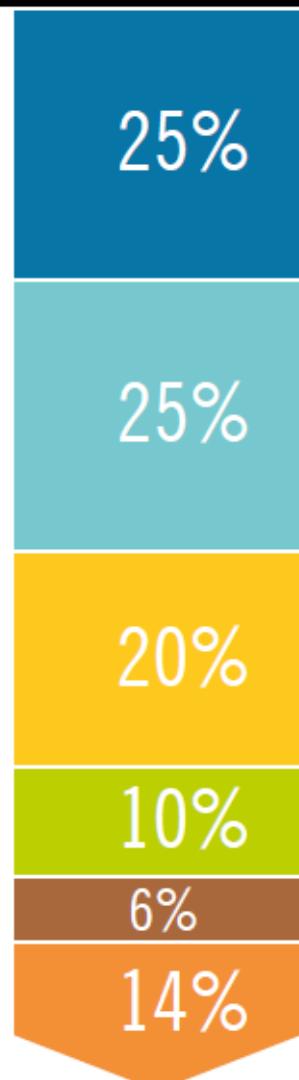


-36,9
Miliardi di
tonnellate
di CO₂/anno

Riduzione delle emissioni di carbonio nello Scenario 1,5 °C (%)

Abbattimenti

- Energie rinnovabili (energia e usi diretti)
- Conservazione ed efficienza energetica*
- Elettrificazione in impieghi finali (diretta)
- Idrogeno e suoi derivati*
- Settore CCS e CCU
- BECCS e altre misure di rimozione del carbonio



ENERGIA

Decarbonizzare il settore energetico



La produzione e l'uso dell'energia rappresentano oltre il **75 %** delle emissioni di gas a effetto serra dell'UE

EDIFICI

Ristrutturare gli edifici, aiutare le persone a ridurre le bollette energetiche e l'uso dell'energia



Il **40 %** dei nostri consumi energetici riguarda gli edifici

INDUSTRIA

Sostenere l'industria per innovare e diventare leader mondiali nell'economia verde



L'industria europea utilizza solo il **12 %** di materiali riciclati

MOBILITÀ

Introdurre forme di trasporto privato e pubblico più pulite, più economiche e più sane.



I trasporti rappresentano il **25 %** delle nostre emissioni

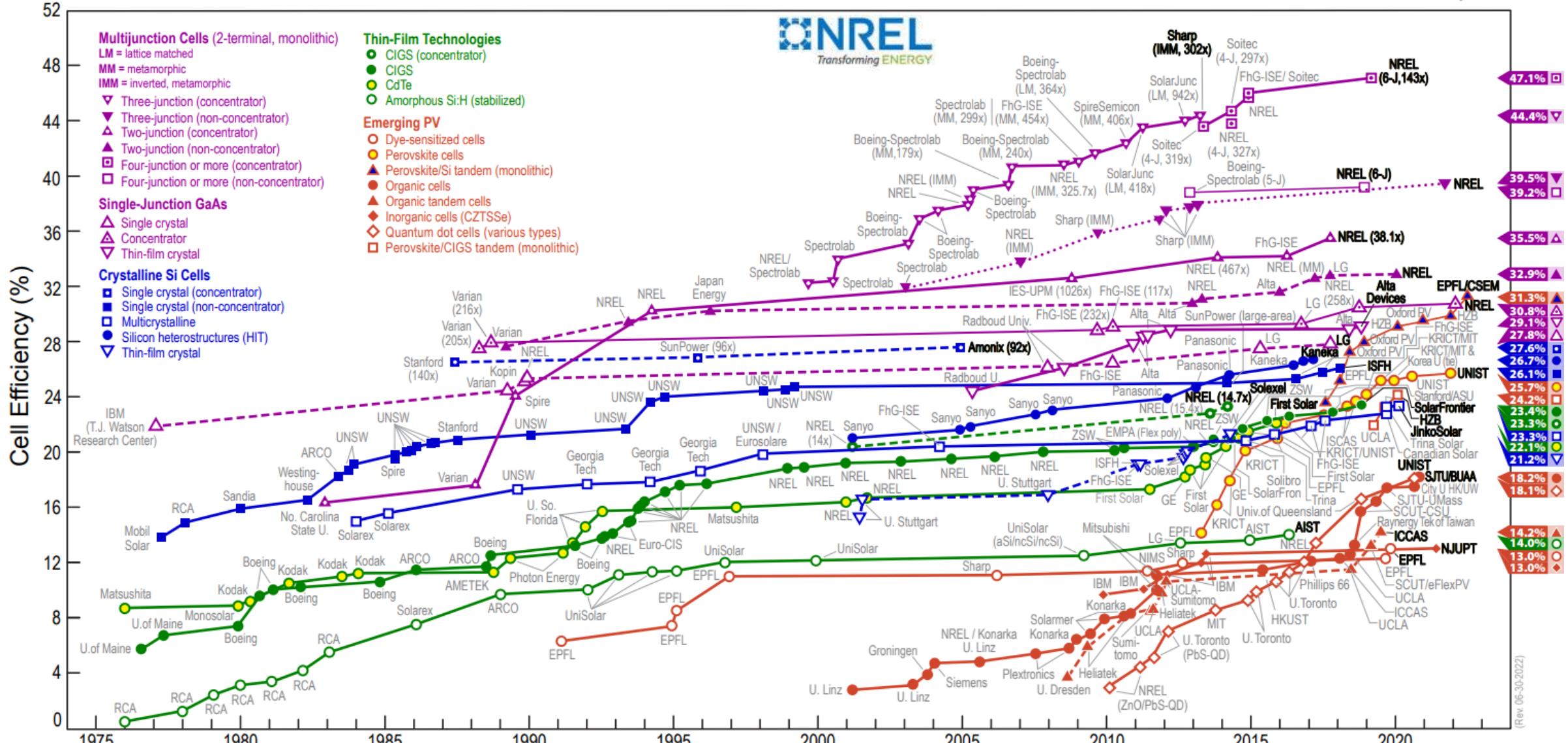


MOBILITÀ ELETTRICA VEICOLI ELETTRICI EFFICIENZA BATTERIE RICARICABILI
EOLICO ACCUMULO ELETTROCHIMICO IDROGENO
CELLA A COMBUSTIBILE ELETTROLIZZATORI RETE ELETTRICA RINNOVABILI
ELETTRIFICAZIONE FOTOVOLTAICO



Fotovoltaico e DSSC

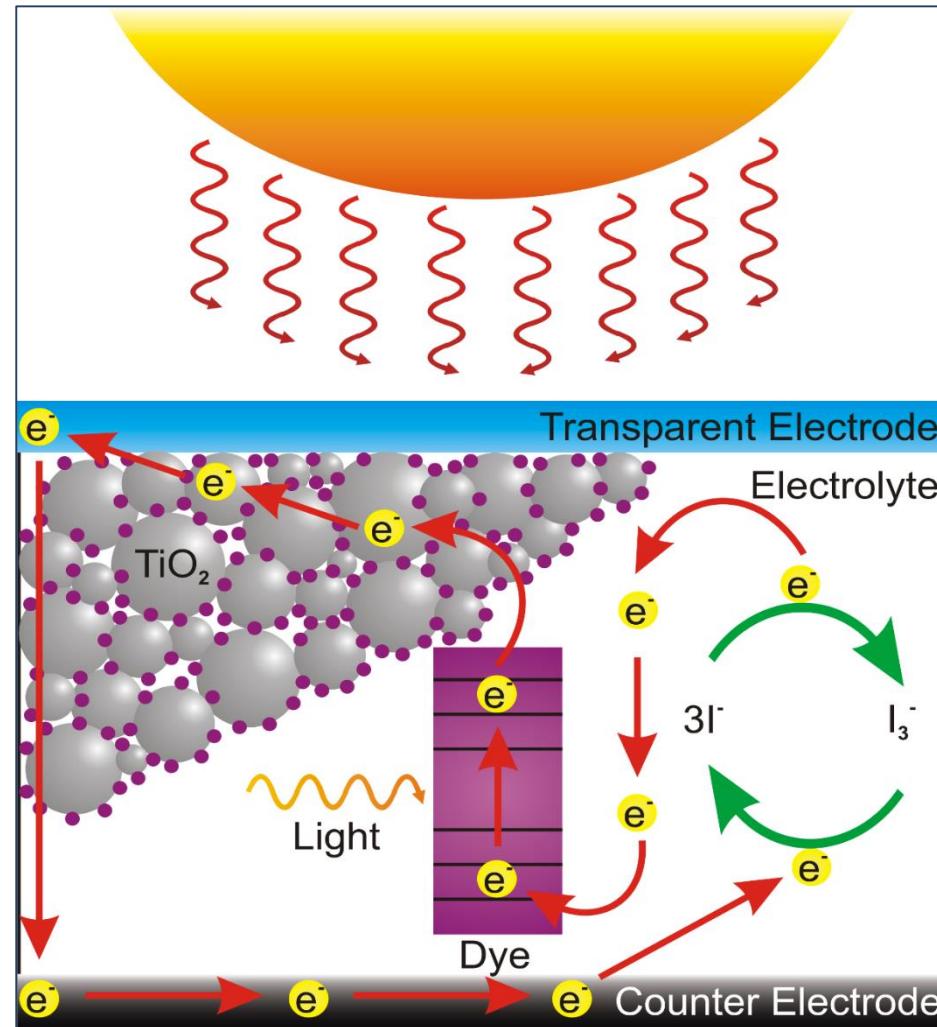
transforming ENERGY



www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html



Fotovoltaico e DSSC



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dye_Sensitized_Solar_Cell_Scheme.png

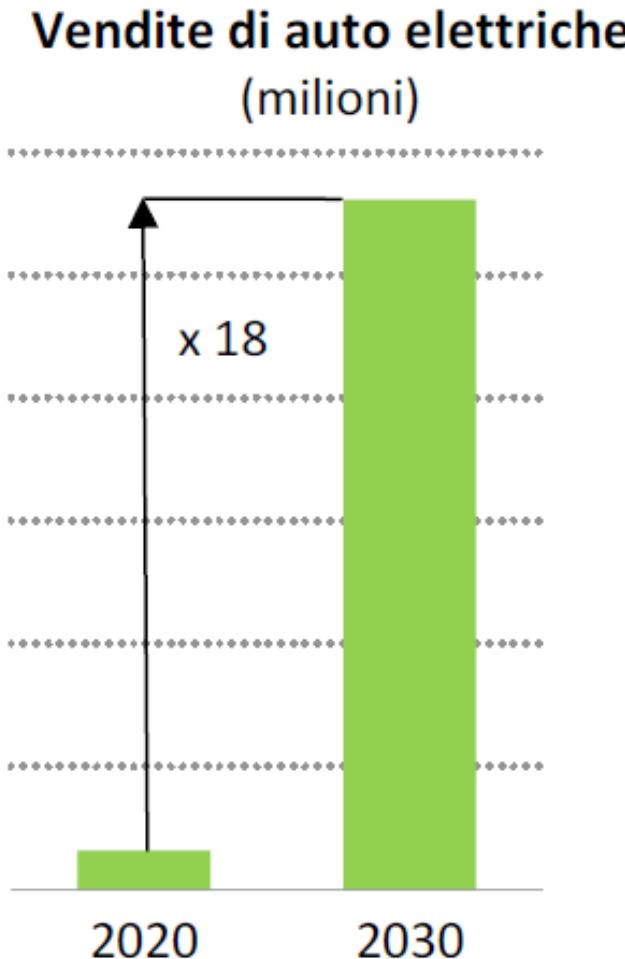
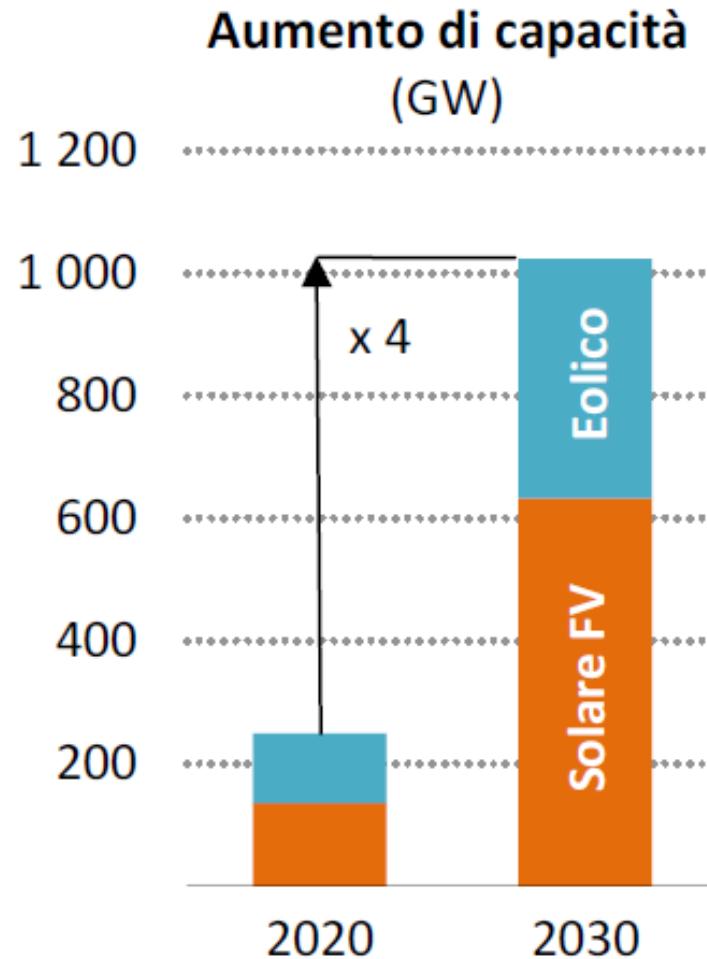


SwissTech Convention Center a EPFL (Losanna)



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Cosa cambierà?



Ruolo chiave dei sistemi di accumulo dell'energia

Source: IEA. International Energy Agency Website: www.iea.org



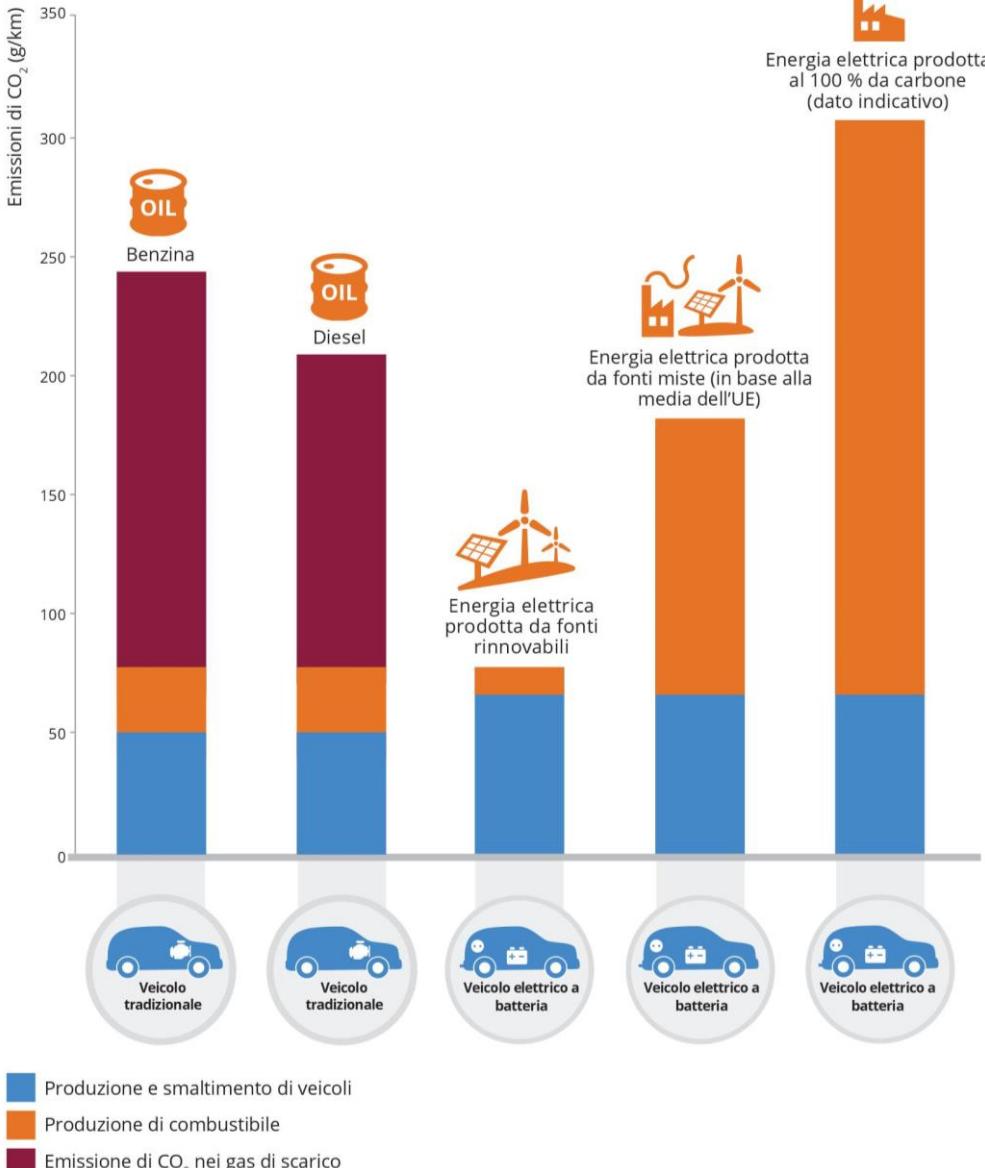
Emissione di CO₂ nel ciclo di vita dei veicoli



Energia elettrica prodotta
al 100 % da carbone
(dato indicativo)

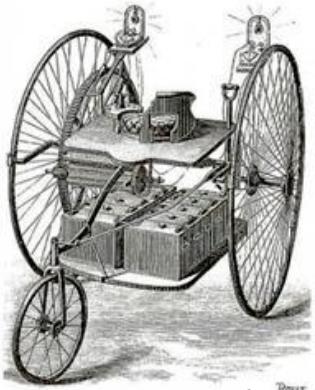
I veicoli elettrici sono più efficienti dal punto di vista energetico rispetto a quelli alimentati con combustibili fossili

Le fonti per la produzione di energia elettrica diventano importanti per le emissioni di CO₂



Nota: i valori sono calcolati prendendo in considerazione un veicolo di classe media su una distanza complessiva di 220 000 km.
Fonte: TNO, 2015; calcoli dell'autore.

A che punto siamo con la tecnologia?



1830, Carrozza elettrica



1899, Jamais Contente

Record velocità
105 km/h

Cella Ni/Fe
Edison, 1901

Autonomia 300 km
a 20 km/h



Vetture circolanti

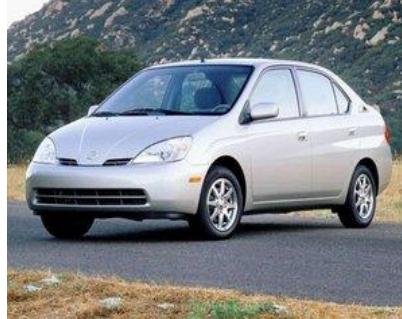
Inizi '900	2015
38% elettriche	0.2% elettriche
40% vapore	2021 (>200M)
22% benzina	8.3% elettriche

Vetture circolanti (mila)

	Italia	Francia	UK	USA
1912	15	-	-	700
1922	41	-	-	8200
1932	188	1298	1150	20832
1956	1030	3060	3980	54210
2018	38800	(256 EV, 0.66%)		



1972, FIAT X1/23
80 km, 70 km/h

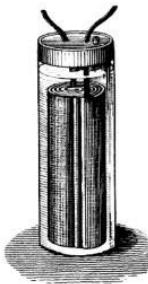


1997, Toyota Prius (HEV)



Renault Zoe





Batteria al piombo
1859
 $\text{Pb}/\text{H}_2\text{SO}_4/\text{PbO}_2$

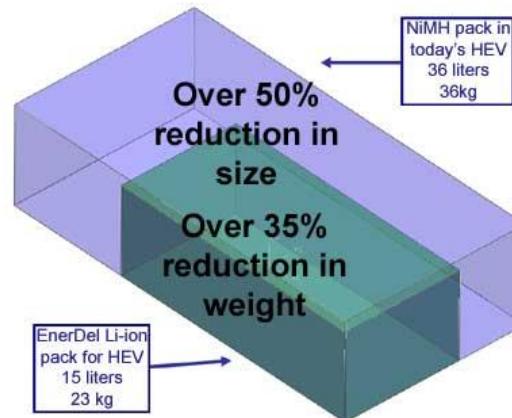
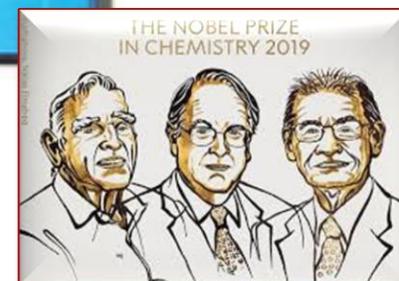


Battery	cell voltage V	Specific Energy Wh kg ⁻¹	Energy density Wh L ⁻¹
Pb-acid	2.0	35-40	80-90
Ni-MH	1.2	60-120	140-300
Li-ion	3.2-4.0	150-300	250-650

Batteria NiMH
1989
 $\text{MH}/\text{NiO(OH)}$



Cella Li ione
Sony, 1991



Comparison among batteries: which are the parameters?



<https://chargedevs.com/newswire/nissan-leaf-batteries-should-last-22-years/>

Specific energy - Specific power

Wh/kg

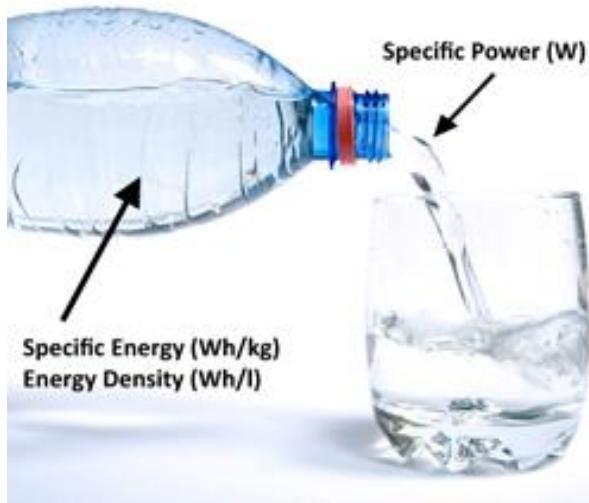
capacity \times voltage/mass

W/kg

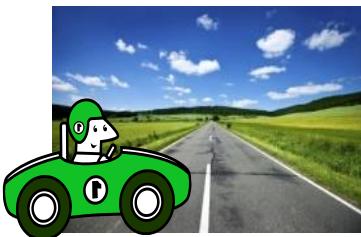
current \times voltage/mass



Energia e Potenza



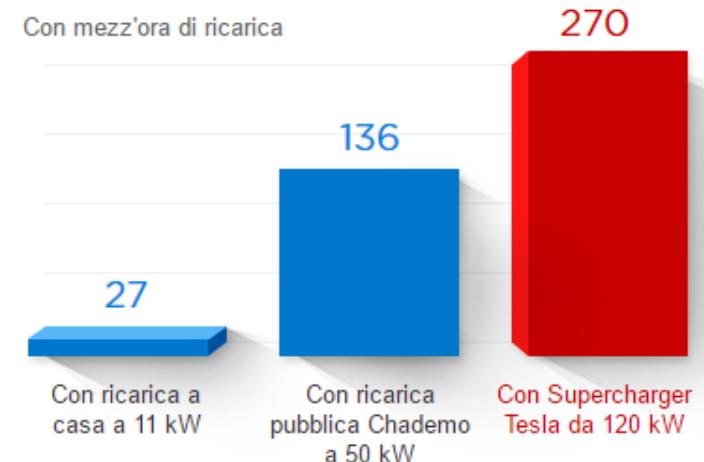
0,18 kWh/km



Auto	Energia kWh	Percorrenza km
Nissan Leaf		
2007-2016	24	100-160
2017-	40	270
2019	62	375
Tesla		
Model S	75-100	490-632
Roadster 2019	200	1000

Chilometri di autonomia

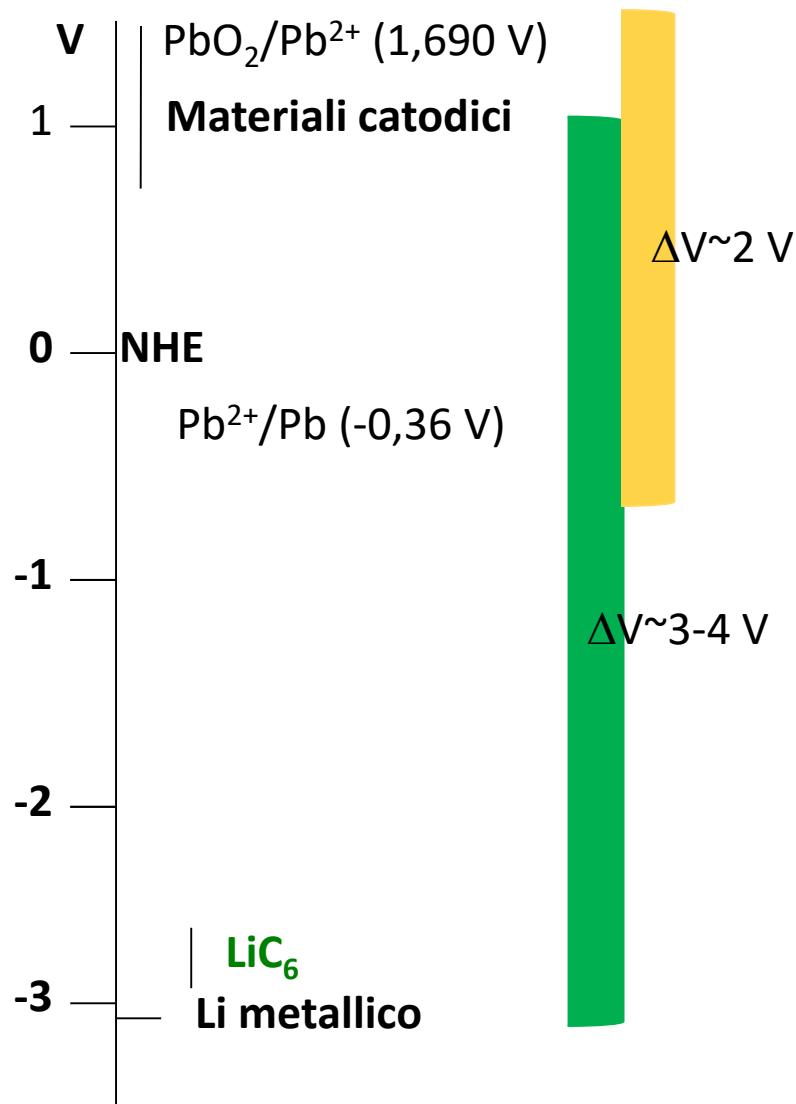
Con mezz'ora di ricarica



I Supercharger Tesla garantiscono fino a 270 chilometri di autonomia con soli 30 minuti di ricarica.



Tecnologia basata sul litio



Batteria al litio
Li⁺/Li - 3.03 V vs NHE
Li 6.94 g/mol 3860 mAh/g



Pila al litio
1970
Li/MnO₂

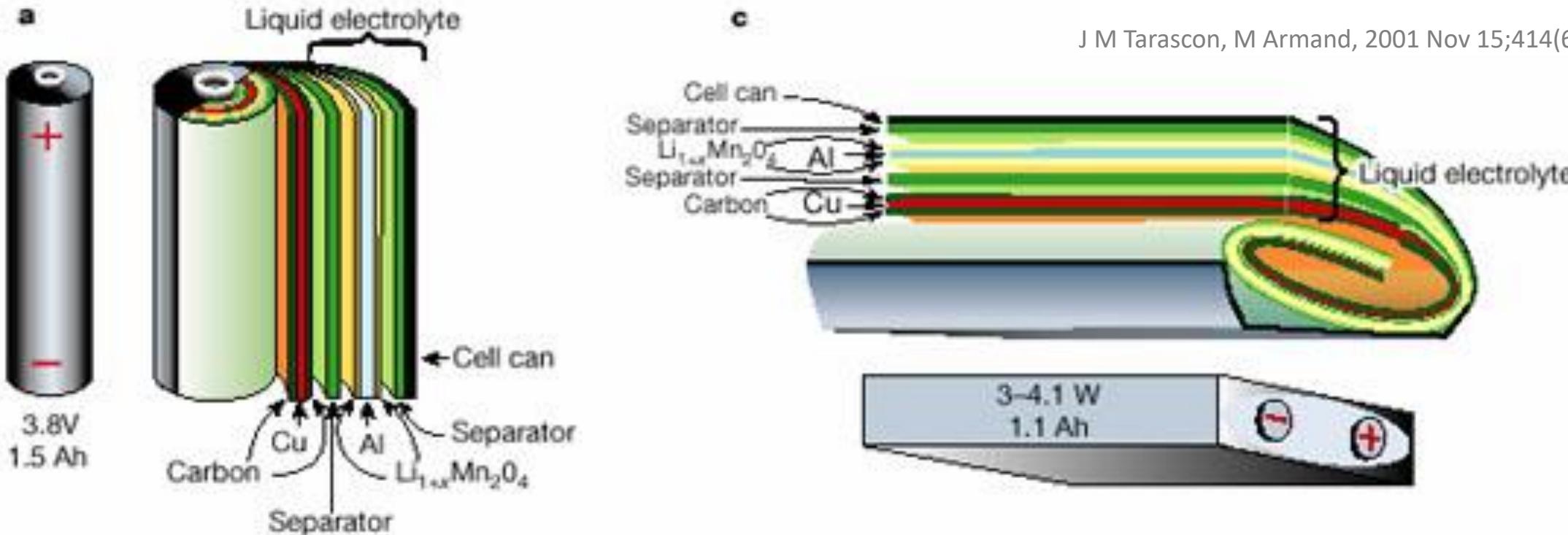
Problemi

Reattività del litio con il mezzo elettrolitico
Crescita di dendriti di litio (corto circuito)

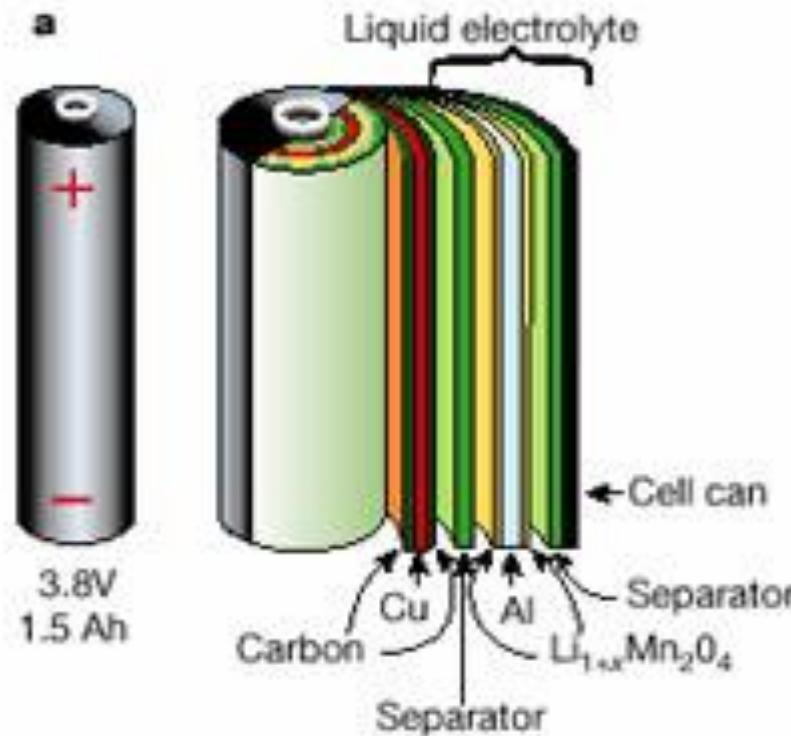
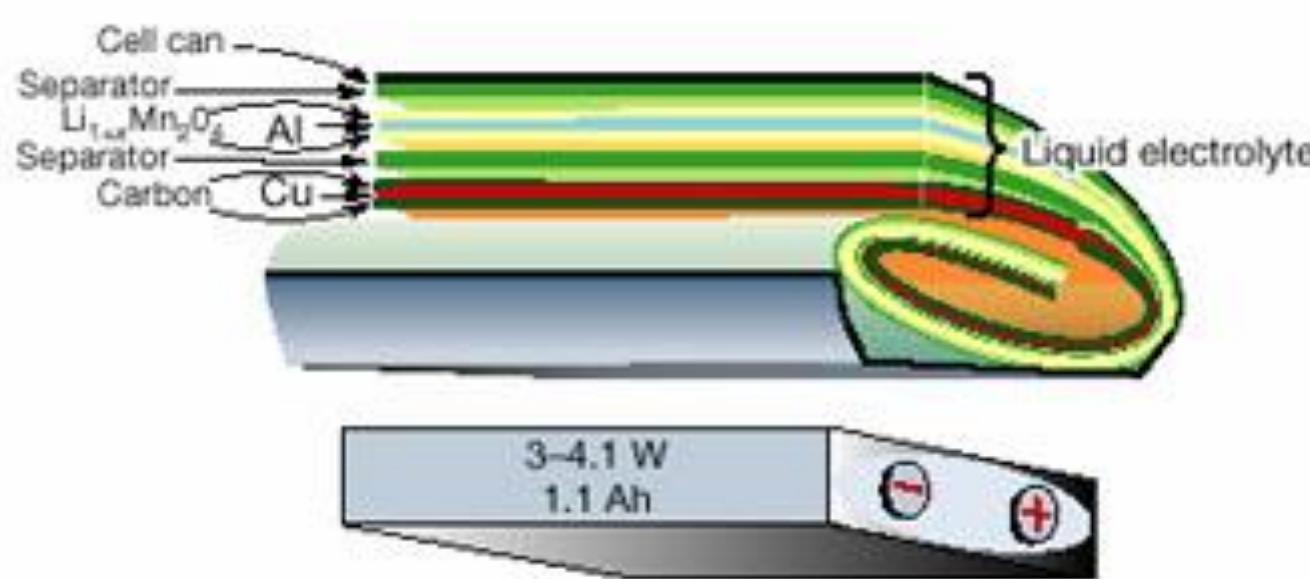
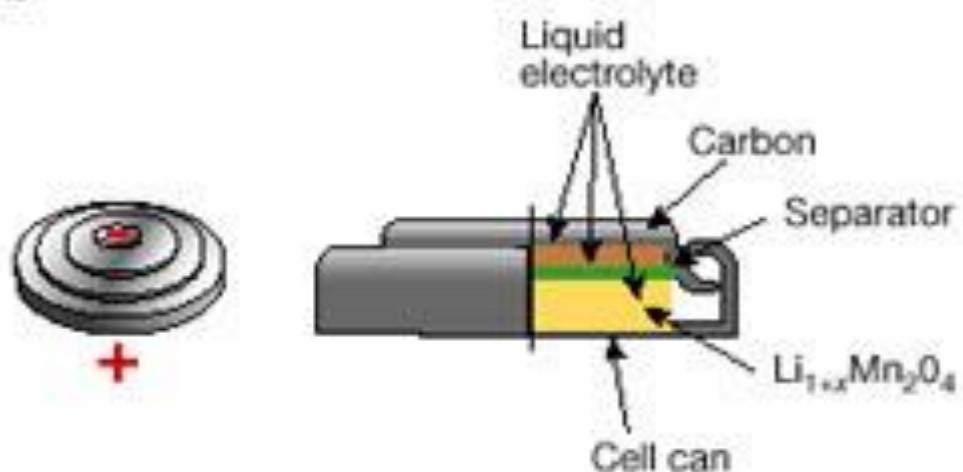
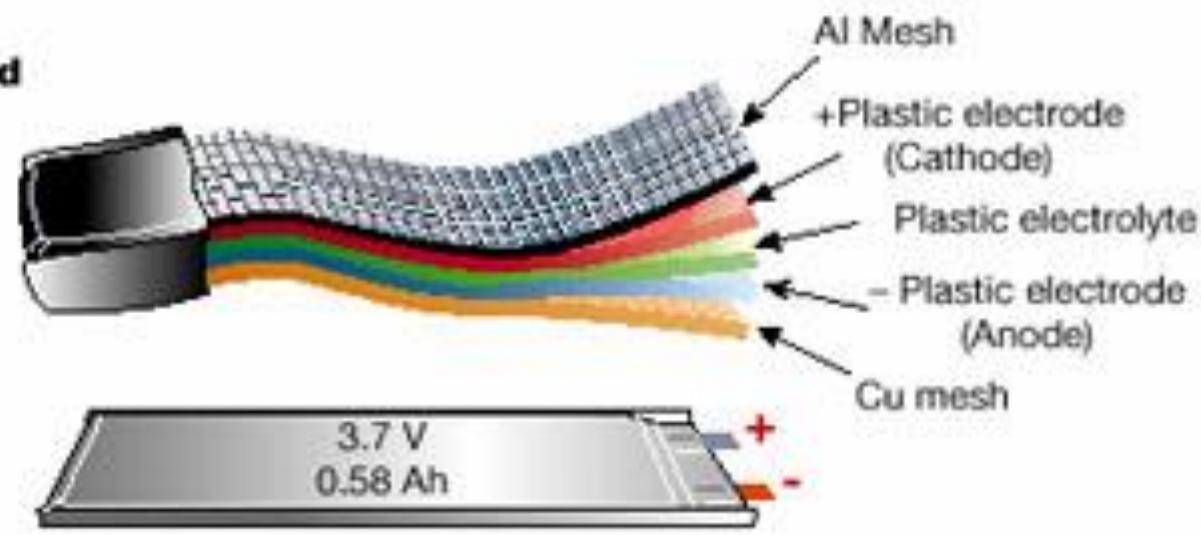
Batteria agli ioni di litio
C₆/LiC₆ -2.9 V vs NHE
C₆ 72 g/mol 372 mAh/g



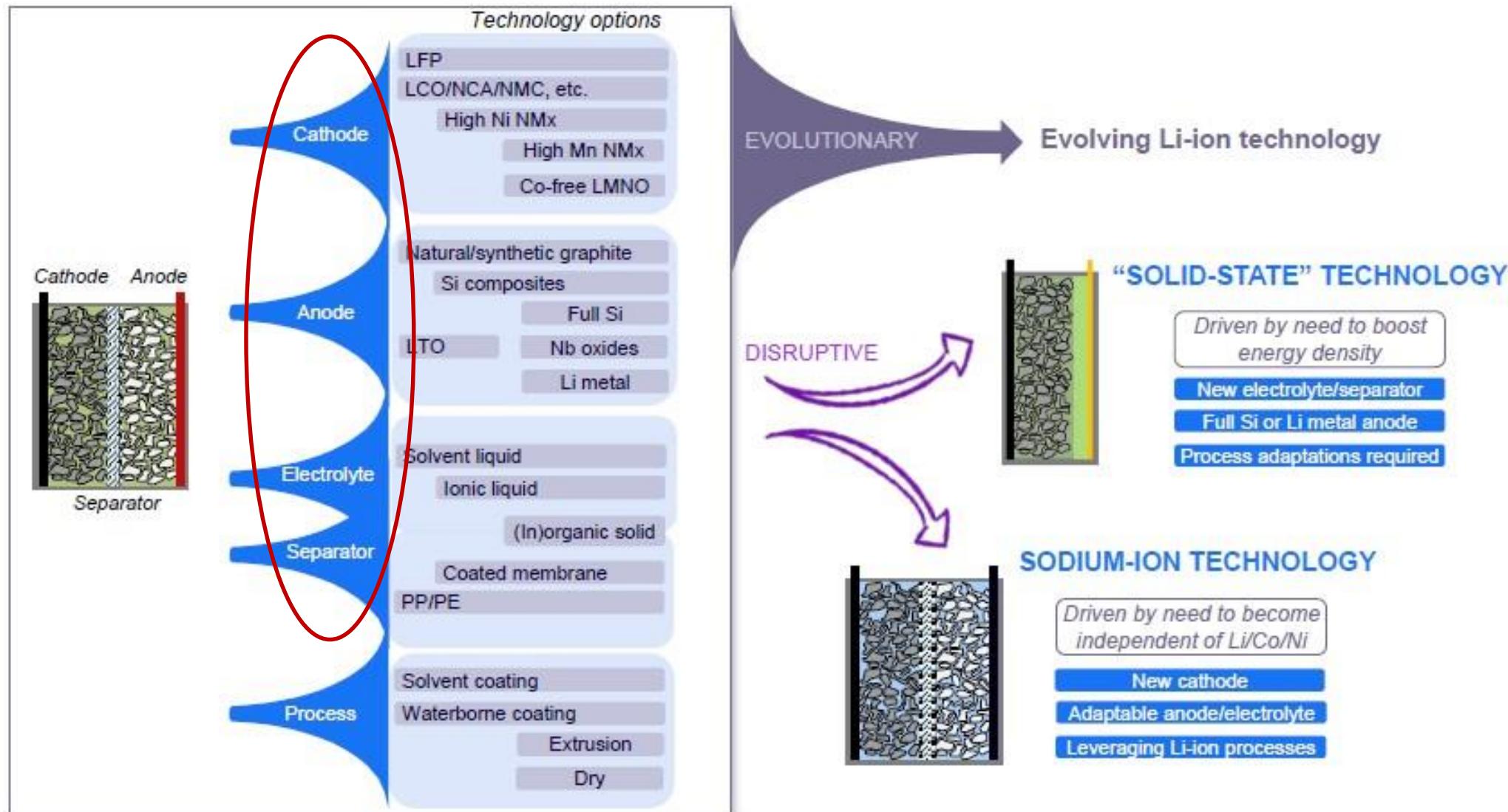
Cella Li ione
Sony, 1991
C/LiCoO₂



J M Tarascon, M Armand, 2001 Nov 15;414(6861):359-67

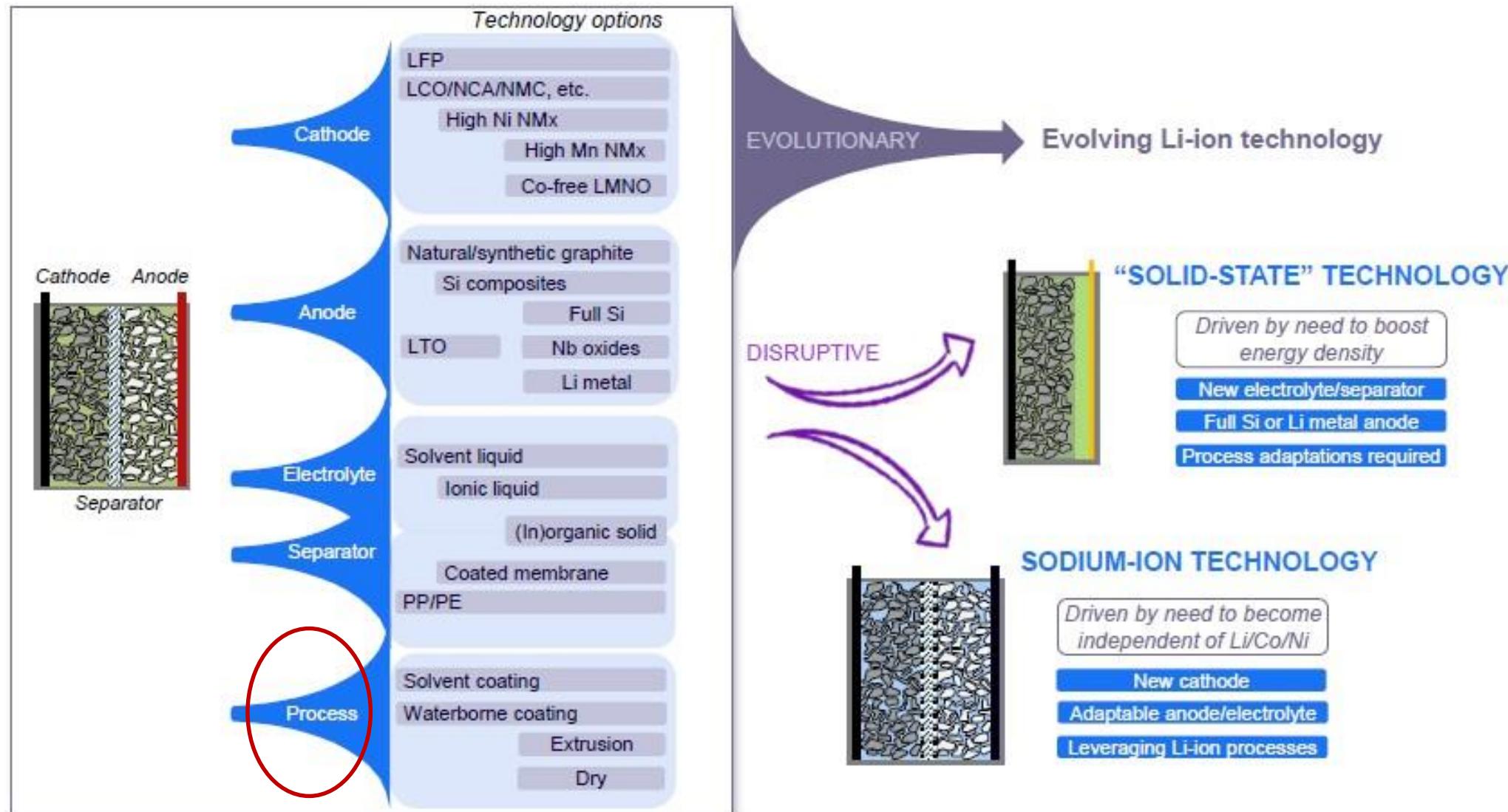
a**c****b****d**

Come può essere ottimizzata una batteria? Materiali...

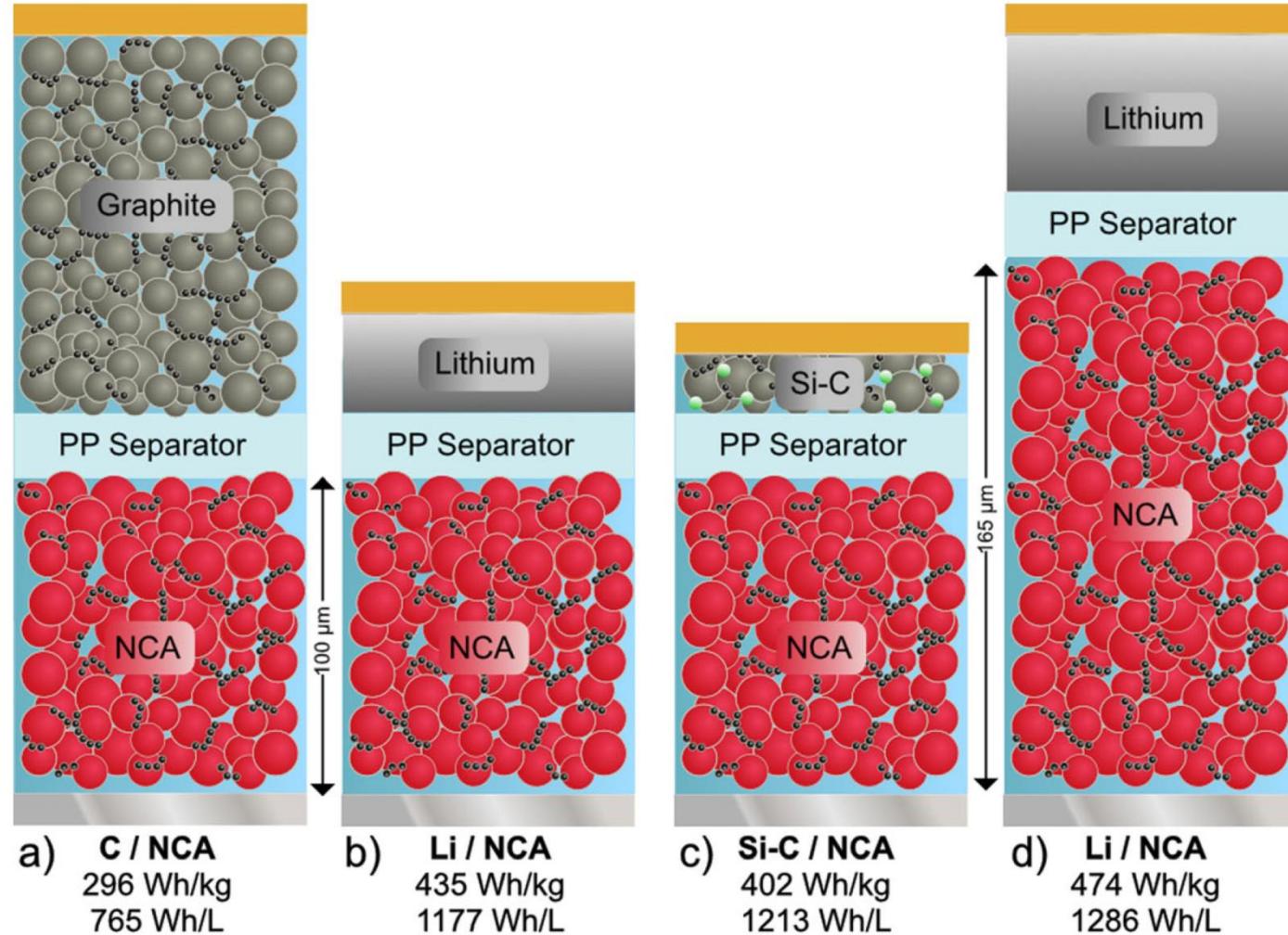


Source: Arthur D. Little

Come può essere ottimizzata una batteria?e processi



Source: Arthur D. Little



J Solid State Electrochem (2017) 21:1939–1964



Integrated SET-Plan Action 7

~ Implementation Plan ~

"Become competitive in the global battery sector to drive e-mobility and stationary storage forward"

2050 ?

2030

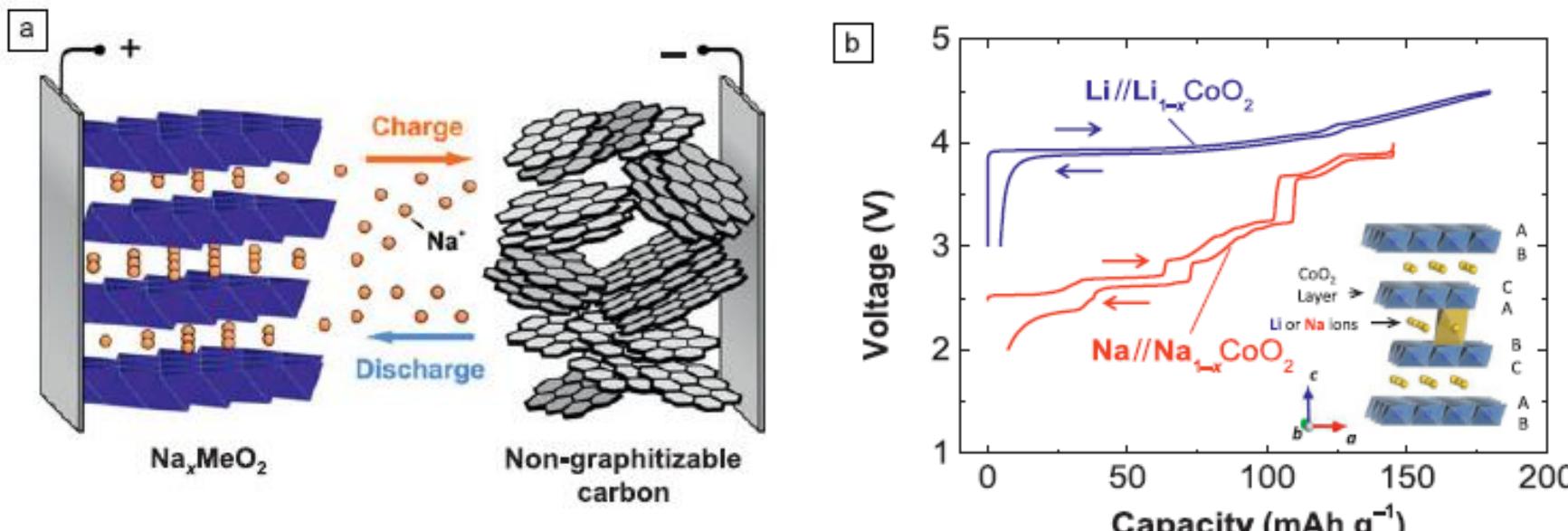
2020

Gen	anode	cathode	Energy Wh/kg
5	Li metallico	aria	750-1000
4	Li metallico Li metallico (stato solido)	zolfo NCM- catodi ad alto potenziale	500-750
3b	Si-grafite	NCM-catodi ad alto potenziale	400-450
3a	grafite+5-10% Si	NCM (622 to 811)	350
2b	grafite	NCM (523 to 622)	300
2a	grafite	NCM (111)	250
1	grafite	LFP, NCA	100-250

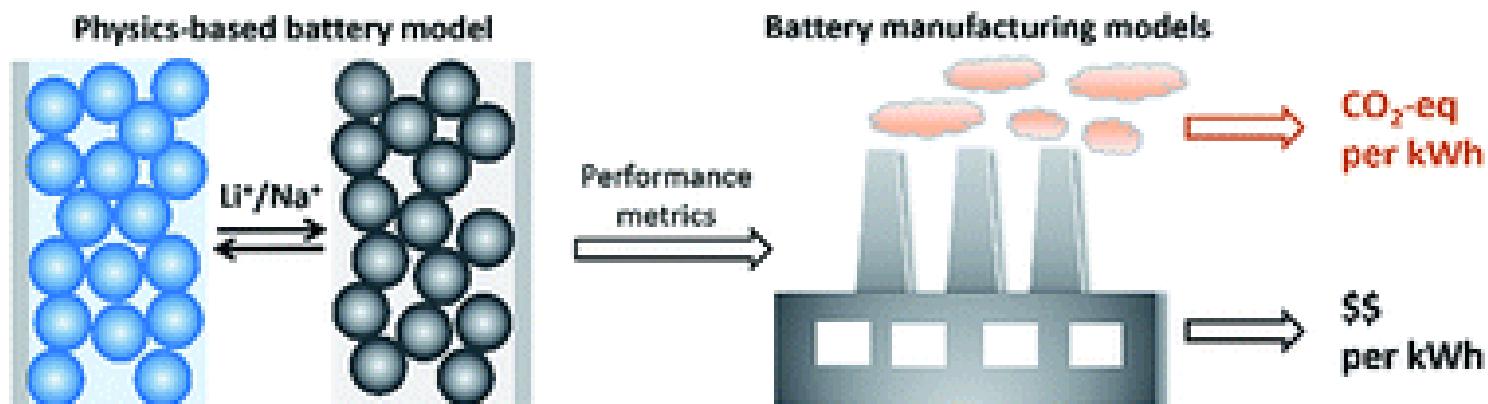
Esiste una alternativa al litio?

Category	Lithium	Sodium
Atomic weight (g mol⁻¹)	6.9	23
Cation radius (Å)	0.76	1.06
E° (V vs. Li/Li⁺)	0	0.3
Capacity (mAh g⁻¹), metal	3,829	1,165
Cost (\$/ton), carbonates	12,600	200
Current collector (anode)	Cu	Al
Distribution	70 % in South America	Everywhere
Abundance	20 mg kg ⁻¹	23.6 g kg ⁻¹

Esiste una alternativa al litio?



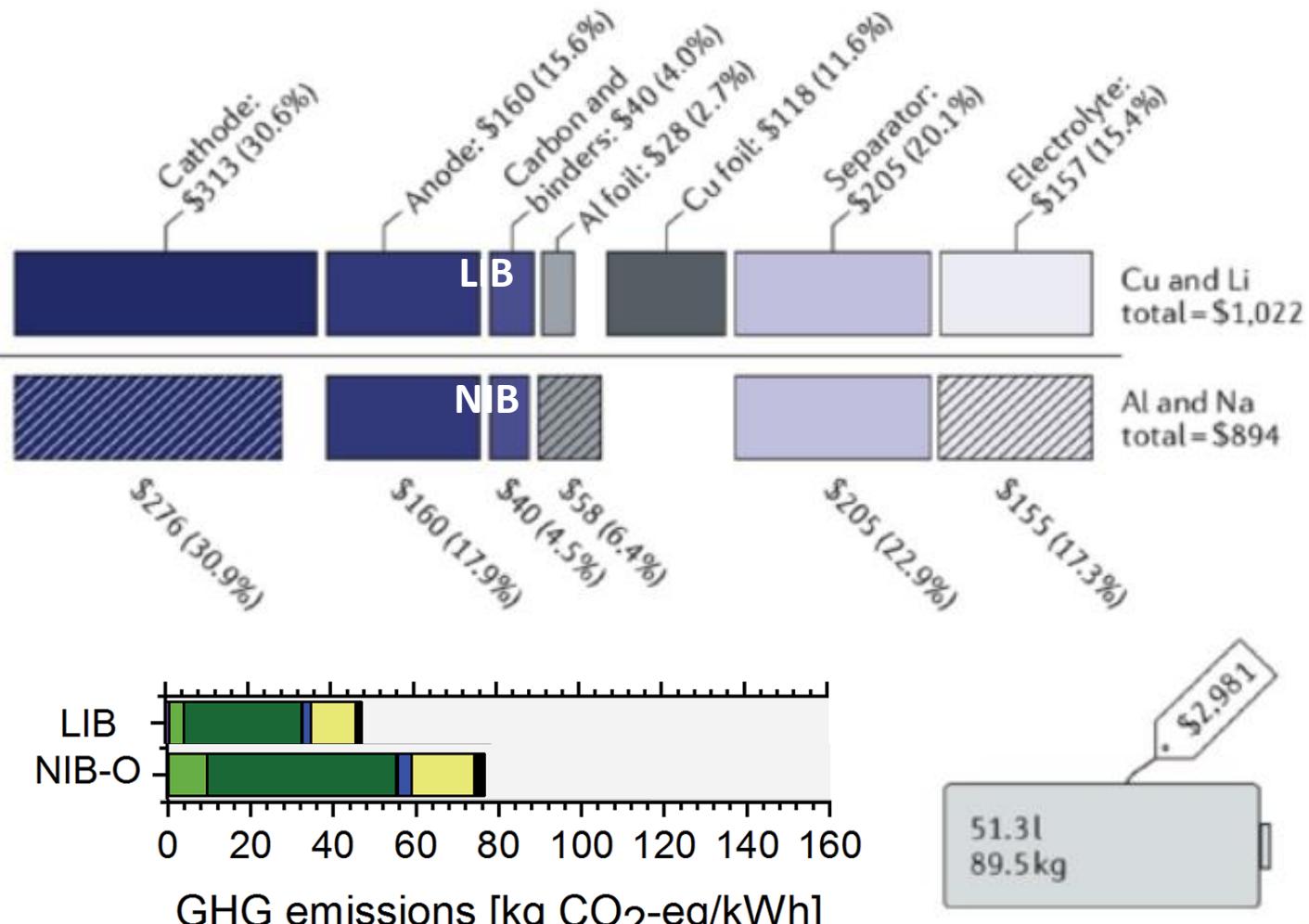
K. Kubota et al., MRS BULLETIN, 39, 2014, 416 Copyright © Materials Research Society 2014



Reproduced from S. F. Schneider et al., Sustainable Energy & Fuels 2019, 3, 3061–3070
with permission from the Royal Society of Chemistry.

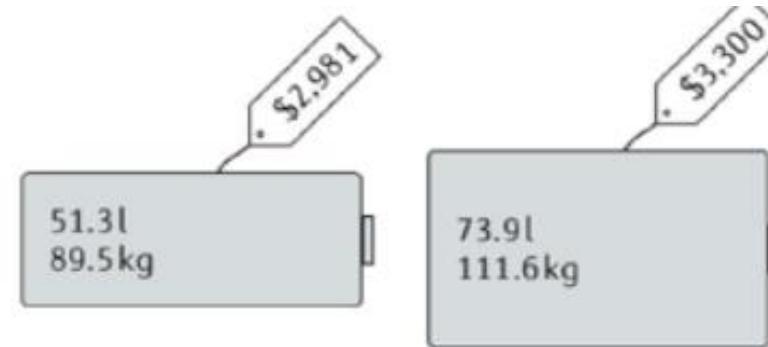
Esiste una alternativa al litio?

a

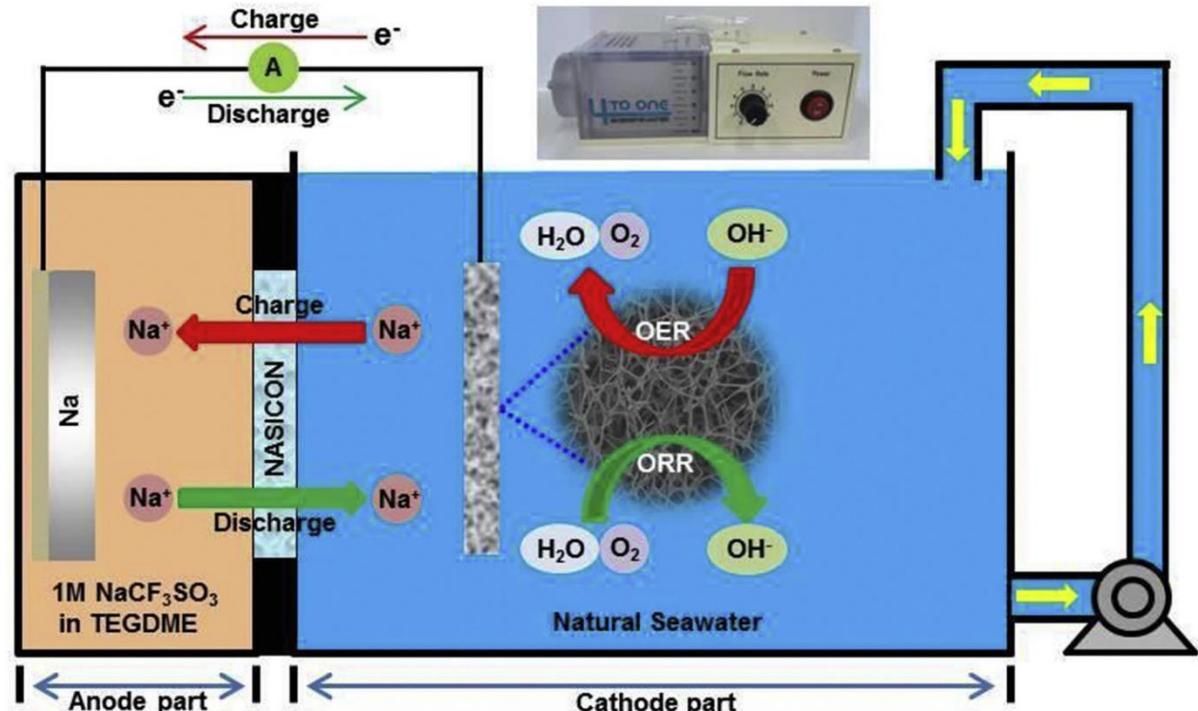
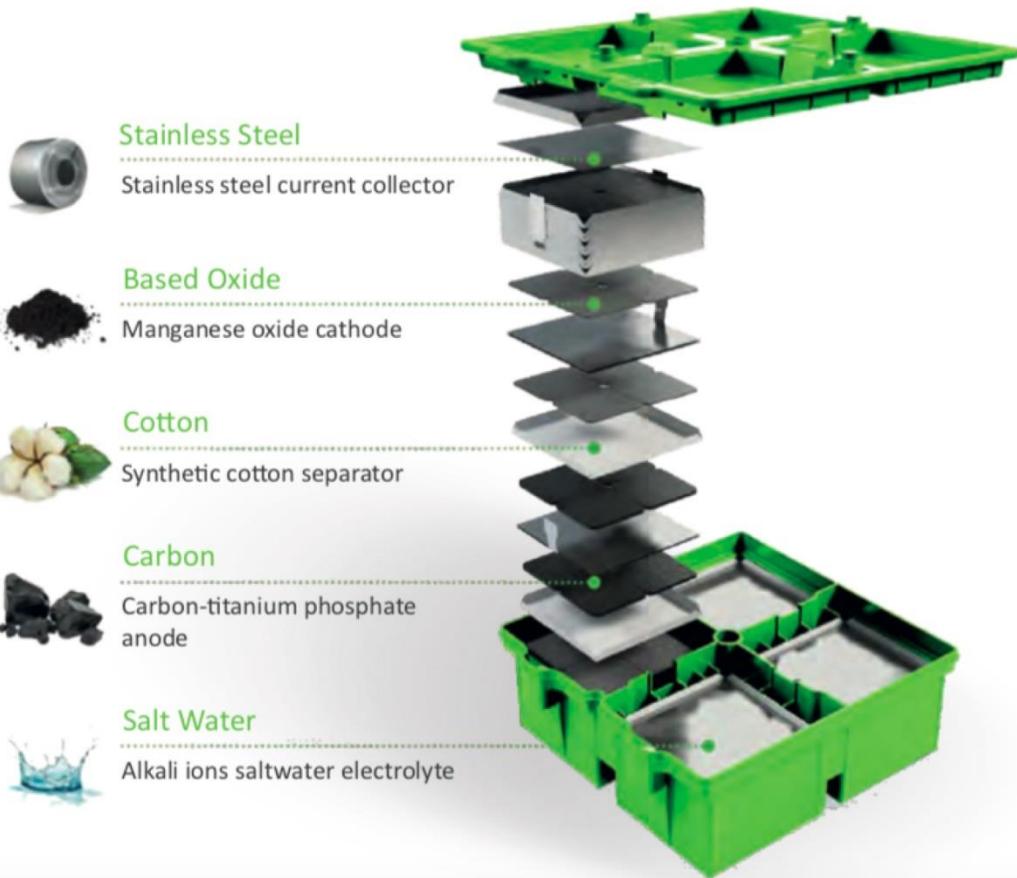


- [■] anodo
- [■] catodo
- [■] elettrolita
- [■] energia
- [■] contenitore

Reproduced from S. F. Schneider et al., Sustainable Energy & Fuels 2019, 3, 3061–3070
with permission from the Royal Society of Chemistry.



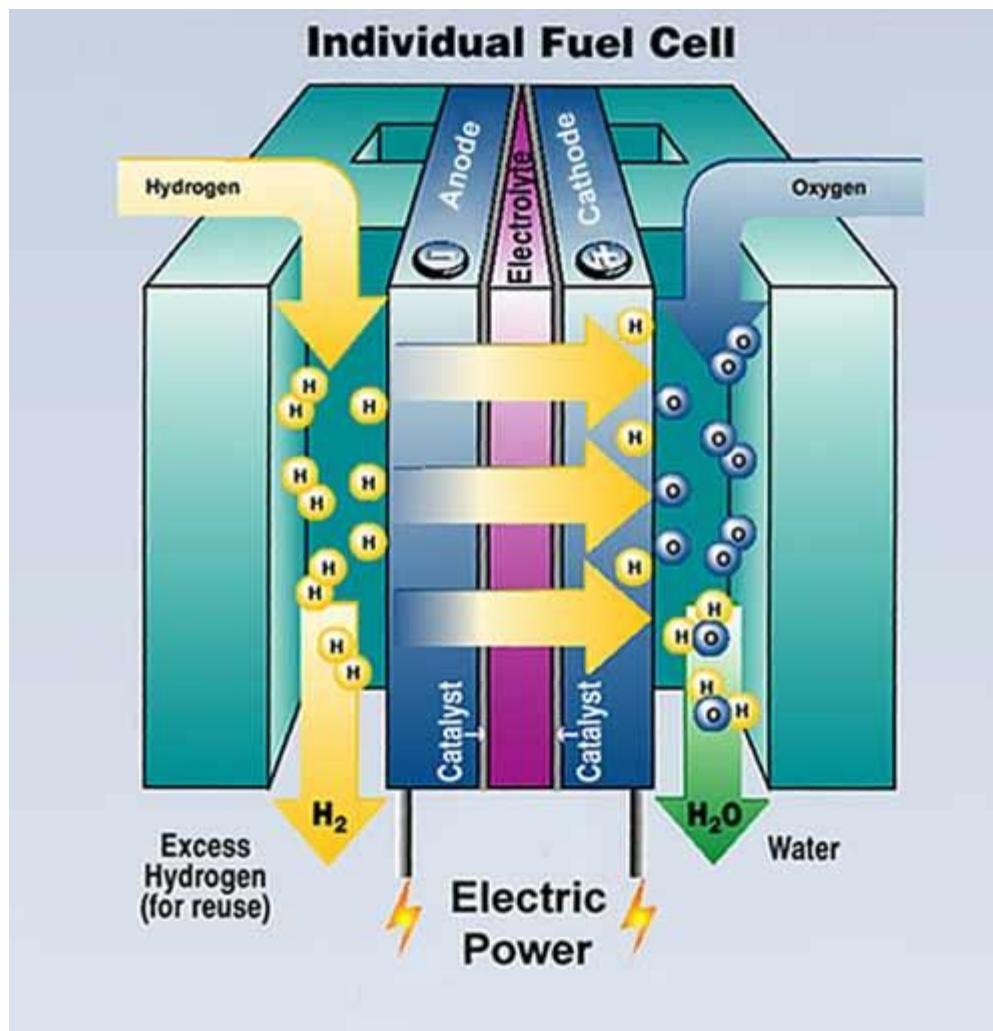
Esiste una alternativa al litio?



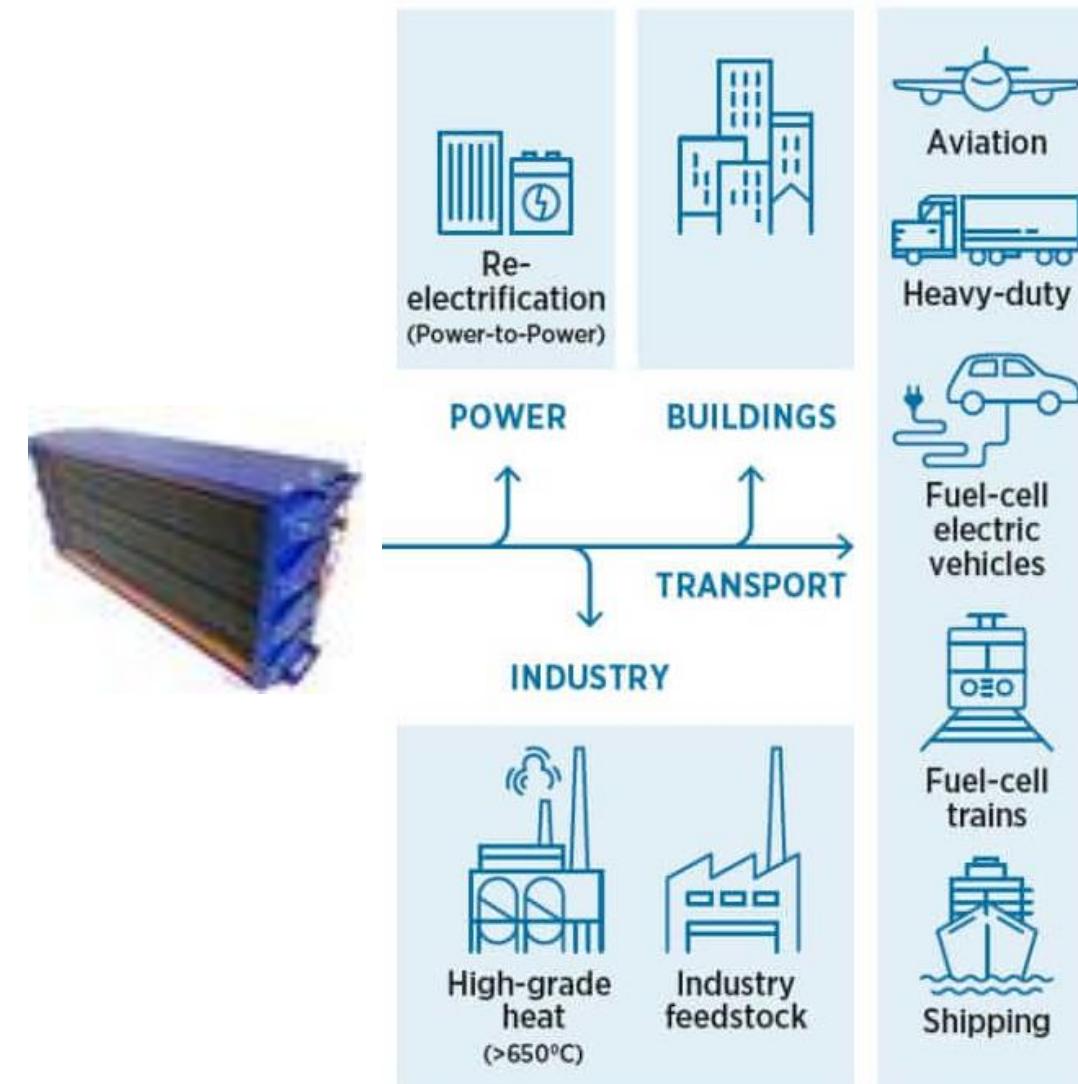
Y. Zhang et al., J. Power Sources 400 (2018) 478

<https://www.startengine.com/blue-sky-energy>

Sono le celle a combustibile una alternativa alle batterie Li-ion?



Source: US D.O.E., Office of energy efficiency and renewable energy

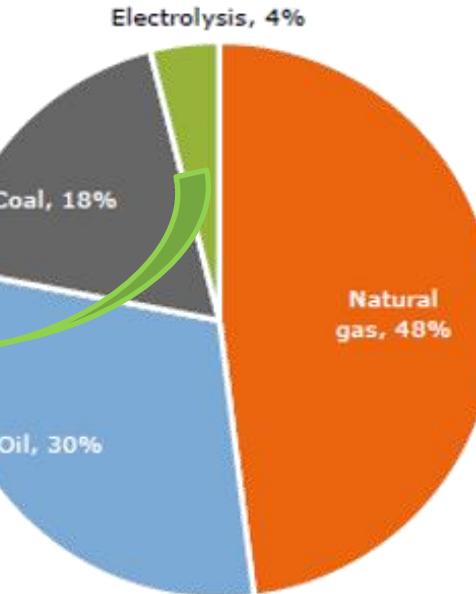


Per produrre 1 kg of H₂:

servono 55 kWh di energia
e 9 L acqua

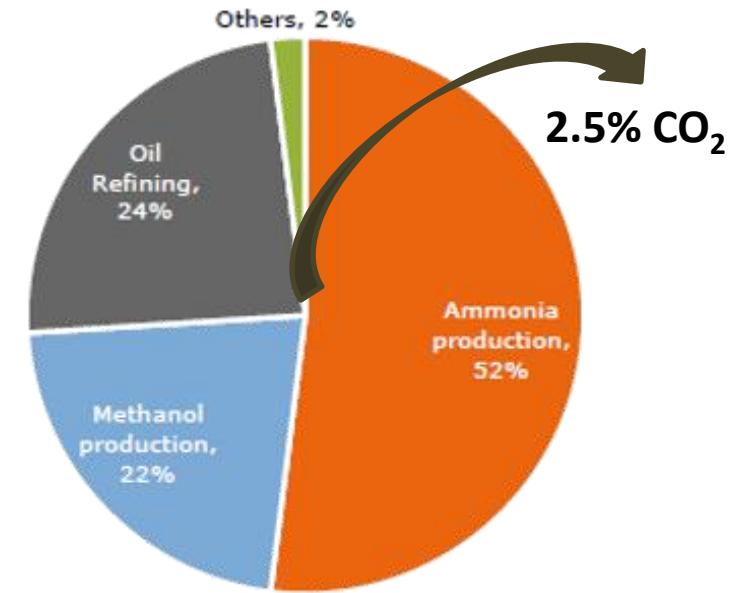


restituisce 33 kWh [-30%!]



Global hydrogen production is mainly from natural gas and oil, with only limited production using electrolysis.

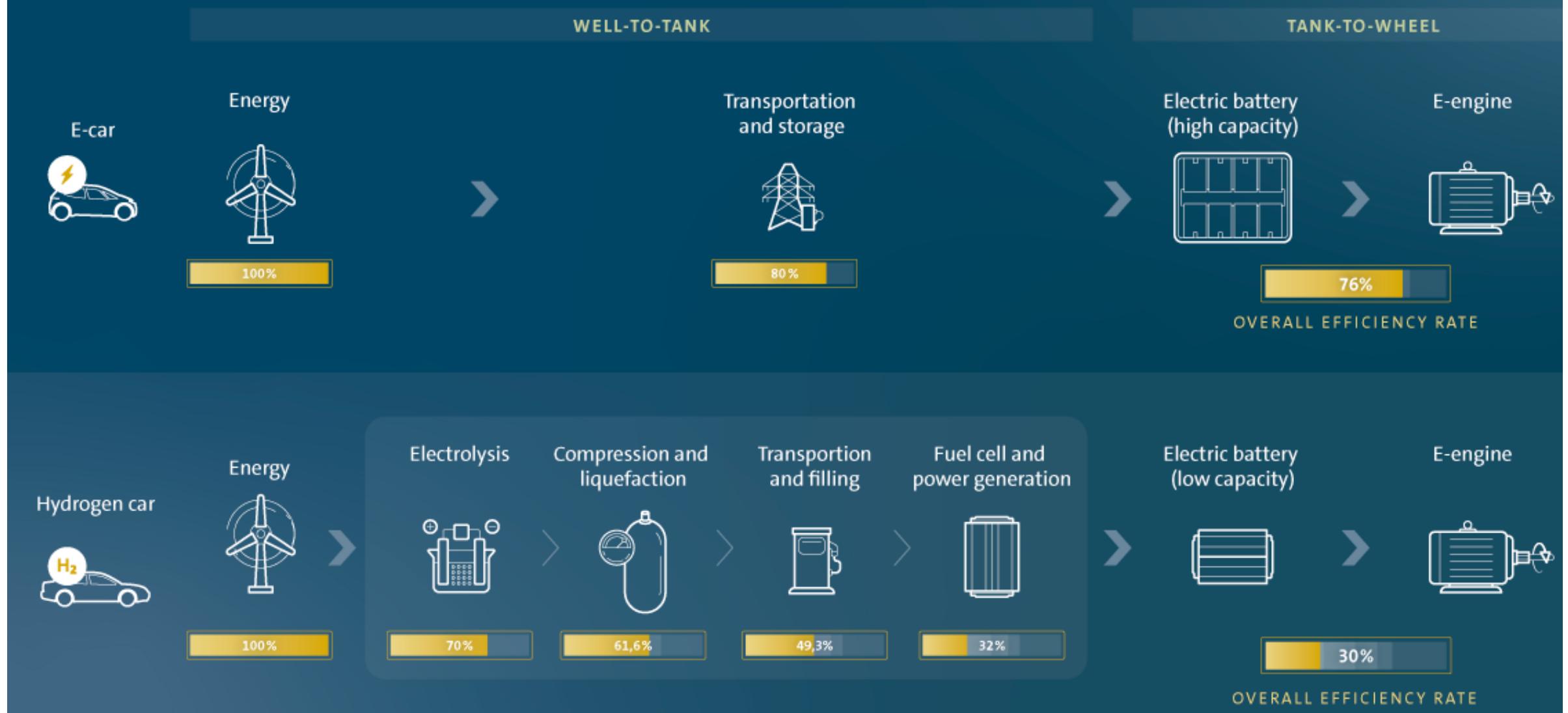
Idrogeno



Global hydrogen demand is currently mostly concentrated as a feedstock for the production of ammonia, methanol and in oil refining.

- Trasporto leggero: no competizione con le batterie
- Trasporto pesante: andrebbe elettrificato
- Imbarcazioni leggere: OK
- Imbarcazioni cargo: 35 gg dalla Cina a EU, 9000 t diesel.
→ 3000 t H₂ (liquido), che richiedono 150 GWh di elettricità. Se questa derivasse dal più grande elettrolizzatore al mondo alimentato a PV (10 MW), servirebbero 2 anni per produrre H₂ per un solo viaggio.

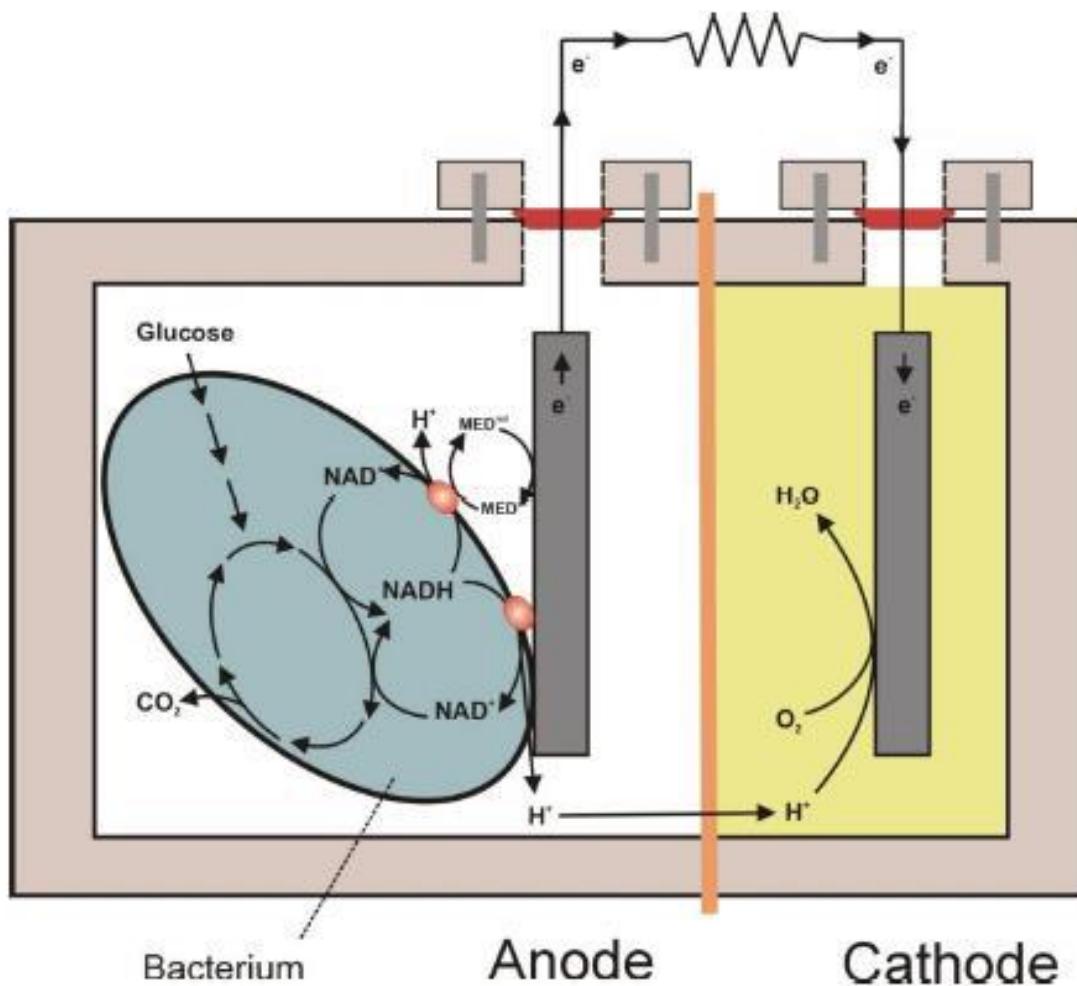
- Non possiamo usare le tubazioni per il gas esistenti
- Potremmo produrre H₂ in nord Africa (dipendenza da altri Stati)
- H₂ non può essere immagazzinato in modo semplice: va pressurizzato a 350-700 bar o liquefatto a -253 °C.



<https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/08/hydrogen-or-battery--that-is-the-question.html>



Celle a combustibile microbiche



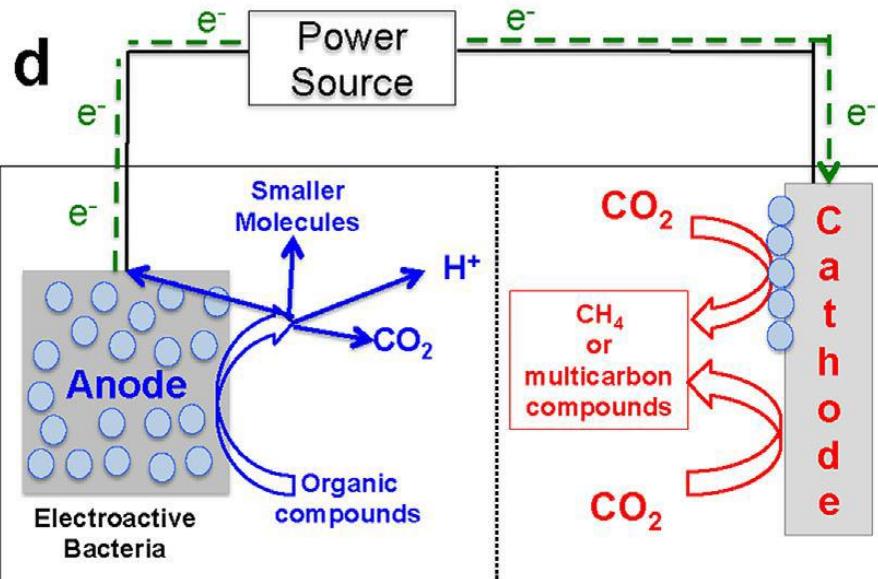
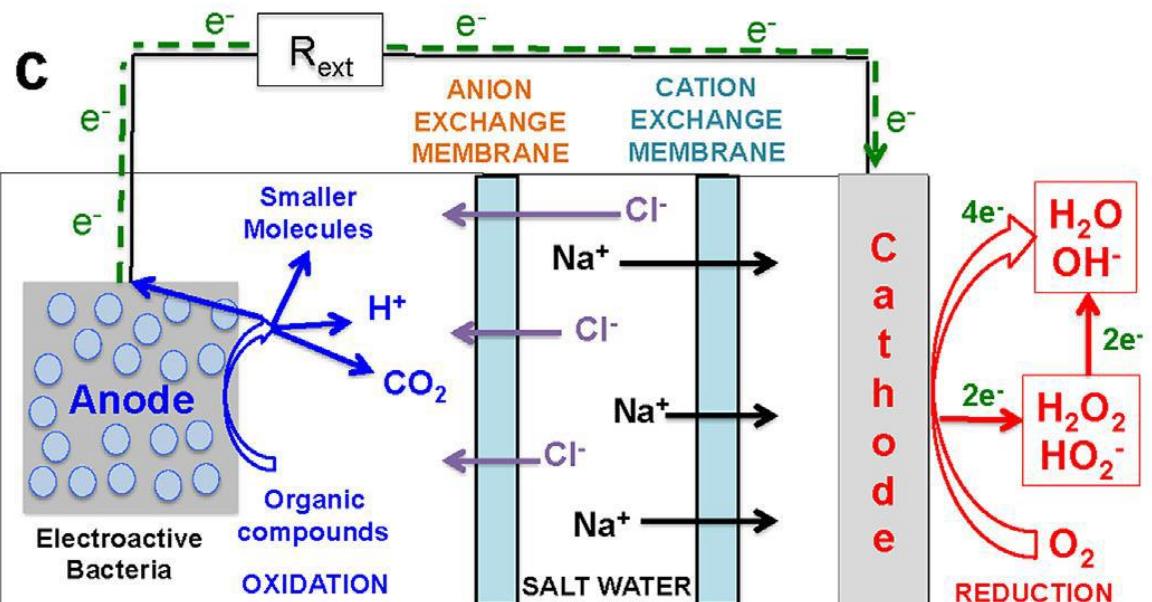
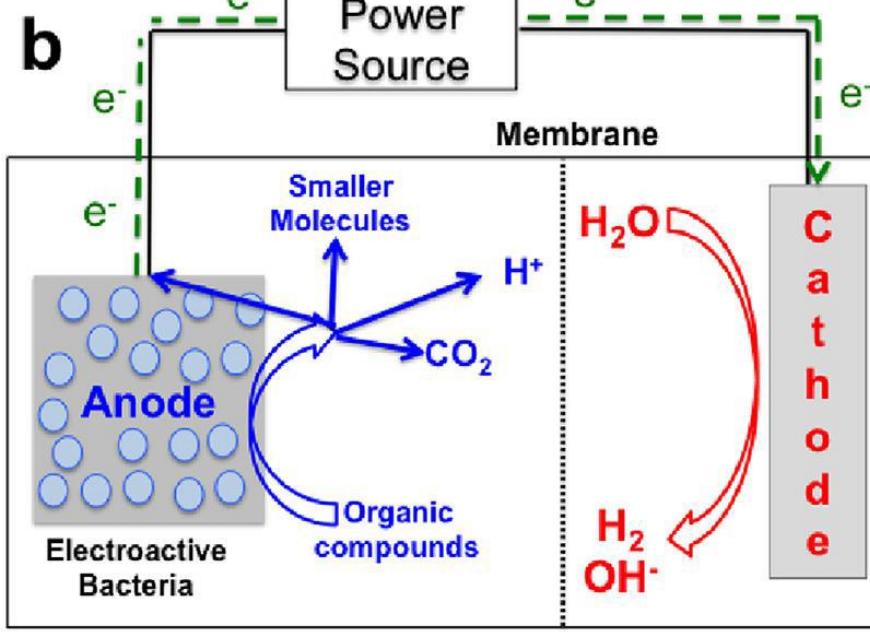
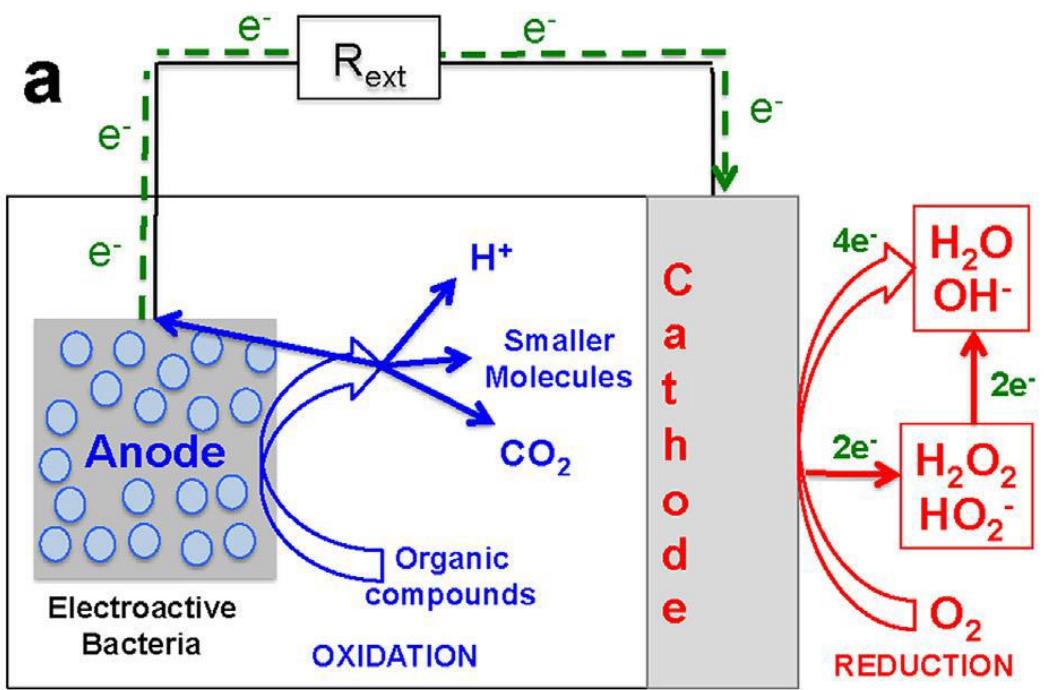
Santoro et al., J. Power Sources 2017, 356, 225-244



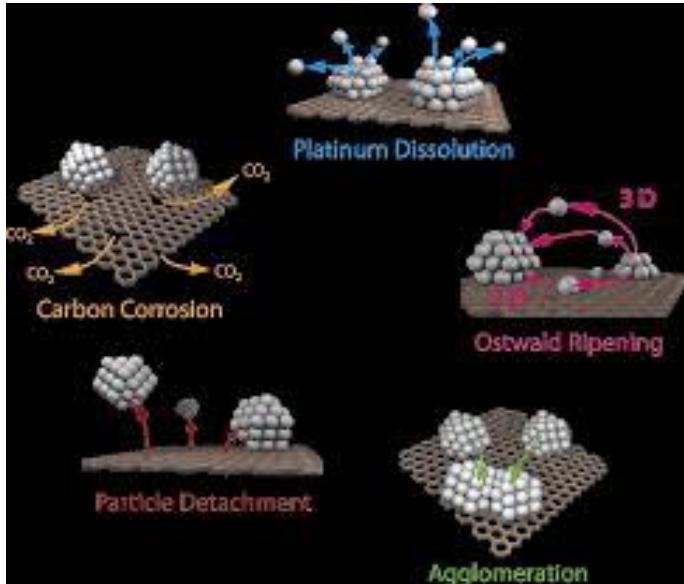
S. Babanova et al., Water Environ. Res. 92, 60-72 (2020)



I. A. Ieropoulos et al., Environ. Sci.: Water Res. Technol., 2016, 2, 336

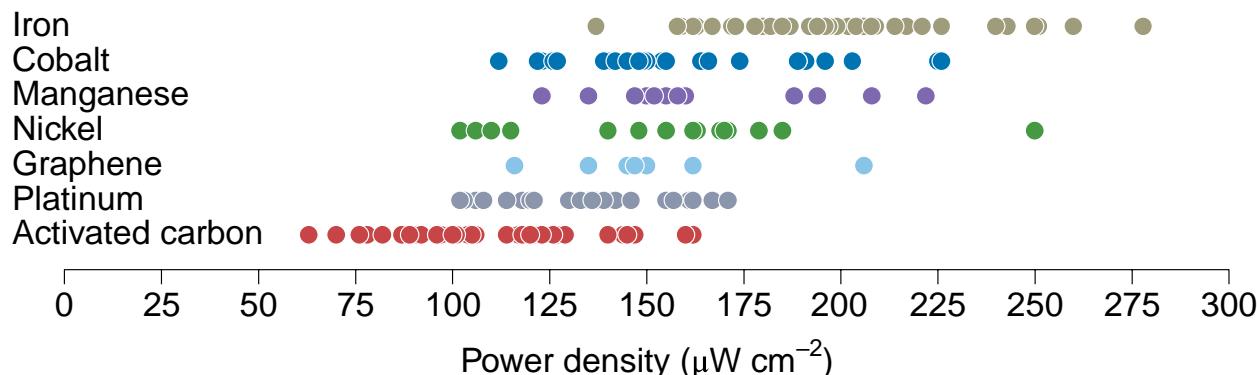


Catalizzatori a base di metalli nobili (PGM)

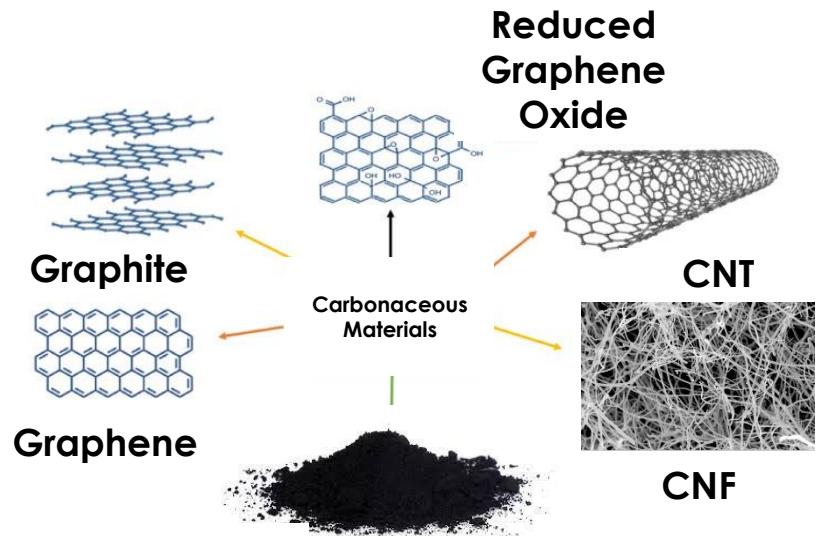


J. C. Meier, et al., J. Nanotechnol., 2014, 5, 44–67.

- Costo elevato
- Scarsità metalli nobili
- Facilmente avvelenabile



Catalizzatori PGM-free



Activated Carbon

Materials Today Advances, 13 (2022) 100208

- Costo molto basso
- Abbondanti e disponibili
- Resistenti all'avvelenamento



Corrosione

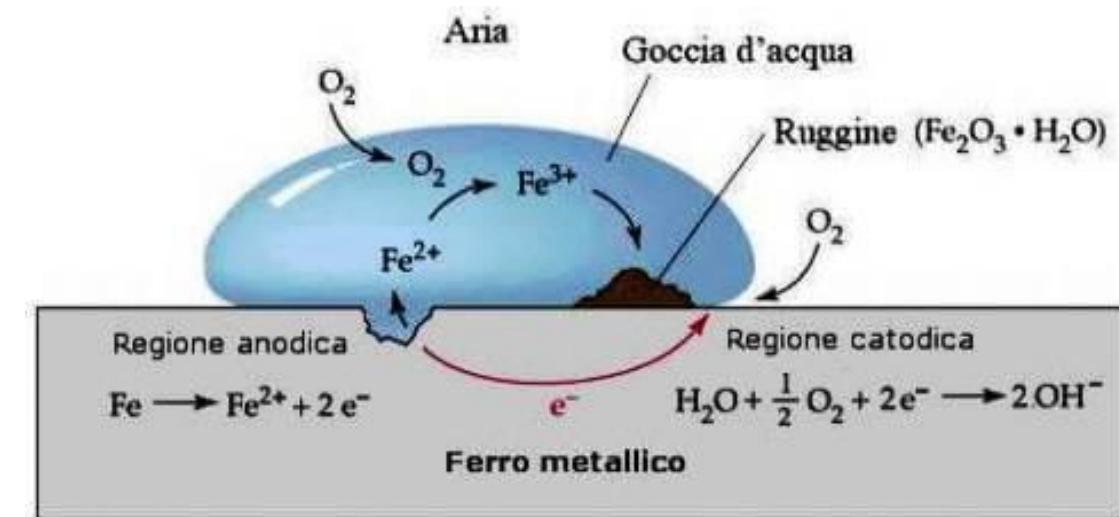
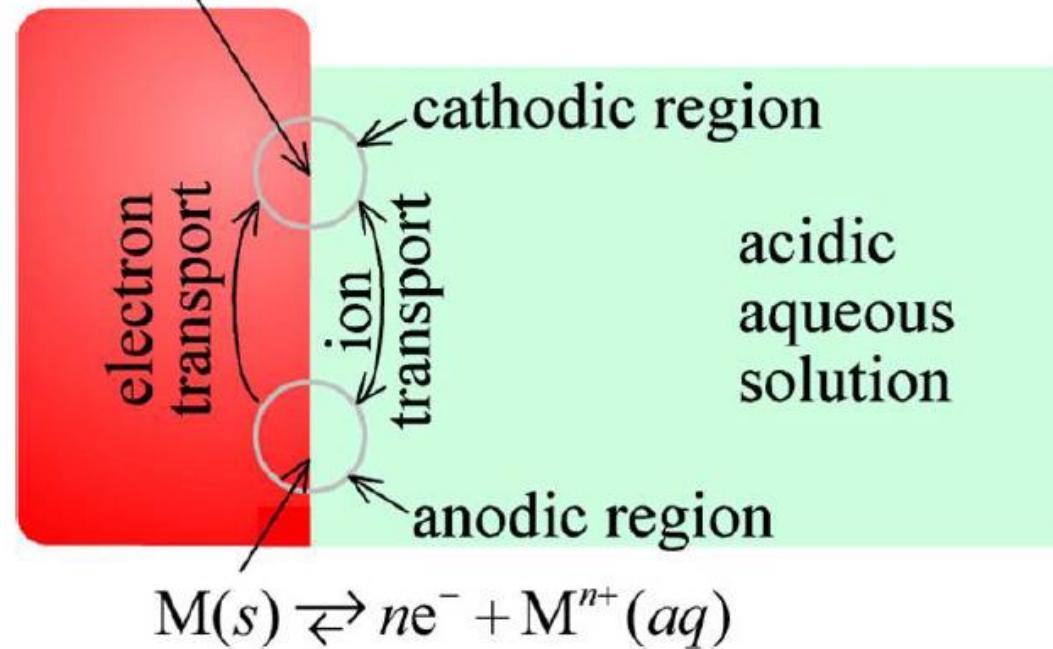
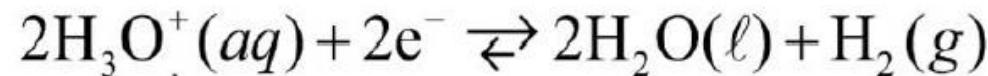
Enorme impatto economico: circa un quinto della produzione annuale di acciaio è destinata alla sostituzione di parti danneggiate dalla corrosione.

Una corretta ed efficace protezione anticorrosione alla fonte contribuisce a risparmiare denaro e risorse a lungo termine.

Sicurezza: un cedimento dovuto alla corrosione potrebbe avere conseguenze drammatiche.

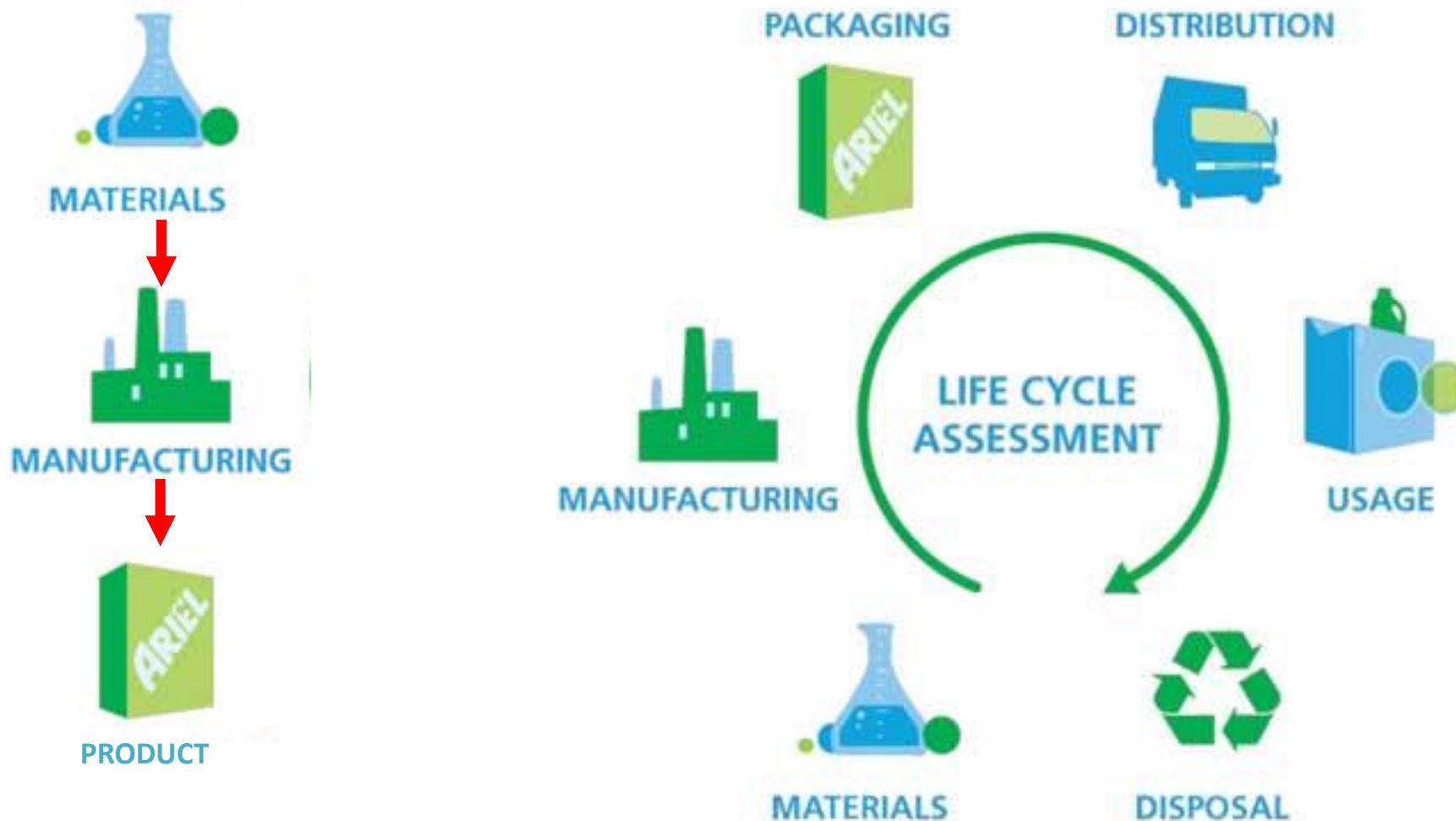


Il processo di corrosione può essere descritto come lo svolgimento simultaneo, alla superficie metallica, di due processi elettrochimici, l'uno che dà luogo ad una corrente anodica e l'altro ad una catodica.

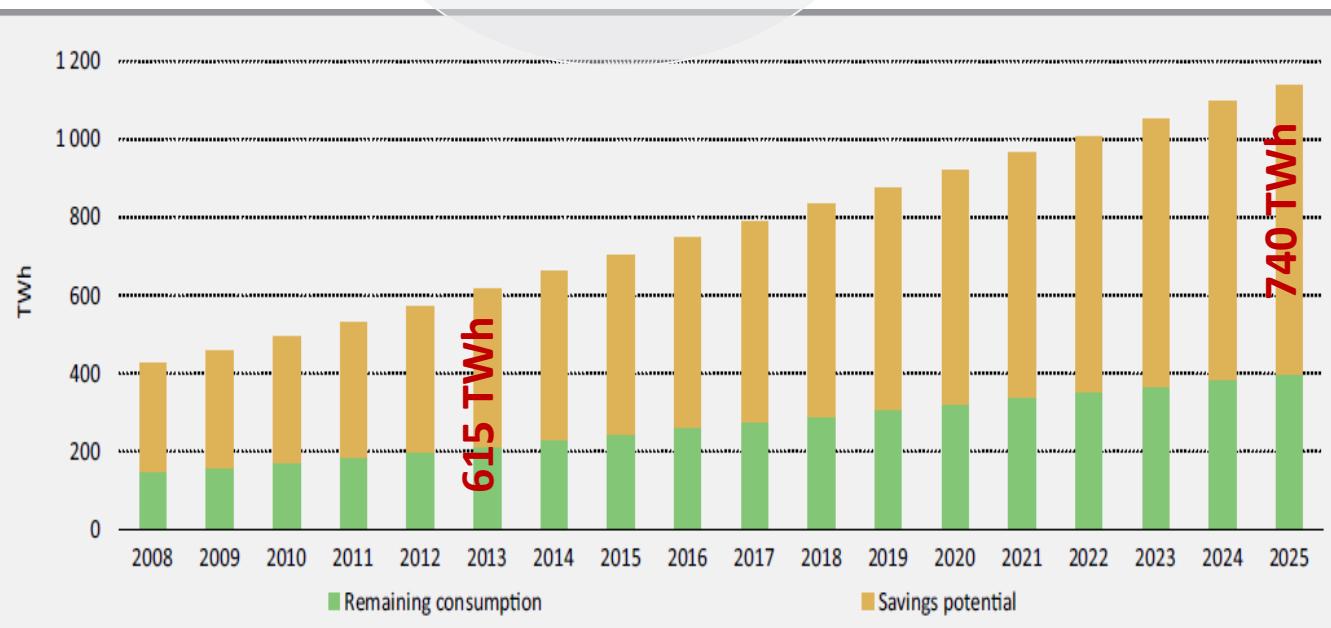


Come si può risparmiare energia?

Ottimizzando il ciclo di vita dei prodotti



Risparmio energetico



2:1 rapporto tra dispositivi connessi e popolazione mondiale

50 miliardi di dispositivi (2020)

500 miliardi entro 2050

80% energia utilizzata dai dispositivi per mantenere la connettività

615 TWh energia elettrica consumata da dispositivi connessi (2013)
($T = \text{tera} = 10^{12} = \text{mille miliardi}$)

740 TWh* energia risparmiata (2025)
ottimizzando la tecnologia e l'utilizzo

*equivalente all'energia elettrica consumata da FR e UK

www.iea.org/etp/networkstandby



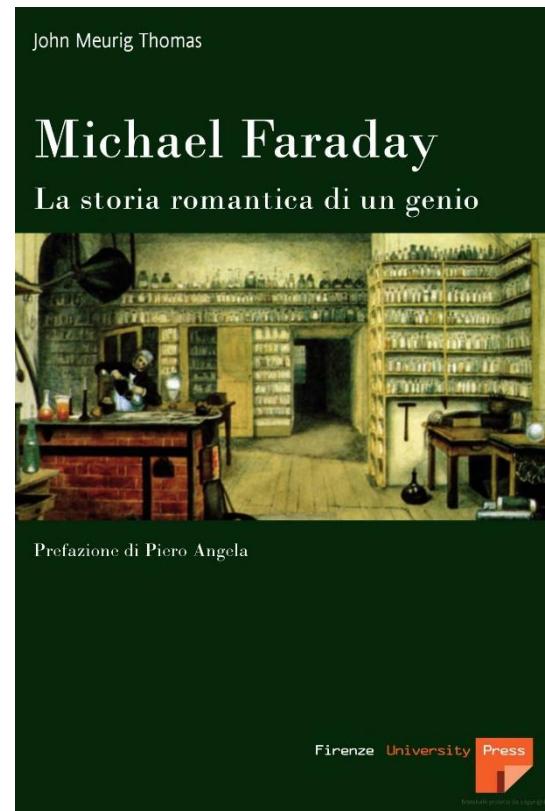
CONCLUSIONI

Ruolo chiave delle elettrochimica per la transizione energetica e per lo sviluppo di nuove tecnologie (batterie, elettrolizzatori, celle a combustibile...).

La **conoscenza elettrochimica** porterà a **sviluppi di nuovi materiali e nuovi processi** per diminuire l'impatto ambientale delle nuove produzioni con l'utilizzo di energie rinnovabili sia per la produzione che per il riciclo. **Forte interazione con altre discipline.**

Il **potenziamento dell'insegnamento dell'elettrochimica** a tutti i livelli porterà grandi vantaggi per affrontare al meglio i cambiamenti che avverranno nel prossimo futuro...

...e una **buona lettura** stimolerà gli animi.



Ringraziamenti



Prof. Sergio Roffia

Docente del Corso di Elettrochimica
AA 1983/1984



Prof. Marina Mastragostino
Dal 1984 ad oggi



Gruppo di ricerca LEME
<https://site.unibo.it/leme/en>

Grazie per l'attenzione

