



Consiglio Nazionale delle Ricerche

SOSTENIBILITÀ ENERGETICA: IDROGENO E NON SOLO

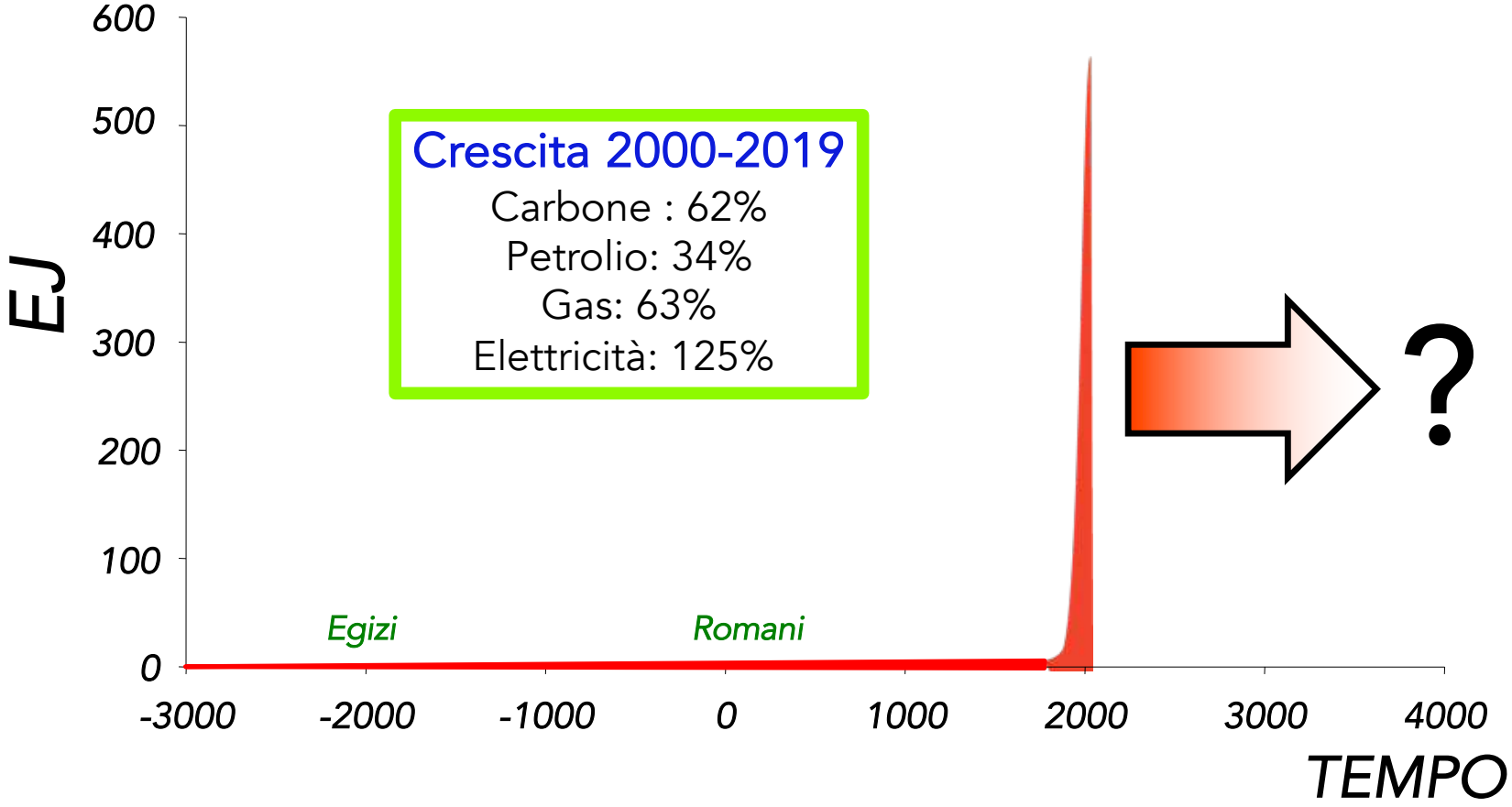
Nicola Armaroli

*Istituto per la Sintesi Organica e la Fotoreattività
Consiglio Nazionale delle Ricerche, Bologna*

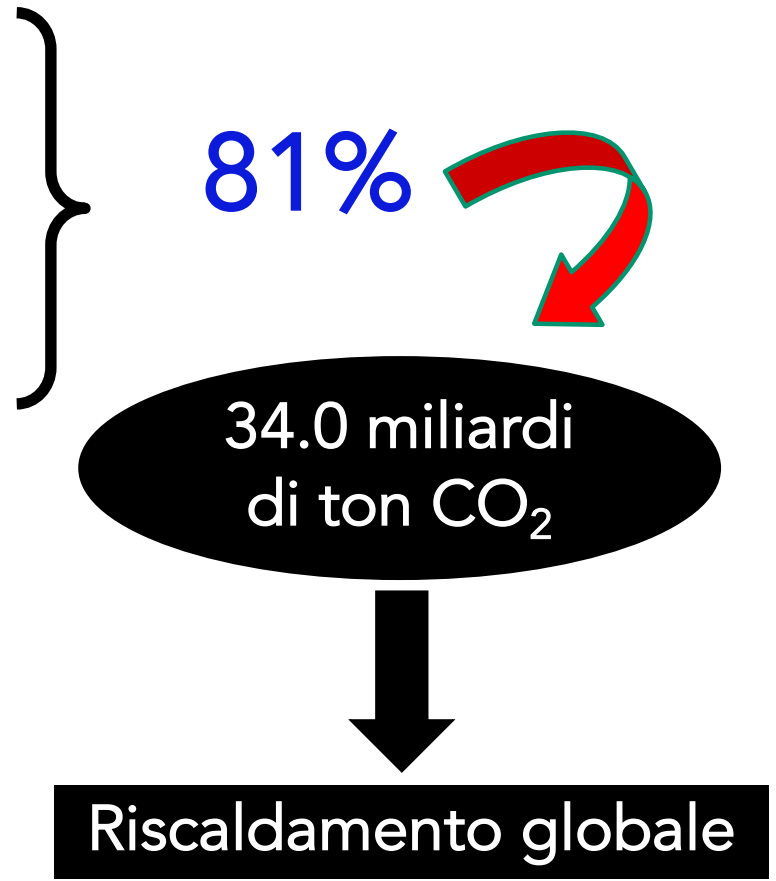
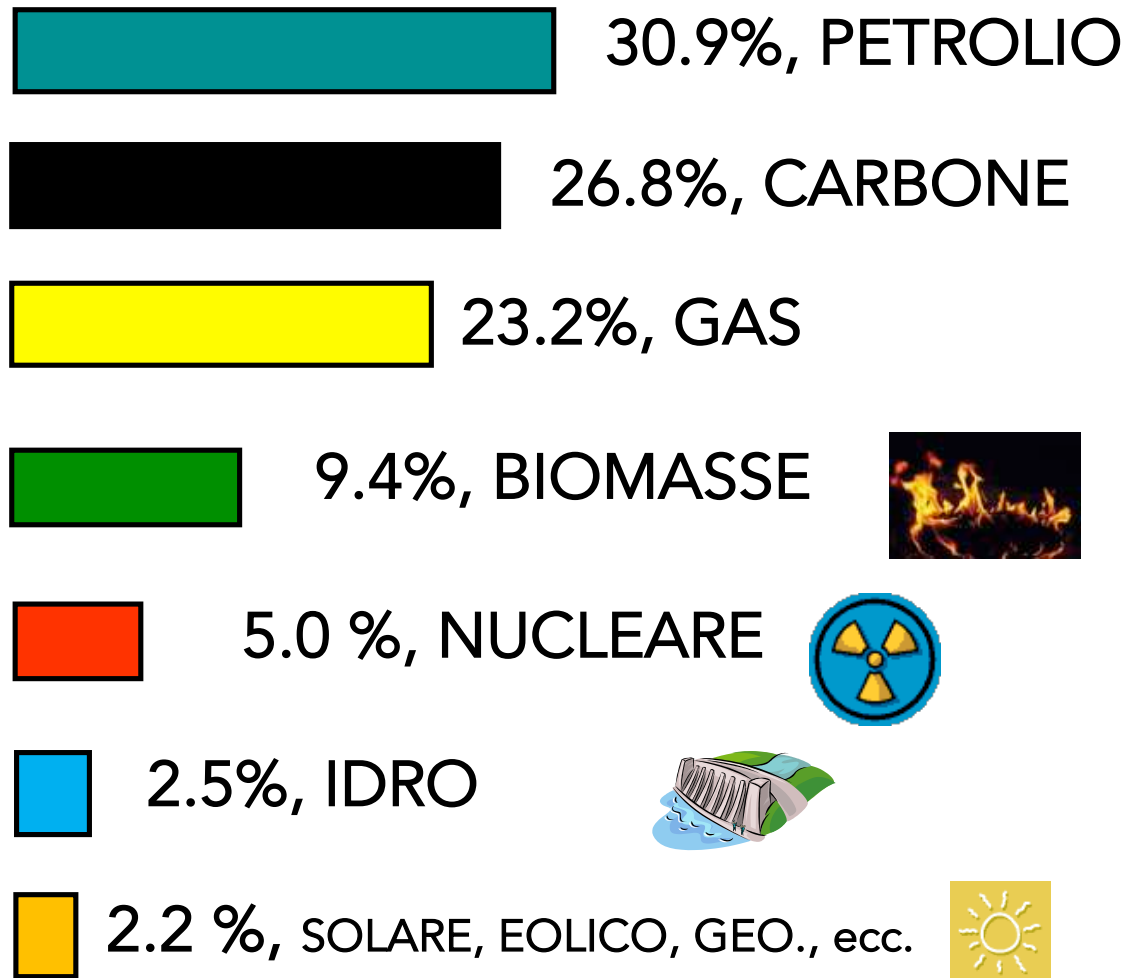
Scuola Giuseppe Del Re

Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana
Bertinoro, 7 Ottobre 2022

UN PERIODO UNICO NELLA STORIA



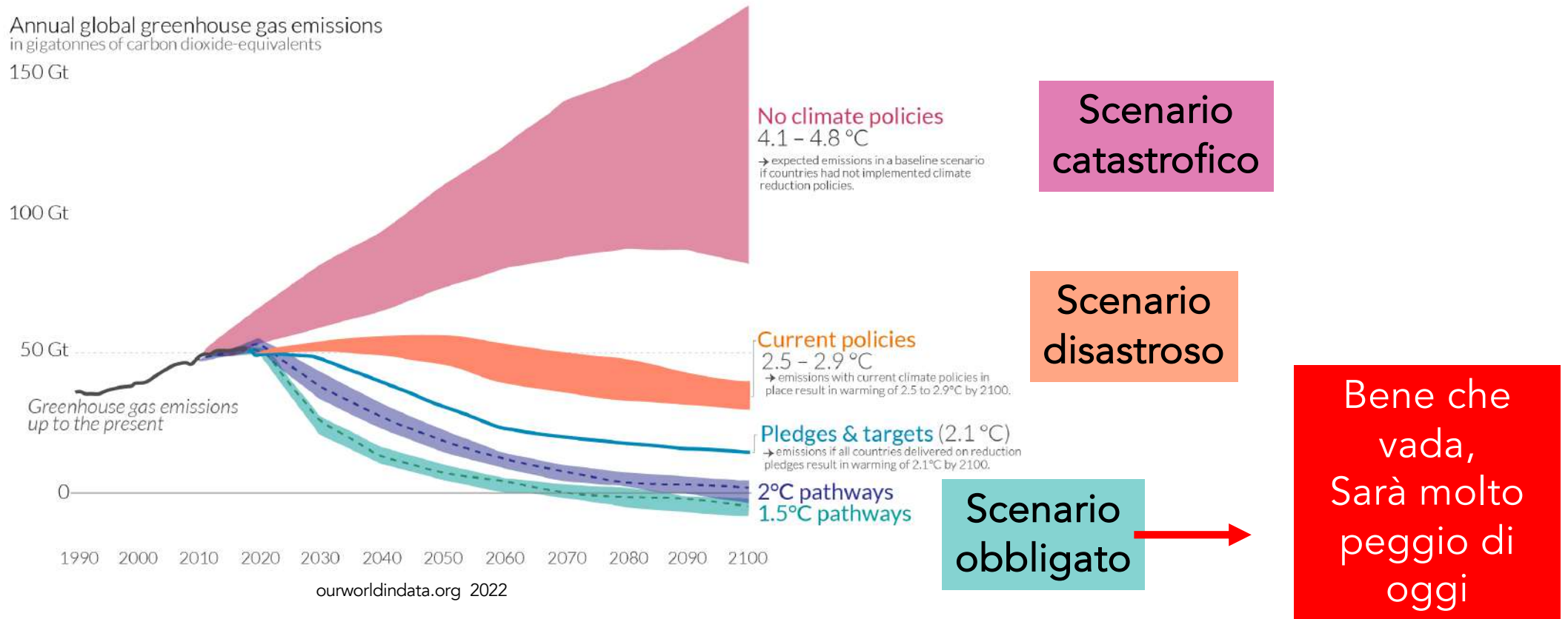
CONSUMO MONDIALE DI ENERGIA PRIMARIA



IEA, 2021

EMISSIONI SERRA E SCENARI DI RISCALDAMENTO

OGGI: ca. **+ 1.1 C** di riscaldamento antropogenico

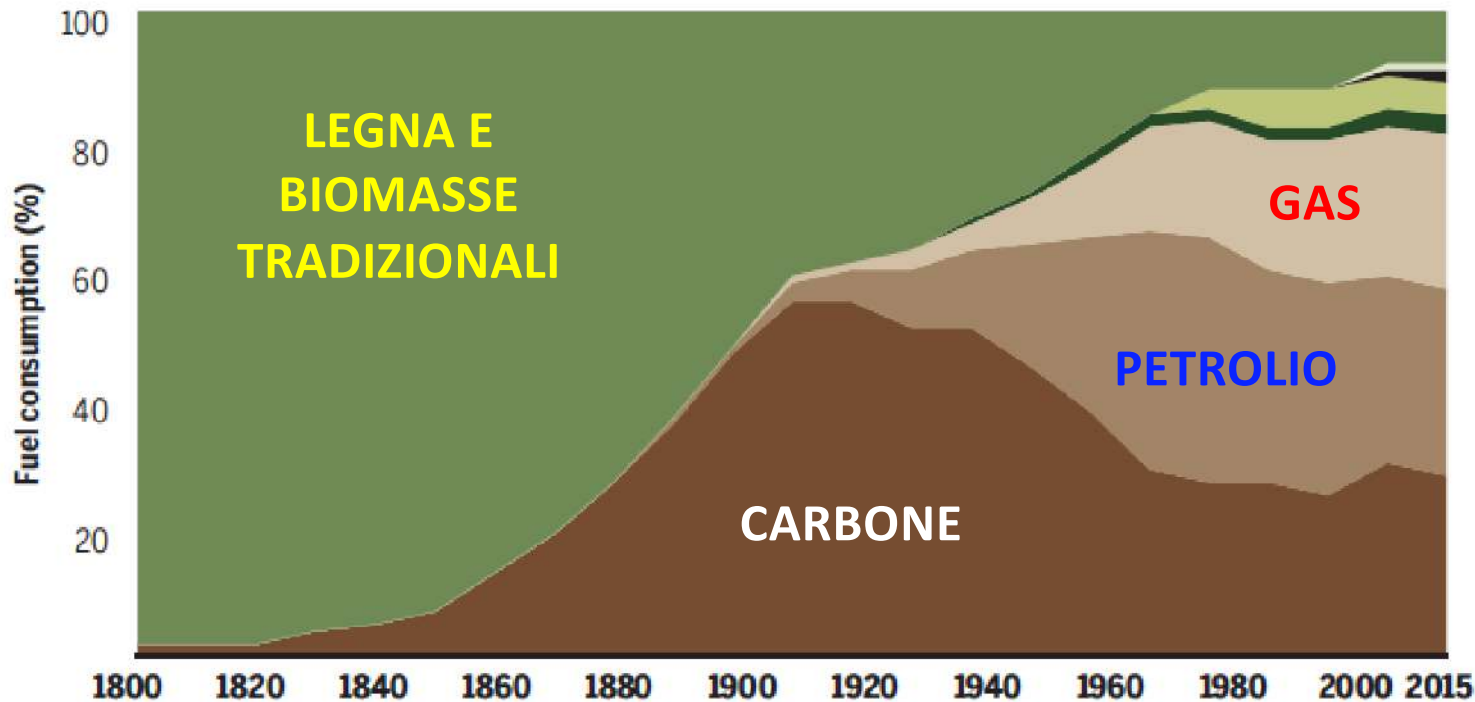


LA TRANSIZIONE ENERGETICA



SIAMO IN TRANSIZIONE ENERGETICA DA OLTRE DUE SECOLI ...

● Wind and solar electricity ● Hydroelectricity ● Traditional biofuels ● Nuclear electricity ● Modern biofuels
● Coal ● Crude oil ● Natural gas



Science 2018, 359, 1320

Nihil sub sole novum
Qoelet, 1,9

Abbiamo **30 anni**
per la transizione
non 100 ...

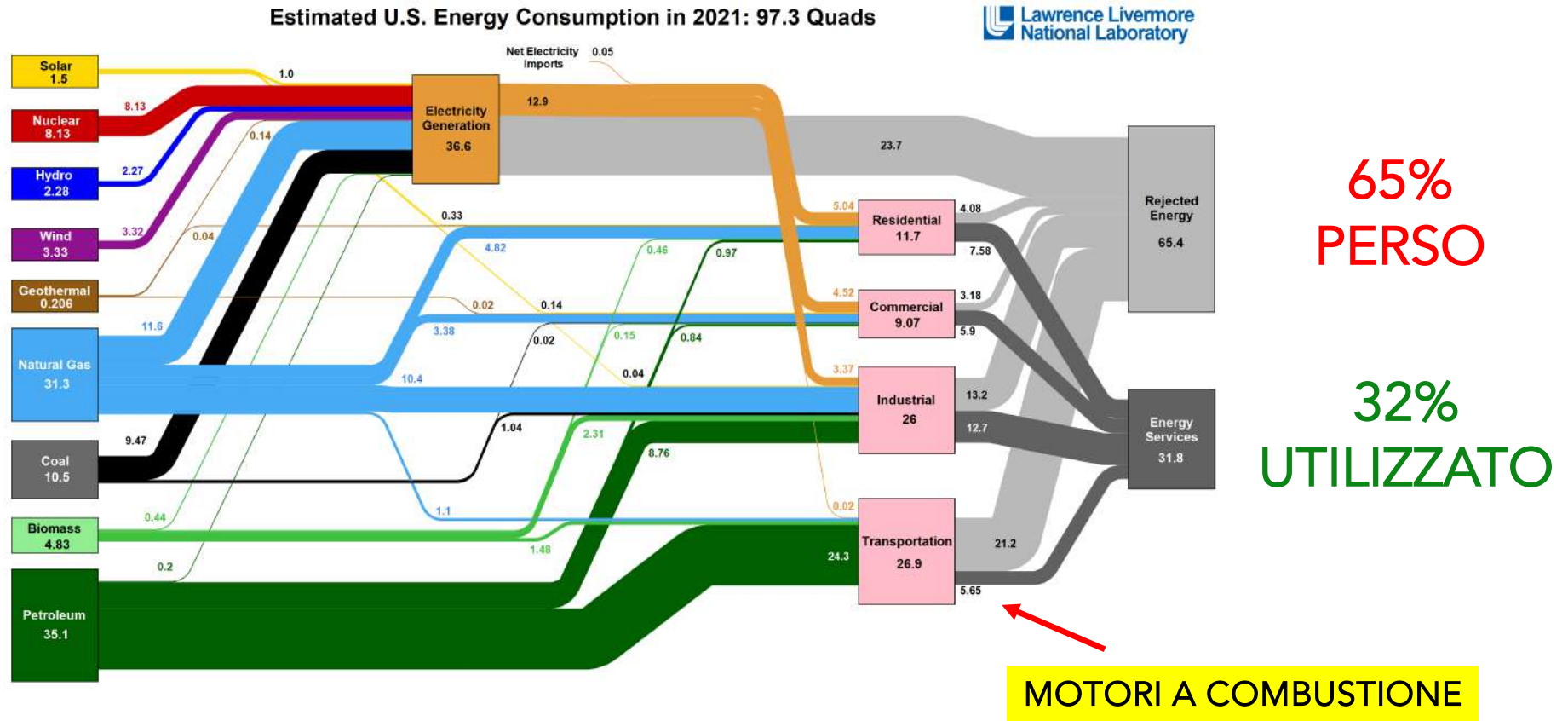
Siamo **8 miliardi**
di abitanti
non 2 ...

UN SISTEMA INSOSTENIBILE PERCHÈ (ANCHE) INEFFICIENTE



IL CASO DEL SISTEMA ENERGETICO USA

FONTI



CREDIT: Lawrence Livermore National Lab, US DoE

IL NOCCIOLO DEL PROBLEMA: BRUCIAMO TROPPO

IERI



OGGI, LA NOSTRA CIVILTÀ MODERNA(?)



Muoverci



Scaldarci



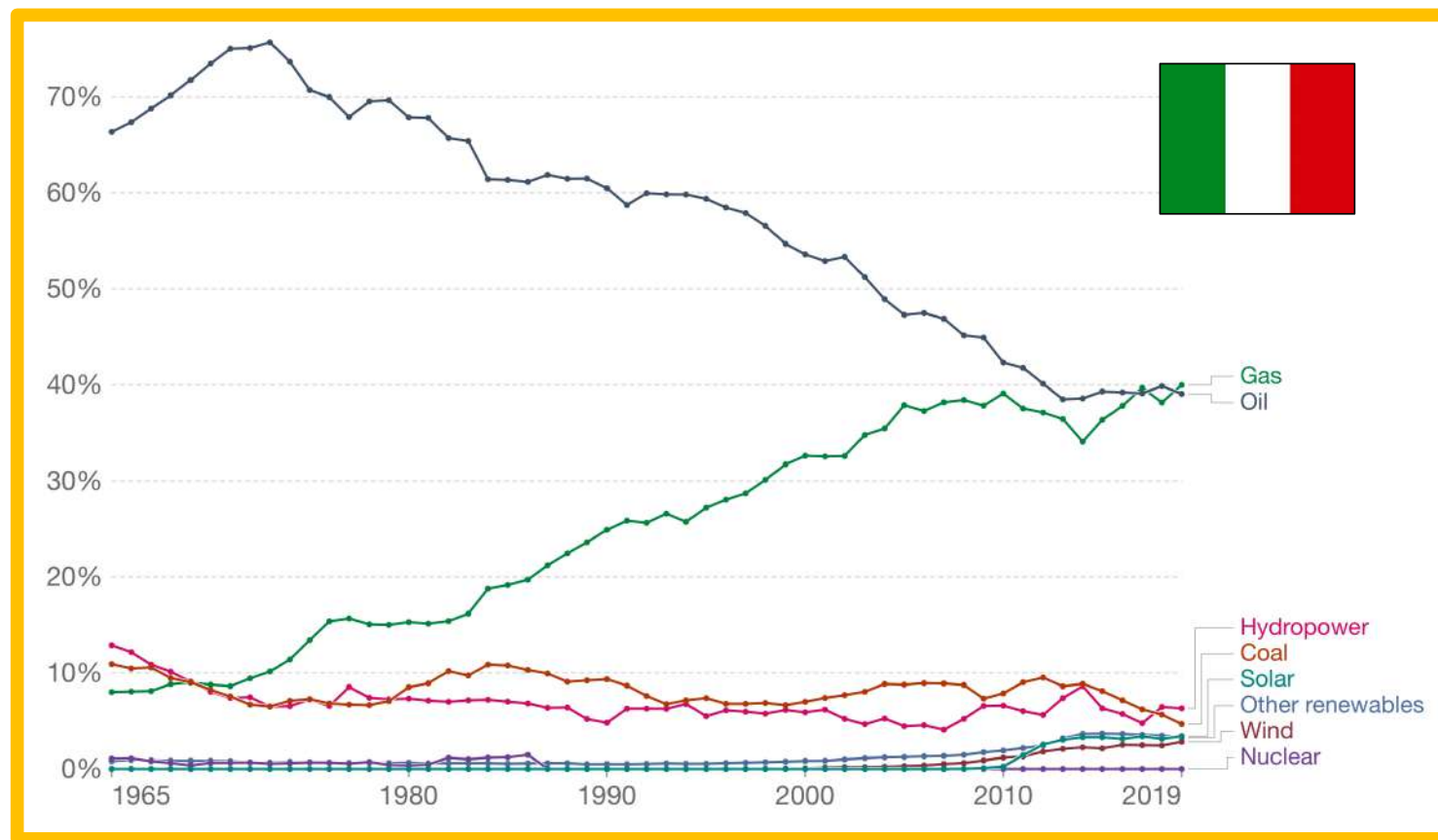
Produrre
elettricità

**IL 75% DEGLI USI
FINALI DI ENERGIA
NELL'UE È BASATO
SUI COMBUSTIBILI**

DOV'È L'ITALIA ?



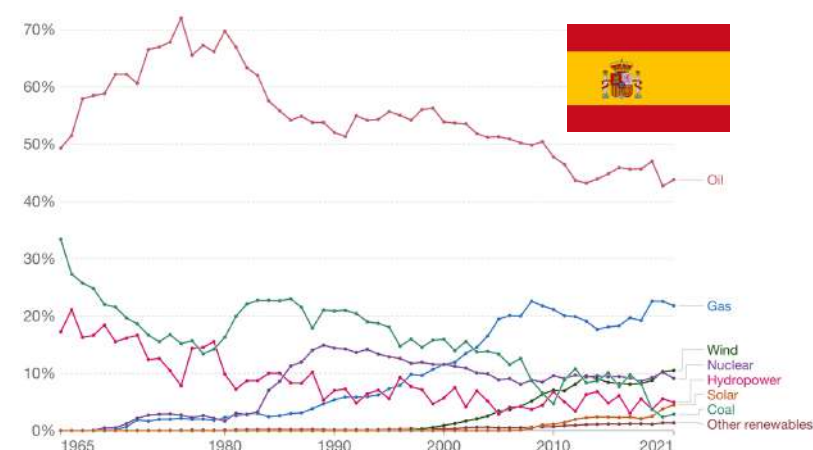
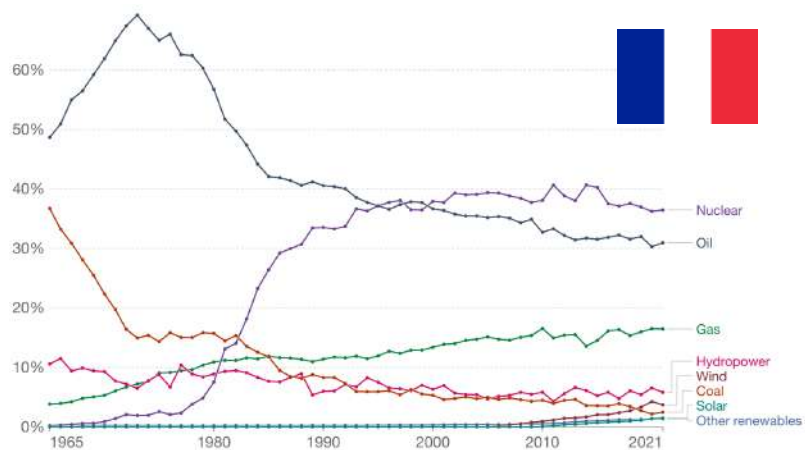
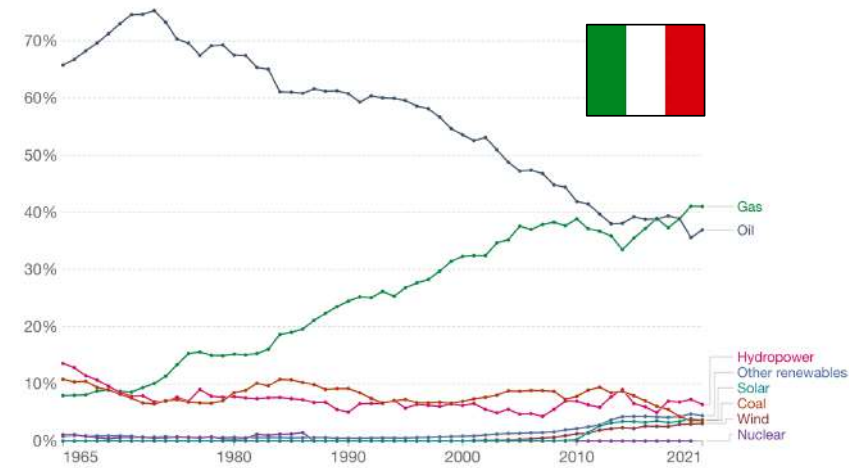
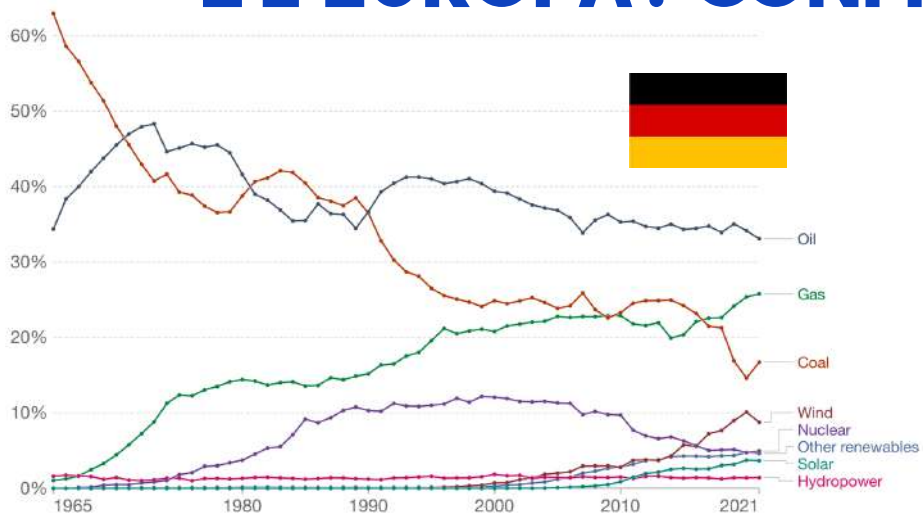
CONSUMO DI ENERGIA PRIMARIA, PER FONTE



GAS: 40%
Media EU: 25%

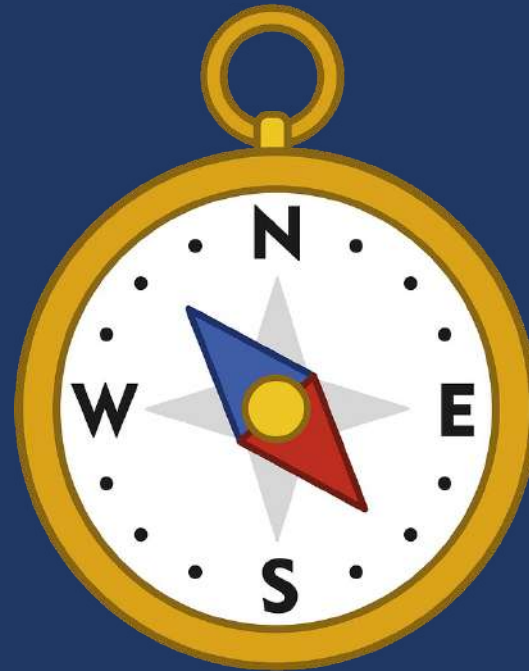
ourworldindata.org 2022

E L'EUROPA? CONFRONTO TRA NAZIONI EU



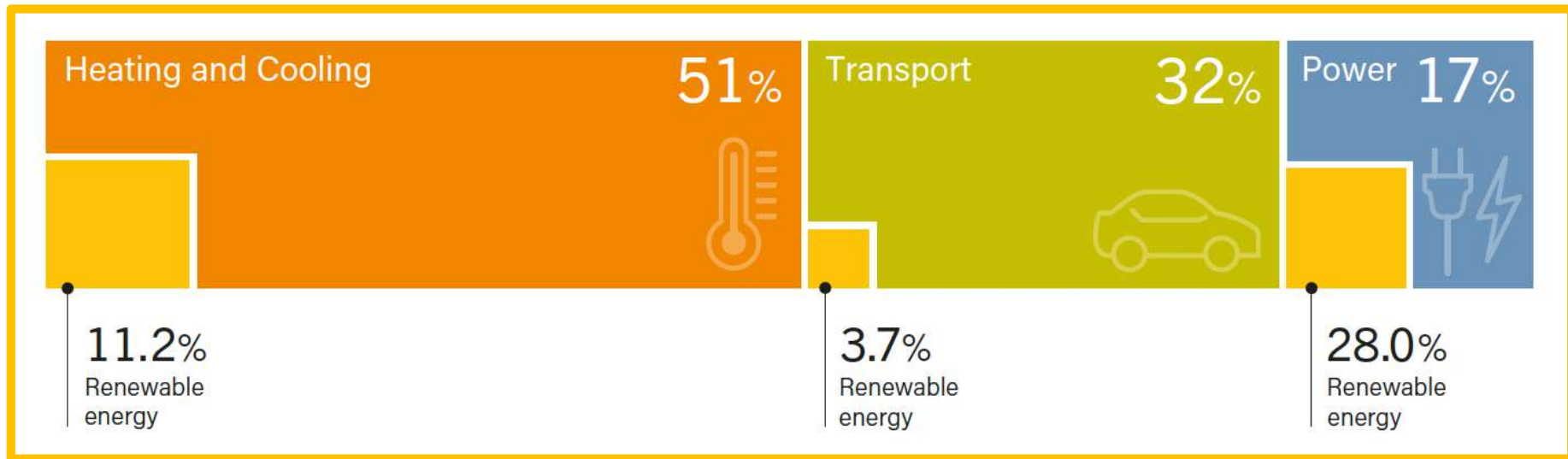
ourworldindata.org 2022

DOVE SIAMO?



QUANTE RINNOVABILI USIAMO, OGGI NELLA VITA QUOTIDIANA?

I tre settori negli usi finali (mondo)



Report 2021: 10.2; 3.4; 27.1

REN 21, Global Status Report, 2022 (dati 2019)

LA STRADA PRINCIPALE: ELETTRIFICAZIONE



W



W



S

PERCHÈ ELETRIFICARE?

Energy & Environmental Science

Cite this: *Energy Environ. Sci.*, 2011, **4**, 3193

www.rsc.org/ees

Towards an electricity-powered world

Nicola Armaroli^{*a} and Vincenzo Balzani^{*b}

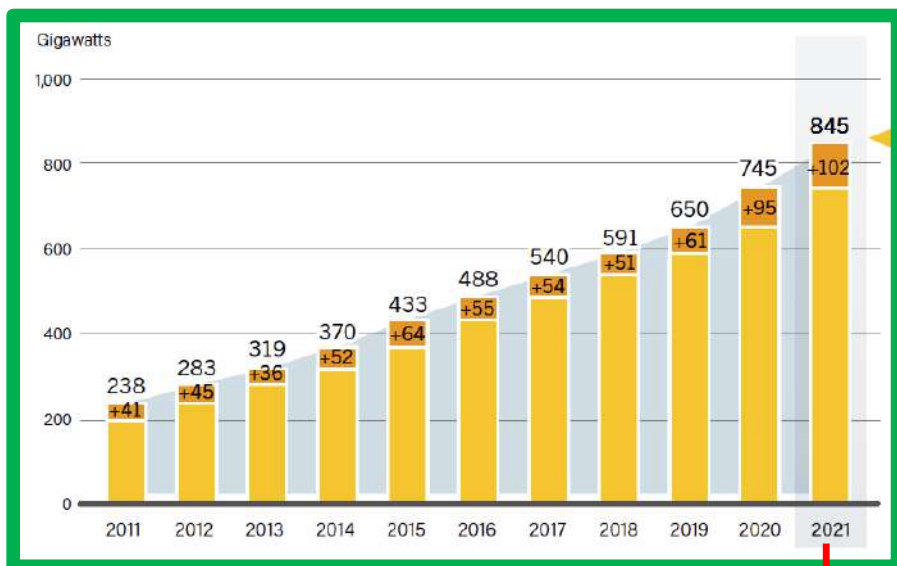
Received 2nd March 2011, Accepted 21st April 2011

DOI: 10.1039/c1ee01249e

- I dispositivi elettrici sono MOLTO più efficienti di quelli a combustione
- Abbiamo già le tecnologie sul mercato, altamente competitive

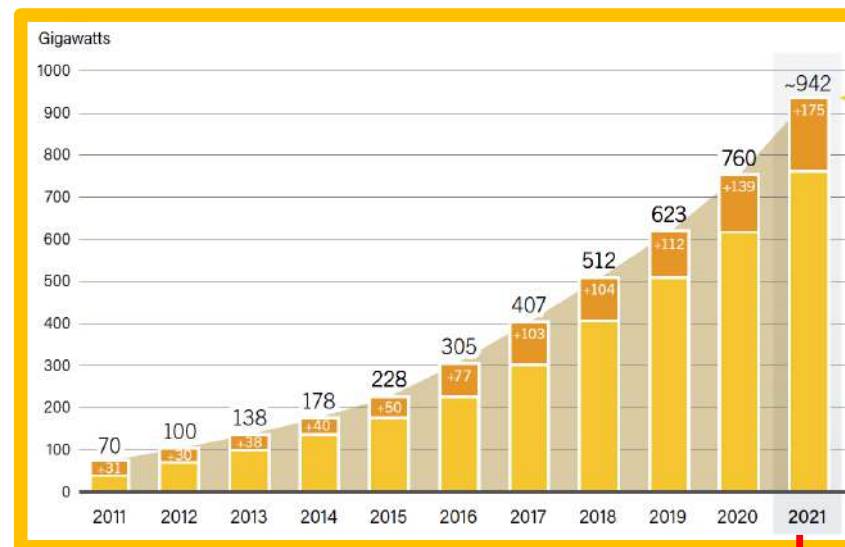
ELETTRICITÀ: TREND EOLICO E FOTOVOLTAICO

EOLICO, 2010-2020



845 GW

FOTOVOLTAICO, 2011-2021



REN 21, Global Status Report, 2022

942 GW

VENTO + FOTOVOLTAICO 2021 (MONDO)

HANNO PRODOTTO L'EQUIVALENTE DI 535 CENTRALI NUCLEARI O A CARBONE DA 1 GW

FUORI DAL PETROLIO



TRASPORTI!

UN VIAGGIO DI 300 KM IN AUTOSTRADA



51 kWh
equivale a
5,7 litri
di benzina

Auto analoga endotermica
(da Via Michelin)

30-45 litri
di benzina
(6-8 X)

UNA DIFFERENZA SOSTANZIALE

AUTO TERMICHE

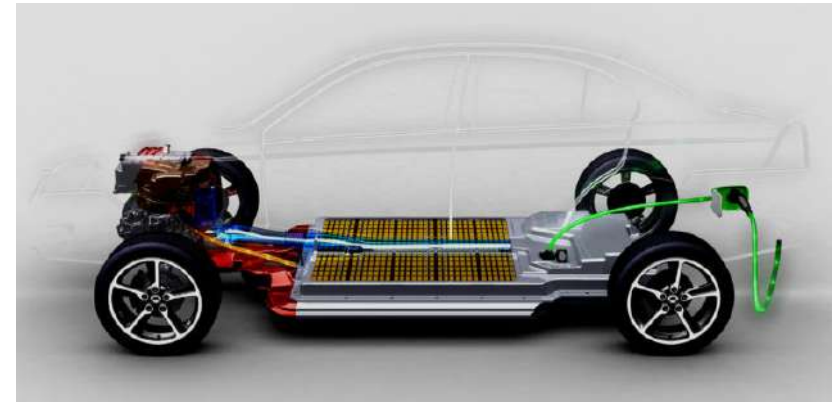


Un solo prodotto
Rifiuto disperso in atmosfera

ECONOMIA LINEARE



AUTO A BATTERIA

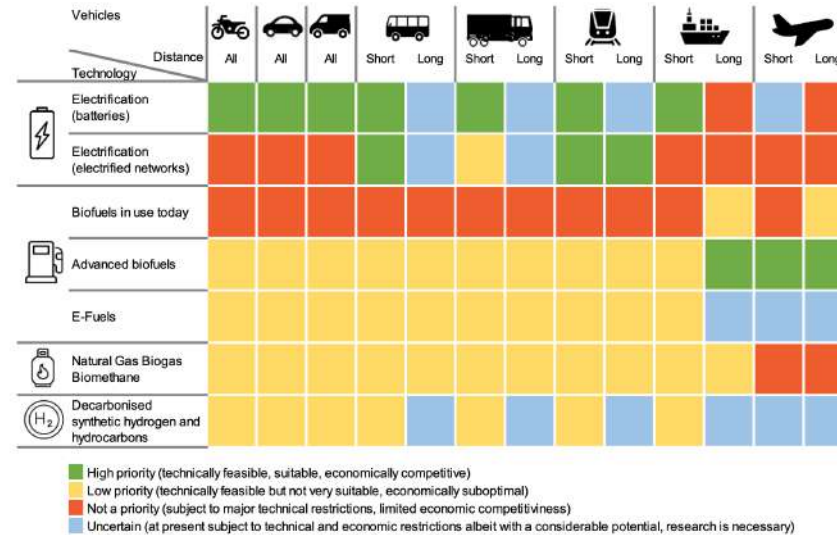


Diversi prodotti
Nessuna dispersione



ECONOMIA CIRCOLARE

RAPPORTO MIMS 2022



<https://www.mit.gov.it/comunicazione/news/decarbonising-transport-scientific-evidence-and-policy-proposals>

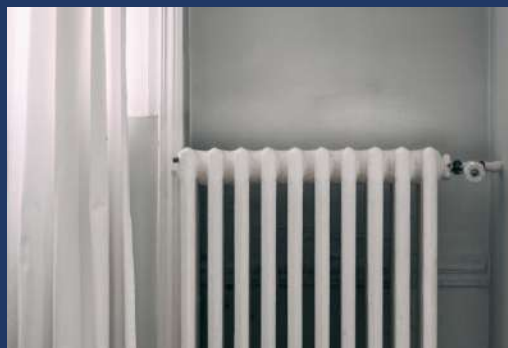
N. Armaroli, C. Carraro, P. Cazzola, E. Cherchi, M. Tanelli, M. Tavoni, A. Tilche, M. Torsello
Nature Italy, 2022, doi: 10.1038/d43978-022-00098-x

FUORI DAL GAS

PIÙ DIFFICILE: i settori coinvolti sono ALMENO TRE



Prod. elettrica



Residenziale



Industria

RESIDENZIALE: LA MIA TRANSIZIONE DAL GAS



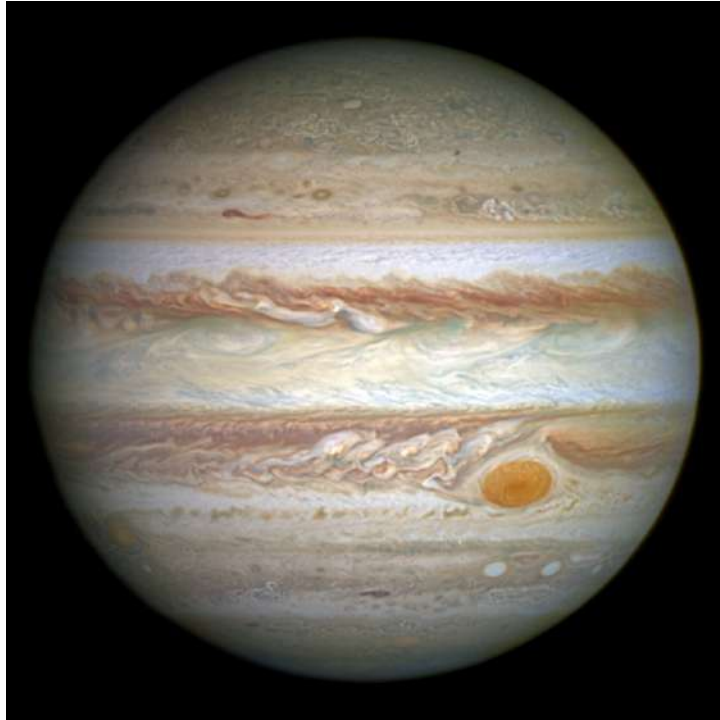
Impianto FV sul tetto (10,4 kWp)

Accumulatori (LIB 24 kWh)

Pompa di calore geotermica

Pannelli solari termici

INDUSTRIA: ECCO L'IDROGENO!



GIOVE



TERRA

Credit: NASA

PRODUZIONE DI H₂ OGGI

"GRIGIO" – DA METANO (CARBONE), 95% globale



Descrizione molto semplificata

$$\Delta G^\circ = 47 \text{ kJ/mol}$$

"VERDE" – DA ACQUA, 5% globale



$$\Delta G^\circ = 286 \text{ kJ/mol}$$

1 kg di H₂ richiede 55 kWh di elettricità
per essere prodotto e contiene (LHV)
33 kWh di energia (- 30%)

**DIFFERENZA DI COSTO
3-9 X**

COME SI "MANEGGIA" L'IDROGENO

AD ALTISSIME PRESSIONI

(350 o 700 bar)



Auto a idrogeno

Serbatoio pieno: 5,6 kg di H₂

LIQUEFATTO

(-253 C)



CONSUMO ENERGETICO (minimo teorico)

1.4 kWh/kg

12 kWh/kg



H₂: 2 MODI PER UTILIZZARLO

COMBUSTIBILE

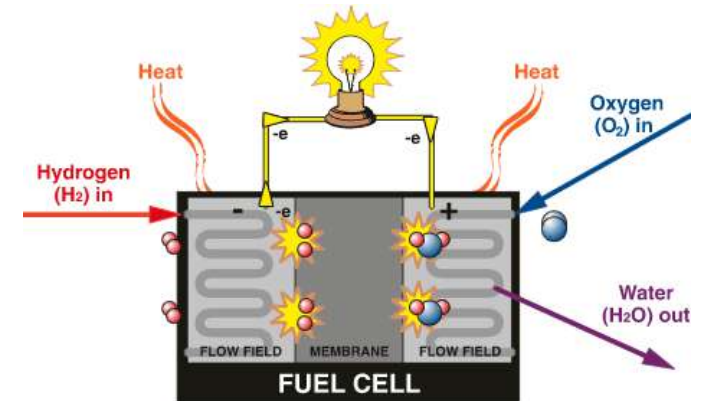


Bassa Temperatura
(es. riscaldamento edifici)

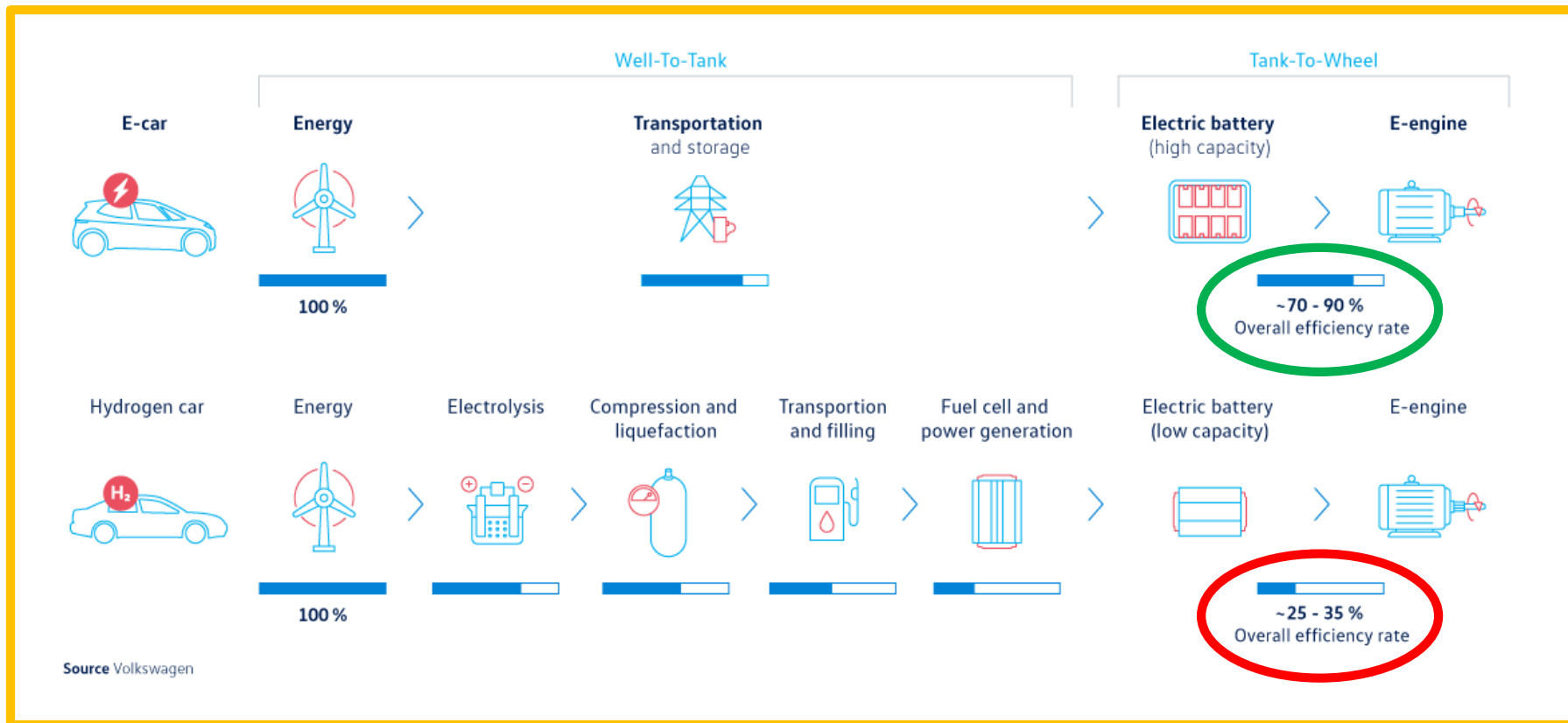


Alta Temperatura
(industria pesante:
cemento, vetro, acciaio)

VETTORE di ELETTRICITÀ
(mediante fuel cells)



AUTO A IDROGENO vs. AUTO A BATTERIA

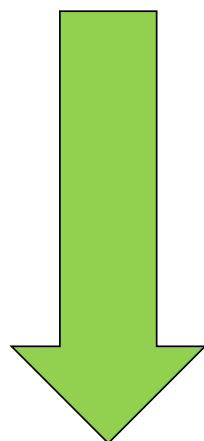


CREDIT: Volkswagen

BRUCIARE H₂ PER IL RISCALDAMENTO: IRRAZIONALE

100 unità di elettricità rinnovabile

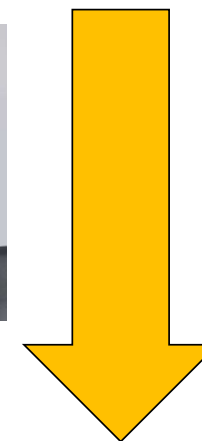
H₂ verde
e
combustione



60%



Pompa
di calore



300-500%

UNA POSSIBILITÀ: MESCOLORE H₂ E CH₄

Metano	Idrogeno	Contenuto energetico (LHV), MJ/m ³	Contenuto energetico vs. metano puro
100%	0%	35,2	100,0%
90%	10%	32,7	92,9%
80%	20%	30,2	85,7%
70%	30%	27,7	78,6%
60%	40%	25,2	71,5%
50%	50%	22,7	64,3%
40%	60%	20,1	57,2%
30%	70%	17,6	50,1%
20%	80%	15,1	43,0%
10%	90%	12,6	35,8%
0%	100%	10,1	28,7%

Fino a mix 10-20% H₂ si potrebbero usare infrastrutture esistenti

MA

cala il contenuto energetico

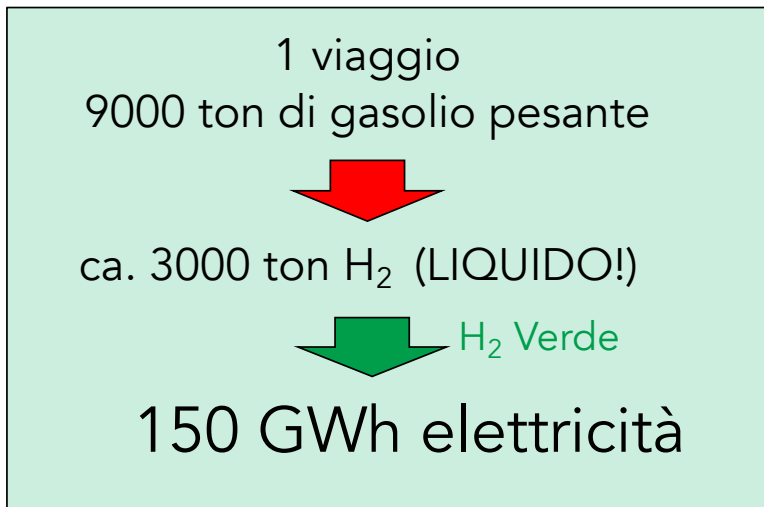
IDROGENO NEL TRASPORTO PESANTE: 2 CONTI



NAVE CARGO da 220 000 tonnellate
Viaggio Cina-Europa: 30/40 giorni

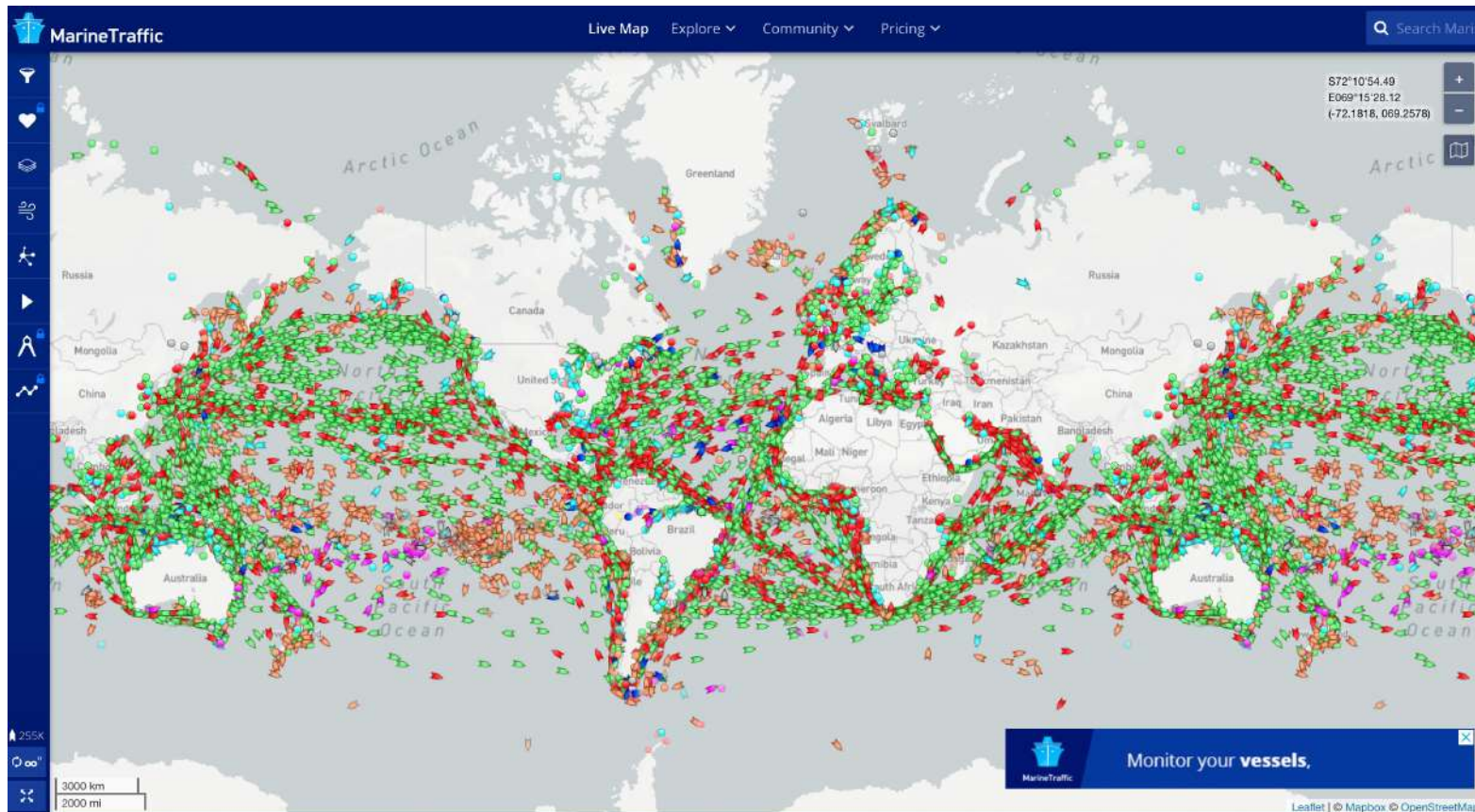


Più grande elettrolizzatore al mondo (10 MW) alimentato
da un impianto fotovoltaico (20 MW, 18 ettari)



Un impianto così
deve lavorare 3 ANNI per
produrre H₂ PER UN PIENO
di un megacargo

TRAFFICO NAVALE GLOBALE: ABBIAMO UN PROBLEMA



www.marinetraffic.com

COMMENT | 09 September 2021

The hydrogen dilemma in Italy's energy transition

Scaling up 'green hydrogen' production in Italy and other industrialized countries may clash with the goal of decarbonizing the electricity system by 2030.

Nicola Armaroli & Andrea Barbieri



Nature Italy 2021, DOI: 10.1038/d43978-021-00109-3

TRE OBIETTIVI DI IDROGENO VERDE PER IL 2030



Rendere verde l'attuale
produzione di H₂ grigio
0.48 Mton/a

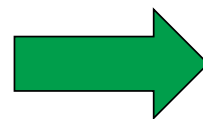


Convertire gli
altoforni di Taranto
(6 Mton/y di acciaio)
0.3 Mton/a



Coprire il 2% della domanda
nazionale di energia primaria
0.85 Mton/a

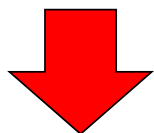
**IDROGENO VERDE
COMPLESSIVO AL 2030**



1.6 Mton /y

H₂

1.6 Mton /a



85 TWh/a
elettricità



STABILIRE DELLE PRIORITÀ



Sostituire H₂ grigio
480 000 ton/y



Acciaio verde a Taranto
300 000 ton/y



2% domanda finale di energia
850 000 ton/y

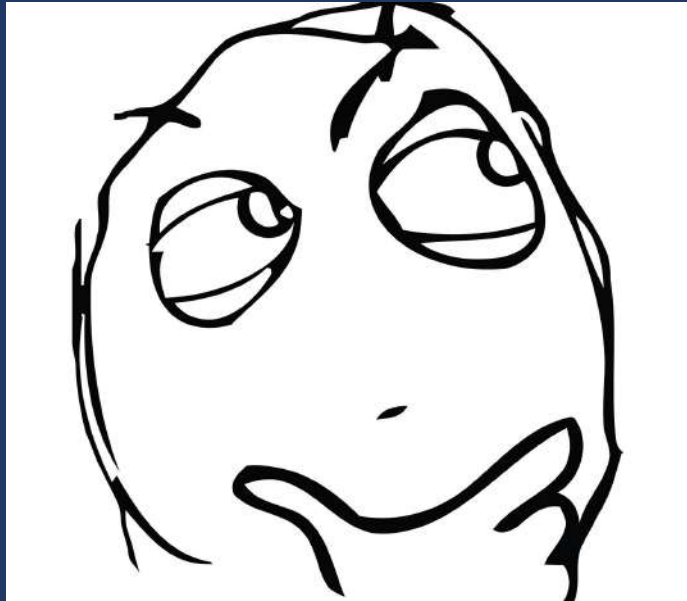


PREGI E DIFETTI: BREVE RIASSUNTO



- Opzione importante per accumulare eccessi di prod. el. rinnovabile (accumulo stagionale!)
- Questo sarà possibile in modo massiccio solo dopo il 2030/35
- Più facilmente infiammabile ed esplosivo del metano
- Da maneggiare a 350/700 bar o -252 C (costo energetico)
- Comprimere H_2 costa 3 volte più energia che comprimere CH_4
- Richiede rete dedicata di trasporto (tubi, valvole, compressori, ...)
- Mescolare H_2 a CH_4 significa «diluire» il metano (poco sensato)
- E' improbabile che esisteranno reti estese di trasporto (costi ...)

QUINDI?



IL 90% DELLE TECNOLOGIE PER LA TRANSIZIONE ESISTONO GIÀ



Sono semplici
e sul mercato

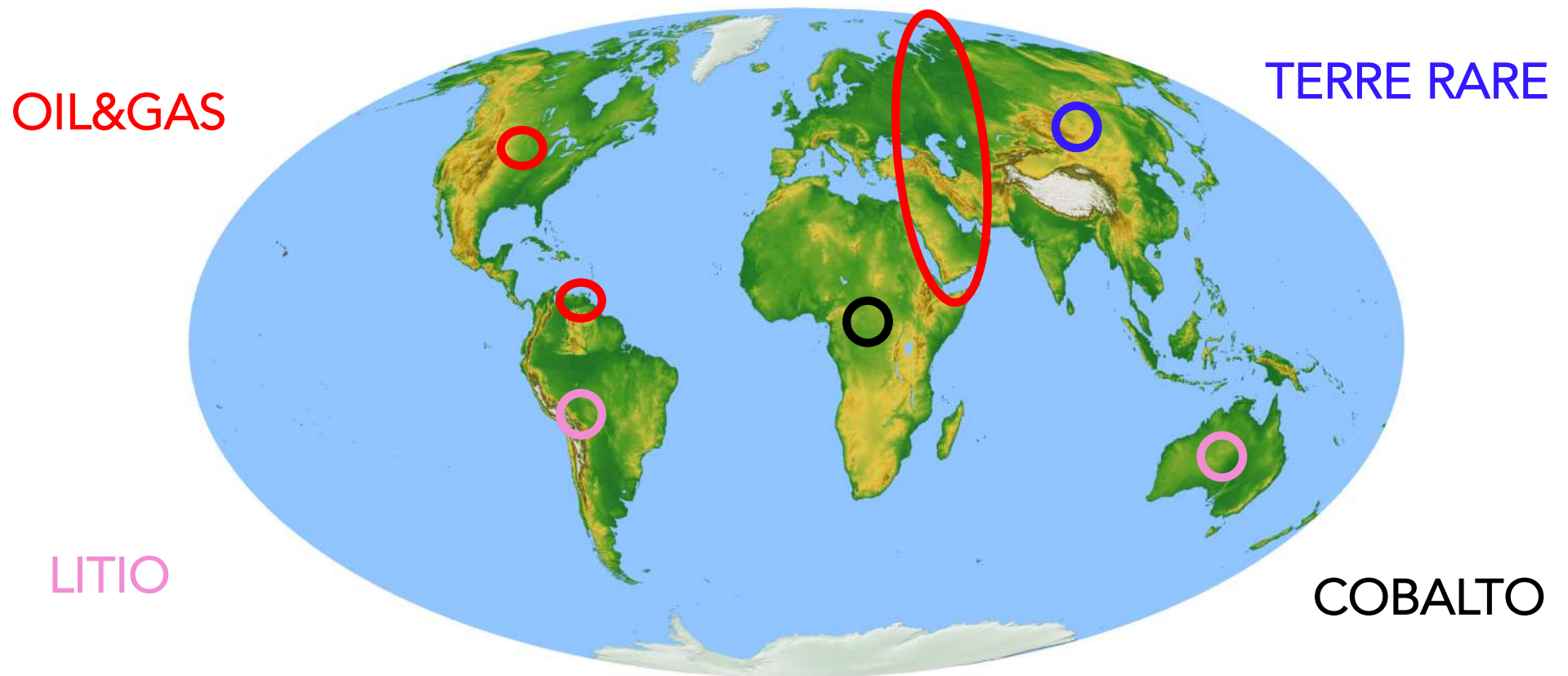


Il resto sono ricerca
scientifica e tempi
lunghi
(che non abbiamo...)

UNA TRANSIZIONE GIUSTA?



LE RISORSE ENERGETICHE E MINERALI SONO LOCALIZZATE



NON CI SONO ALTERNATIVE A UNA TRANSIZIONE COLLABORATIVA

... I DANNI SONO INVECE SPESSO DELOCALIZZATI



... e colpiscono principalmente i più vulnerabili e meno colpevoli

L'EUROPA ...?

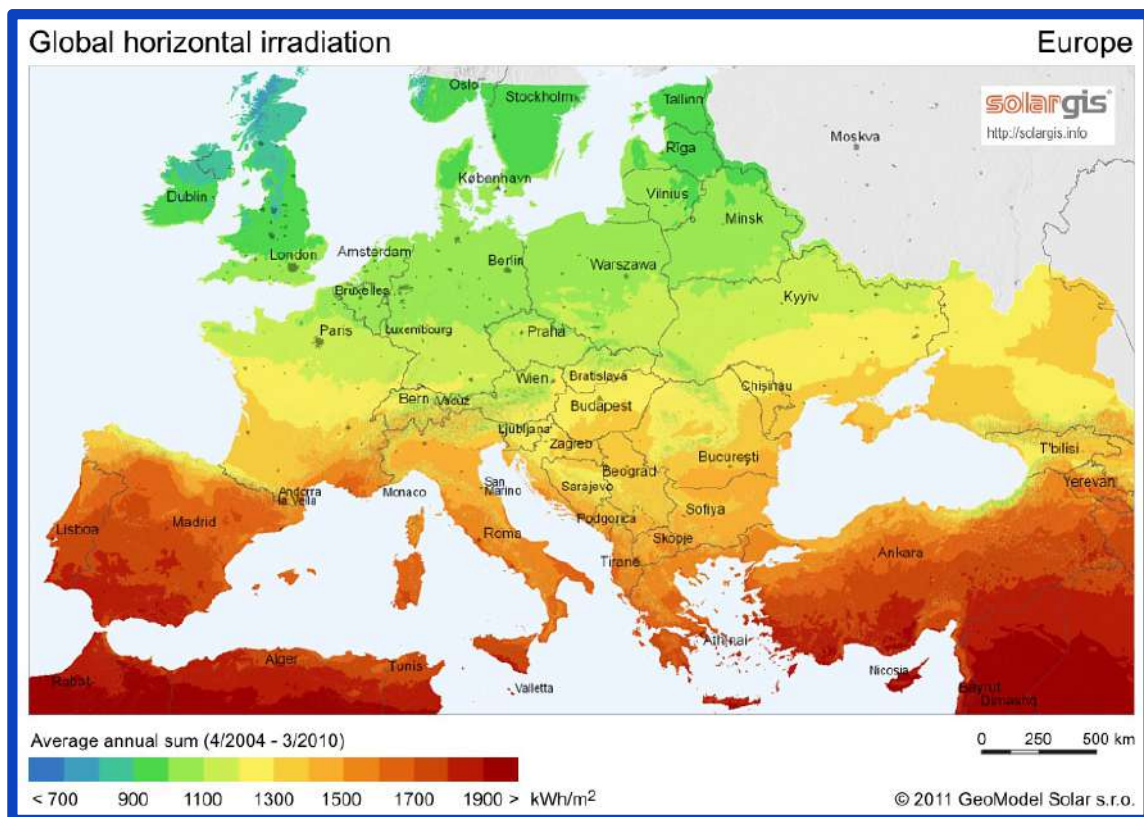
Abbiamo **meno del 1%**, di riserve di **petrolio** e **gas**. Non abbiamo significative risorse di **minerali critici**



IL GRANDE PARADOSSO EUROPEO

Godiamo della migliore qualità della vita al mondo
MA la nostra invidiabile prosperità è basata su
**energia e risorse provenienti
DA ALTRI CONTINENTI**

L'UNICA RISORSA ENERGETICA ABBONDANTE IN EU: RADIAZIONE SOLARE



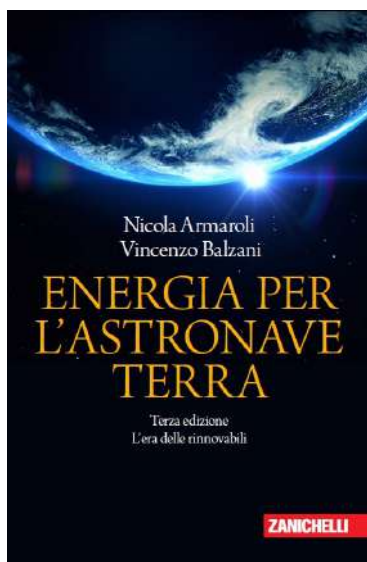
Energia solare media
sul suolo europeo
 $5.5 \cdot 10^{15}$ kWh/anno

Consumo energetico primario
 $1.8 \cdot 10^{13}$ kWh/year*



0.3% dell'input solare

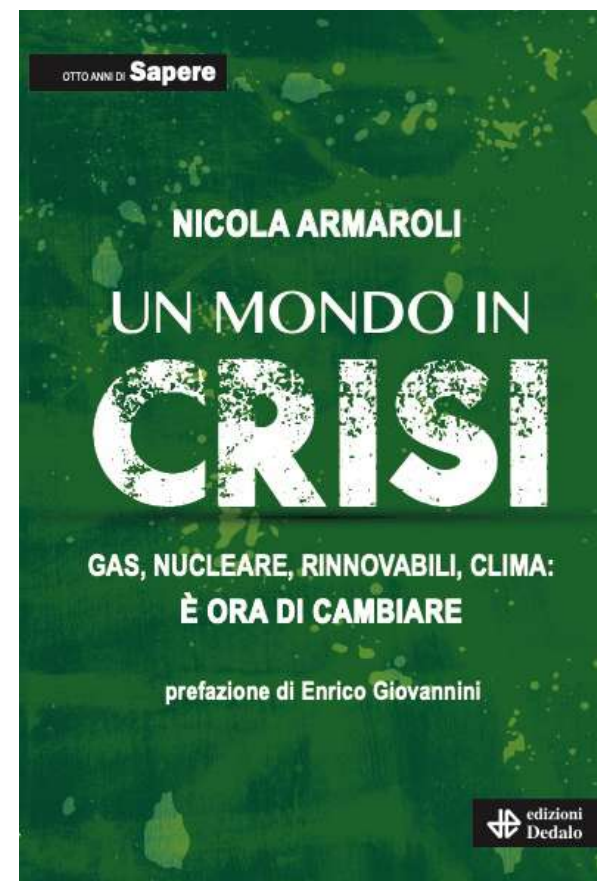
*Eurostat, 2022



2017



2020



IN LIBRERIA DAL 15 SETTEMBRE

Questo libro raccoglie e aggiorna otto anni di riflessioni incredibilmente attuali sui problemi che rischiano di schiacciare la nostra civiltà. E propone soluzioni autorevoli e chiare. Per non passare da una crisi all'altra, come un incubo senza fine.

Per interviste Web, Video, Radio, Giornali
in grado (forse) di rispondere
a tante domande sui temi energetici:

www.isof.cnr.it/armaroli-web-media/