



Consiglio Nazionale delle Ricerche

TRANSIZIONE ENERGETICA: DOVE SIAMO, DOVE DOBBIAMO ANDARE?

Nicola Armaroli

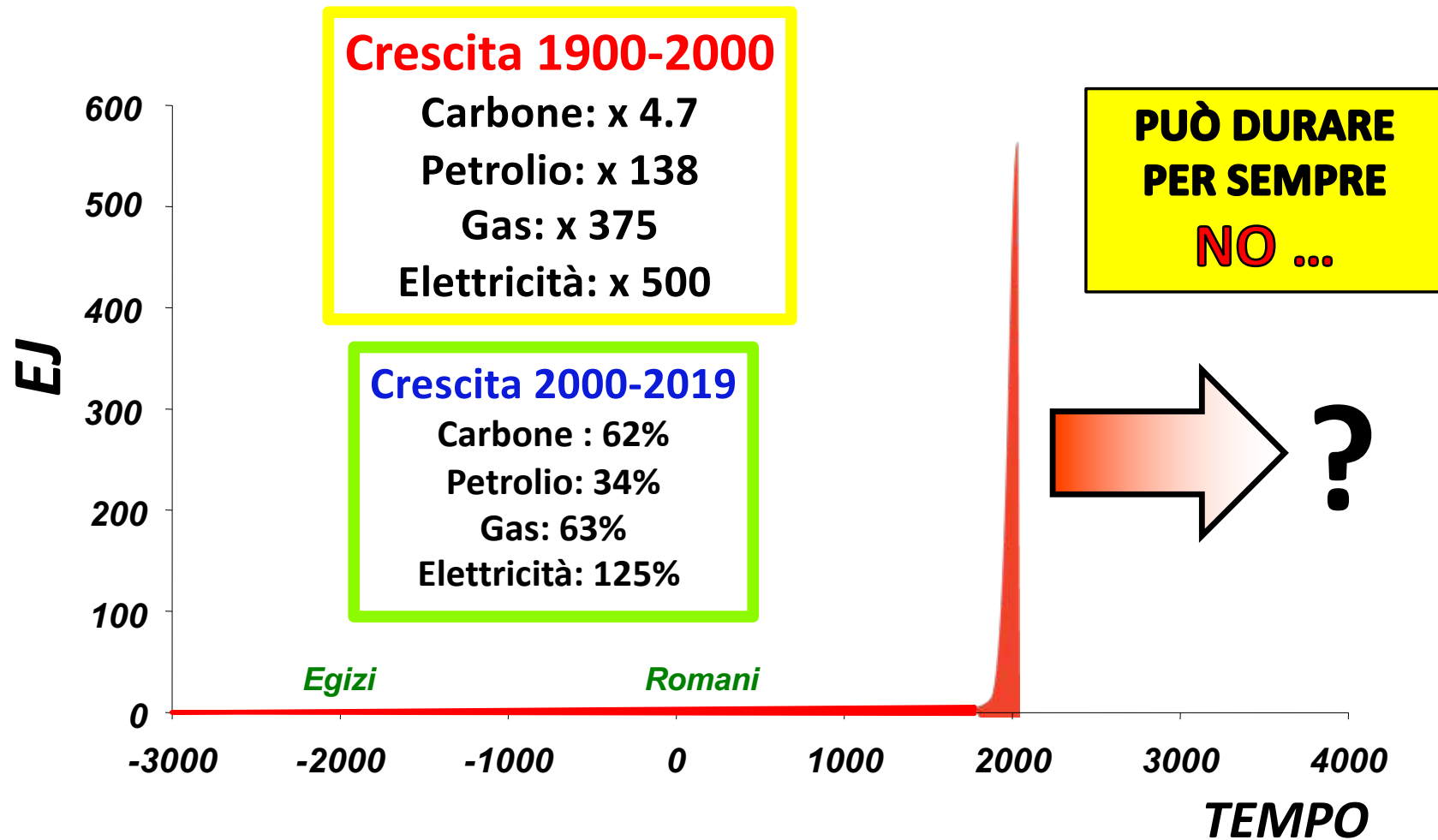
nicola.armaroli@cnr.it — www.isof.cnr.it/armaroli-nicola



Energie rinnovabili tra fabbisogno, transizione energetica e competitività industriale

21 Aprile 2022

DOVE SIAMO, PROSPETTIVA STORICA



ENERGIA OGGI

2022

CONSUMO MONDIALE DI ENERGIA PRIMARIA


 30.9%, PETROLIO

 26.8%, CARBONE

 23.2%, GAS

 9.4%, BIOMASSE



 5.0 %, NUCLEARE



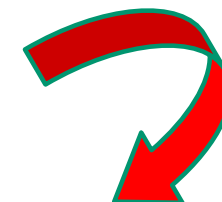
 2.5%, IDRO



 2.2 %, SOLARE, EOLICO, GEO., eCc.



81%



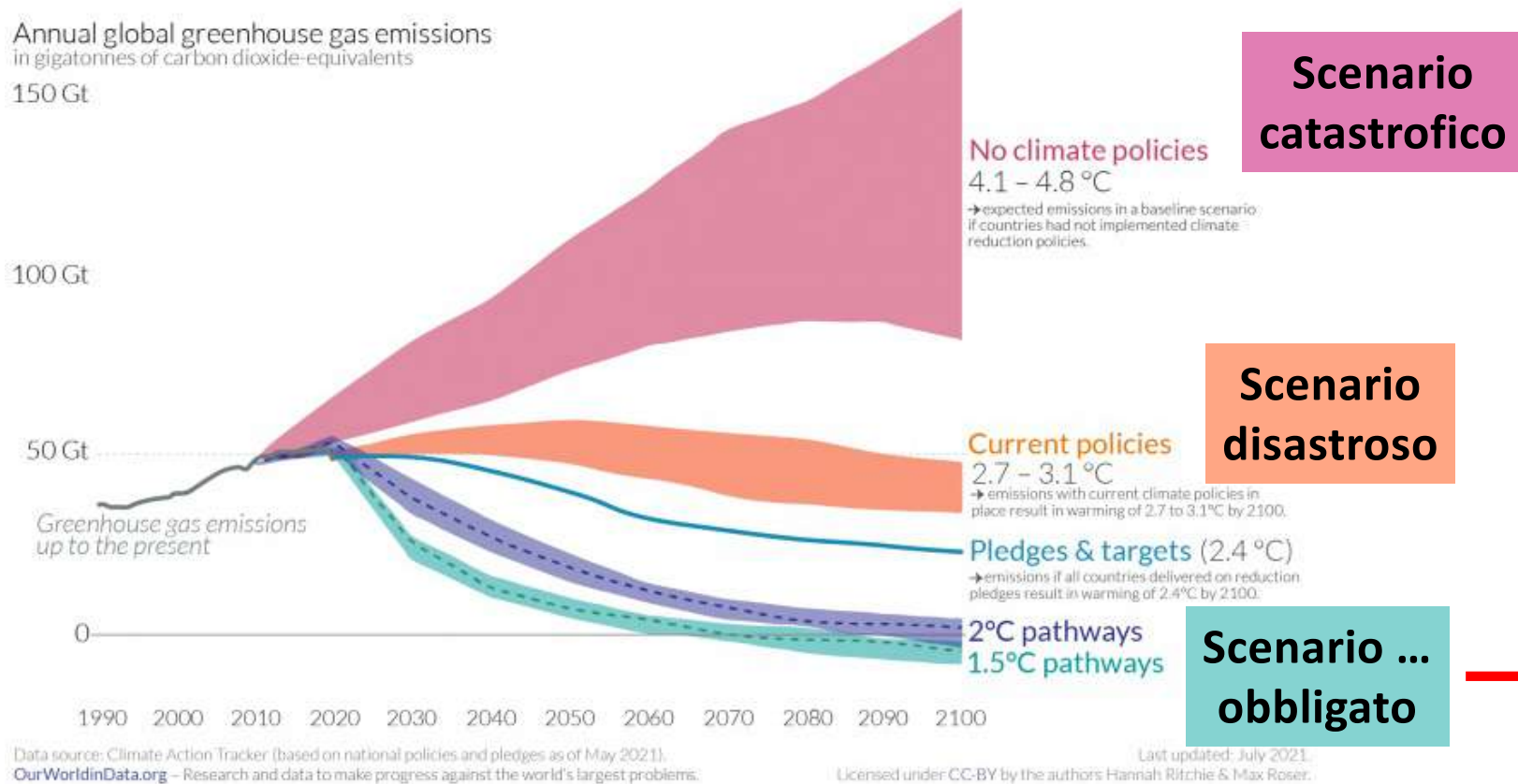
34.0 miliardi di
ton CO₂



Riscaldamento
globale

EMISSIONI SERRA E SCENARI DI RISCALDAMENTO GLOBALE

Oggi: ca. **+ 1.1 ° C** per il riscaldamento antropogenico



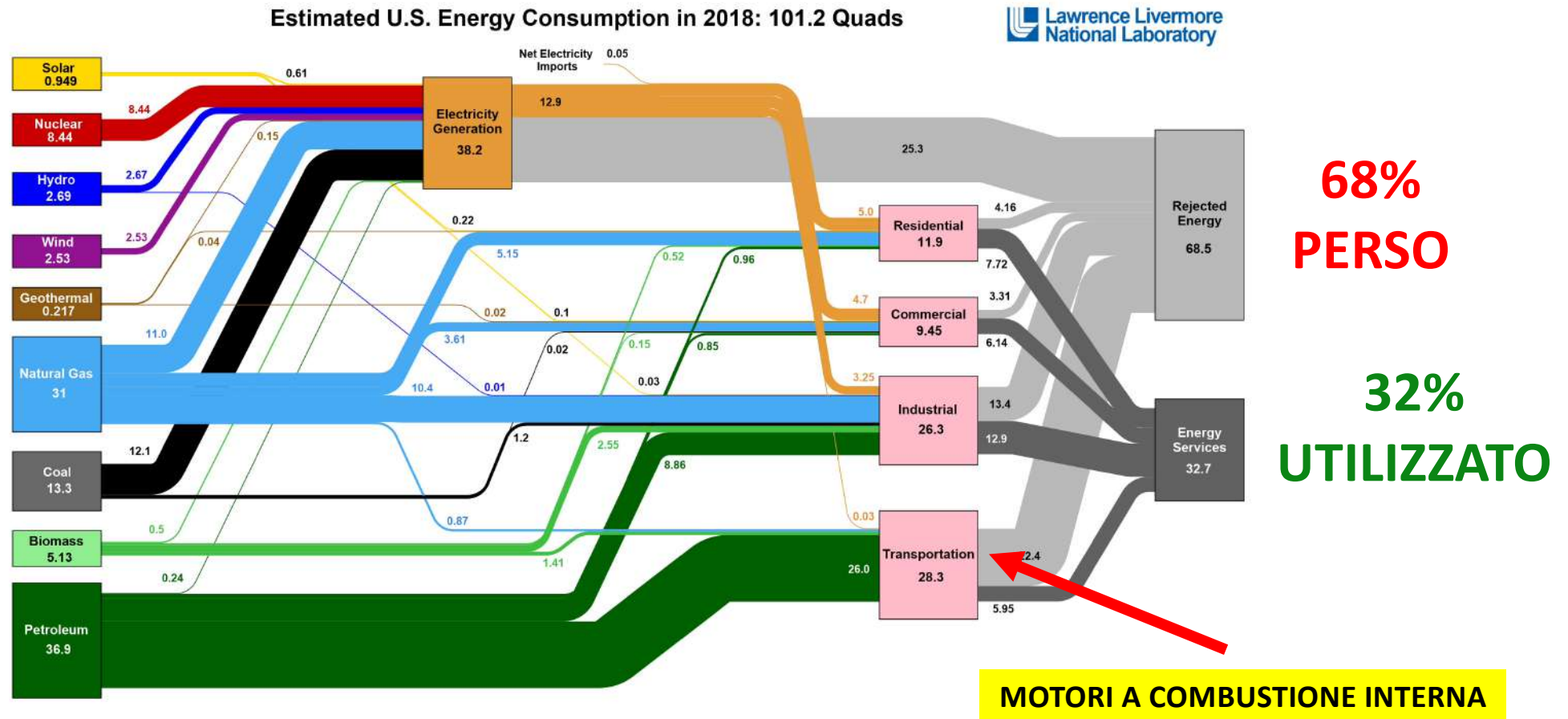
Bene che vada, la situazione sarà **PEGGIORE** dell'attuale

UN SISTEMA ENERGETICO INEFFICIENTE



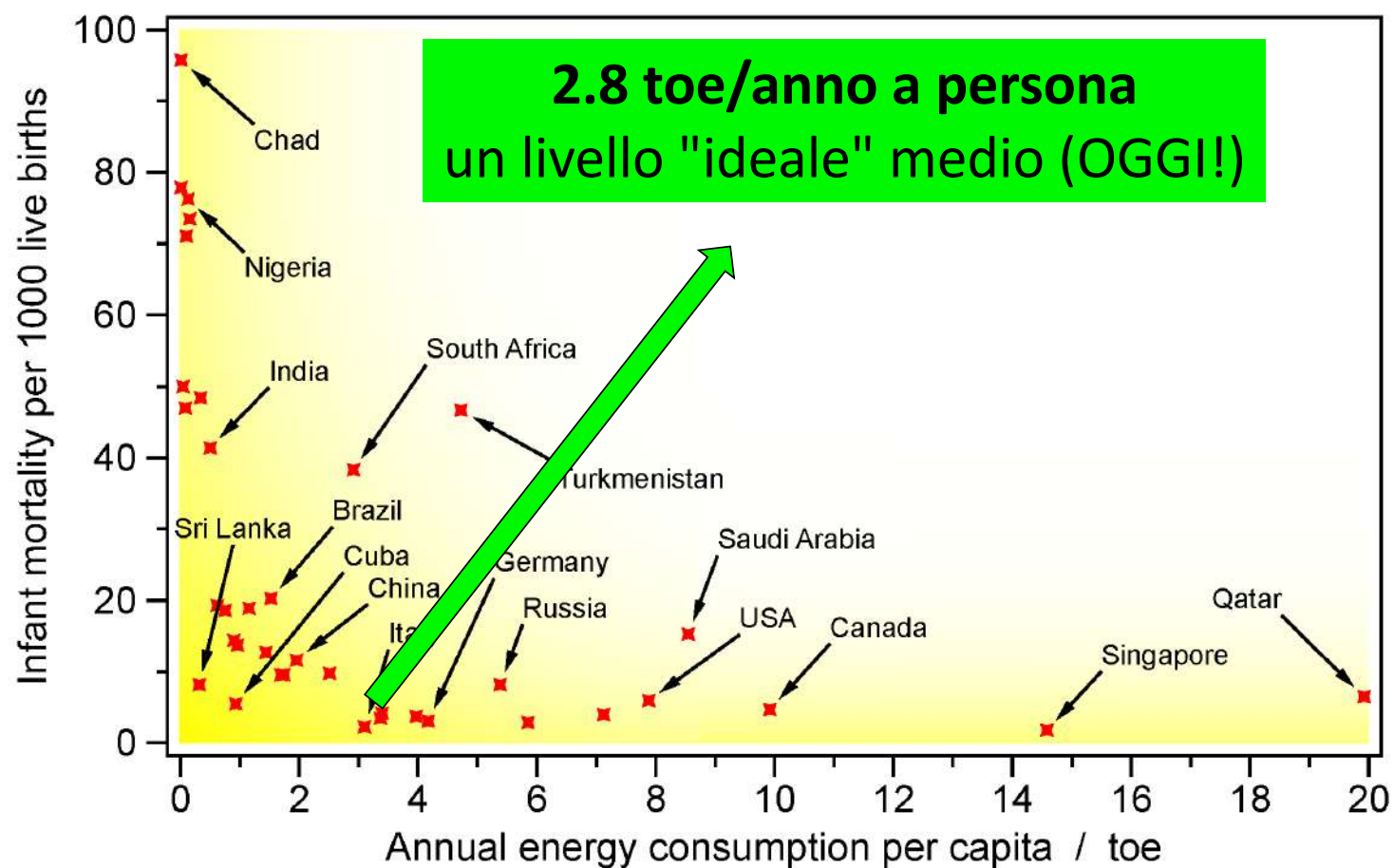
IL SISTEMA ENERGETICO ATTUALE (CASO USA)

F
O
N
T
I



L'INEFFICIENZA SI PUÒ STIMARE

**CONSUMO DI
ENERGIA PRIMARIA E
QUALITÀ DELLA VITA:
MORTALITÀ
INFANTILE**

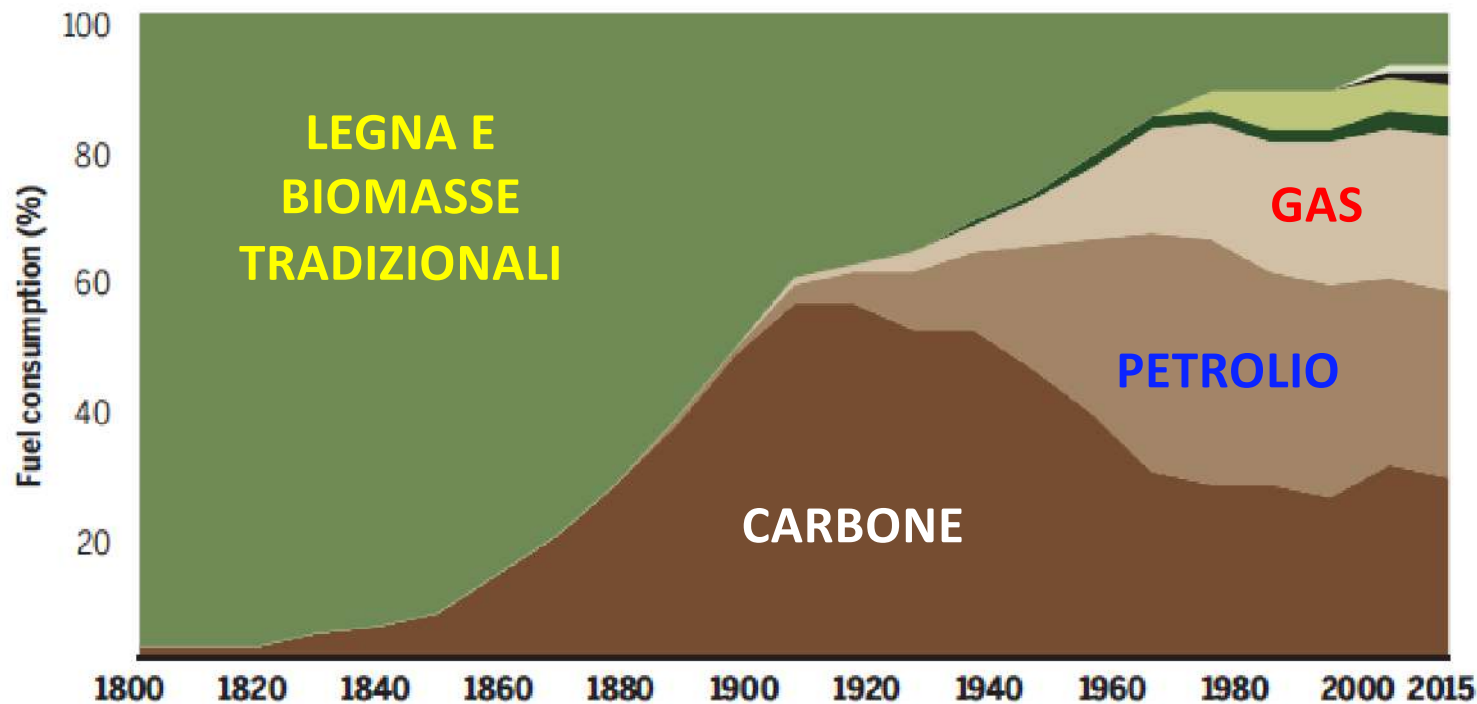


LA TRANSIZIONE ENERGETICA



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

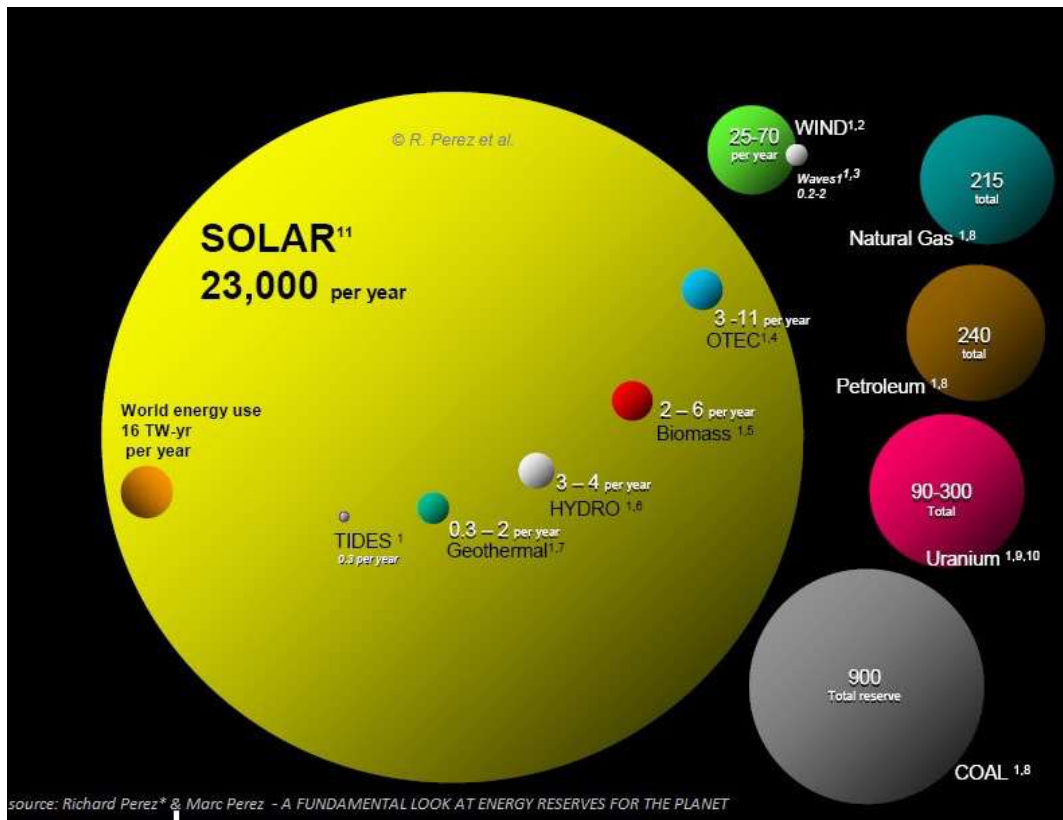
Nihil sub sole novum

Qoelet, 1,9

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

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

BUONA NOTIZIA: LA TERRA È INONDATA E STIPATA DI FLUSSI E STOCK ENERGETICI

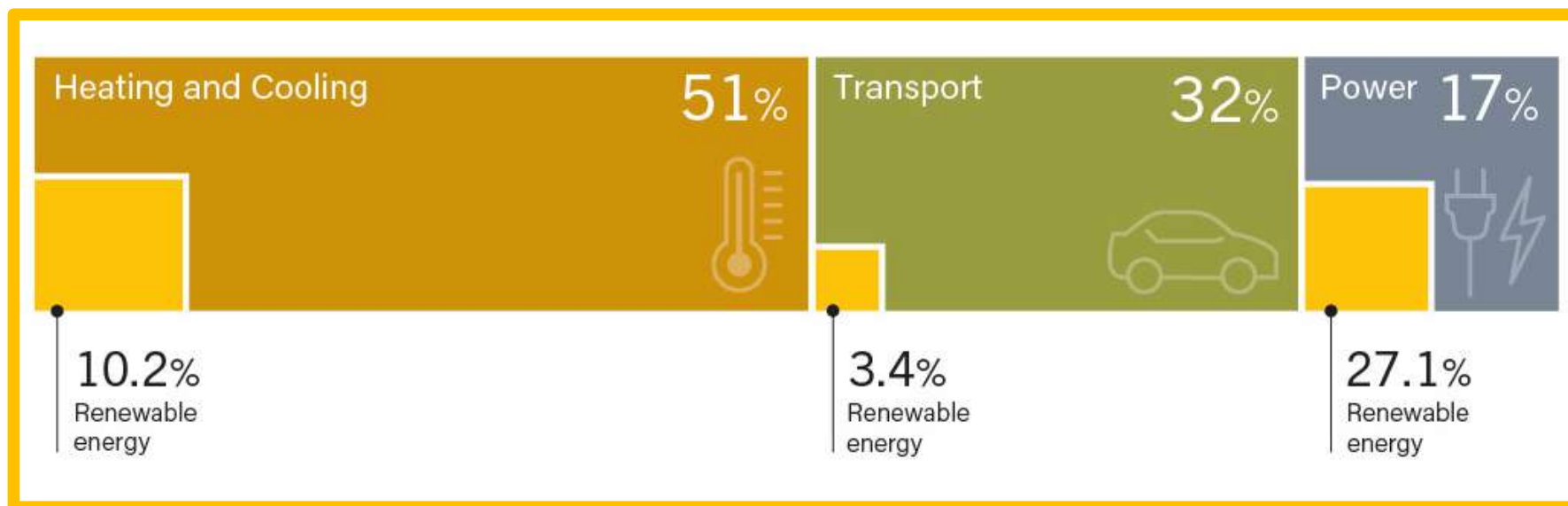


La maggior parte sono di
origine solare
diretta e indiretta

ATTENZIONE
Questo messaggio
NON passa

CATTIVA NOTIZIA: SIAMO MOLTO INDIETRO

I tre settori negli usi finali

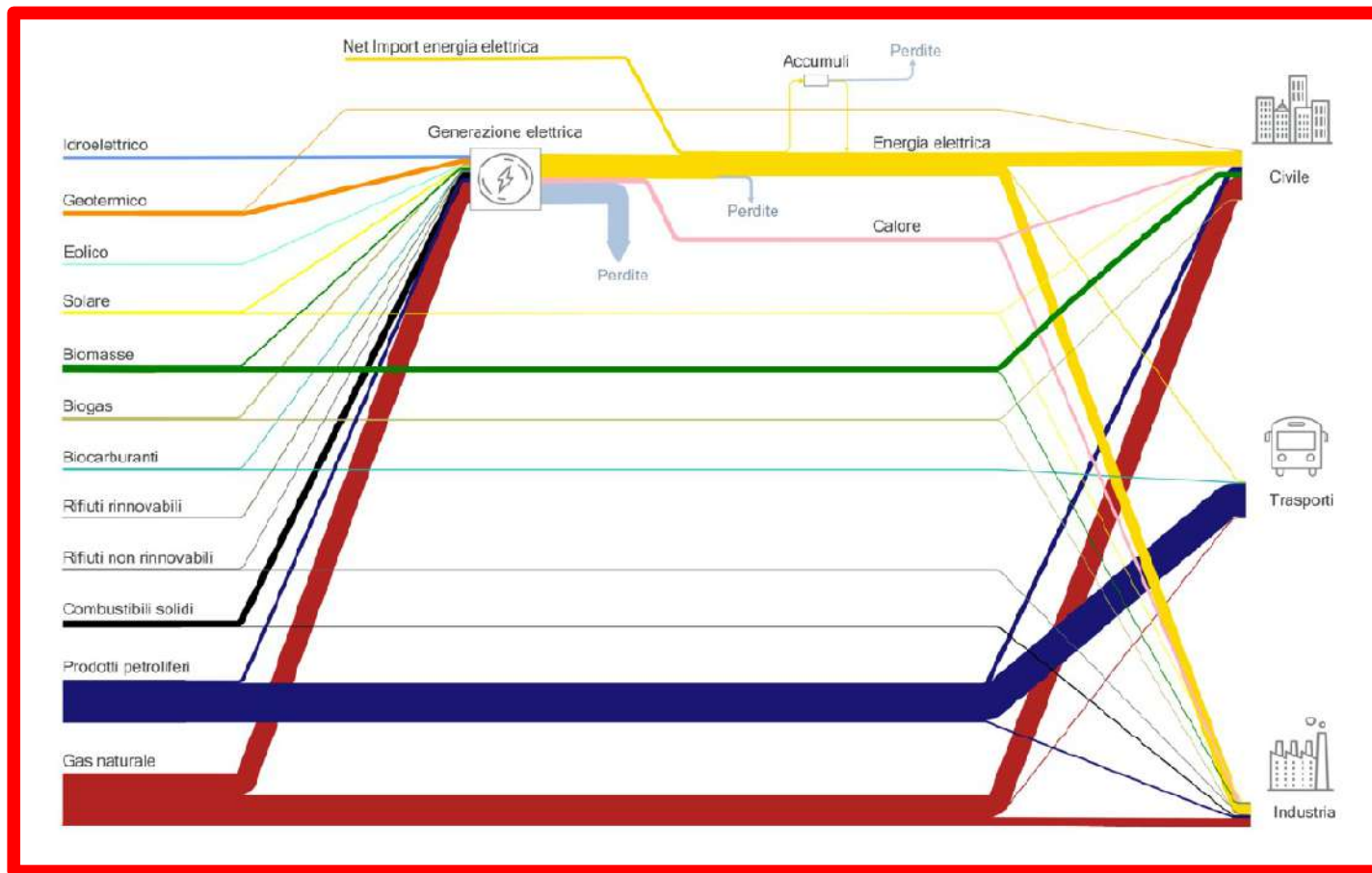


REN 21, Global Status Report, **2021**

E L'ITALIA DOV'È?

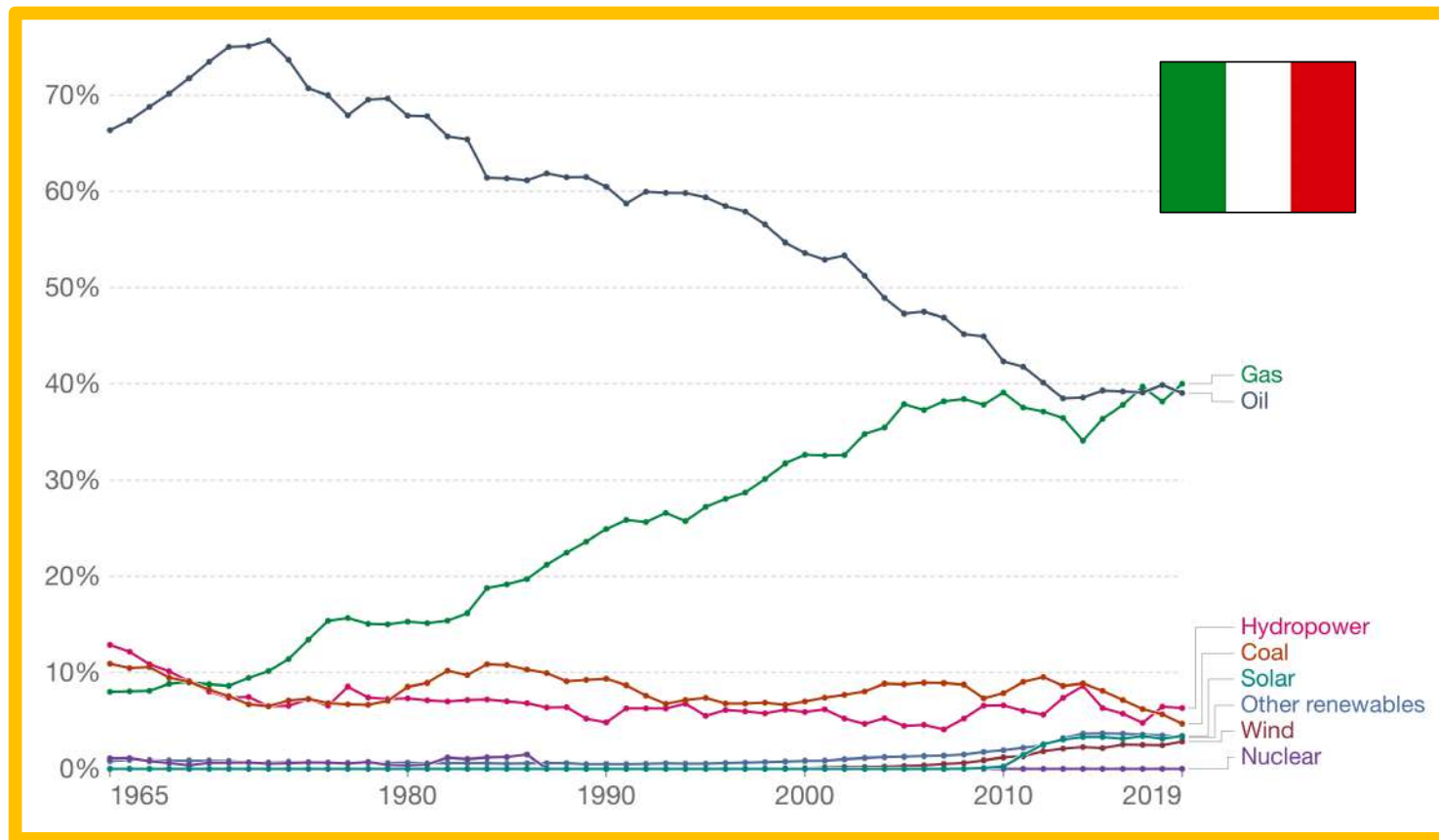


DOVE SIAMO: BILANCIO ENERGETICO ITALIA



Governo italiano, 2021

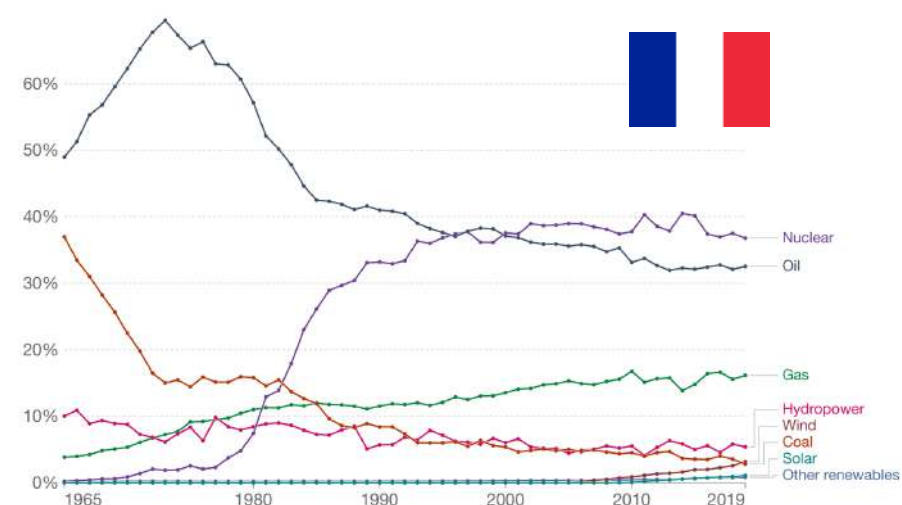
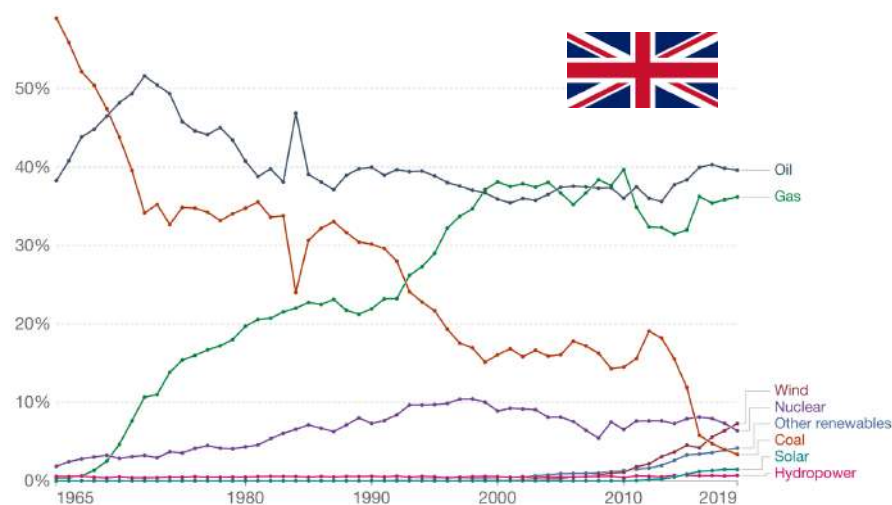
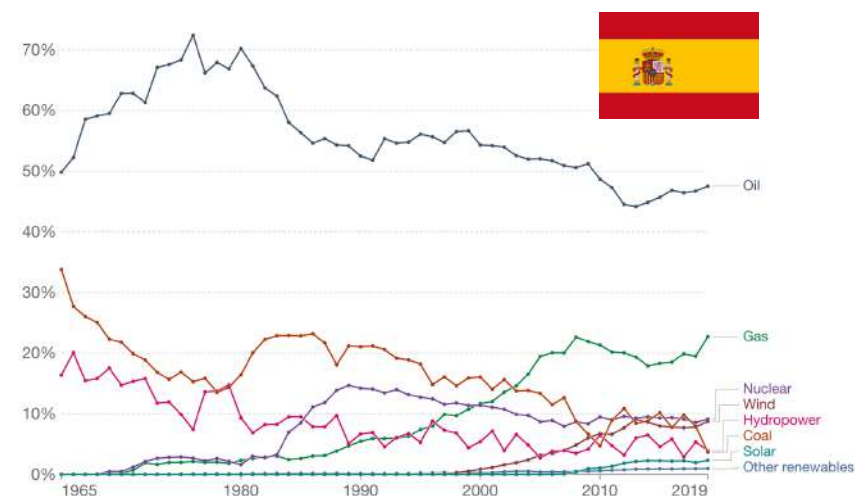
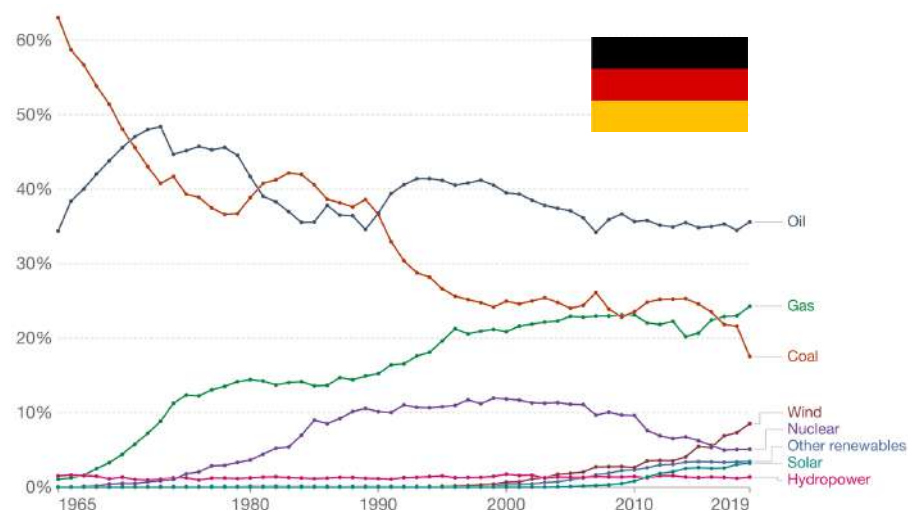
CONSUMO DI ENERGIA PRIMARIA, PER FONTE



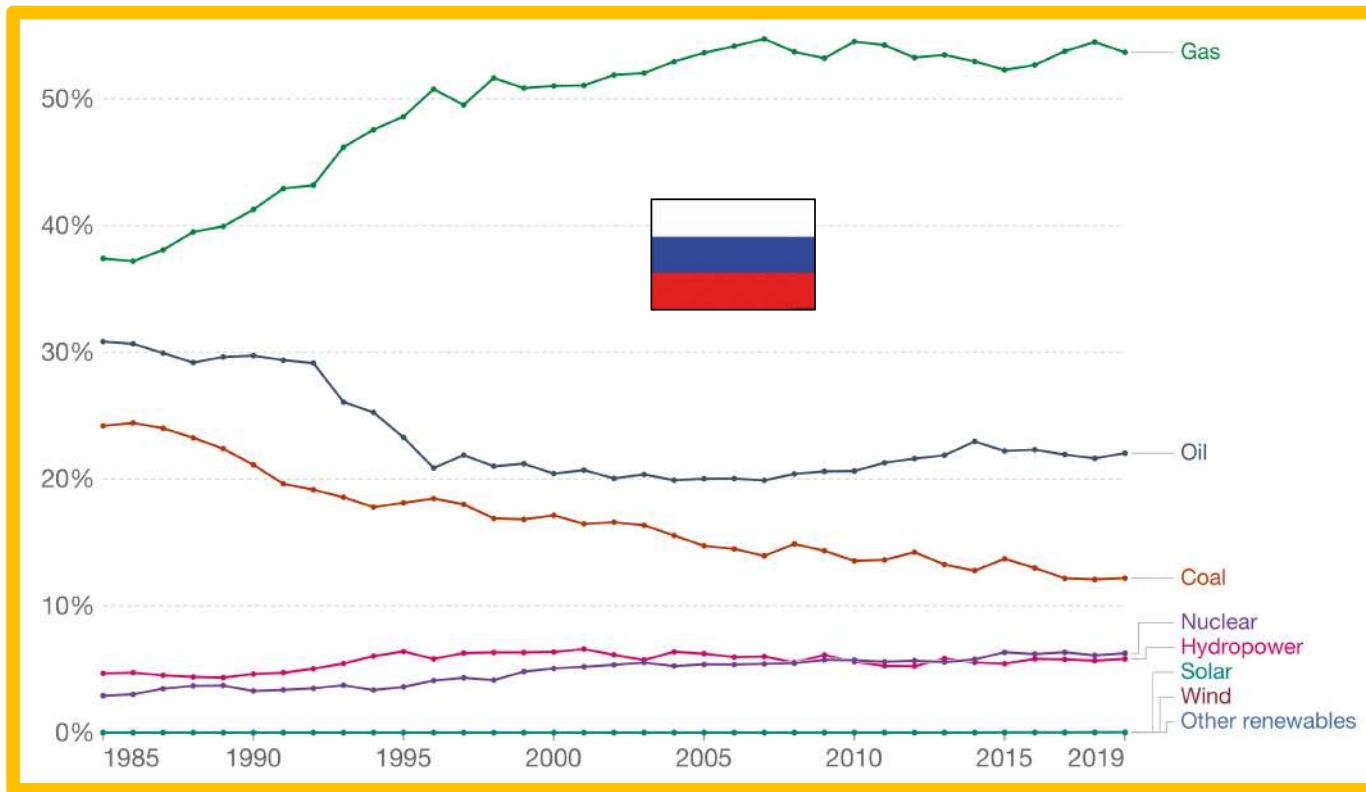
GAS: 40%
Media EU: 25%

ourworldindata.org 2022

CONFRONTO CON ALTRI PAESI EUROPEI



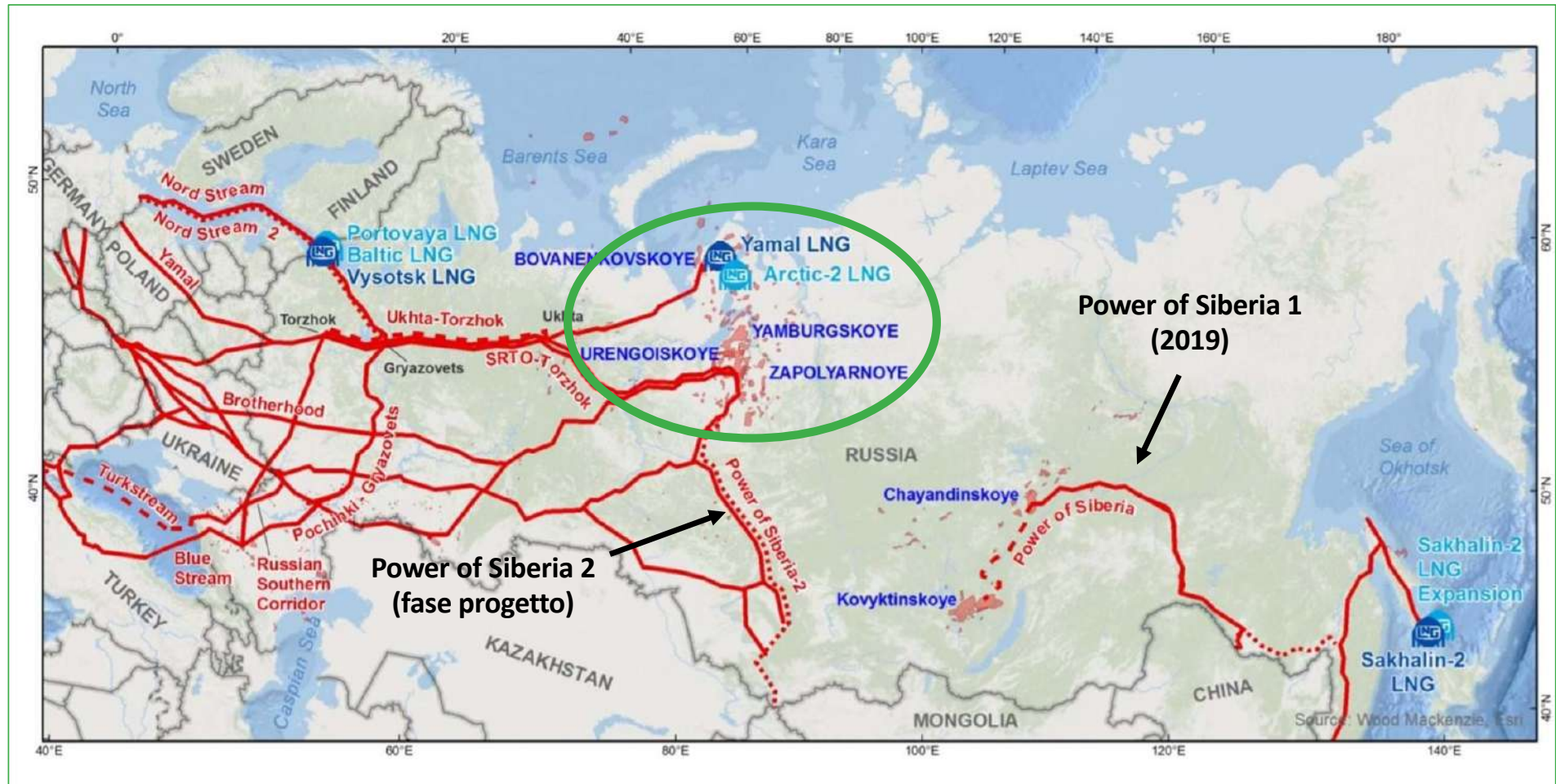
SOLO LA RUSSIA CI BATTE ...



RISERVE STIMATE
38 trilioni di m³
(58 anni alla prod. attuale)

ourworldindata.org 2022

CINA: UN CLIENTE ALTERNATIVO?



Nicola Armaroli, CNR – Federmanager, 21 Aprile 2022

OILEXIT



LA TRANSIZIONE DAL PETROLIO

Coincide con la transizione in **un solo** settore: trasporti

OGGI: Elettificazione ovunque possibile
Automobili, motocicli, TPL, ferrovie

DOMANI: Idrogeno e combustibili sintetici
Treni, navi, aerei

REQUISITO COMUNE

enorme aumento produzione elettrica rinnovabile

TRASPORTO LEGGERO: GAME OVER



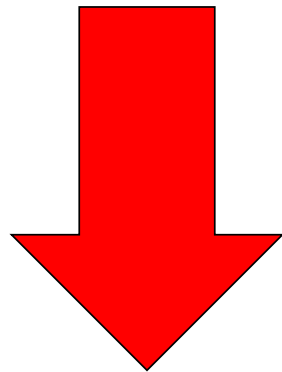
Rete elettrica:
OVUNQUE

Stazione di ricarica:
A CASA PROPRIA

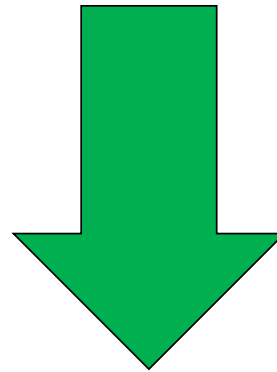
Costo per l'utente:
IMBATTIBILE

AUTO: STIMA ITALIA 2030/35

35% di battery e (BEV) e plug-in hybrid (PHEV)



+ 30 TWh
elettricità



– 140 TWh
petrolio



I DILEMMI DEL TRASPORTO PESANTE



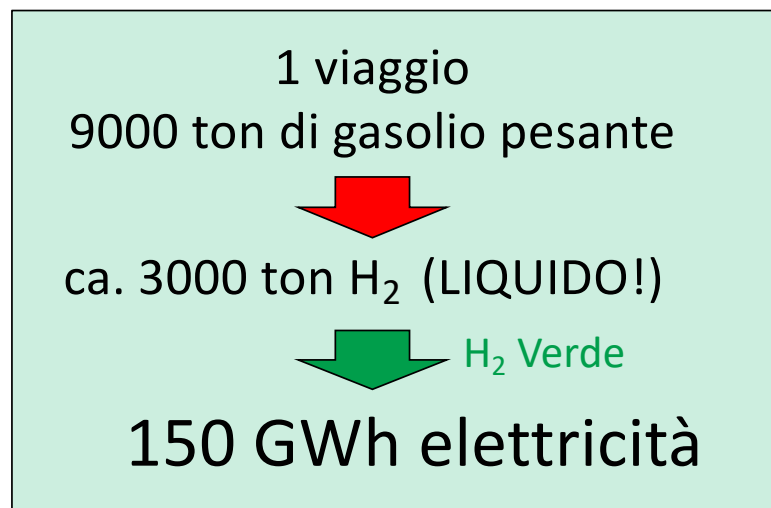
TRASPORTO MERCI VIA MARE: DUE CONTI



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

Nicola Armaroli, CNR – Federmanager, 21 Aprile 2022



NAVI CONTAINER A IDROGENO
OPPURE
RIPENSARE LA
(DE)LOCALIZZAZIONE DELLA
PRODUZIONE INDUSTRIALE?



Nicola Armaroli, CNR – Federmanager, 21 Aprile 2022



**Mims**
Ministero delle infrastrutture
e della mobilità sostenibili

Presentazione online del I Rapporto STEMI

Decarbonizzare i trasporti

Evidenze scientifiche e proposte di policy

22 aprile • ore 10.30

Come saranno i trasporti del futuro? Quali saranno le soluzioni tecnologiche più promettenti per ridurre le emissioni climalteranti, più innovative e convenienti per le diverse modalità di trasporto? In che modo il nostro Paese riuscirà a ridurre le emissioni di CO₂ del 55% entro il 2030 in linea con gli obiettivi europei?

A queste e altre domande risponde il Rapporto "Decarbonizzare i trasporti - Evidenze scientifiche e proposte di policy", elaborato dalla Struttura per la Transizione Ecologica della Mobilità e delle Infrastrutture (STEMI), gruppo di esperti istituito dal Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili.

Il primo Rapporto STEMI ha l'obiettivo di fornire una base conoscitiva fondata sulle più recenti evidenze scientifiche per sviluppare azioni e politiche efficaci per il raggiungimento degli obiettivi di contrasto alla crisi climatica. L'evento di presentazione online, al quale parteciperà il Ministro Enrico Giovannini, intende raccogliere commenti e proposte da parte degli esperti e stimolare il dibattito su una delle più importanti sfide per il Paese.

Clicca qui per seguire l'evento

PROGRAMMA

10.30

Introduzione
Enrico Giovannini, *Ministro delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili*

10.40

Il contesto: l'impatto dei trasporti sulla crisi ambientale e gli obiettivi climatici al 2030 e al 2050
Andrea Tilche, *Segreteria Tecnica MITE, Università norvegese della Scienza e della Tecnologia*

10.50

La mobilità urbana del futuro. La transizione ecologica di automobili, veicoli commerciali leggeri e trasporto pubblico locale: sfide e opportunità della riconversione
Nicola Armaroli, *Consiglio Nazionale delle Ricerche*

Modera: Maria Leitner, *Rai*
Discutono: Fabrizia Vigo, *Anfia*; Francesco Naso, *Motus-E*; Andrea Gibelli, *Asstra*; Giuseppe Vinella, *Anav*; Arrigo Giana, *Agens*; Veronica Aneris, *Transport & Environment*

11.50

La lunga percorrenza: il ruolo dell'innovazione tecnologica per la decarbonizzazione. Trasporti pesanti, navi, aerei: alternative tecnologiche, riduzione delle emissioni e scelte infrastrutturali
Pierpaolo Cazzola, *University of California - Davis, European Research Center*
Massimo Tavoni, *Politecnico di Milano*

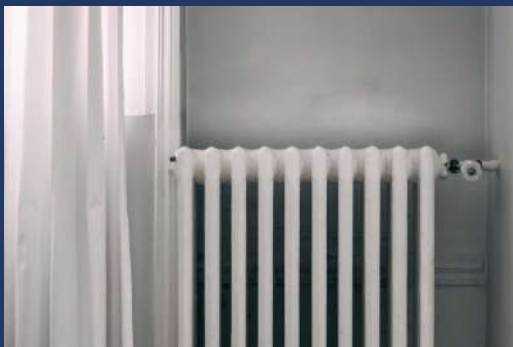
Modera: Massimo Sideri, *inviato ed editorialista Corriere della Sera*
Discutono: Mauro Nicosia, *Confindustria*; Alberto Rossi, *Assarmatori*; Mario Maltaglioli, *Confindustria*; Carlo Borgomeo, *Assaerporti*; Laura Lanza, *Commissione europea*

13.00

Conclusioni
Alessia Rotta, *Presidente della Commissione Ambiente, Territorio e Lavori pubblici - Camera dei Deputati*
Raffaella Palta, *Presidente della Commissione Trasporti, Poste e Telecomunicazioni - Camera dei Deputati*
Enrico Giovannini, *Ministro delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili*

GASEXIT

PIÙ DIFFICILE: i settori coinvolti sono ALMENO TRE



Residenziale



Industria



Prod. elettrica

IN ITALIA ABBIAMO UN PROBLEMA IN PIÙ



Non emette solo vapor d'acqua nella combustione, ma anche NO_x (quindi ozono) e PM ultrafini

È un gas serra decine di volte più potente della CO_2 , e si perde in atmosfera ...

PROVENIENZA E UTILIZZI DEL GAS



CONSUMO TOTALE 2021, 76 Gm³ (fonte: MISE)

Russia: 29

Algeria e Libia: 25

Azerbaijan: 7

Italia: 3

GNL: 10

Export: 1.5

UTILIZZI PER SETTORE IN Gm³ (fonte: ARERA)

Elettricità : 30

Residenziale: 20

Industriale: 10

Commerciale: 3

Altri: 2

TRANSIZIONE GAS, ITALIA

AZIONI IMMEDIATE

- Risparmio e comportamento individuale, -7/8 Gm³

MEDIO TERMINE (2-4 anni)

- 60 GW di rinnovabili autorizzate (con adeguam. rete), - 15 Gm³
 - Piano straordinario solare termico e PdC, -5 Gm³
 - Piano straordinario Biometano, 3 Gm³

LUNGO TERMINE (10-20 ANNI)

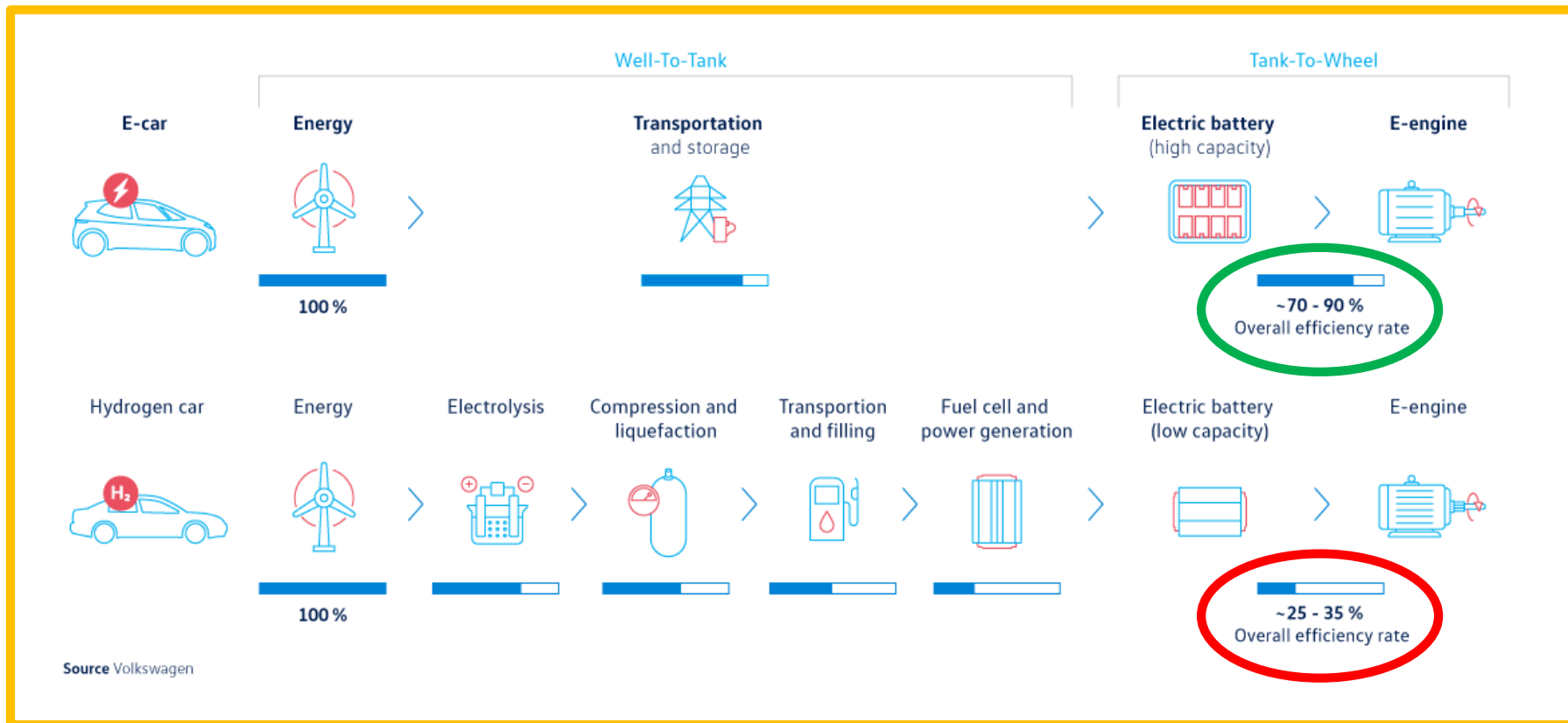
- Decarbonizzazione completa riscaldamento
- Decarbonizzazione completa sistema elettrico
 - Idrogeno

E L'IDROGENO? PREGI E DIFETTI



- 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 ...)

AUTO A IDROGENO vs. AUTO A BATTERIA



CREDIT: Volkswagen

E IL NUCLEARE, IN ITALIA?

5



Le chiacchiere sul nucleare

Nicola Armaroli

Da anni ho deciso di non partecipare più a dibattiti sul nucleare, che diventano immancabilmente una sterile contrapposizione fra tifoserie. Potrei scrivere dieci editoriali sui motivi economici, tecnici ed etici per cui il nucleare è finito su un binario morto. Ma lasciamo perdere gli argomenti pro e contro, e andiamo al punto: perché il dibattito sul nucleare in Italia è totalmente inutile? Un reattore nucleare non si accende e spegne come un phon. Per questo motivo si presta a coprire il carico di base (*baseload*) di un sistema elettrico, cioè la domanda di potenza sotto la quale non si scende mai. Il *baseload* italiano è circa 25 GW, quindi occorrerebbe installare almeno 20 GW di centrali a fissione. Accontentiamoci della metà: 10 GW, cioè dieci centrali nucleari standard da 1 GW. Occorrerebbe localizzare dieci siti idonei, in un Paese a elevato rischio sismico e in dissesto idrogeologico, dove da anni non si riesce a localizzare un solo sito per lo stoccaggio dei rifiuti nucleari. Ammettiamo pure di individuare questi dieci siti in un tripudio popolare, in rigorosa ottemperanza a un punto cardine della transizione ecologica in corso: la sostenibilità sociale. A questo punto dovremmo trovare aziende disposte a investire almeno 100 miliardi di euro (una centrale da un 1 GW costa almeno 10 miliardi). Non so voi, ma io già mi vedo la fila dei volenterosi con 100 miliardi da investire sul nucleare in Italia.

Passiamo oltre: quanto tempo occorrerebbe? In uno slancio di ottimismo supponiamo di metterci dieci anni. Nonostante si tratti di un'ipotesi totalmente irrealistica, sarebbe comunque troppo, perché fra dieci anni dovremo già aver decarbonizzato, anno dopo anno, il sistema elettrico, secondo gli obiettivi UE. In conclusione, persino nelle ipotesi più minimali e irrealistiche (10 GW, 100 miliardi, 10 anni) parlare di nucleare equivale a parlare di nulla. Figuriamoci in quelle realistiche.

Se allarghiamo lo sguardo al mondo intero, la situazione non migliora. Affinché il nucleare

possa giocare un ruolo rilevante nella produzione elettrica mondiale, bisognerebbe costruire almeno 3000 centrali da 1000 MW, cioè due alla settimana da qui al 2050, cominciando domattina. Negli anni d'oro (1960-1980) si è arrivati al massimo a costruirne occasionalmente trenta all'anno. E comunque, a questi ipotetici ritmi, non avremmo uranio a sufficienza. Ovvero lo avremmo solo nella mente di chi vagheggia da decenni l'estrazione di uranio dall'acqua di mare, ma temo non abbia mai fatto due conti sulle ciclopiche quantità di acqua che si dovrebbero processare.

So che a questo punto sorge l'obiezione: non si faranno centrali da 1 GW, ma piccole centrali da 0,3 GW di nuova generazione e ultrasicure! Di nuovo, stiamo parlando del nulla. Innanzitutto queste centrali "piccole" sono utilizzate da decenni nel settore militare e non hanno niente di nuovo. L'uso di design e combustibili alternativi per la produzione elettrica civile è ancora un tema da "libro dei sogni" tecnico e autorizzatorio, cioè l'ennesimo argomento impalpabile.

In conclusione, il nucleare può essere un divertente argomento di discussione tra amici, nei forum o al bar. Ma è e resterà sempre un argomento totalmente irrilevante per le prospettive concrete di transizione energetica da qui al 2050. È per questo che ho deciso, da anni, di lasciar perdere.

Davvero non mi capacito del fatto che si debbano inseguire idee irrealizzabili quando le soluzioni per decarbonizzare il sistema elettrico non solo esistono già, ma sono veloci da installare, sicure, affidabili ed economicamente imbattibili. Se siete abbonati a *Sapere*, è inutile che vi ripeta di cosa si tratta. Non so che dire: convincete altri a farlo. Anche nei Ministeri.

Intanto, godetevi questo numero speciale sull'astrofisica curato da Patrizia Caraveo, magari pensando che le stelle sono un bellissimo esempio di fusione termonucleare, anche se per noi inarrivabile.

Sapere, ottobre 2021

EDITORIALE

- Dove sono i **siti** (nel 2022, non nel 1960)?
- Dove sono gli **investitori**?
- Dov'è il **tempo** (carbon neutral al 2050!)?
- Maggiore **indipendenza** (fonte e tecnologie)?

"It was not clear what to do. ...

There was no protocol in case of war."

Tecnico centrale di Chernobyl
The Washington Post, 19 Marzo 2022

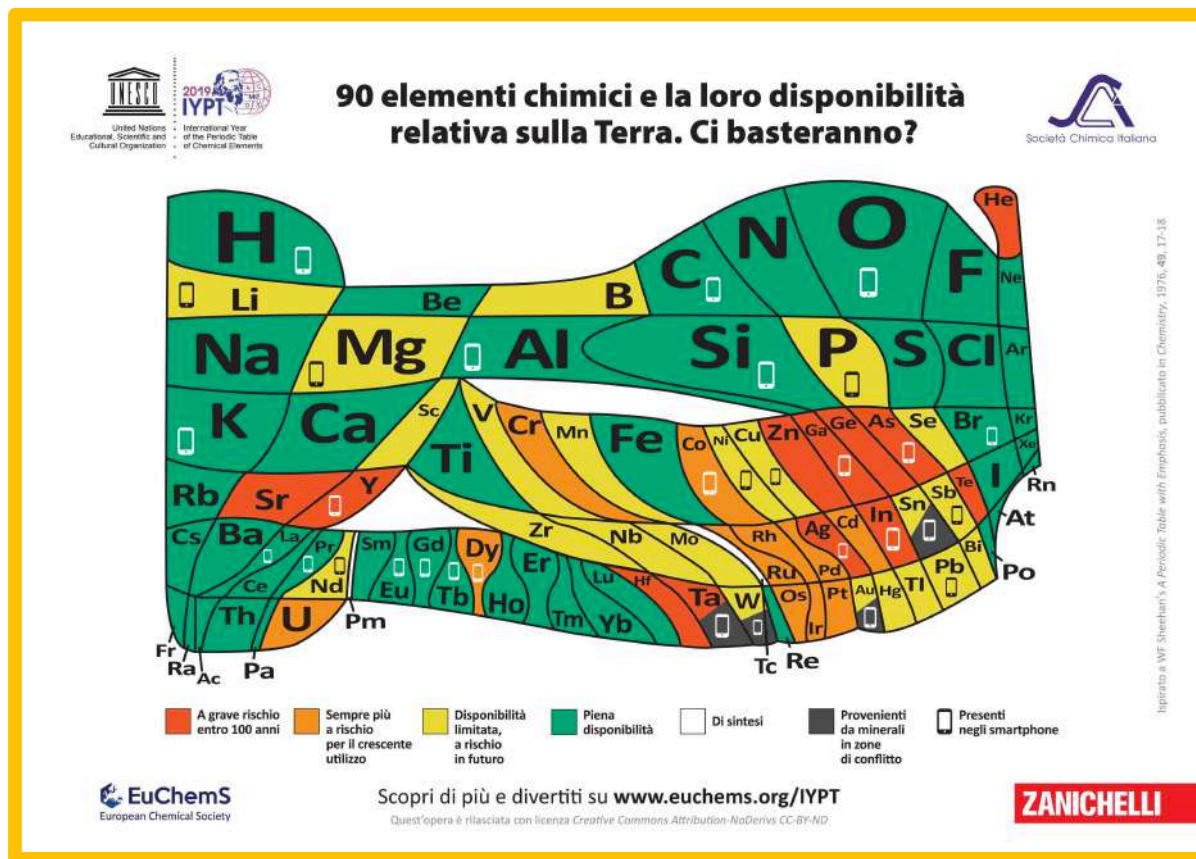
SAPERE, Editoriale, Ottobre , 2021

Nicola Armaroli, CNR – Federmanager, 21 Aprile 2022

I COLLI DI BOTTIGLIA DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA



1 – IL COLLO DI BOTTIGLIA MATERIALE

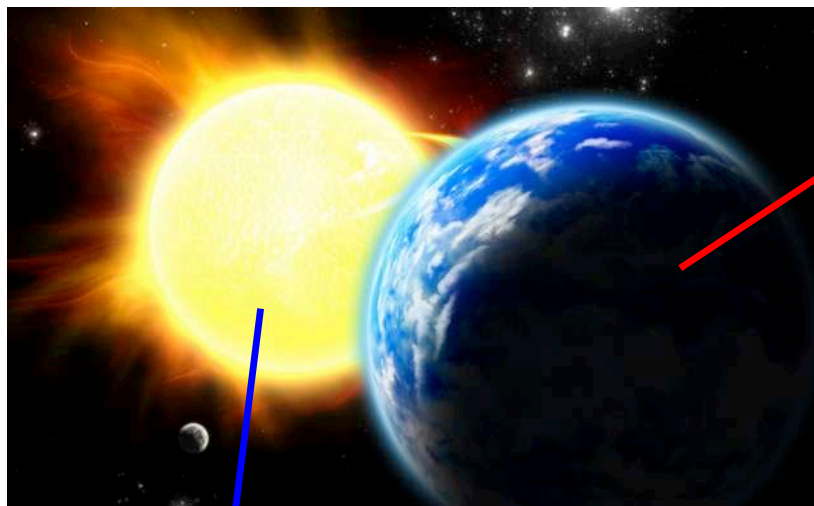


La tavola periodica
dell'abbondanza relativa
egli elementi:
Com'è fatta la Terra e come
la stiamo usando

 **EuChemS**
European Chemical Society

www.euchems.eu

LE RINNOVABILI RICHIEDONO RISORSE MINERALI

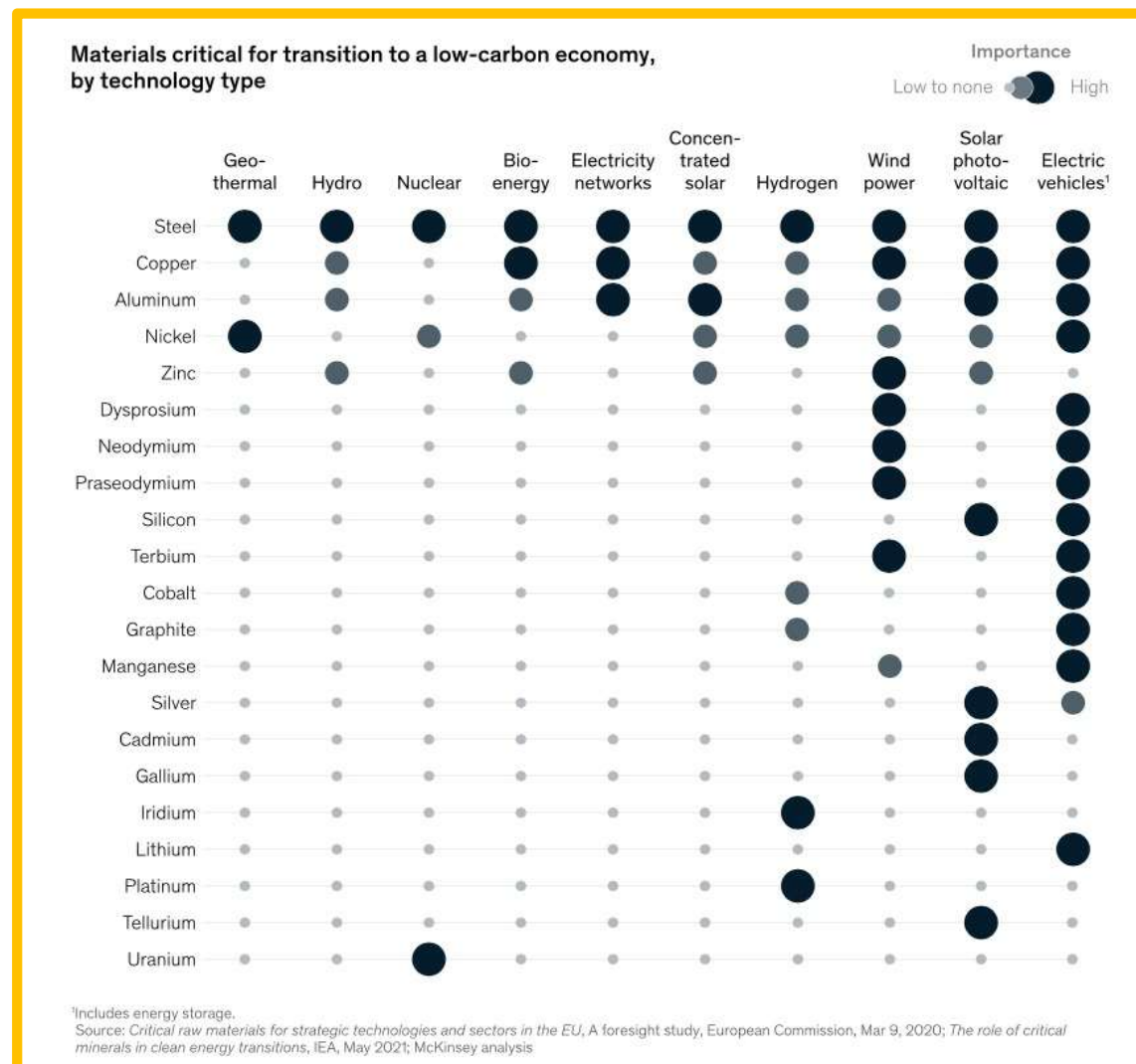


LUCE: un input extraterrestre
sovrabbondante

Per fare **convertitori** e **accumulatori**
di flussi rinnovabili servono risorse
minerali (terrestri)



MATERIALI CRITICI PER LA TRANSIZIONE ENERGETICA



IL SISTEMA FOSSILE HA UNA MAGGIORE INTENSITÀ MATERIALE

- Per fare 1 megawatt (MW) di **pannelli fotovoltaici** (FV) al silicio occorrono **200 ton di materiali**.
1 MW di FV produce in 30 anni **40 000 MWh** di elettricità
- Occorrono **14 000 ton di carbone** per produrre la stessa quantità di elettricità, **oltre 70 volte di più**



Transizione: ce la faremo?

Nicola Armaroli

Per quasi vent'anni ho raccontato che i combustibili fossili ci stavano portando al disastro e occorreva cambiare rotta. All'inizio l'interesse sull'argomento risentiva lo zero: al massimo ti invitavano in centri culturali o scuole dove gli organizzatori erano considerati un po' naïf. In alcune occasioni ricordo di aver parlato a non più di cinque o sei persone, facendo notte sotto un diluvio di domande. Come me, lo ricordano i colleghi fricchettoni utopisti che per anni si sono presi lo schermo di certi opinion maker: quelli che, loro sì, la sapevano lunga. Non posso dimenticare un pesante attacco sul *Corriere della Sera* a Luca Mercalli dopo che mi aveva intervistato in una trasmissione su RAI 3. Era disdicevole che i catastrofisti della domenica avessero un palcoscenico di quel tipo, pagato con soldi pubblici.

Negli ultimi anni, però, l'attenzione è cresciuta, lentamente ma costantemente, e infine è arrivato il 2021, l'anno del Big Bang. Oggi autorevoli leader mondiali ripetono in continuazione: «Non abbiamo più tempo! Benvenuti nel mondo reale, un mondo "ribaltato" in cui i fricchettoni di un tempo sono sotto assedio: governi, agenzie internazionali, aziende, fondazioni, ONG, associazioni di categoria, partiti, sindacati, Tv, radio, giornali, social, singoli cittadini, tutti li cercano. Le domande sono sempre le stesse. Come uscire dai fossili? Basteranno le rinnovabili? L'auto elettrica è una buona idea? E l'idrogeno? E il nucleare? Bene, su questo abbiamo già detto e scritto tutto, e lo si trova facilmente. La domanda importante, però, quella che pochi fanno, è un'altra: ce la faremo, prima che la catastrofe climatica ci travolga?

La preoccupazione dominante è che non ci siano abbastanza materiali sulla Terra per fare la transizione energetica: litio, nichel, argento, terre rare... Calma, la civiltà rinnovabile consumerà molti meno materiali di quella fossile. Un esempio: per fare un megawatt (MW) di pannelli fotovoltaici (FV) al silicio occorrono 200 tonnellate di materiali, e un MW di FV produce in trent'anni 40 000 MWh di elettricità. Occorrono 14 000 tonnellate di carbone per produrre la stessa quantità di elettricità, oltre 70 volte di più. Inoltre il dispositivo rinnovabile è riciclabile, a differenza di quel che accade con i fossili, dispersi in atmosfera come CO₂. Conclusioni analoghe si ottengono paragonando altre tecnologie fossili e rinnovabili.

Il problema che mi tiene sveglio la notte, molto più della disponibilità materiale, è un altro. Quale? L'Italia deve aggiungere 70 GW di rinnovabili elettriche da oggi al 2030. Tutti i Paesi dovrebbero fare sforzi simili. Supponendo che ogni nazione (ce ne sono 200!) installi mediamente 20 GW di FV (mi tengo basso), entro un decennio occorrono 4000 GW, cioè nel periodo 2020-2030 dobbiamo produrre 6 volte più pannelli che nel 2010-2020. Analoghe stime si possono fare per il litio, la cui produzione dovrebbe aumentare di circa 20 volte. Aumentare vertiginosamente in pochi anni la produzione di materiali e dispositivi per la conversione e l'accumulo di rinnovabili è una sfida pazzesca: occorre fare indagini geologiche, ottenere i permessi, estrarre i minerali, raffinarli, costruire enormi stabilimenti per la fabbricazione. Per fare tutto questo occorre una merce che non si compra al mercato: il tempo.

A suonare la sveglia della transizione è stata una catastrofe che sinora ha causato oltre cinque milioni di morti. Purtroppo è andata esattamente come temevamo in quelle serate fra pochi intimi: l'umanità si è svegliata solo quando è stata messa alle strette. Peccato aver perso tempo a ghirignare sui rompicapole menagramo mentre la catastrofe avanzava. Avere 20-25 anni a disposizione anziché 10 avrebbe fatto un'enorme differenza. Ora sarà durissima, ma non abbiamo scelta. Bisogna provarci, correndo come forsennati. Ce la faremo?

Sapere, dicembre 2021

CI SONO DIFFERENZE SOSTANZIALI, UN ESEMPIO

AUTO TERMICHE

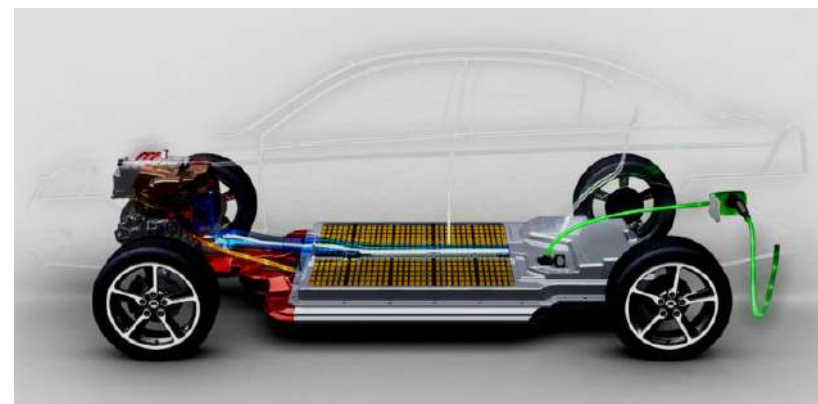


Un solo prodotto
Rifiuto disperso in atmosfera

ECONOMIA LINEARE



AUTO A BATTERIA



Diversi prodotti
Nessuna dispersione



ECONOMIA
CIRCOLARE

2 – IL RITORNO ENERGETICO



$$EROI = E_{out}/E_{in}$$

EROI deve essere più di 5, possibilmente più di 10

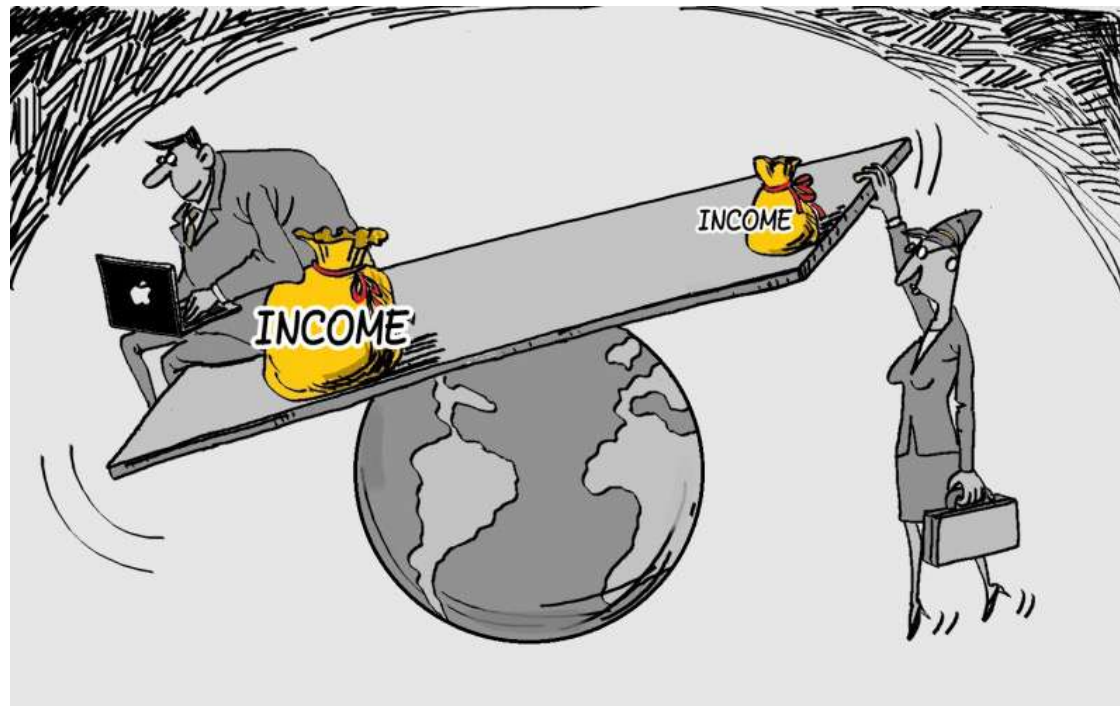
3 – IL NUMERO CRESCENTE DEI CONSUMATORI



**Nel 2000-2020 abbiamo aggiunto 1,7 miliardi alla popolazione mondiale
EQUIVALENTE A PIÙ DI UNA CINA**

4 – LE DISUGUAGLIANZE

(IN UN MONDO GLOBALIZZATO E INTERCONNESSO...)



COSA FAREMMO CON 260 VOLTE MENO ENERGIA?



Nicola Armaroli, CNR – Federmanager, 21 Aprile 2022

DUE DILEMMI PER UNA GIUSTA TRANSIZIONE



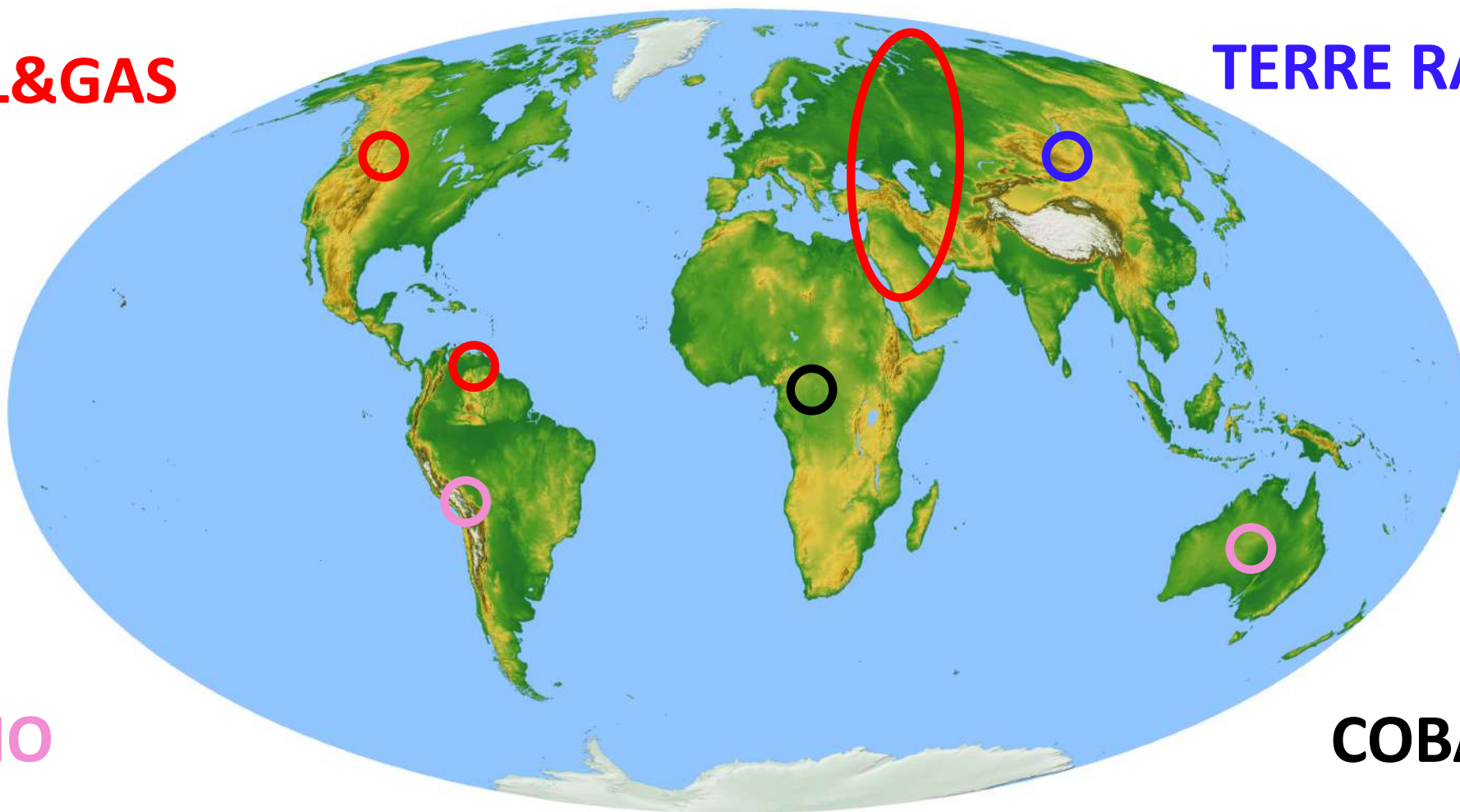
LE RISORSE SONO LOCALIZZATE ...

OIL&GAS

TERRE RARE

LITIO

COBALTO



... I DANNI SONO SPESSO DELOCALIZZATI



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

E L'EUROPA ...?

Possediamo solo lo **0.4, 0.8, 6.0 %** delle riserve
provate di **petrolio, gas e carbone***
Non abbiamo significative risorse di **minerali critici**

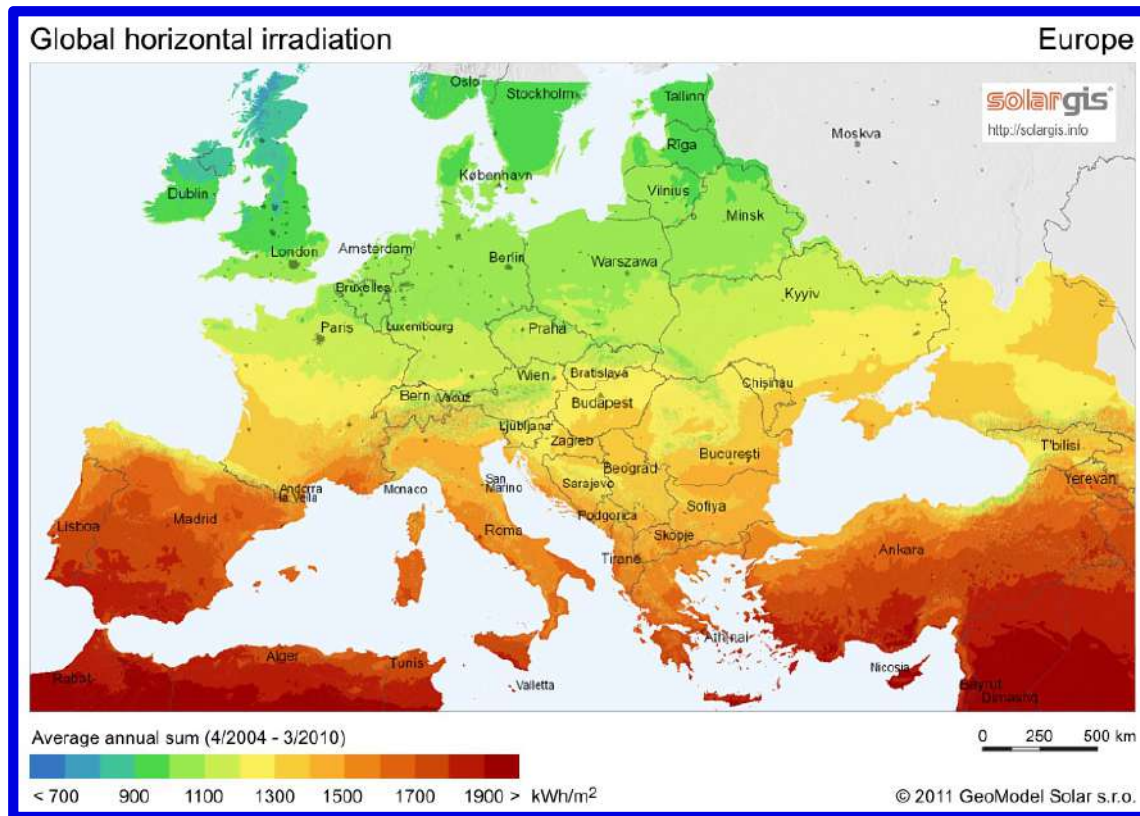


IL GRANDE PARADOSSO EUROPEO

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

*BP Statistical Review of World Energy, **2021**

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

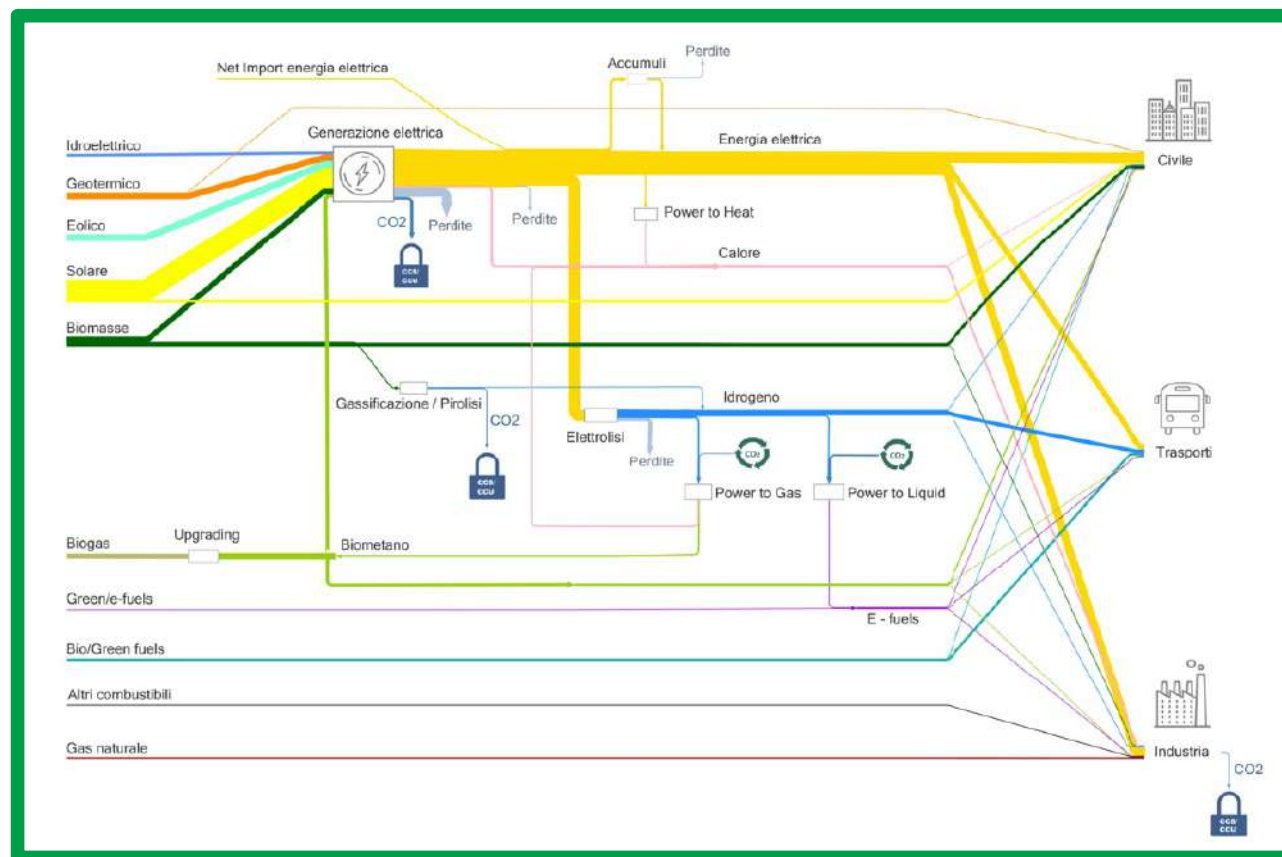
*Eurostat, 2022

L'OBIETTIVO DELL'ITALIA



BILANCIO ENERGETICO ITALIA, 2050

Non è più
l'obiettivo
dei sognatori

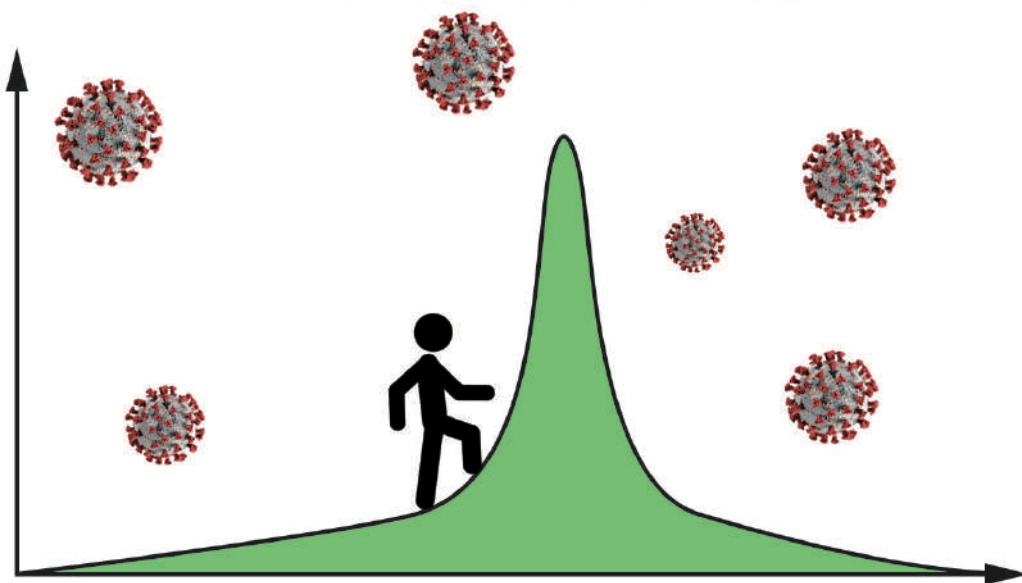


Governo italiano, 2021

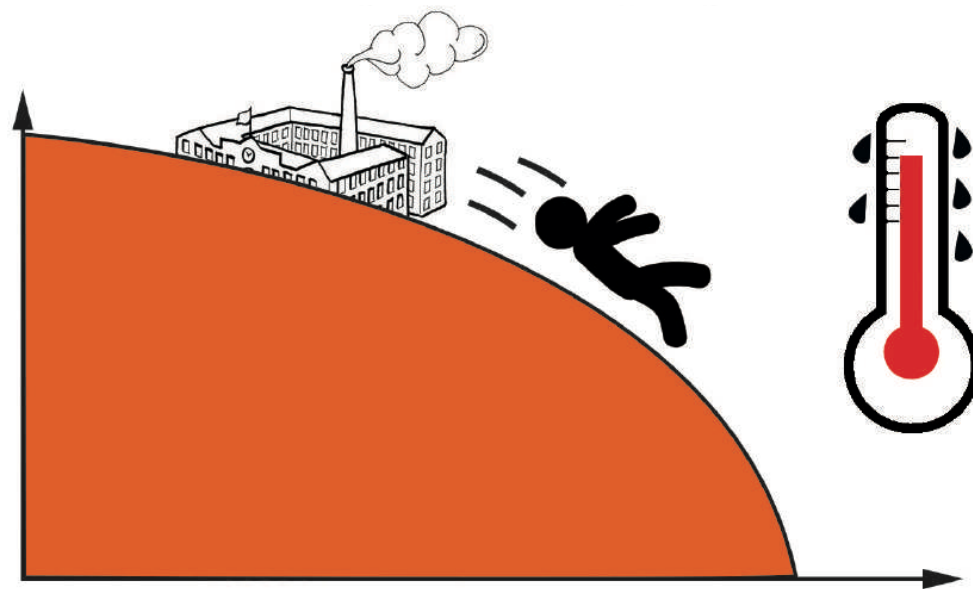
UNA CONSIDERAZIONE FINALE

CRISI PANDEMIA vs. CRISI CLIMA-ENERGIA

PICCO



BARATRO





www.isof.cnr.it/armaroli-nicola

www.saperescienza.it

***Il nostro compito non è prevedere il futuro,
ma renderlo possibile***

Antoine de Saint Exupéry