



Consiglio Nazionale delle Ricerche

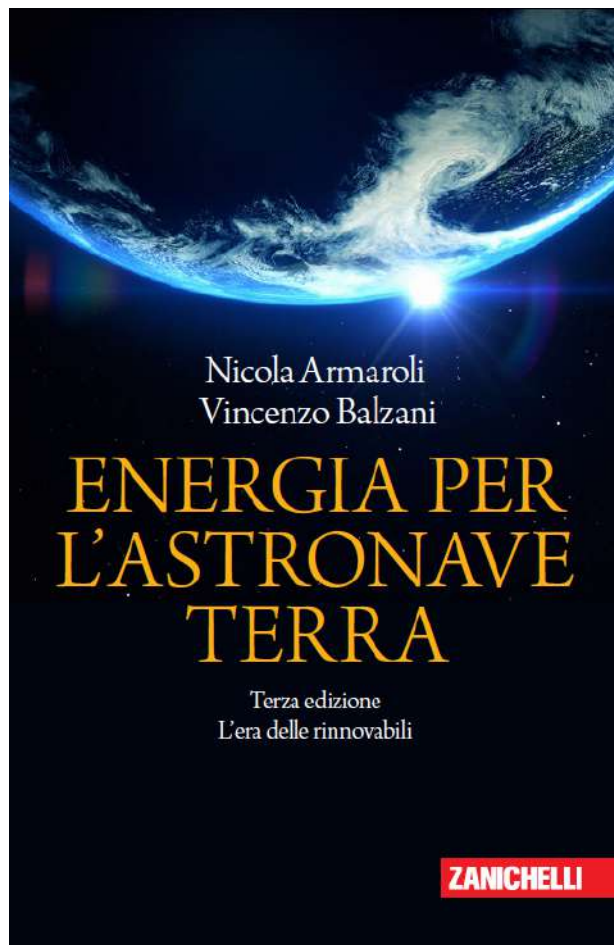
ENERGIA PER L'ASTRONAVE TERRA

Nicola Armaroli

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



3 Aprile 2020



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

www.saperescienza.it

Nicola Armaroli, CNR Bologna – 3 Aprile 2020

COSA SUCCEDDE SE RIMANIAMO SENZA ENERGIA ?

Stanza fredda



Buio in camera



Latte avariato in frigo



Niente acqua calda



Acqua del rubinetto sporca



A scuola a piedi o in bici



In aula fa freddo ...



Pranzo crudo



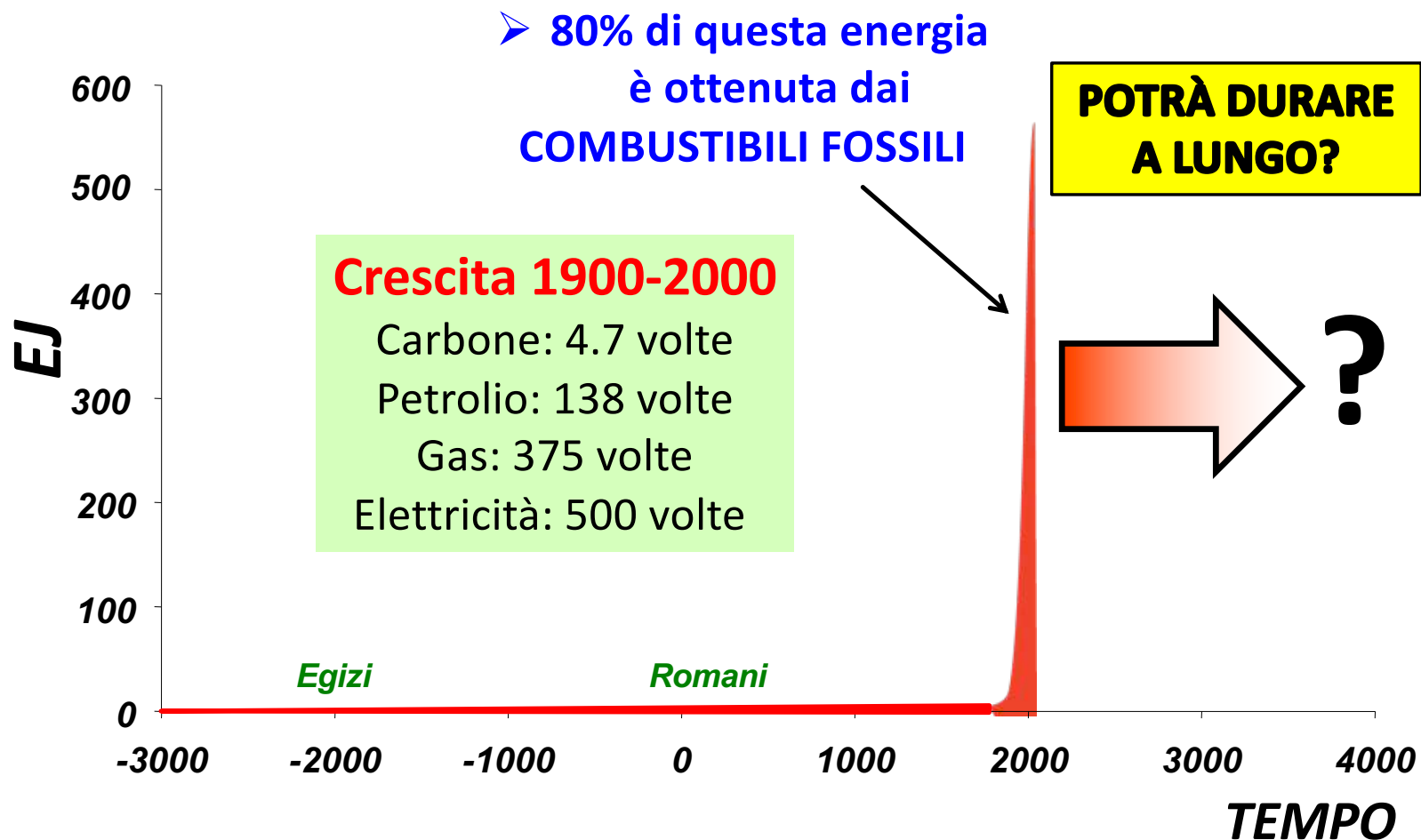
La smartphone non si carica



La televisione e il PC non si accendono



ENERGIA NELLA STORIA



ENERGIA OGGI: UN SISTEMA "FOSSILE" INSOSTENIBILE

2020

CONSUMO MONDIALE ANNUALE DI COMBUSTIBILI FOSSILI

PETROLIO



4.7 Gt



Uso principale:
Trasporti



CARBONE



7,7 Gt



Uso principale:
Elettricità

GAS



2.6 Gt



Vari usi

33.9 Gton
CO₂

BP Statistical Reviews, 2019

CERCHIAMO DI PERCEPIRE LA NOSTRA "CUCCAGNA ENERGETICA"



Unità di misura ...
non convenzionale



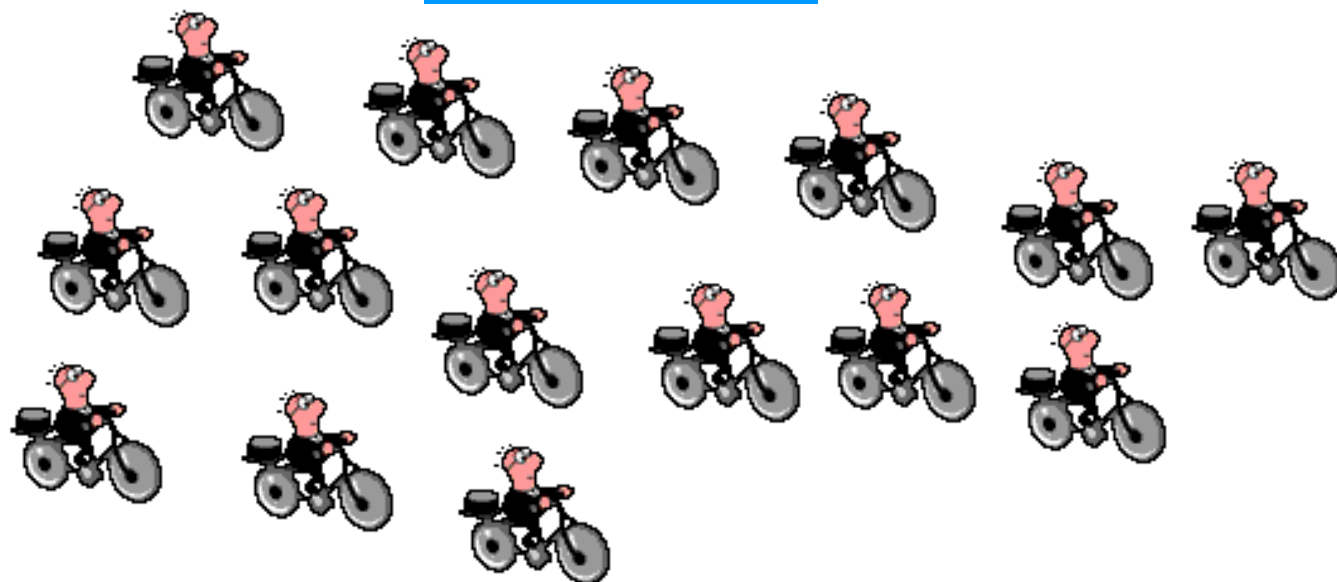
"SCHIAVO ENERGETICO"
= 50 W per 8 ore



TV



LAVATRICE



FRECCIAROSSA 1000



9.8 MW



196 000

**430 schiavi
per passeggero**

E I CONSUMATORI AUMENTANO ...

- oggi, ore 19:13: **7 640 771 000*** – Nel 1960 erano **3 miliardi**
- Ogni **anno** ci sono oltre **80 milioni di abitanti in più**
- Ogni **giorno** ci sono **225.000 persone in più** che richiedono cibo, risorse, energia
- Ogni **minuto** nascono **32 cinesi** e **48 indiani**
- **Da oggi al 2050** aumenteremo di altri **2,0-2,5 miliardi**
- Sono stati necessari
5000 anni per far nascere i "primi" **2 miliardi** di persone (3000 aC-1927)
50 anni per gli altri 2 miliardi (1927-1973)
25 anni per i successivi 2 miliardi (1974-1999)
in 19 anni siamo cresciuti di altri 1.5 miliardi (2000-2018)

OK ... PERÒ L'ENERGIA È COSTOSA ... O NO??

costo PETROLIO:
25 \$/barile



0.16 €/litro

Meno caro di...



BENZINA: ca. 1.4 €/l
(65 % tasse!!!)



Più economica di ...



IL PETROLIO



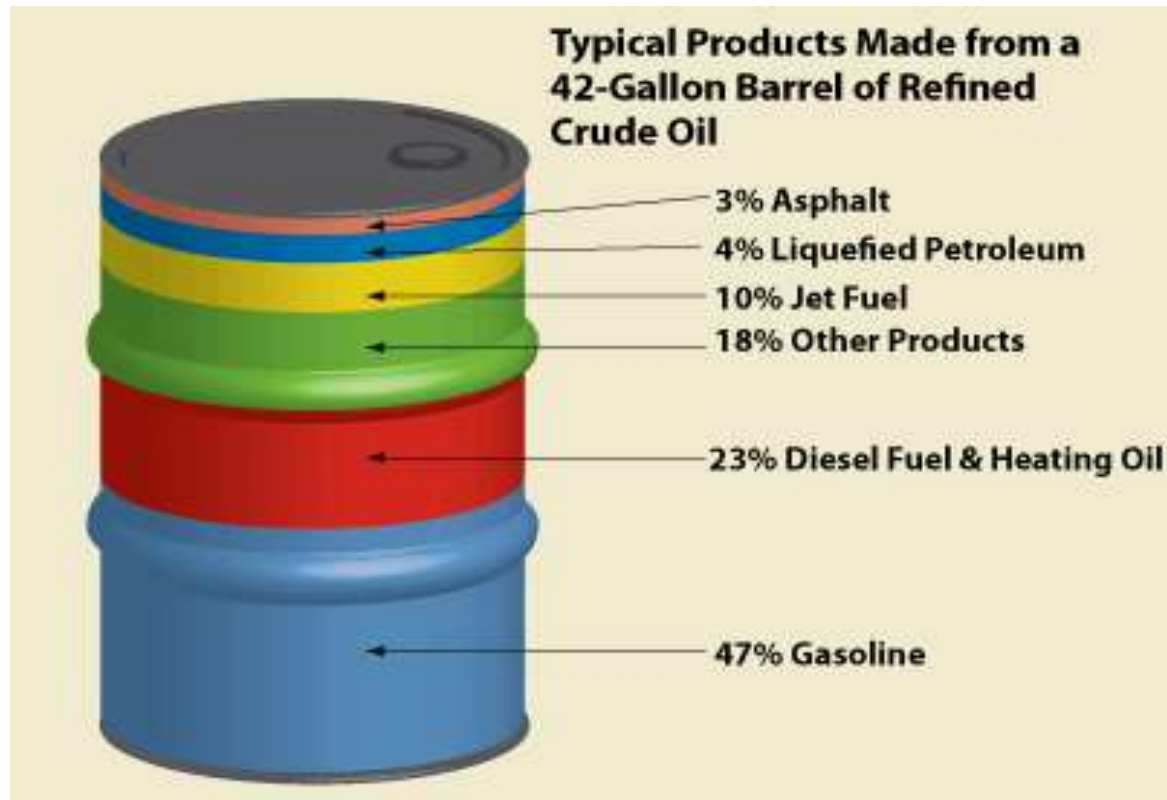
**Petrolio Convenzionale
(petrolio facile)**



**Petrolio NON Convenzionale
(petrolio difficile, “estremo”)**



PETROLIO: UN PRODOTTO ... INSUPERABILE



**NON SI BUTTA
NULLA!**

PETROLIO E GAS "NON CONVENZIONALI" (=DIFFICILI)



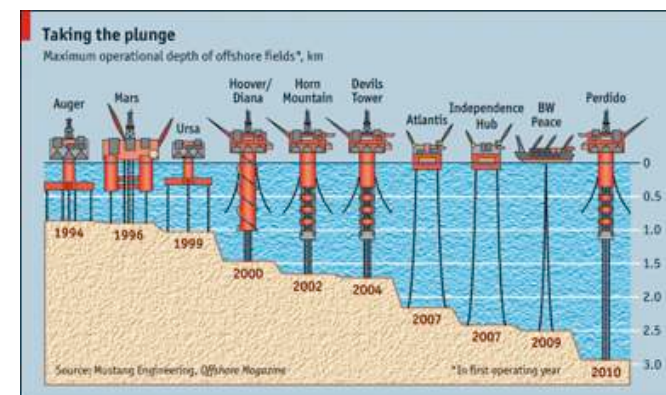
Sabbie bituminose



Petrolio/gas di scisto (fracking)

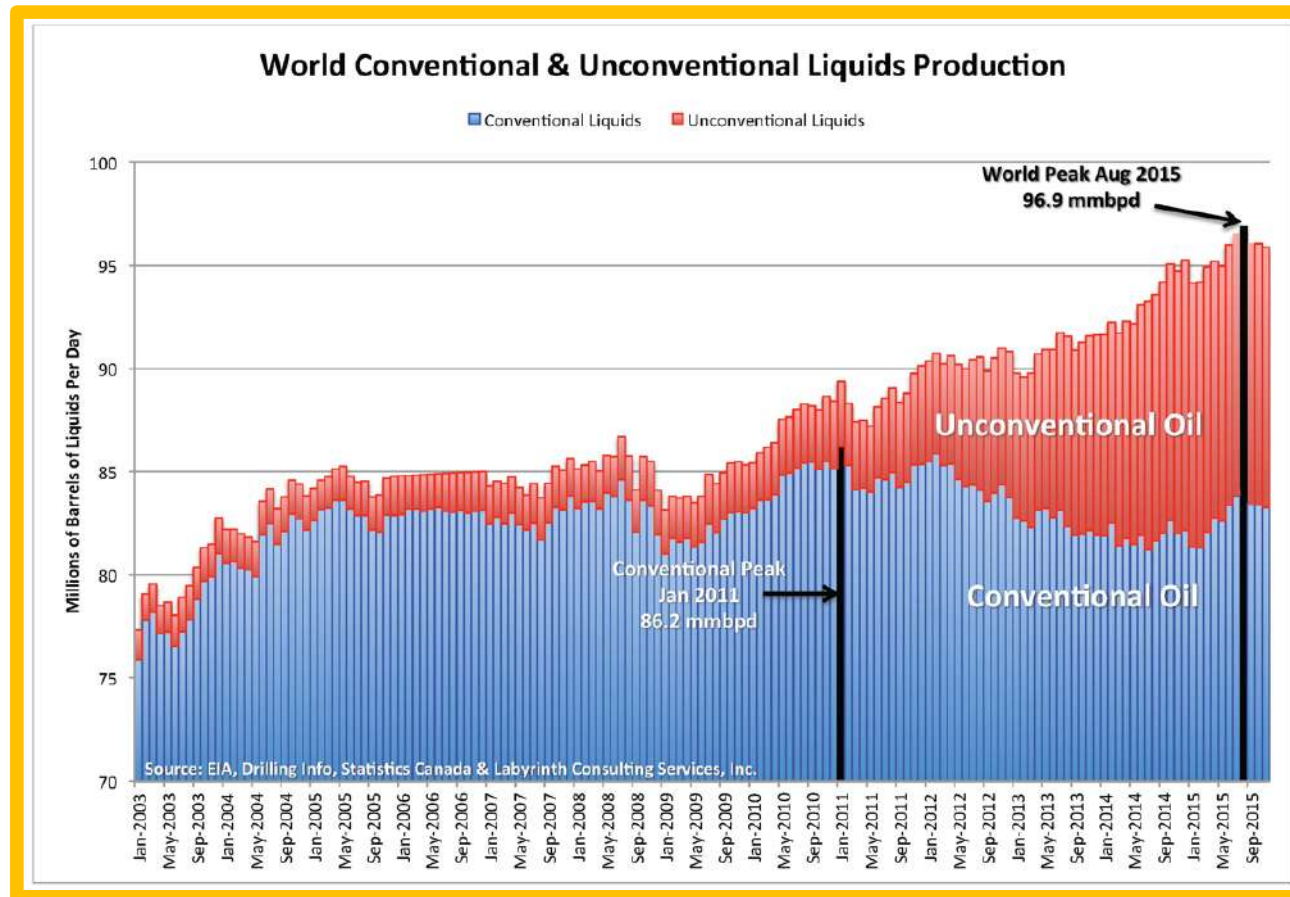


Estrazione in zone remote ...

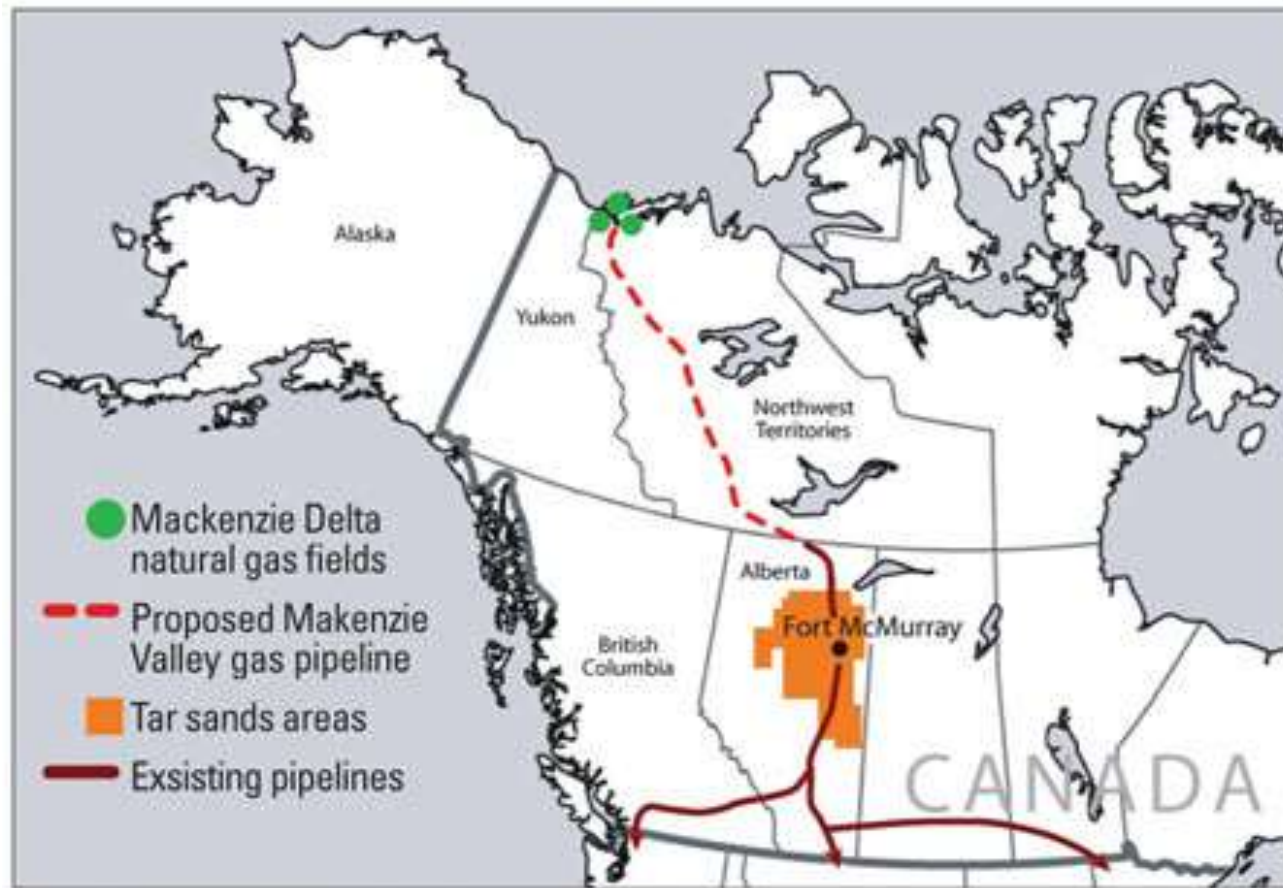


... o nel mare a profondità crescenti

L'ASCESA DEL PETROLIO NON CONVENZIONALE



SABBIE BITUMINOSE, Alberta (Canada)



DISTRUZIONE DELLA FORESTA BOREALE



Nicola Armaroli, CNR Bologna – 3 Aprile 2020

*“Solo quando avrai abbattuto l’ultimo albero,
quando avrai avvelenato l’ultimo fiume e
quando avrai pescato l’ultimo pesce,
capirai che il denaro non lo puoi mangiare”.*

Proverbio dei Nativi Americani

GLI ULTIMI 80 ANNI: L'ERA DEI COMBUSTIBILI FOSSILI



Ma tutto questo ha un prezzo ...

IL ROVESCIO DELLA MEDAGLIA



**Tensioni, guerre,
inquinamento, cambiamenti climatici**

CO₂: IL NEMICO INVISIBILE

**SIAMO TUTTI COLPEVOLI:
LA MIA VECCHIA AUTO (dismessa nel 2018)**



**2004, Diesel Euro 3
203 000 km**

Gasolio bruciato:
13 067 litri, 11.1 ton
(7.1 volte il suo peso)

**CO₂ emessa
33.5 ton
(21 volte il suo peso!)**

UN VELOCE RISCALDAMENTO INDOTTO DALLE ATTIVITÀ UMANE È IN ATTO

Ghiacciai nel mondo



<http://climate.nasa.gov/sof/>

CALOTTA ARTICA



DAL 1979 AD OGGI (mese di Agosto)

-35% IN SUPERFICIE

-65% IN VOLUME

www.nsidc.org

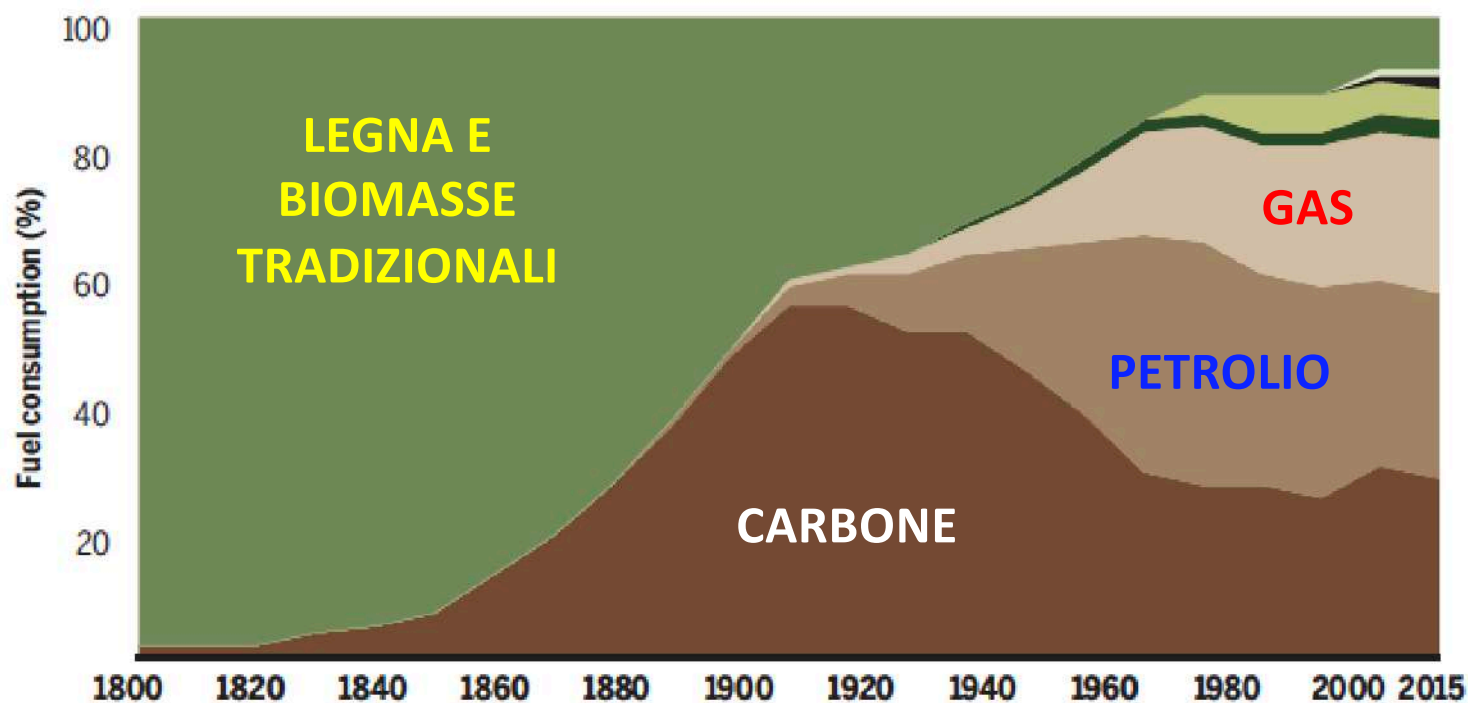
LA TRANSIZIONE ENERGETICA



Nicola Armaroli, CNR Bologna – 3 Aprile 2020

LE TRANSIZIONI ENERGETICHE NELLA STORIA

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



Nihil sub sole novum

Qoelet, 1,9

Science 2018, 359, 1320

LA TRANSIZIONE ENERGETICA IN CORSO

UN PROCESSO MOLTO PIÙ COMPLESSO CHE IN PASSATO:

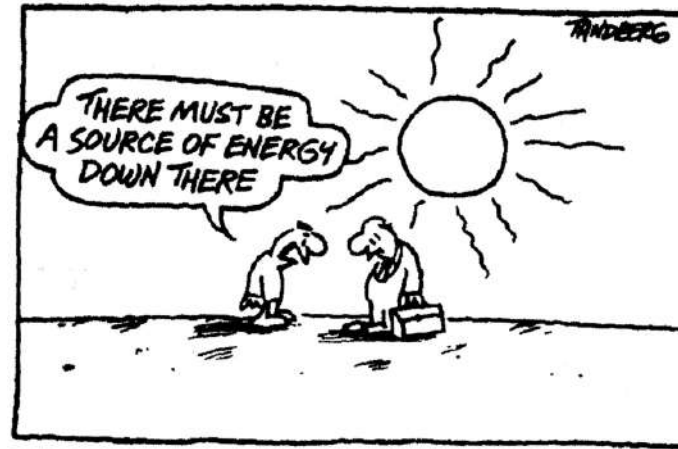
- ragioni tecniche
- dimensioni complessive
- implicazioni sociali, economiche, geopolitiche

IL TUTTO IN UN QUADRO DI:

- RISORSE NATURALI LIMITATE E CONTESE**
- CAMBIAMENTO CLIMATICO**



LA SOLUZIONE DEFINITIVA E PERENNE



- Il sole brillerà per altri **3-4 miliardi di anni**
- Il sole invia sulla Terra **in un'ora** una quantità di energia pari a quella che l'umanità consuma **in un anno**, MA ...

MA ... È UNA FONTE ENERGETICA DILUITA



Confine esterno dell'atmosfera

1370 W/m²



Superficie terrestre
(media annuale)

170 W/m²

PROVIAMO A ESSERE PRATICI: COSA CI SERVE?

DISTRIBUZIONE DEI CONSUMI FINALI IN EUROPA

ELETTRICITÀ
25%



COMBUSTIBILI 75%



LA PORZIONE PIÙ FACILE: ELETTRICITÀ



ELETTRICITÀ CON IL SOLE: WATER, WIND, SOLAR (WWS), + altre ...

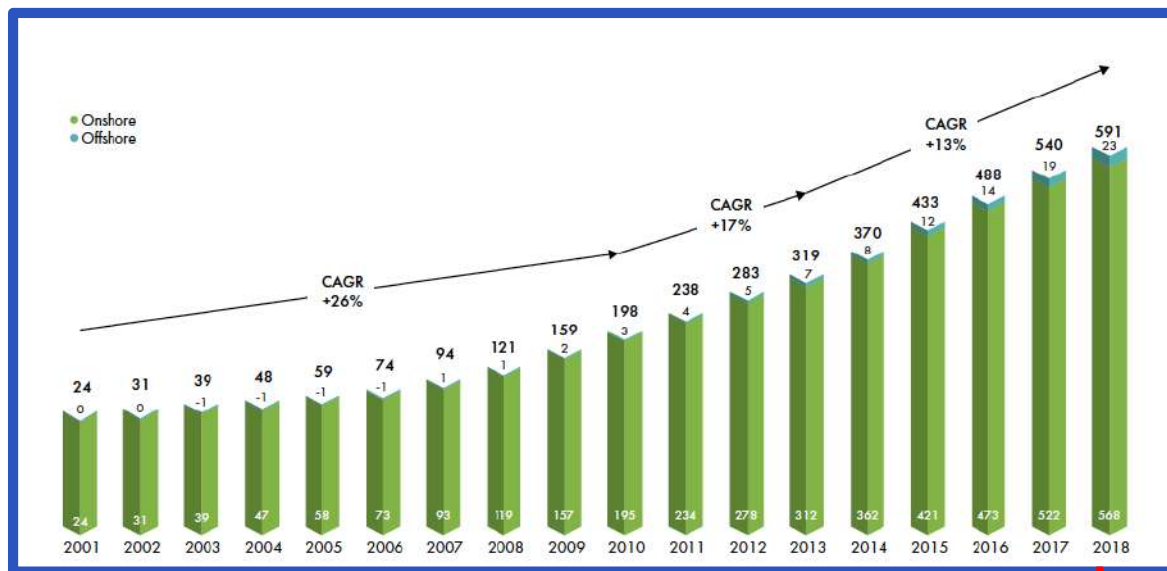


27% della produzione elettrica mondiale è GIÀ rinnovabile!

REN 21, Global Status Report, **2018**

LA CRESCITA IMPETUOSA DI EOLICO E FOTOVOLTAICO

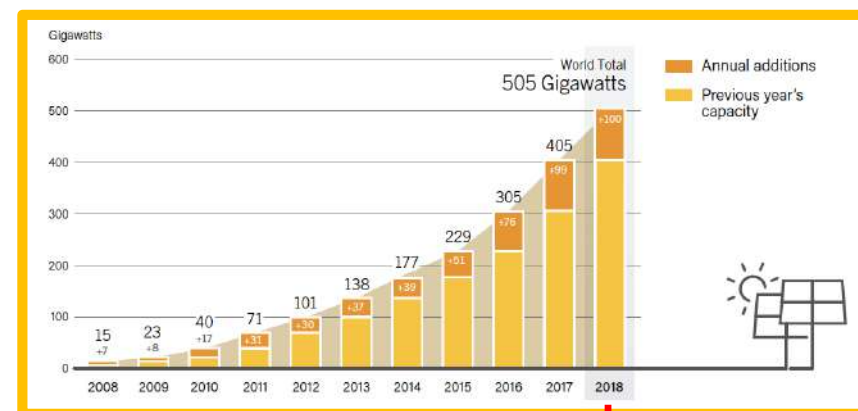
EOLICO, 2001-2018



Global Wind Energy Council, 2019

591 GW

FOTOVOLTAICO, 2008-2018



REN 21, Global Status Report, 2019

505 GW

ELETTRICITÀ PRODOTTA, 2018



591 GW, 1200 TWh

(170 CENTRALI ELETTRICHE DA 1000 MW)



505 GW, 570 TWh

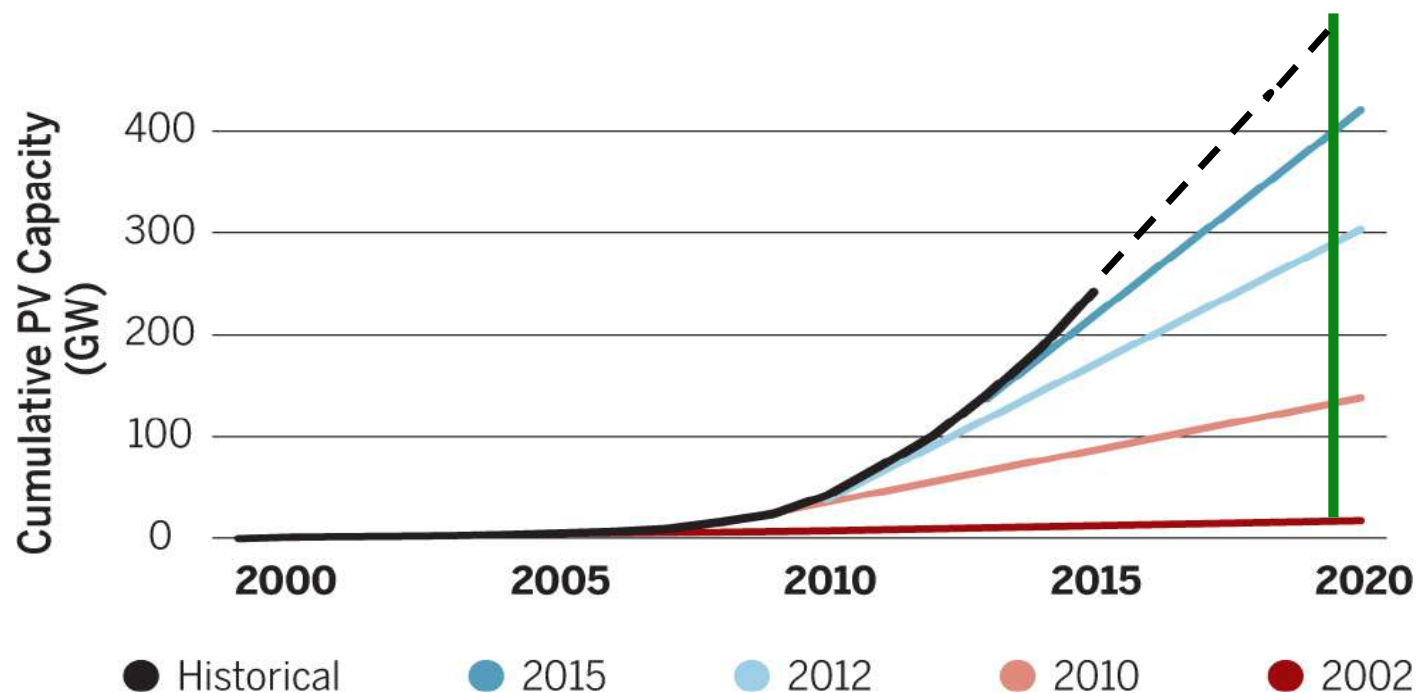
(80 CENTRALI ELETTRICHE DA 1000 MW)

VENTO + FOTOVOLTAICO 2018

6.0 % della produzione elettrica mondiale

EQUIVALENTE A 250 CENTRALI NUCLEARI O A CARBONE

CHI LO AVEVA PREVISTO? NESSUNO ...



WARNING
MOLTO
RISCHIOSO
FARE PREVISIONI
IN CAMPO
ENERGETICO!

**PREVISIONI PUBBLICATE DALLA IEA,
NEL TEMPO**

Science **2017**, 356, 141

LA PORZIONE PIÙ DIFFICILE: COMBUSTIBILI



DIFFICULT

COMBUSTIBILI DAL SOLE

Biocombustibili (da fotosintesi)

1a GENERAZIONE

Culture Dedicare



- **BIOETANOLO** per motori **A BENZINA**
(da granoturco, barbabietola, ..)
- **BIODIESEL** per motori **A GASOLIO**
(da olii vegetali: colza, girasole, ...)

2a GENERAZIONE

Scarti Agricoli



3^a generazione: FOTOSINTESI ARTIFICIALE

Molecole semplici e a basso contenuto energetico: H_2O , CO_2



COMPLESSI SISTEMI
CHIMICI

combustibili



ESEMPIO
SCISSIONE
DELL'ACQUA

LUCE SOLARE



$\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$
PRODOTTI

RIFIUTO E ...
MATERIA PRIMA
 H_2O

H_2

- CALORE
- ELETTRICITA'
- ALTRI COMBUST.

NECESSARIA MOLTA RICERCA



www.sunriseaction.eu



IL TEMPO DELLE SCELTE



TRASPORTO SU STRADA OLTRE IL PETROLIO: BIOCOMBUSTIBILI O ELETTRICO?



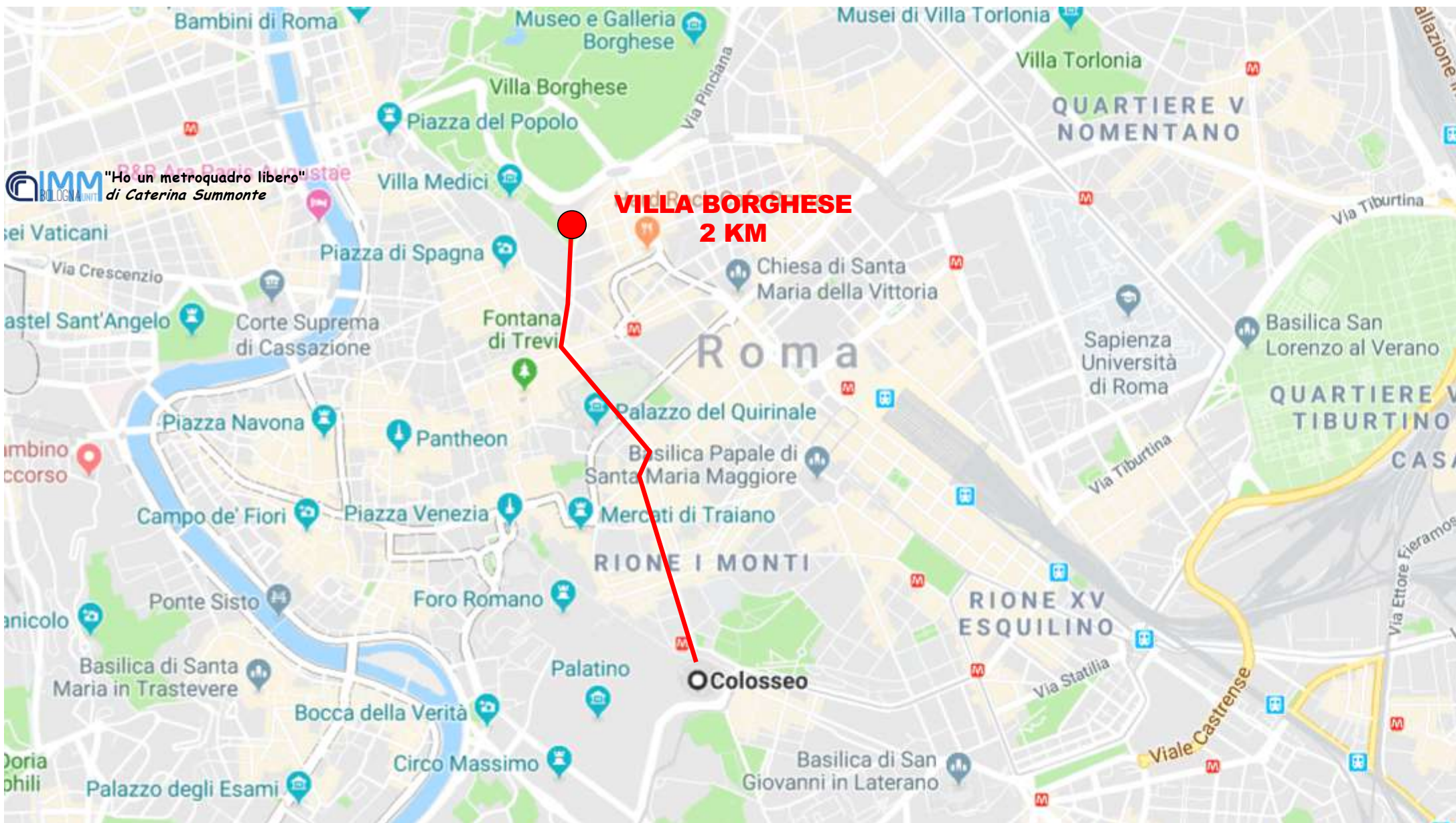
FACCIAMO 2 CONTI ... NEL NOSTRO GIARDINO

BIODIESEL, da colza

su 1 m² di terreno coltivo **COLZA** e produco biodiesel. Quello che ottengo in un anno lo metto nel serbatoio di un'auto diesel...



... quanti chilometri faccio?



"Ho un metroquadro libero"
di Caterina Summonte

FACCIAMO 2 CONTI ... NEL NOSTRO GIARDINO

ELETTRICITÀ

su 1 m² installo un pannello fotovoltaico. Con l'elettricità ottenuta in un anno, carico una batteria di un'auto elettrica...



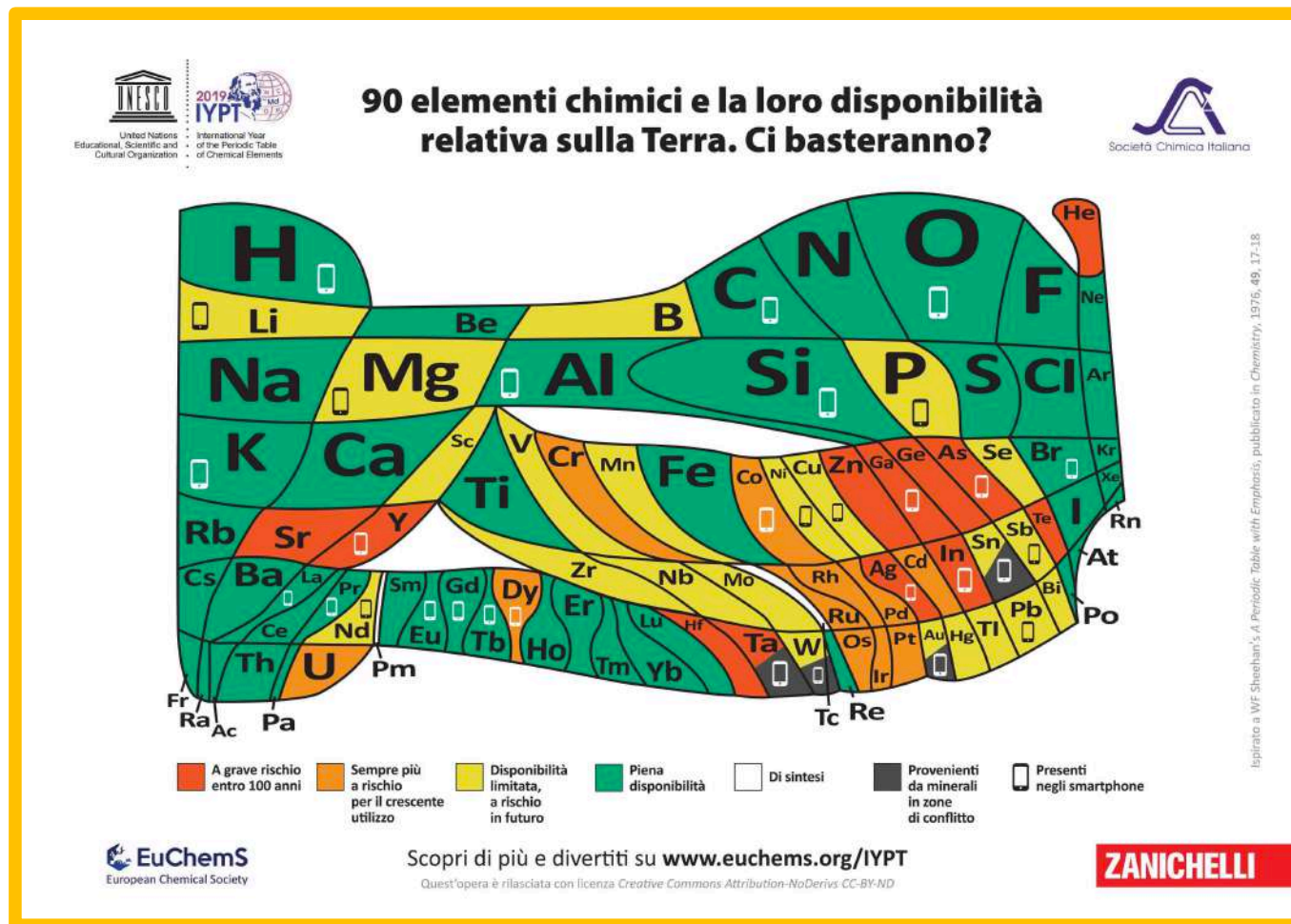
... quanti chilometri faccio?



NON SARÀ UNA PASSEGGIATA: I COLLI DI BOTTIGLIA DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA



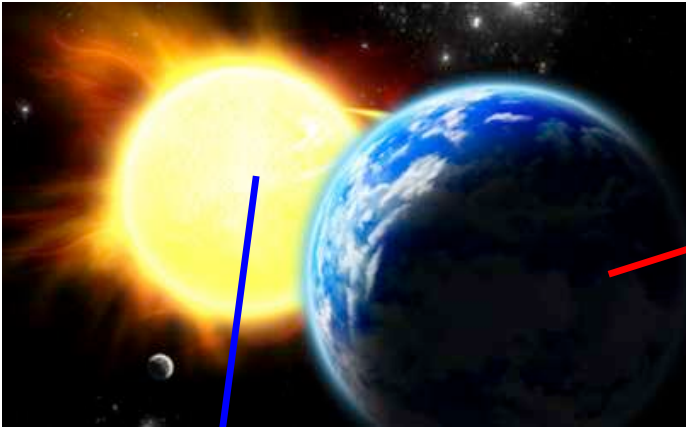
1 – IL COLLO DI BOTTIGLIA MATERIALE



 **EuChemS**
European Chemical Society

www.euchems.eu

LE TECNOLOGIE RINNOVABILI SONO AD ELEVATA "INTENSITÀ MATERIALE"



ENERGIA SOLARE
Input "extraterrestre"
largamente superiore
al nostro fabbisogno

Occorrono CONVERTITORI E
ACCUMULATORI DI ENERGIA SOLARE:
fatti di materiali "terrestri", quindi
disponibili in modo limitato



ELEMENTI CHIMICI NELLE TECNOLOGIE ENERGETICHE, EFFICIENTI E DIGITALI



Nd, Pr, Dy



Nd, Pr, Dy, La, Ce; Li, Co



OLTRE
40
ELEMENTI!

L'AUTO ELETTRICA (BATTERIA)



**Il COBALTO
è ancora più
critico**

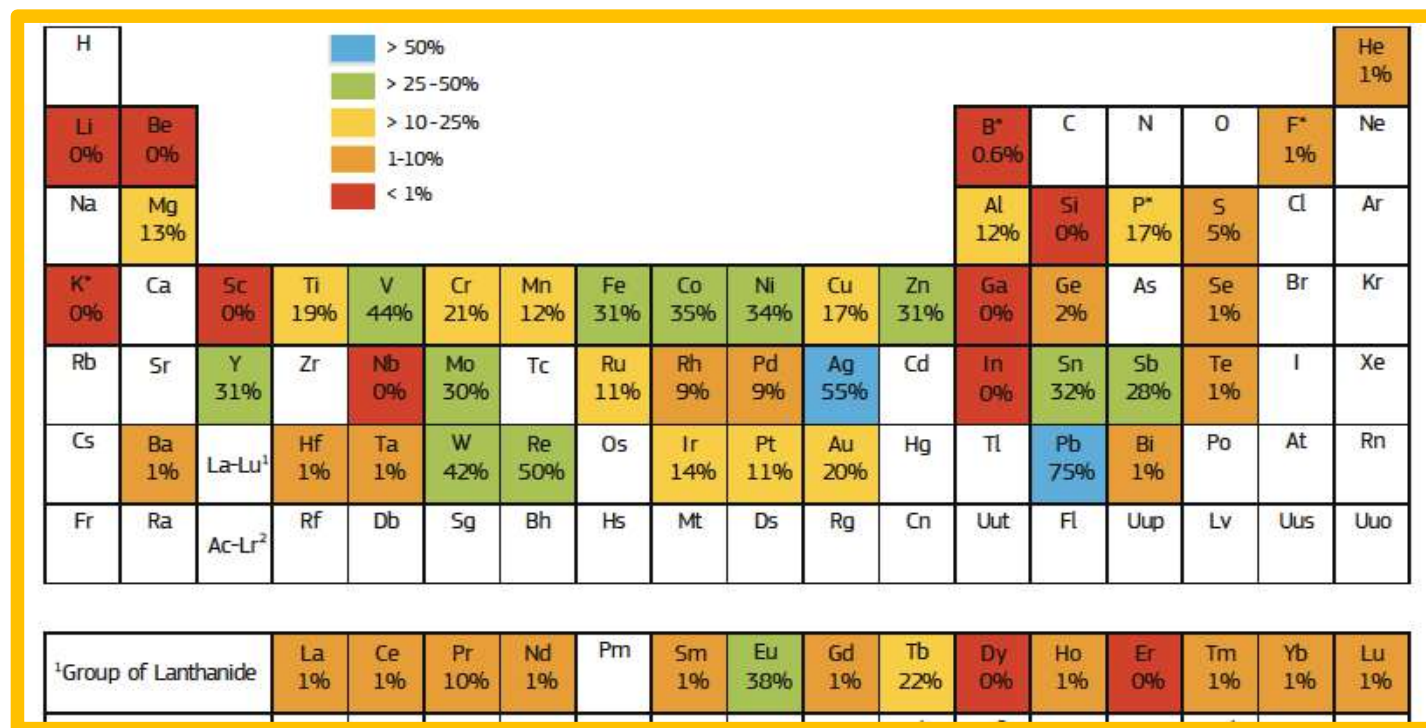
Auto vendute annualmente nel mondo: **80 milioni**

Se elettriche: **≈ 800 000 ton/a** di Litio (10 kg/auto)

Attuale produzione mondiale di Litio: **43 000 ton/anno** (USGS, 2018)

Il litio non serve solo per le batterie delle auto ...

LA STRADA OBBLIGATA: RICICLARE



**Tasso di riciclo
degli elementi
chimici in EU**

Raw Materials Scoreboard,
The European Commission, 2018

N.B.: RICICLARE COSTA MOLTA ENERGIA

ALCUNE CONSIDERAZIONI FINALI



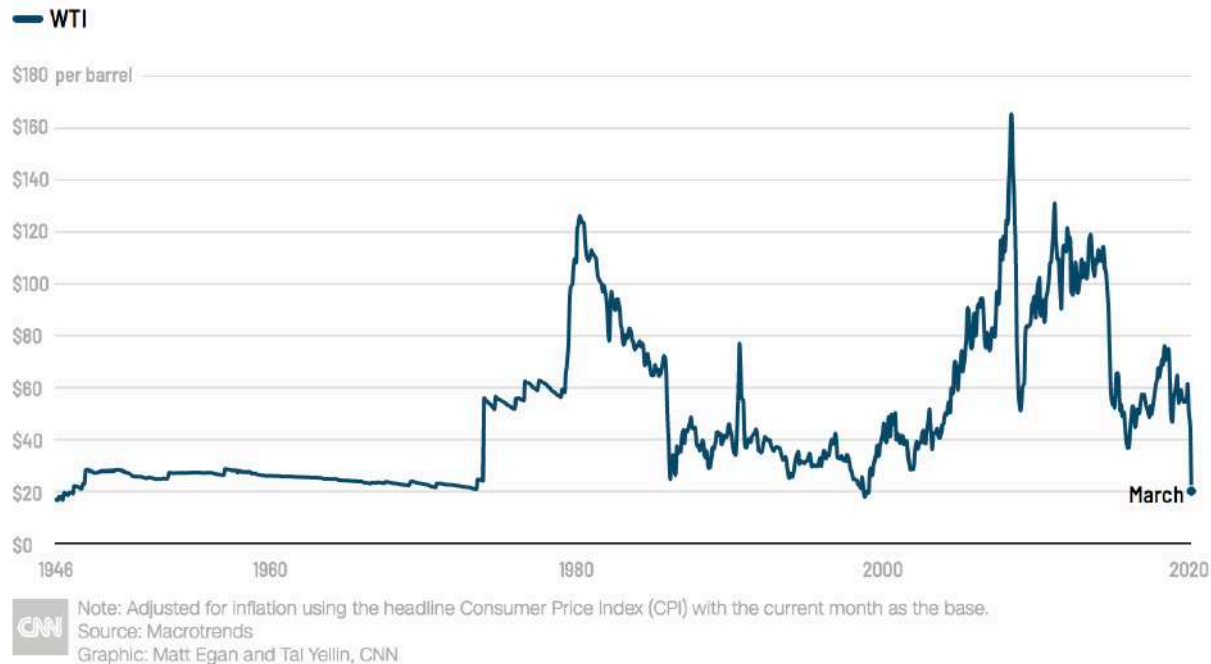
PREZZO DEL PETROLIO: 2008-2020

11 Luglio 2008: **147 (164) \$/barile**

3 Aprile 2020: **27 \$/barile**

Oil is really, really, really cheap

Over the last 75 years, inflation-adjusted oil prices have very rarely been cheaper than today.



CNN, 31 Marzo 2020

Nicola Armaroli, CNR Bologna – 3 Aprile 2020

Timori sul "picco del petrolio"

Crisi finanziaria del 2008

Aumento della domanda in Cina e India

Primavera araba

Speculazioni finanziarie

Decisioni del cartello dei produttori OPEC

Boom del petrolio da fracking in USA

Calo della domanda in EU/USA

Guerre e tensioni: Libia, Iran, Russia, ...

COVID 19

DOPO 47 ANNI, SIAMO ANCORA LÌ ...



Roma, Dicembre 1973

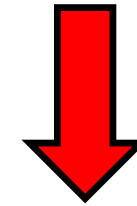


... EPPURE LE ALTERNATIVE OGGI LE ABBIAMO



BATTERIA CARICA AL 100%

40 kWh



Equivalenti a

4 LITRI DI BENZINA

Autonomia : 280 km

"L'AUTO DA 70 km/l" ESISTE GIÀ ...





L'EUROPA E LE RISORSE ENERGETICHE E NATURALI

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 minerali provenienti
DA ALTRI CONTINENTI

*BP Statistical Review of World Energy, **2019**

IL SENSO DEL LIMITE



**Operazioni di bonifica
sulle coste della Louisiana (USA)
dopo la catastrofe della
piattaforma Deepwater Horizon**

**La scienza e la tecnologia
NON sono la soluzione a tutti i nostri problemi**

NON SIAMO PADRONI DEL NOSTRO DESTINO

5 POSSIBILI CATASTROFI ESIZIALI PER LA CIVILTÀ

NATURALI

IMPATTO CON UN ASTEROIDE

PANDEMIA

(ci sono virus peggiori di Covid 19 ...)

MEGAERUZIONE VULCANICA (Vesuvio...)

CREATE DALL'UOMO

GUERRA NUCLEARE

CAMBIAMENTO CLIMATICO

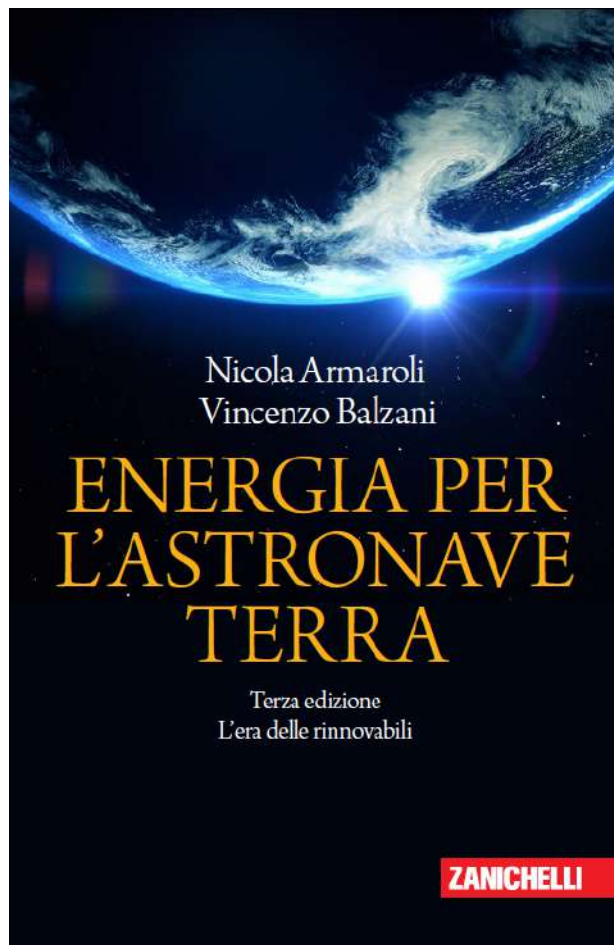


La più insidiosa ...



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

Antoine de Saint Exupéry



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

www.saperescienza.it

Nicola Armaroli, CNR Bologna – 3 Aprile 2020