

# LA STORIA DELL'UMANITÀ ATTRAVERSO LE FONTI ENERGETICHE: DAL LAVORO MUSCOLARE ALLE MACCHINE

Vera Montalbano

Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell' Ambiente, Università di Siena

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, sezione di Pisa

Associazione per l'Insegnamento della Fisica, sezione di Siena



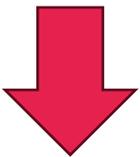
# SOMMARIO

- Energia e organismi viventi
- Energia e società umane
- Situazione attuale

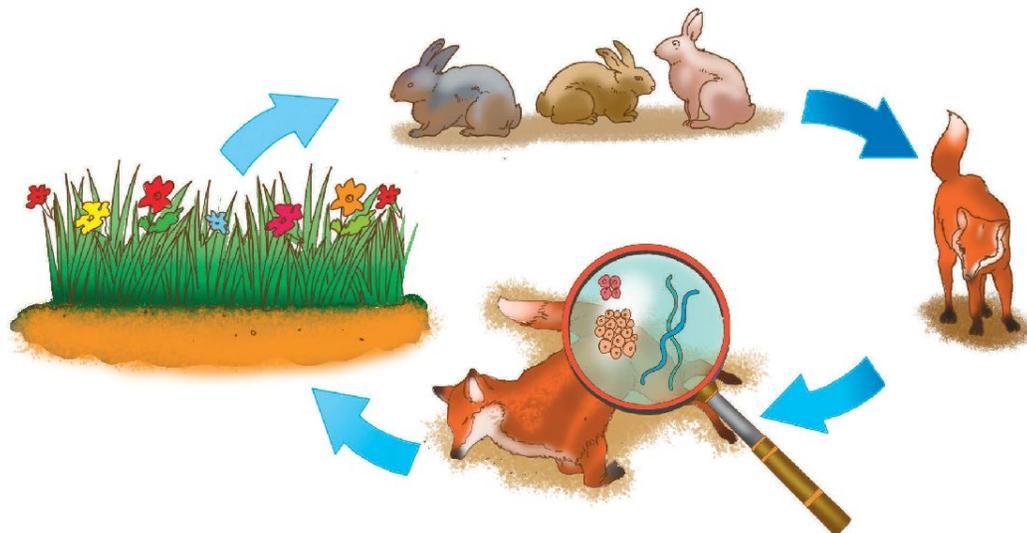
# PER VIVERE SERVE ENERGIA

L'energia è necessaria agli organismi viventi che si distinguono in **produttori primari** [che trasformano l'energia da fonti inorganiche in cibo (es. zuccheri) e in riserve energetiche (es. amidi e grassi)] e **produttori secondari** che si nutrono delle riserve energetiche prodotte dai primari trasformandole ulteriormente oppure si nutrono direttamente di altri esseri viventi.

Biomassa Terra



< 1% flusso energia solare



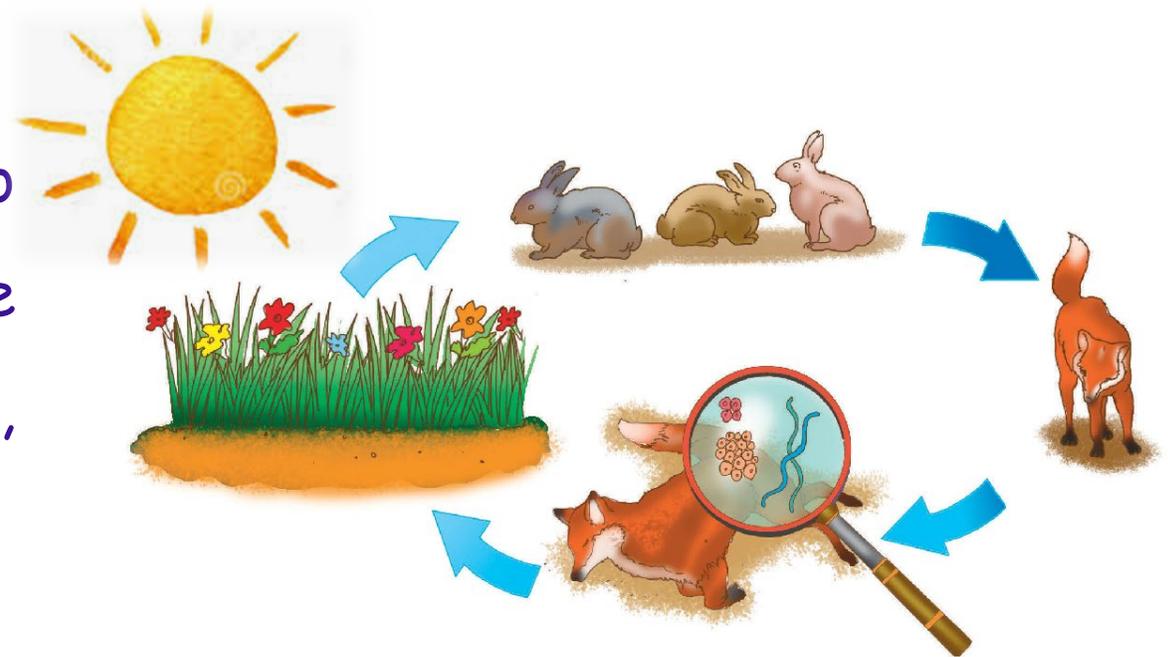
**Sostenibile**

# PER VIVERE SERVE ENERGIA

Le reti alimentari degli ecosistemi necessitano di una **fonte di energia primaria** (quasi sempre il **Sole**).

Un'altra fonte primaria è la geotermia che attualmente è marginale per gli ecosistemi.

Tutte le altre fonti di energia sono direttamente o indirettamente legate alla nostra stella (vento, maree, legna, idroelettrico, combustibili fossili, ecc.).



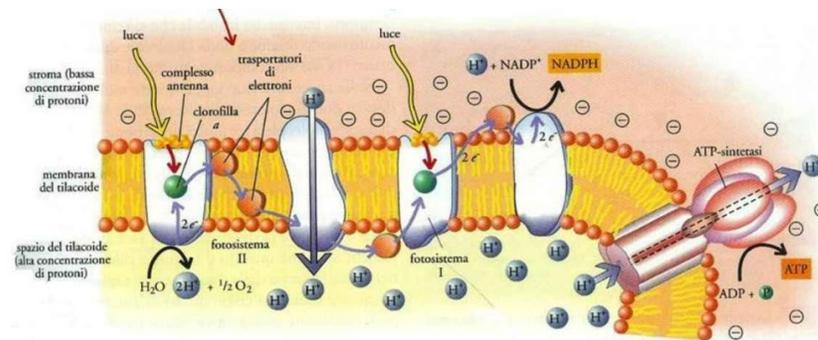
# PER VIVERE SERVE ENERGIA

L'energia dalle fonti primarie o secondarie viene trasformata dagli organismi viventi per compiere tutti i **processi fisici e chimici necessari alla vita**.

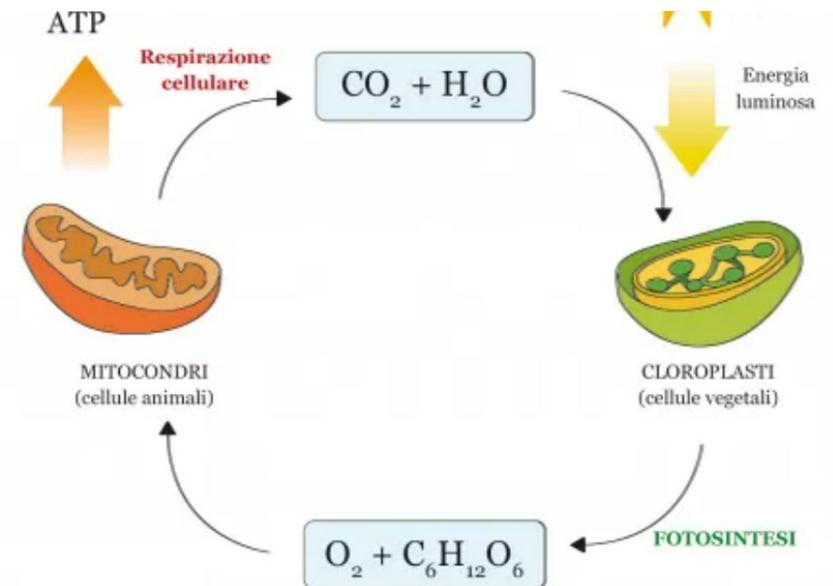
Per esempio nutrirsi, cioè trasformare l'energia nel cibo in forme utili per la fisiologia attraverso tutti i processi fisici e chimici necessari quali trasporto di materia in zone diverse dell'organismo, riparazione cellulare, termogenesi, **respirazione, movimento, riproduzione, ecc.**



movimento



Pompe ioniche nella membrana cellulare



# PER VIVERE SERVE ENERGIA

Aumentando la **complessità** degli organismi aumentano i processi che **richiedono energia** per sostenere la vita del singolo individuo e della specie.



# ENERGIA E SOCIETÀ UMANE

L'evoluzione delle società umane fin dalla preistoria può essere letta come ricerca di modi per controllare depositi e flussi di energia in forme sempre più **concentrate e versatili**, per convertirle in calore, luce e movimento atti a soddisfare le **esigenze primarie** degli umani (cibo, calore) e **secondarie** via via sempre più complesse (trasporto, conservazione, risorse per gli animali addomesticati, costruzione di ripari/attrezzi/armi....).



# ENERGIA E SOCIETÀ UMANE

Anche in questo caso all'aumentare della complessità della società corrisponde un aumento dell'energia necessaria per sostenere la società in tutti i suoi aspetti cruciali.



# ENERGIA E SOCIETÀ UMANE

La più antica e, per almeno tre milioni di anni di storia dell'uomo, unica fonte di energia è stato il **cibo**.

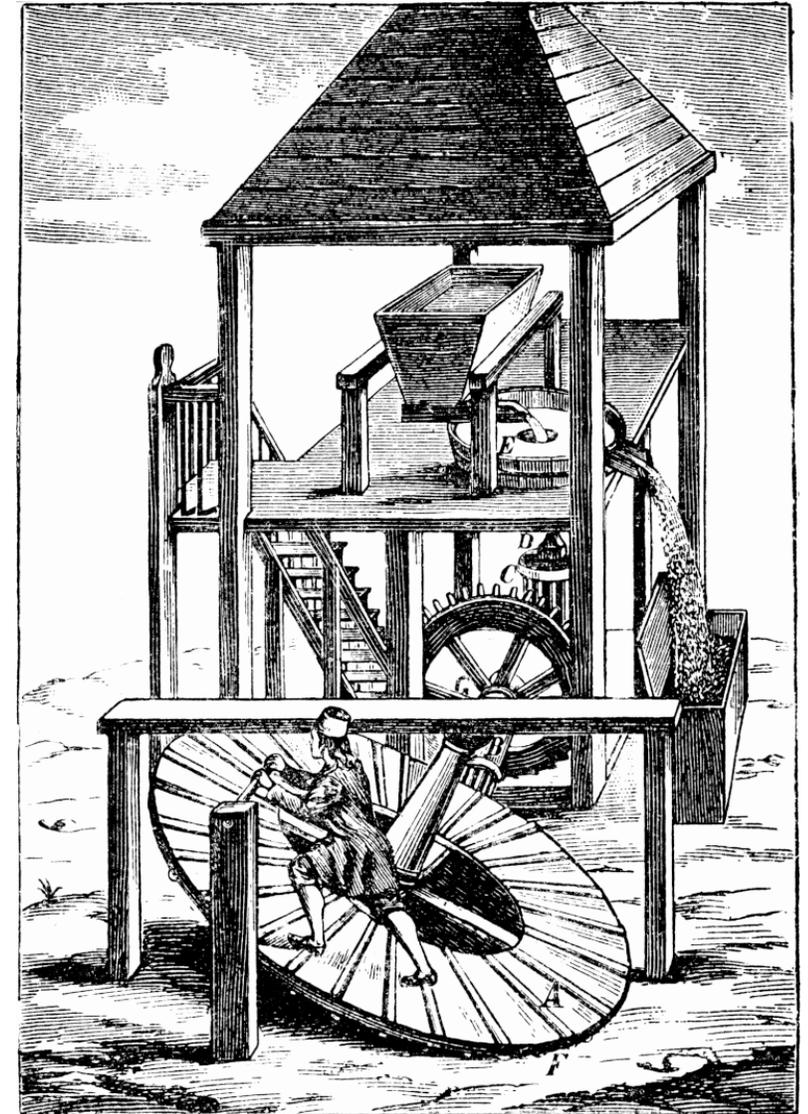
Poi, fra un milione e mezzo milione di anni fa, si cominciò ad utilizzare il **fuoco** per ottenere luce e calore, ottenuti bruciando la legna, **la seconda importante fonte di energia**.

Un altro contributo alle disponibilità di energia venne, in seguito, dagli **animali addomesticati**, che cominciarono ad essere utilizzati per lavoro su larga scala nei grandi imperi agrari della Mezzaluna fertile a partire dal IV millennio a.C.

Si passava all'uso di una fonte di energia meccanica che costituiva un'integrazione assai importante del lavoro dell'uomo.

# ENERGIA E SOCIETÀ UMANE

Il lavoro muscolare umano e poi degli animali, divenne sempre più efficiente con l'invenzione delle prime macchine semplici che utilizzavano la ruota (mola, mulino, ruota vasaio. Grandi ruote di legno azionate da umani fornivano lavoro meccanico fino all'inizio dell'Ottocento).



Una macchina a propulsione umana per macinare grano, nell'illustrazione di una copia del 1914 dell'*Encyclopédie* di Diderot e D'Alembert (XVIII secolo).

# ENERGIA E SOCIETÀ UMANE

Le altre fonti energetiche utilizzate erano il **vento** (mulini a vento, navigazione), e l'**acqua** (ruota idraulica, mulini ad acqua, segherie idrauliche, ...).



Ruota idraulica pre-vitruviana, antesignana delle ruote idrauliche medioevali, che ebbero larghissima diffusione nell'intero Occidente come motori primi per l'azionamento di mulini, segherie, magli, macchine per il sollevamento dell'acqua, etc.



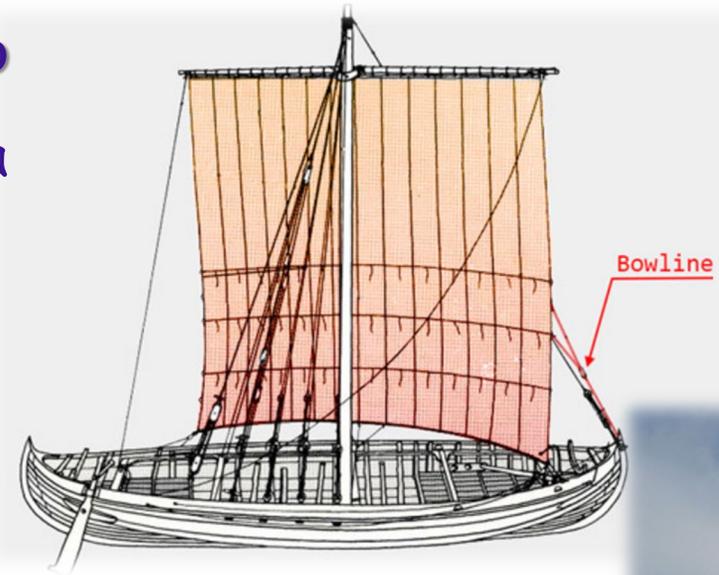
Ruota idraulica vitruviana



In un quadro di Jacob van Ruisdael del 1651, paesaggio con mulini a vento vicino a Haarlem nei Paesi Bassi. © Wikimedia, P.D.

# ENERGIA E SOCIETÀ UMANE

Le altre fonti energetiche utilizzate erano il **vento** (mulini a vento, navigazione), e l'**acqua** (ruota idraulica, mulini ad acqua, segherie idrauliche, ...).



Segheria Veneziana di Malè in Val di Sole (1774)  
[www.visitvaldisole.it/it/info/segheria-veneziana-male](http://www.visitvaldisole.it/it/info/segheria-veneziana-male)

# ENERGIA E SOCIETÀ UMANE

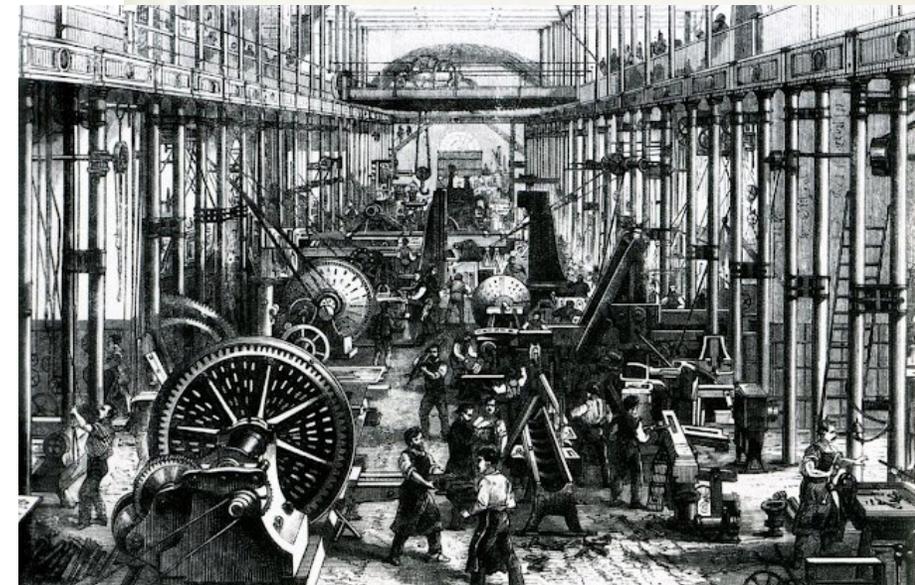
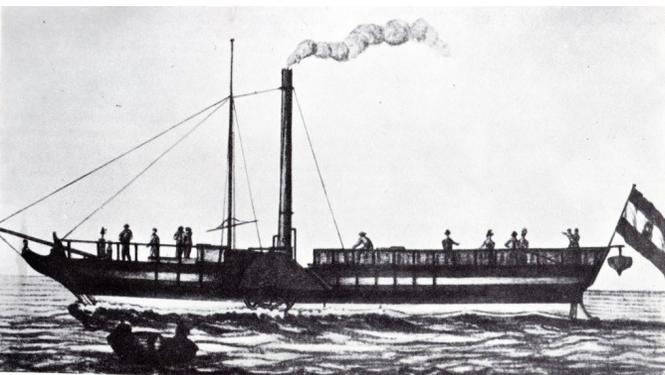
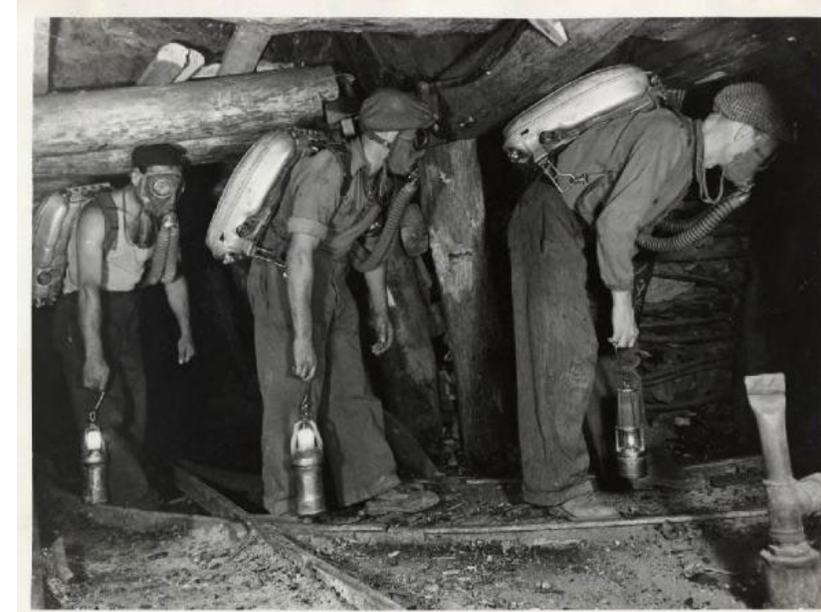
Il fuoco è stato alimentato da legna, letame essiccato e carbone vegetale fino alla prima crisi energetica legata allo sviluppo demografico europeo nel Cinquecento.



# ENERGIA E SOCIETÀ UMANE

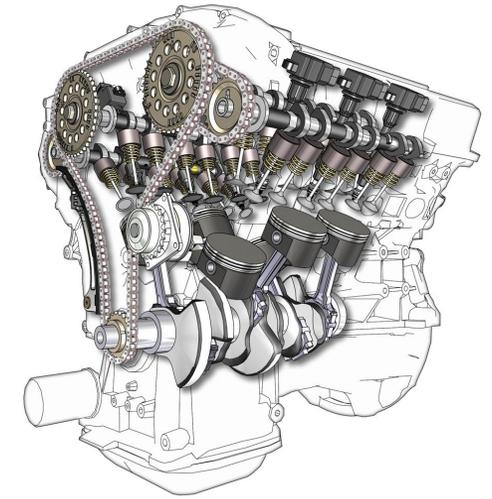
Si passò all'estrazione del **carbone fossile**, il cui sfruttamento sistematico fu protagonista insieme alla macchina a vapore (1769) della **prima rivoluzione industriale** (1787-1814).

L'invenzione della locomotiva impose il vapore e portò alla **seconda fase di industrializzazione** (1843-1869), trainata da ferrovie, piroscafi e siderurgia.

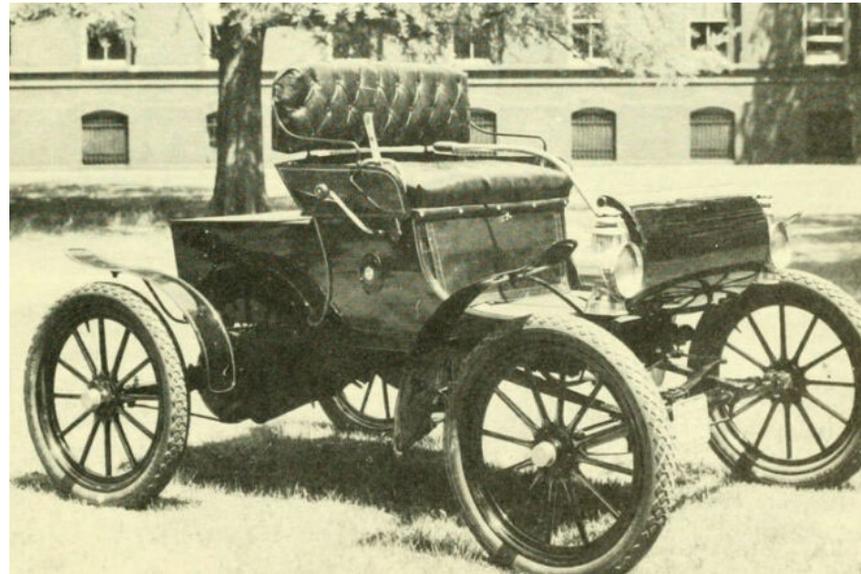


# ENERGIA E SOCIETÀ UMANE

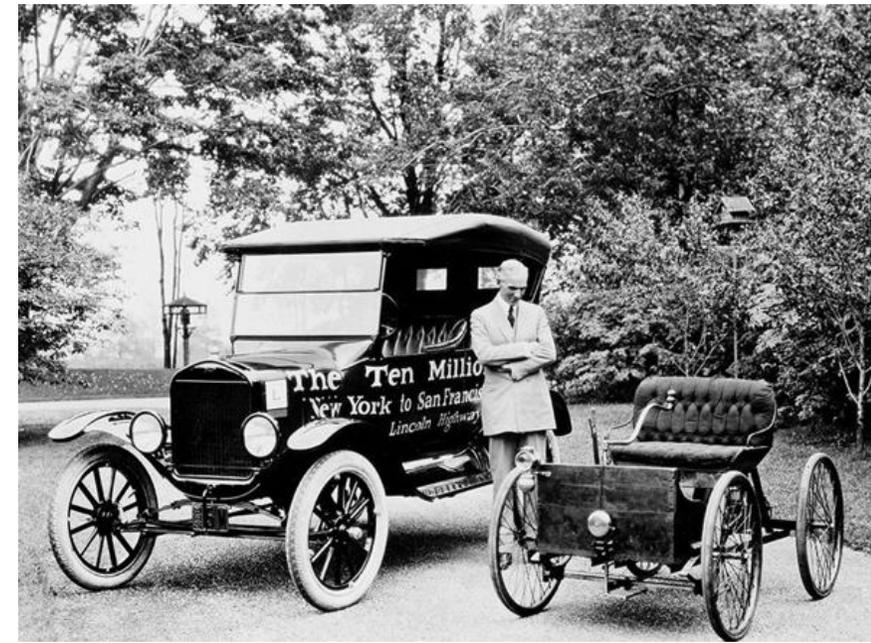
A metà dell'Ottocento inizia lo sfruttamento dei primi **giacimenti petroliferi** in USA ma gli idrocarburi diventano una fonte di energia importante solo con l'avvento dei **motori a combustione interna** (a scoppio) all'inizio del Novecento.



Primo motoveicolo brevettato la Benz Patent-Motorwagen (1886).



La prima prodotta in catena di montaggio (1901: la Oldsmobile Curved Dash. Accanto la Ford T, la prima automobile di massa: 16,5 milioni vendute fino al 1927.



# ENERGIA E SOCIETÀ UMANE

Alla diffusione delle **automobili** e degli **aerei**, si è aggiunta a metà del secolo scorso l'**industria petrolchimica** ad incrementare l'uso del petrolio.



Impianto petrolchimico di Porto Marghera.



Aerei cargo statunitensi.

# ENERGIA E SOCIETÀ UMANE

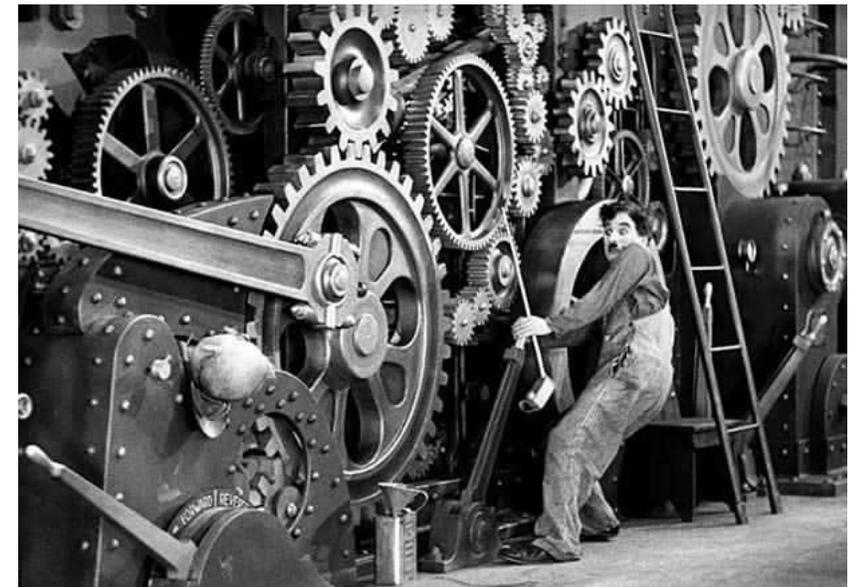
Il **terzo ciclo espansivo** (1898-1924) avvenne con la diffusione dell'elettricità: nell'**illuminazione** che cambiò il volto e la vita notturna delle città, ma soprattutto nella realizzazione di **macchinari efficaci nell'industria**.



La Ville lumière nella Belle Époque.



Los Angeles negli anni Venti.



Charlie Chaplin in *Tempi moderni* (1936).

# ENERGIA E SOCIETÀ UMANE

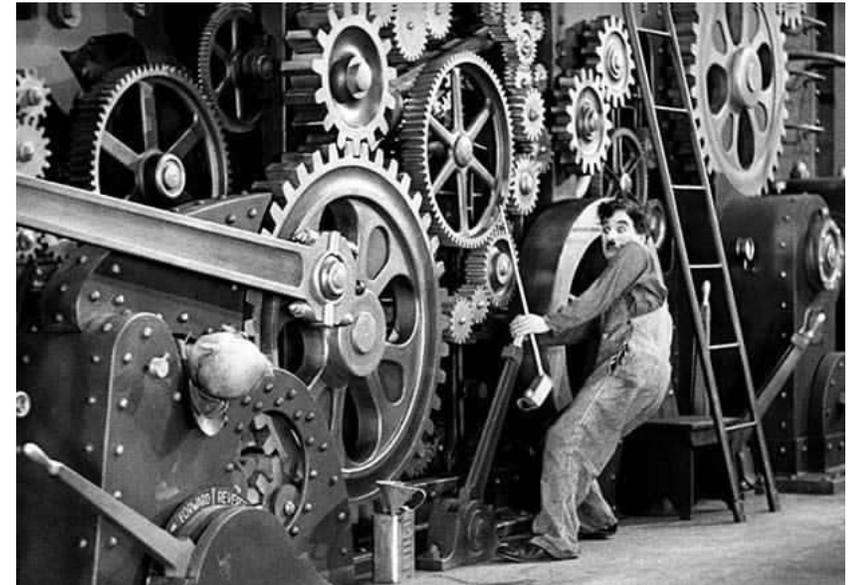
I **motori elettrici** resero più semplice la produzione: potevano essere più facilmente collegati con altre parti meccaniche e se ne poteva calibrare il ritmo, facendo a meno delle cinghie che fino ad allora erano servite per trasmettere il moto: tutto diventò più veloce. Telegrafo, telefono, radio, a cui si affiancarono in seguito i primi elettrodomestici quali frigoriferi e lavatrici.



La Ville lumière nella Belle Époque.



Los Angeles negli anni Venti.



Charlie Chaplin in *Tempi moderni* (1936).

# ENERGIA E SOCIETÀ UMANE

## I guerra mondiale

**66 milioni di combattenti** *di cui ~ 47% morti o feriti*

### Morti militari:

|                           |   |
|---------------------------|---|
| 2.000.000 tedeschi        | 2.000.000 russi                           |
| 1.100.000 austro-ungarici | 1.400.000 francesi                        |
| 770.000 turchi            | 1.115.000 britannici                      |
| 87.500 bulgari            | 650.000 italiani                          |
| <i>~ 4 milioni</i>        | 370.000 serbi                             |
|                           | 250.000 rumeni                            |
|                           | <i>~ 5,8 milioni</i> 116.000 statunitensi |

più un numero imprecisato dei molti altri paesi coinvolti nel conflitto e oltre **21 milioni di feriti**, molti dei quali rimasero gravemente segnati o menomati a vita, spesso con lesioni di tipo inedito, e l'esordio di una serie di traumi psicologici che potevano portare a un completo collasso nervoso o mentale ("trauma da bombardamento" o "nevrosi di guerra")

### Morti civili:

*~ 6,8 milioni* circa 950 000 morirono a causa delle operazioni militari  
circa 5 893 000 perirono per cause collaterali: carestie, carenze di generi alimentari, malattie ed epidemie (tra cui la terribile "influenza spagnola") e per le persecuzioni razziali esplose ripetutamente durante il conflitto  
*~ 16,6 milioni morti su una popolazione mondiale di 1750 milioni (1910) ed Europa di 408 milioni*

La competizione energetica si trasformò in **conflitto**. Nella Guerra franco-prussiana (1870-71) e nella **Prima guerra mondiale** (1914-18) la posta in gioco erano le **miniere di carbone** della Ruhr e della Saar, che alimentavano gli altiforni della siderurgia.

Passò invece un intero secolo prima che il petrolio scatenasse una **crisi internazionale**, a **Suez nel 1956**, quando inglesi e francesi tentarono inutilmente di fermare la nazionalizzazione egiziana del canale dove transitava il greggio del Medio Oriente.

# ENERGIA E SOCIETÀ UMANE



Lo sviluppo di reazioni nucleari controllate con produzione di energia termica inizia durante la **seconda guerra mondiale** come corollario necessario per la produzione di ordigni nucleari.

Nel clima della Guerra Fredda degli anni '50/'60 si realizzano le prime centrali termonucleari che avranno un repentino sviluppo durante la **crisi petrolifera del 1973**.

# PRIME CENTRALI TERMONUCLEARI



Nonostante la natura militare delle prime tecnologie nucleari, negli anni '40 e '50 si arrivò a generare elettricità: **la prima volta da un reattore nucleare il 20 dicembre 1951**, in un reattore sperimentale EBR-I nell'Idaho, che inizialmente produceva circa 100 kW. Seguì l'Atomic Energy Act del 1954 che consentì una rapida declassificazione della tecnologia dei reattori statunitensi e incoraggiò lo sviluppo da parte del settore privato.

La centrale nucleare di Calder Hall aperta nel 1956 è stata la prima centrale nucleare commerciale.

# PRIME CENTRALI TERMONUCLEARI



La centrale nucleare di Calder Hall aperta nel 1956 è stata la prima centrale nucleare commerciale.

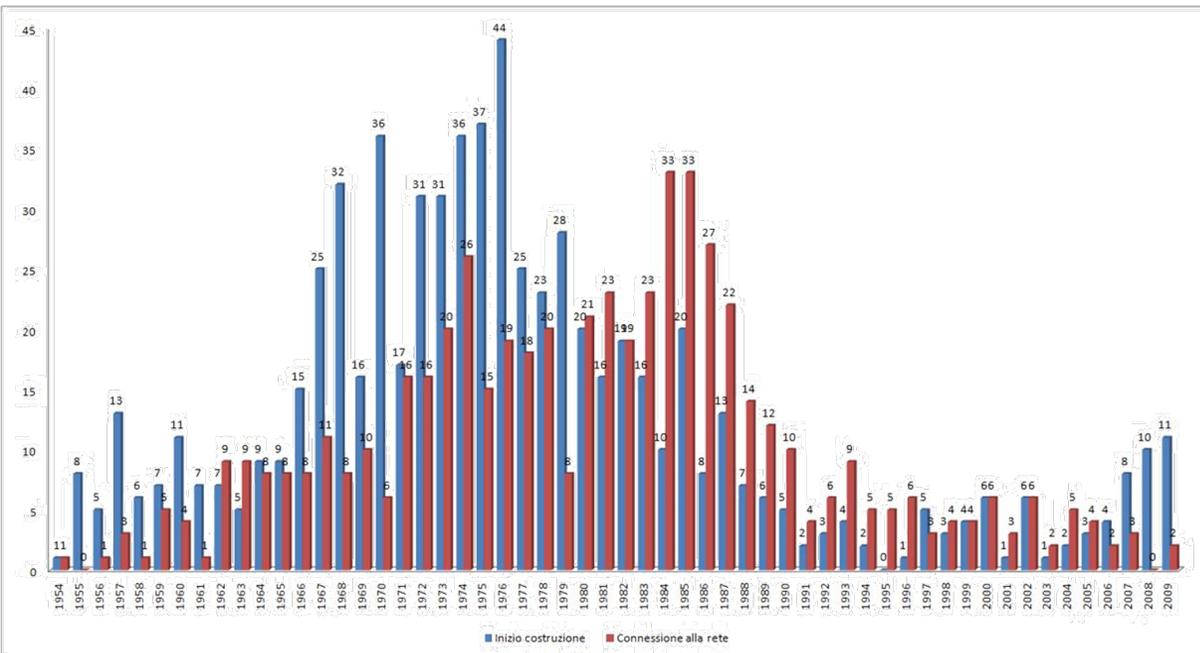
Il 27 giugno 1954, la centrale nucleare di Obninsk in Unione Sovietica è diventata la prima centrale nucleare al mondo collegata a una rete elettrica, producendo circa 5 MW di energia elettrica.

La prima centrale nucleare commerciale al mondo, Calder Hall a Windscale, in Inghilterra, è stata collegata alla rete elettrica nazionale il 27 agosto 1956. In comune con una serie di altri reattori di prima generazione, l'impianto aveva il duplice scopo di produrre elettricità e **plutonio-239**, quest'ultimo per il **nascente programma di armi nucleari** in Gran Bretagna.

# ATTUALMENTE

## I paesi con il maggior numero di reattori nucleari del mondo

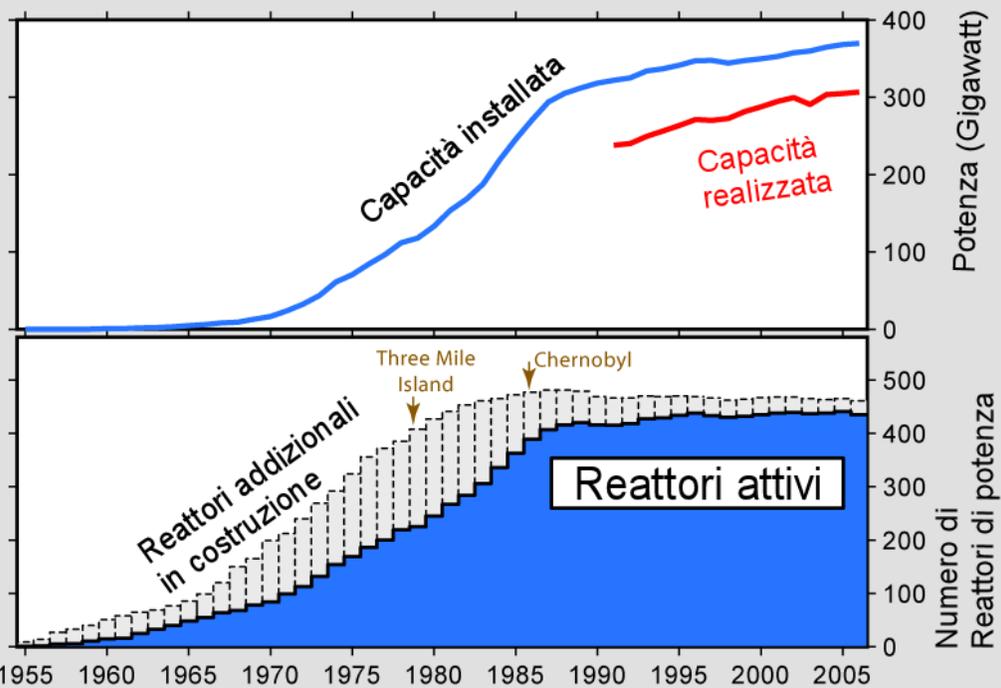
I seguenti dati, aggiornati ad aprile 2020, provengono dal portale *Statista*. Tra parentesi è riportato il numero di reattori nucleari in funzione.



- |                     |                   |                     |
|---------------------|-------------------|---------------------|
| 1° STATI UNITI (95) | 5° GIAPPONE (33)  | 9° REGNO UNITO (15) |
| 2° FRANCIA (57)     | 6° SUD COREA (24) | 9° UCRAINA (15)     |
| 3° CINA (47)        | 7° INDIA (22)     | 10° SVEZIA (7)      |
| 4° RUSSIA (38)      | 8° CANADA (19)    | 10° SPAGNA (7)      |

Completano il quadro i seguenti paesi: *Belgio (7), Germania (6), Repubblica Ceca (6), Pakistan (7), Finlandia (4), Svizzera (4), Ungheria (4), Slovacchia (4), Argentina (3), Sudafrica (2), Messico (2), Bulgaria (2), Romania (2), Brasile (2), Slovenia (1), Olanda (1), Armenia (1), Iran (1).*

## Andamento storico dell'utilizzo di energia nucleare



# ATTUALMENTE

Dopo il disastro nucleare di *Fukushima* del 2011 in *Giappone*, il più grave incidente nucleare dai tempi di *Chernobyl*, molti paesi hanno ribadito la loro intenzione di **abbandonare progressivamente il nucleare**.

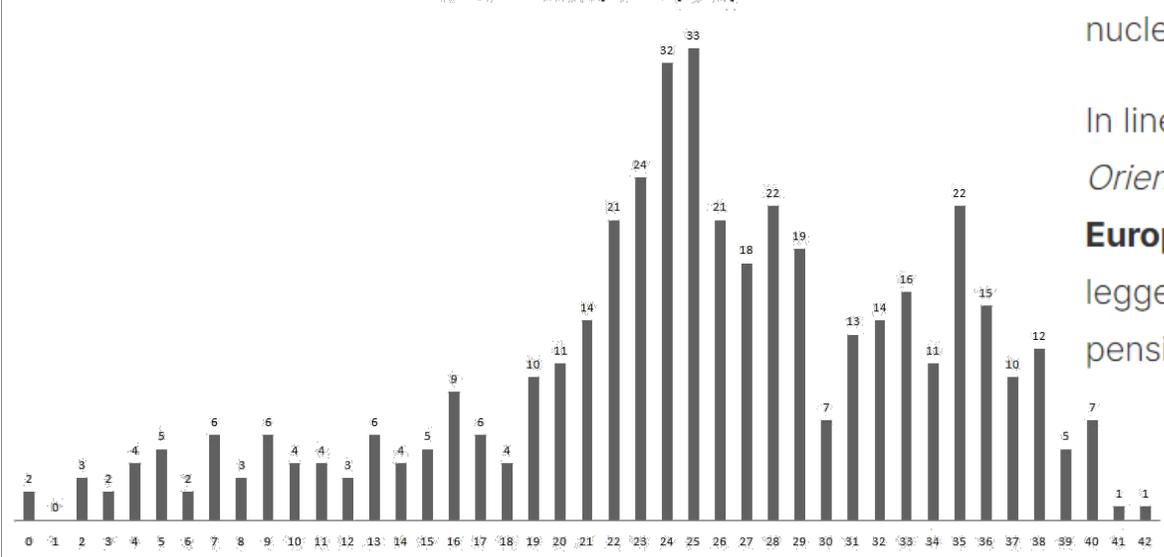
Tuttavia, questo sentimento è tutt'altro che universale. In diverse aree del mondo, l'energia nucleare è ancora in crescita e si prevede che sarà una **fonte di energia chiave** per i decenni a venire.

## Il 10% di tutta l'elettricità mondiale

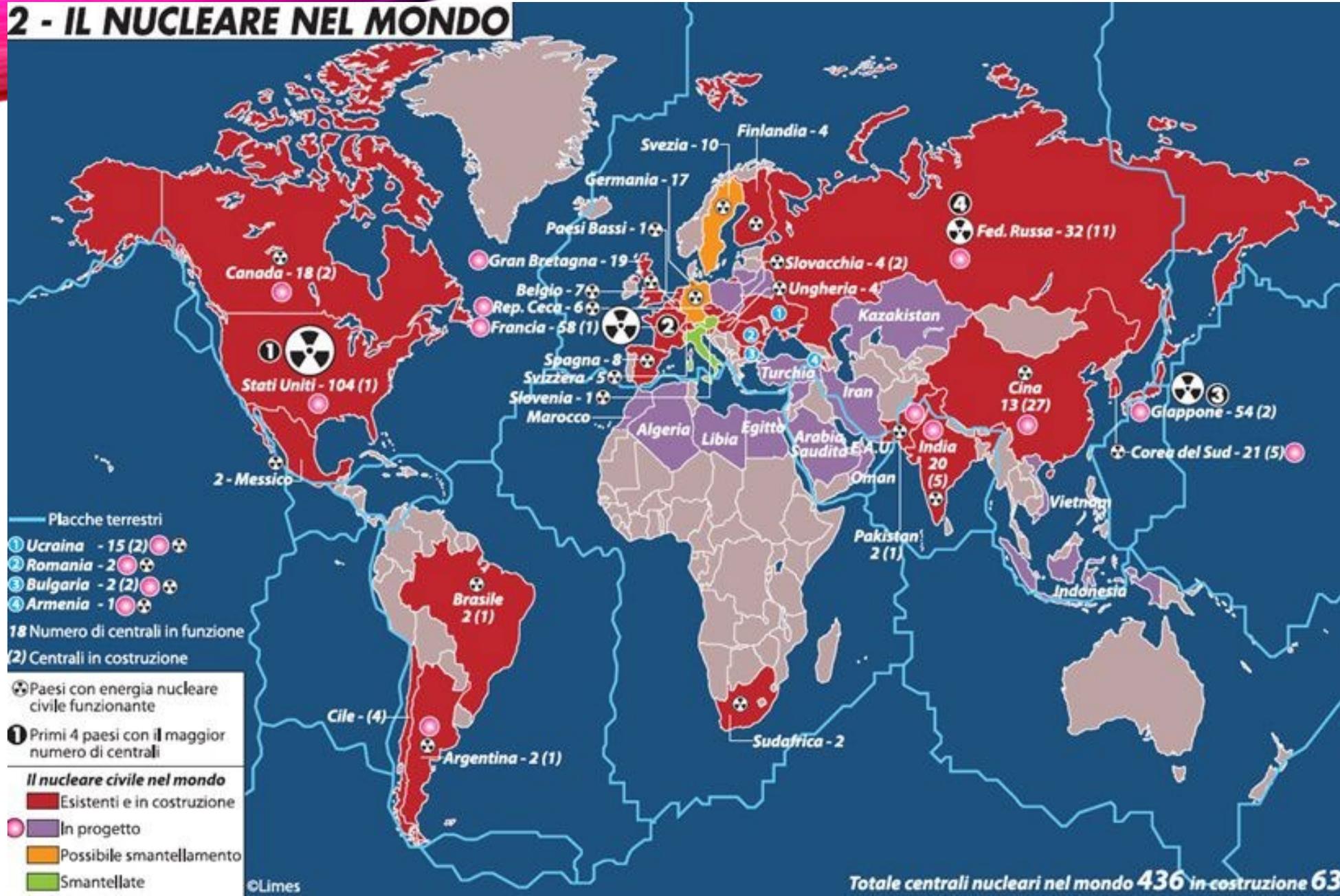
Nel 2019, secondo i dati del *Power Reactor Information System* (*International Atomic Energy Agency*), c'è stato un **calo della capacità totale e dei reattori attivi**. Tuttavia, l'energia nucleare ha generato circa il 10% di tutta l'elettricità mondiale.

In linea di massima, a livello globale, i reattori nucleari sono in aumento in *Asia* e in *Medio Oriente* mentre stanno diminuendo in *Europa Occidentale* e in *Nord America*. Comunque, **Europa e Stati Uniti continuano ad ospitare la maggior parte dei reattori del mondo** e la leggera tendenza al ribasso è dovuta anche all'età dei reattori, molti dei quali verso la pensione.

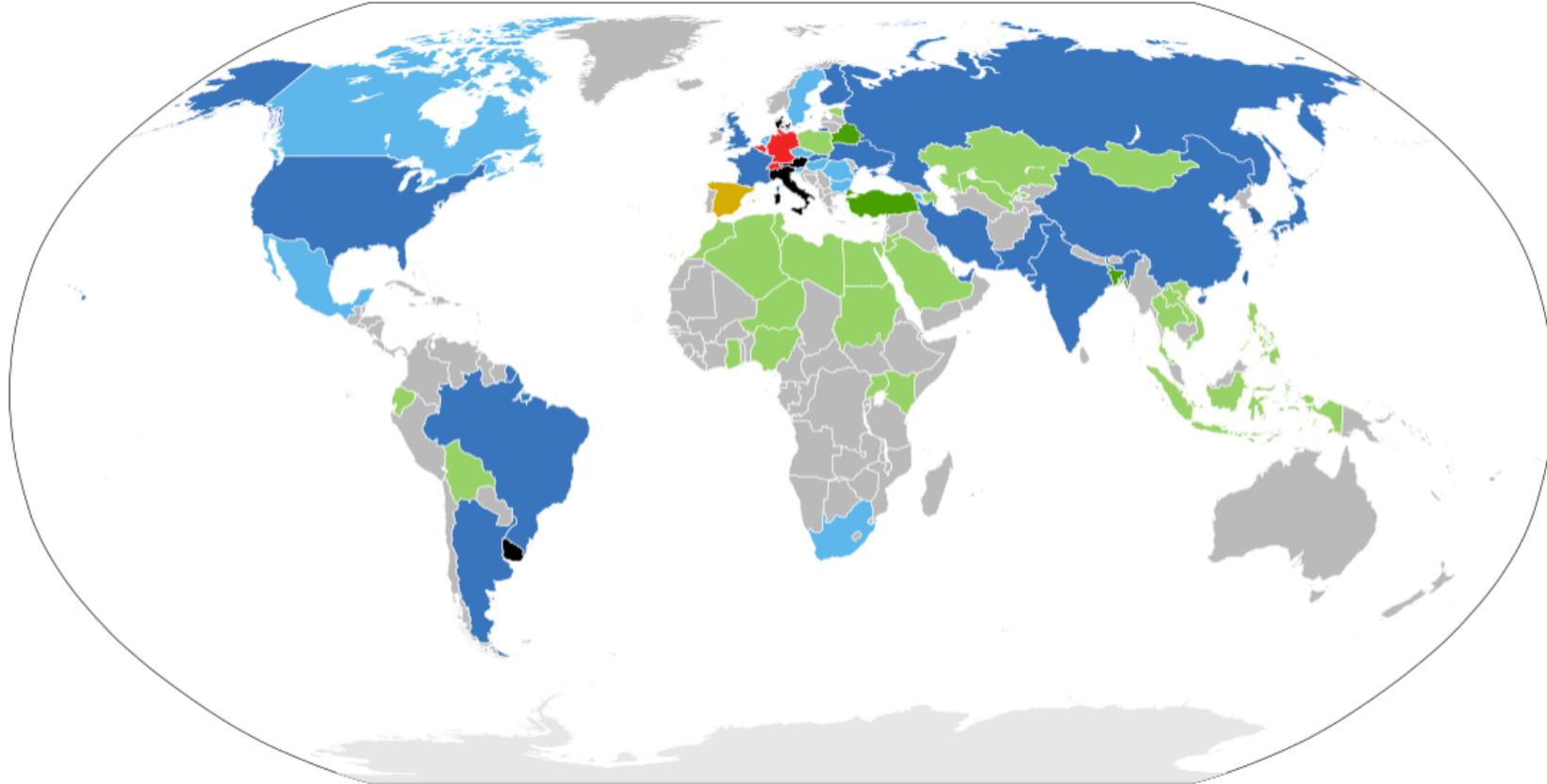
Numero reattori per età (2009)



## 2 - IL NUCLEARE NEL MONDO



# SITUAZIONE



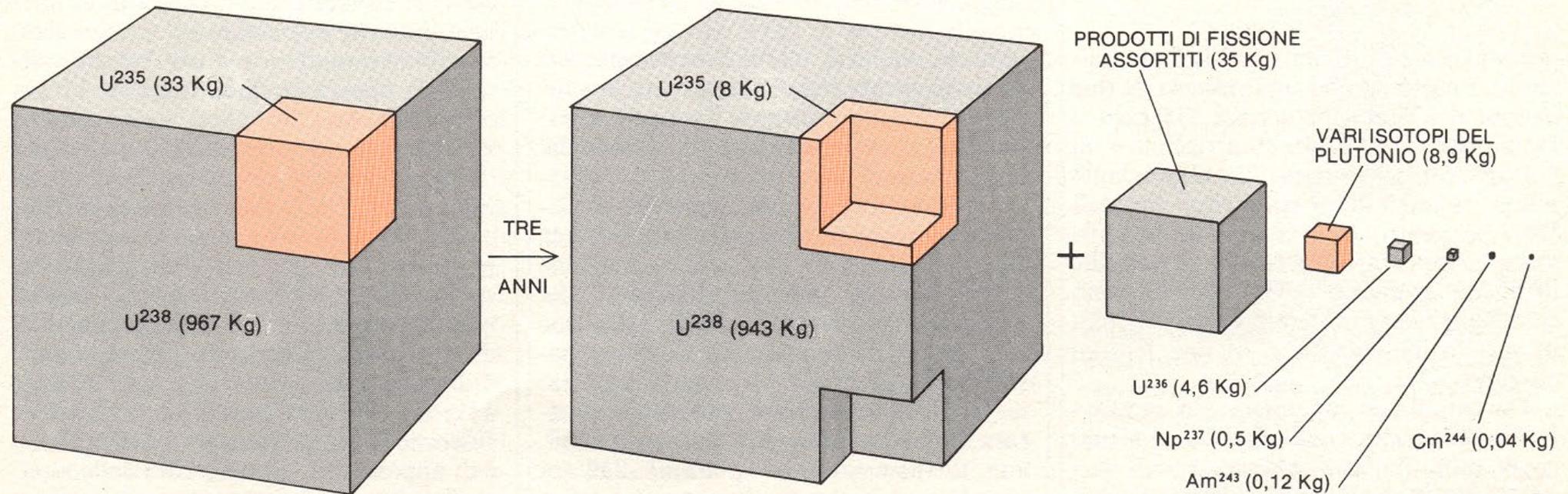
La situazione delle **centrali nucleari** nel mondo a oggi:

- Reattori in funzione, nuovi reattori in costruzione
- Reattori in funzione, nuovi reattori in considerazione
- Nessun reattore in funzione, nuovi reattori in costruzione
- Nessun reattore in funzione, nuovi reattori in considerazione
- Reattori in funzione, situazione stabile
- Reattori in funzione, in considerazione la loro chiusura
- L'energia nucleare non è legale
- Nessun reattore

# SCORIE NUCLEARI

COMBUSTIBILE INIZIALE (1000 Kg)

COMBUSTIBILE IRRADIATO (1000 Kg)



Questa figura fornisce una diversa rappresentazione grafica della trasformazione che avviene nella composizione del combustibile nucleare in un reattore ad acqua naturale in un periodo di tre anni. Per ogni tonnellata di uranio presente nella carica iniziale di combustibile (a sinistra) vengono consumati 24 chilogrammi di uranio

238 e 25 chilogrammi di uranio 235 (al centro), riducendo l'«arricchimento» dell'uranio 235 dal 3,3 allo 0,8 per cento. L'uranio consumato viene convertito in 35 chilogrammi di diversi prodotti di fissione: 8,9 chilogrammi di isotopi del plutonio; 4,6 di uranio 236; 0,5 di nettunio 237; 0,12 di americio 243 e 0,04 di curio 244 (a destra).

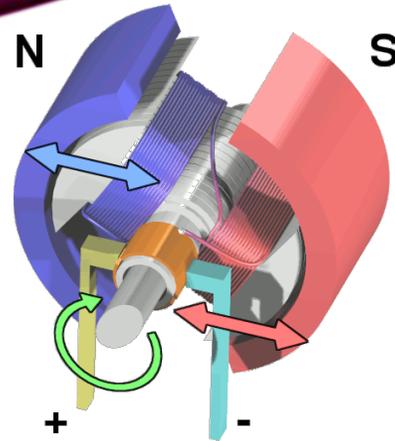
# SCORIE NUCLEARI

- **Con il termine di scorie nucleari si intende indicare il combustibile esausto originatosi all'interno dei reattori nucleari nel corso dell'esercizio.**
- **Esse rappresentano un sottoinsieme dei rifiuti radioattivi, a loro volta suddivisibili in base al livello di attività in tre categorie: basso, intermedio ed alto.**
- **La radiotossicità del combustibile esausto decresce nel tempo e pareggia quella dell'uranio inizialmente caricato nel reattore solo dopo 250.000 anni;**
- **il contributo maggiore alla pericolosità delle scorie è dato dal plutonio: l'80% dopo 300 anni, il 90 % dopo 500 anni;**
- **dopo il plutonio i maggiori contributori sono gli attinidi minori (nettunio, americio e curio), che contribuiscono per un ordine di grandezza meno del plutonio ma circa mille volte più dei prodotti di fissione.**

# FONTI RINNOVABILI ATTUALI

Con l'invenzione della dinamo, che trasforma energia meccanica in energia elettrica utilizzando l'induzione di Faraday (prototipo Pacinotti 1860, Gramme 1869), fonti di energia rinnovabili utilizzate da millenni hanno permesso sviluppi di produzione industriale:

- **Energia Idroelettrica, prima fonte rinnovabile moderna**



## CENTRALE IDROELETTRICA GENERARE ENERGIA GRAZIE ALLA FORZA DELL'ACQUA

### 1 Diga

Opera artificiale di sbarramento di un corso d'acqua, che ne regola il deflusso e consente la formazione di un bacino idrico. Le centrali idroelettriche prive di sbarramento sfruttano il normale corso del fiume

### 2 Bacino idrico

Lago di origine naturale o artificiale che grazie alla diga, immagazzina l'acqua, agendo da serbatoio per la centrale idroelettrica

### 3 Condotta forzata

Convoglia l'acqua a valle presso la sala macchine della centrale. Il dislivello creato dal percorso di condotte permette all'acqua di aumentare velocità e pressione

### 4 Turbina

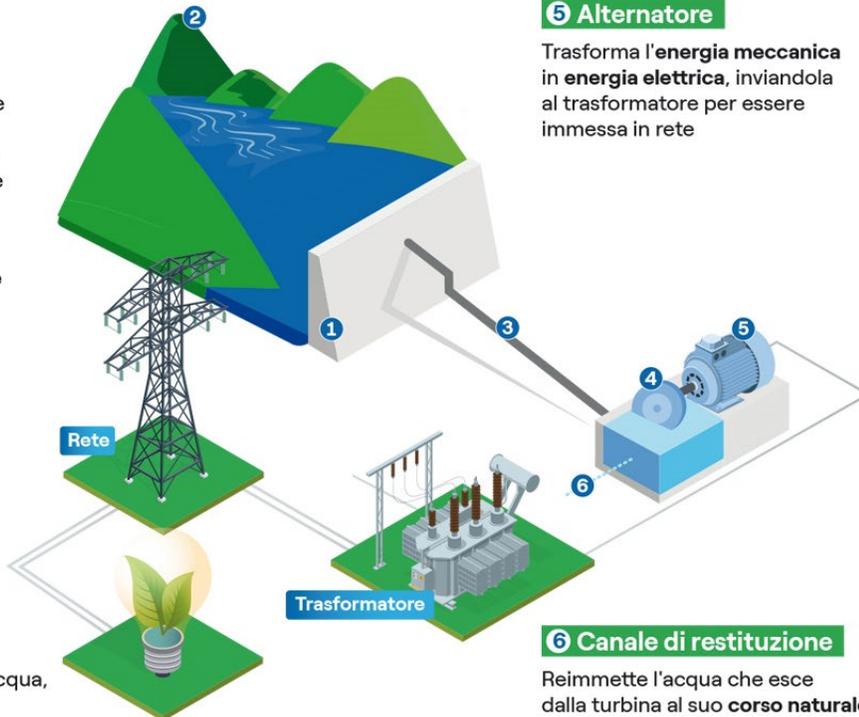
Attraverso il movimento delle pale dell'elica, attivata dalla spinta dell'acqua, trasforma l'energia cinetica in energia meccanica di rotazione

### 5 Alternatore

Trasforma l'energia meccanica in energia elettrica, inviandola al trasformatore per essere immessa in rete

### 6 Canale di restituzione

Reimmette l'acqua che esce dalla turbina al suo corso naturale a valle dell'impianto



# FONTI RINNOVABILI ATTUALI

Con l'invenzione della dinamo, che trasforma energia meccanica in energia elettrica utilizzando l'induzione di Faraday (prototipo Pacinotti 1860, Gramme 1869), fonti di energia rinnovabili utilizzate da millenni hanno permesso sviluppi di produzione industriale:

- **Energia Eolica:** dai mulini a vento ed ad acqua alle pale eoliche



# FONTI RINNOVABILI ATTUALI

**Con la scoperta dell'effetto fotovoltaico e l'invenzione della cella fotovoltaica si arriva :**

- **Energia Solare: dai forni e frigoriferi solari al solare termico, ai pannelli fotovoltaici e alle centrali a concentrazione**

1839: Edmond Becquerel, a diciannove anni, scopre l'effetto fotovoltaico durante alcuni esperimenti con celle elettrolitiche, osservando il formarsi di una d.d.p. tra due elettrodi identici di platino, uno illuminato e l'altro al buio; la d.d.p. dipendeva dall'intensità e dal colore della luce.

1873: Willoughby Smith scopre la fotoconducibilità del selenio.

1876: Due scienziati britannici, Adams e Day, osservano il selenio convertire la luce del sole direttamente in elettricità, senza riscaldare un fluido e senza utilizzare parti mobili. Giunzioni di selenio e suoi ossidi metallici vengono utilizzate ancor oggi per la produzione di luxmetri.

1883: Fritts descrive il funzionamento di una cella fotovoltaica nel tentativo di simulare l'occhio umano.

1904: Hallwachs scopre l'effetto fotovoltaico in un dispositivo a base di rame.

1914: Il rendimento delle celle al selenio si aggira intorno all'1%. Oggi, in laboratorio, le celle al silicio e altri materiali raggiungono quasi il 40%.

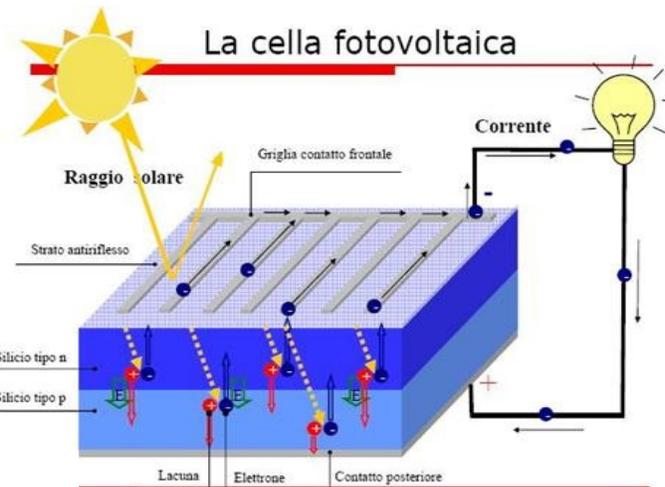
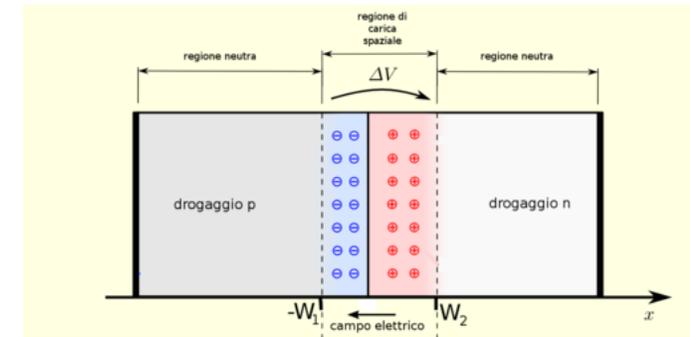
1917: Kennard e Dieterich usano il concetto di barriera di potenziale per spiegare l'effetto fotoelettrico.

# FONTI RINNOVABILI ATTUALI

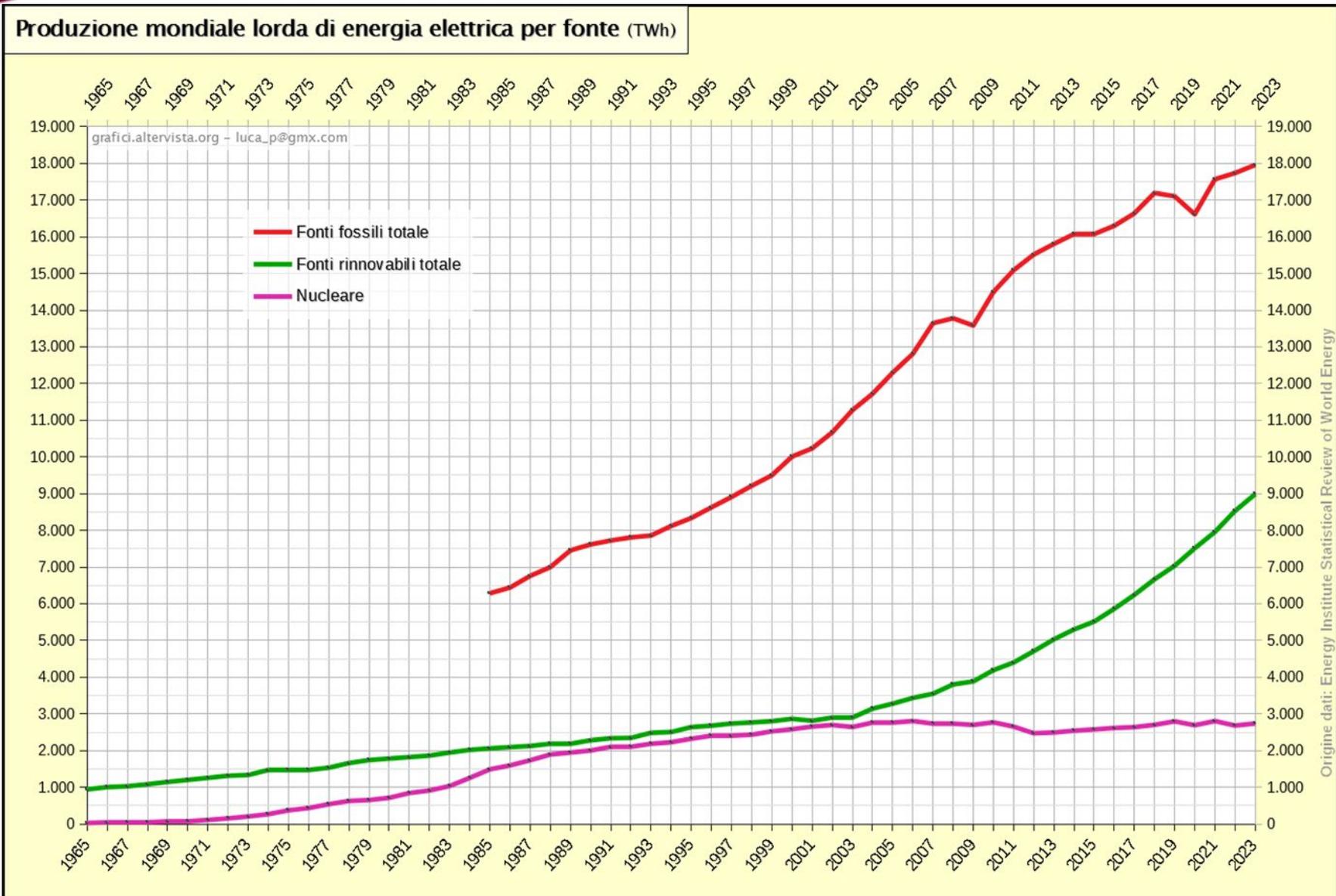
Con la scoperta dell'effetto fotovoltaico e l'invenzione della cella fotovoltaica si arriva :

- **Energia Solare:** dai forni e frigoriferi solari al solare termico, ai pannelli fotovoltaici e alle centrali a concentrazione

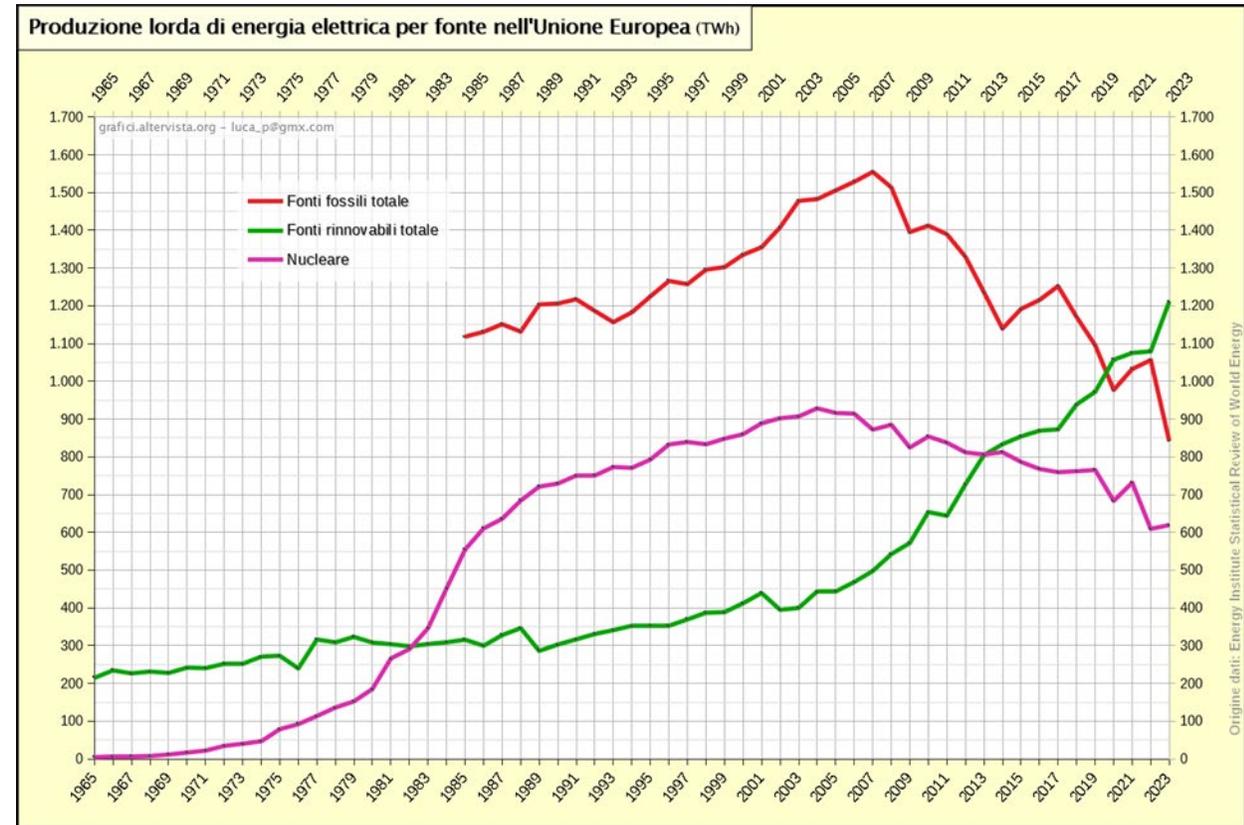
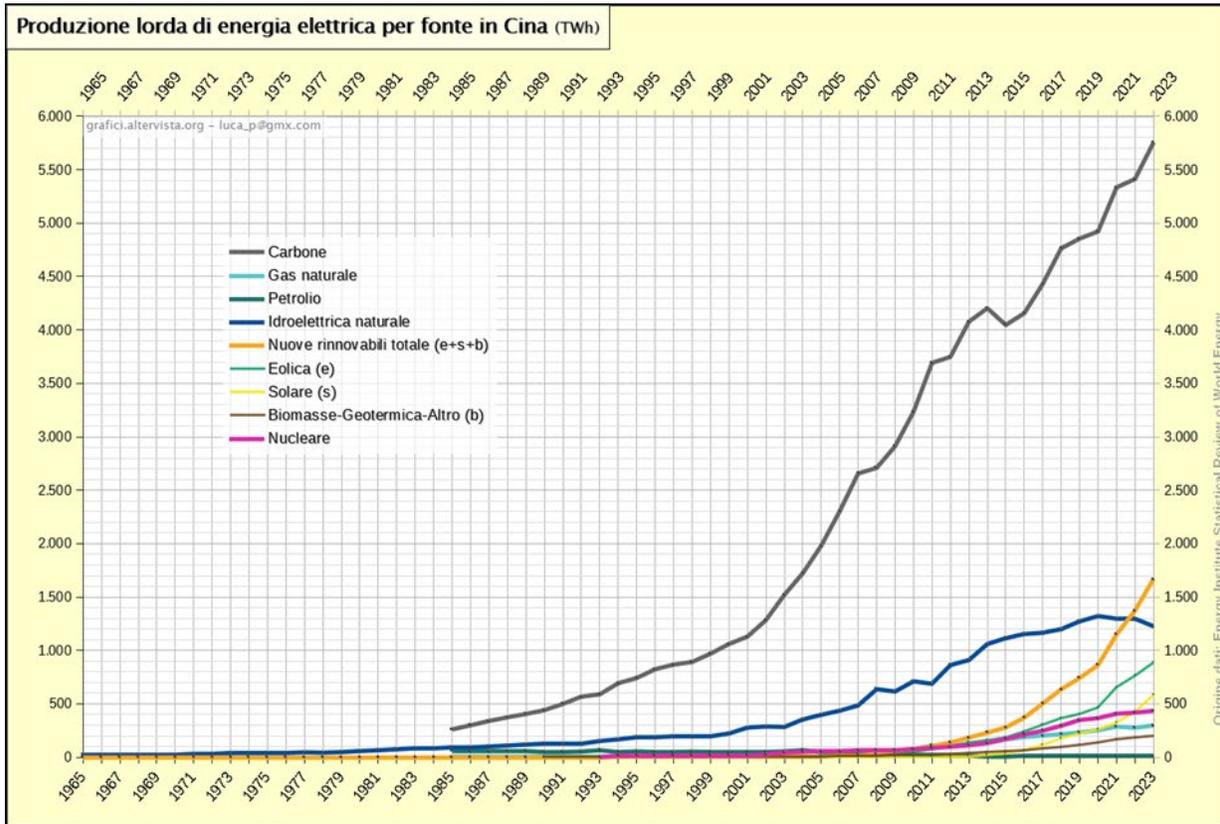
- Einstein spiega l'effetto fotoelettrico 1905, premio Nobel nel 1921
- Pearson, Chapin e Fuller dei Laboratori Bell riuscirono a sviluppare, nel 1954, la prima cella solare al silicio, energia elettrica alimentava una piccola ricetrasmittente
- Nel 1958 i pannelli solari furono montati su un satellite mandato in orbita, alimentandolo fino al 1964, anno in cui fu disattivato; il 1963, invece, segnò l'inizio della commercializzazione di questa tecnologia negli Stati Uniti che, anche a causa la crisi energetica degli anni '70, si diffuse molto rapidamente.



# FONTI ENERGETICHE ATTUALI



# FONTI ENERGETICHE ATTUALI





**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**