

21^{mo} SECOLO

SCIENZA e TECNOLOGIA

L'energia nucleare nel mondo

Anno XXXVII n. 2 - giugno 2026 - € 6,00
Poste Italiane Spa Postatarget creative Lombardia 01106/06/2020 dal 06/2020 Resi Mittente Milano Roserio

CRISI ENERGETICA

**IL RE È NUDO
ED È NEL PANICO**

ENERGIA NUCLEARE

**DA ENRICO FERMI
ALLE NUOVE PROSPETTIVE**

SAMUELE FURFARI

INSICUREZZA ENERGETICA

La distruzione organizzata della competitività dell'Unione Europea

ISBN 978-88-87731-86-6

Pagine 400 – Euro 25,00 i.i.

INDICE

– Perché ho scritto questo libro?

1. Viva l'energia!
2. Capire l'energia
3. All'inizio c'era l'Europa dell'energia...
4. Ora è l'Europa del clima ...
5. La Germania guida la politica energetica e quindi l'insicurezza energetica
6. Energia rinnovabile? Ci abbiamo provato, basta così!
7. L'insicurezza del mercato elettrico dell'UE
8. L'illusione della transizione energetica
9. L'ambientalismo distruttivo dell'UE
10. La frenesia climatica dell'UE
11. La meravigliosa ma illusoria soluzione dell'efficienza energetica
12. Può il risparmio energetico salvare l'industria?
13. Come passare dall'insicurezza alla sicurezza

L'Unione Europea fu fondata con l'obiettivo primario di assicurare la fornitura stabile ed economica di energia. Infatti, il Trattato di Versailles (1919) e la conseguente Seconda Guerra Mondiale avevano mostrato l'importanza di una abbondante disponibilità di energia nel promuovere la pace e l'unità tra le nazioni. Per oltre sei decenni l'Unione Europea ha raggiunto con successo tale obiettivo.

Tuttavia, un recente cambiamento verso l'energia "verde" ha portato molti cittadini dell'UE all'insicurezza energetica ed alla povertà energetica. Tale approccio fuorviante ha messo a rischio attività economiche di tutte le dimensioni, in particolare nella loro competizione con paesi che hanno dato la priorità a forniture energetiche a basso costo.

Il libro presenta i notevoli risultati raggiunti dall'Unione europea nei primi 60 anni, insieme con il deplorabile passo indietro degli ultimi dieci anni. L'autore, che ha dedicato la sua carriera professionale a questo tema, mette a disposizione dei lettori una analisi coraggiosa che è un appello ad un ritorno alla visione originaria della costruzione europea: garantire energia abbondante ed economica. Solo così l'UE potrà procedere verso un futuro di prosperità e sostenibilità economica e sociale.

Samuele Furfari, ingegnere chimico e dottorato in Scienze applicate, ha lavorato per 36 anni come funzionario europeo nella Direzione Generale Energia della Commissione Europea. Docente di Geopolitica dell'energia e di Politica energetica dal 2003, è l'autore di 16 libri su energia e sviluppo sostenibile.



21^{mo} SECOLO s.r.l. – via L. Di Breme, 18 – 20156 Milano

Tel 0233408361 – 3357600520 - roberto@21mosecolo.it

Pagamento con bonifico bancario IBAN: IT08 C010 3001 6620 0000 1065 855

Editore:

21^{mo} SECOLO s.r.l.
via L. Di Breme, 18 - 20156 Milano

Direzione

via L. Di Breme, 18 - 20156 Milano
Tel. 02 33408361
E-mail: info@21mosecolo.it
Internet: www.21mosecolo.it

Direttore responsabile:

Asterio Tubaldi

Direttore

Roberto Irsuti
tel. 335 7600520
robertoirsuti@21mosecolo.it

Stampa:

Copistampa srl
(Cologno Monzese - MI)
Finito di stampare nel mese di
giugno 2026

Hanno collaborato a questo numero:

Franco Battaglia, Roberto Irsuti,
Bjørn Lomborg, Edoardo Dodo
Marinzi, Roger Pielke Jr., Nicola
Scafetta

Una copia euro 6,00

Abbonamento

Ordinario (5 numeri)	30,00
Benemerito	60,00
Sostenitore	da euro 100,00
Enti e Ditte	260,00

versamento su C.C. Postale n.
23966203 intestato a 21^{mo} SECOLO
via L. Di Breme, 18 - 20156 Milano
IBAN
IT 06 K 07601 01600 000023966203

È obbligatorio citare la fonte per gli
articoli utilizzati

In copertina: La centrale nucleare
di Zhangzhou, situata nella provin-
cia del Fujian in Cina. L'impianto
è gestito dalla CNNC-Guodian
Zhangzhou Energy Company. Ela-
borazione grafica Claudio Rossi

L'editore garantisce la massima riservatezza dei
dati forniti dagli abbonati e la possibilità di richie-
derne gratuitamente la rettifica o la cancellazione
scrivendo a robertoirsuti@21mosecolo.it. In ottem-
peranza del D.L. 196 del 30.6.2003, ed al recente
nuovo regolamento Europeo sulla Protezione dei
Dati (GDPR) per la tutela delle persone e di altri
soggetti rispetto al trattamento di dati personali,
vi confermiamo che i vostri dati verranno utilizzati
esclusivamente per l'invio della rivista, dei docu-
menti allegati alla stessa, compresi i dati utili per
il rinnovo dell'abbonamento, e per informarvi delle
nostre nuove pubblicazioni (libri) e delle future
conferenze e seminari di studi.

Le illustrazioni sono quasi sempre fornite dagli
autori; l'editore resta a disposizione per definire
eventuali diritti.

Editoriale

Alcuni passaggi obbligati

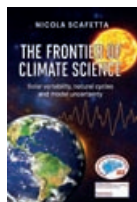
pag. 2

Crisi energetica: il re è nudo ed è nel panico

pag. 3

A proposito del carbone

pag. 4



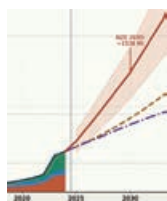
La presentazione del nuovo libro
del Prof. Nicola Scafetta
**La frontiera della scienza del clima:
variabilità solare, cicli naturali
e incertezza dei modelli**

pag. 6



Una conferenza del prof. F. Battaglia a Bresso – Milano
**Non esiste alcuna emergenza climatica.
La petizione inviata all'ONU
da 2000 scienziati**

pag. 10



Eolico e fotovoltaico sono prodotti grazie ad un largo
impiego dei combustibili fossili
**Non sempre è rinnovabile
ciò che sembra tale**

pag. 11

L'energia nucleare nel mondo

pag. 16



**Il governo belga vuole acquisire la proprietà
delle 7 centrali nucleari**

pag. 19

**TerraPower avvia la costruzione della
«prima centrale nucleare avanzata su scala
industriale degli Stati Uniti»**

pag. 20



**Caricato il combustibile nella prima centrale
nucleare del Bangladesh**

pag. 21



Intervista all'ingegnere Ugo Spezia
**Dall'eredità di Enrico Fermi alle nuove prospettive
per l'energia nucleare**

pag. 22

A distanza di vent'anni dall'uscita del documentario che gli valse
il premio Nobel per la pace

**La "scomoda verità" di Al Gore sul clima
era una comoda bugia**

pag. 26

Editoriale

Alcuni passaggi obbligati

Lo stretto di Hormuz ed il conflitto nel Golfo Persico, ci ricordano che esistono nella vita e nella realtà dei popoli dei passaggi obbligati, spesso scomodi ma inevitabili.

Dopo una lunga serie di disastrosi conflitti (Iraq, Afghanistan, Siria, Libia, Somalia, Sudan, Gaza, ecc.), che hanno lasciato solo cumuli di macerie, siamo all'ennesima "guerra senza fine" contro l'Iran, con lutti e danni all'intera regione ed all'economia mondiale. Non siamo pacifisti, ma siamo sbalorditi dalla mancanza di una **visione a lungo termine** e di una definizione degli obiettivi da raggiungere.

L'8 dicembre 1953, il presidente americano Dwight Eisenhower, in un discorso alle Nazioni Unite, propose il programma "Atomi per la pace", l'idea di utilizzare anche l'energia elettrica generata dall'atomo in un grande piano di sviluppo economico e sociale che, nel conseguire insieme la prosperità, avrebbe potuto portare la pace, generando un interesse comune a collaborare con i vicini.

In Europa, siamo al quinto anno di una guerra fratricida tra Russia e Ucraina, due nazioni cristiane, con centinaia di migliaia di giovani morti nei combattimenti, vittime civili ed un paese devastato.

Il 1° agosto 1975, con la firma dell'Accordo di Helsinki tra 35 Paesi alla Conferenza sulla Cooperazione e la Sicurezza in Europa venne creata una organizzazione internazionale (OCSE) per il dialogo tra Est ed Ovest, allora in piena Guerra Fredda, per creare attraverso la cooperazione economica e culturale l'interesse comune alla pace, tenendo conto delle esigenze di sicurezza di tutte le nazioni coinvolte e per evitare un conflitto nucleare. Il 28 maggio 2002, 13 anni dopo la caduta del muro di Berlino, nel G7 tenutosi a Pratica di Mare, Silvio Berlusconi e pochi altri leader cercarono di integrare la Russia in una alleanza globale con la Nato per la pace e la sicurezza.

Certamente il "partito della guerra" presente in ogni paese ha lavorato alacremente per sabotare tali visioni di un futuro pacifico ed ha garantito ottimi affari sia al complesso militare industriale che a quello energetico mondiale. L'idea alla base di quei tentativi era che la sicurezza di un paese non dipende dalla debolezza del vicino (o dalla

sua distruzione) ma da un interesse comune e dal rispetto reciproco, senza pretese di "superiorità" morale o civile: una **fiducia reciproca**, costruita collaborando nello sviluppo economico, culturale, scientifico.

La **fiducia** è anche il passaggio obbligato nelle prospettive pacifiche dell'energia nucleare, alle quali è dedicata gran parte di questo numero della rivista. Il ritorno alla generazione elettrica da fonte nucleare, in particolare nel nostro Paese, dipende dalla credibilità della nostra classe dirigente, politica, amministrativa, industriale e scientifica. Il recente referendum sulla giustizia ha confermato che in Italia il partito maggioritario è quello del "No"; lo testimonia l'astensione alle elezioni politiche, vicina al 50% degli aventi diritto al voto e la nascita di comitati del No a qualunque opera infrastrutturale (sia grande, come la TAV, il TAP, il ri-gassificatore, il ponte sullo Stretto, che piccola, come un inceneritore o l'ampliamento di una circonvallazione stradale). Non si discute dell'utilità dell'opera, si esprime solo la sfiducia nella classe dirigente che dovrebbe realizzarla.

Come ricostruire tale fiducia è "un vasto programma", che va al di là delle nostre competenze. Ma a nostro modesto avviso, non è di aiuto il continuare a raccontare ai cittadini bugie (o mezze verità) sui temi che riguardano, ad esempio, una fantomatica Transizione energetica, una inesistente Crisi climatica, le meravigliose promesse del fotovoltaico, dell'eolico, degli autoveicoli elettrici, del Green Deal europeo, della finta sostenibilità ambientale. La sfida dell'energia, per fornire una adeguata qualità della vita alla popolazione mondiale che raggiungerà i 10 miliardi di persone, richiede certamente il contributo di tutte le fonti e tecnologie oggi disponibili, e delle altre che la creatività umana saprà trovare e ideare; ma ognuna di esse non potrà violare i propri limiti fisici oggettivi. Le transizioni energetiche richiedono in genere oltre 80 anni, non eliminano le fonti precedenti e soprattutto dipendono principalmente dall'innovazione tecnologica; non avvengono per scelte ideologiche, per decreto legge o per normative che fissano obiettivi illusori.

Buona lettura.

Roberto Irsuti

Crisi energetica: il re è nudo ed è nel panico

di Franco Battaglia *

Per oltre trent'anni ci è stato doviziosamente spiegato che per salvare il pianeta occorre "decarbonizzare" l'economia, ovvero rinunciare ai combustibili fossili: petrolio, gas e carbone, devono restare nel sottosuolo, come diceva Greta Thunberg. Ci dicono entro il 2050. La chiamano transizione-energetica. L'Unione Europea ha l'ambizione di guidarla, e per fare la prima della classe si è anche data degli obiettivi intermedi: rinunciare al 90 per cento dei combustibili fossili entro il 2040. Vien da ridere: è tra quattordici anni. (...)

Accade ora che, proprio per gli eventi bellici nel Golfo Persico, della fornitura di petrolio e gas mondiale all'improvviso venga a mancare non il 90% che ci si propone di abbandonare fra 14 anni, ma appena il 20%. Sarebbe un buon inizio lungo quella strada maestra, no? A quanto pare, no; perché, invece, immediatamente scoppia il panico. Il prezzo del petrolio sale sopra i 100 dollari al barile, e vari esperti – ah, gli esperti, sempre invocati e mai che ne imbrogolino una giusta – non escludono che arrivi presto a 200 dollari. Gli economisti – buoni anche quelli – annunciano una imminente recessione economica mondiale, se l'interruzione delle forniture dovesse durare più di alcune settimane. Vi chiederete perché sbertuccio anche gli economisti, ed ecco perché: quelli che ora stanno gridando all'allar-

me per questo 20% in meno sono gli stessi – ma proprio gli stessi – che si sono inventati la green economy suggerendo la riduzione del 90%. Comunque sia, le borse ballano e l'inflazione rialza la testa.

I soloni dell'Ue convocano riunioni di emergenza. Fatih Birol (economista, *ça va sans dire*), direttore dell'Agenzia Internazionale dell'Energia, ha appena dichiarato che l'offensiva militare di Stati Uniti e Israele contro l'Iran ha creato «la più grande minaccia alla sicurezza energetica globale degli ultimi decenni». Come mai non gli venne il sospetto di questa minaccia quando promuoveva, come ha promosso per lungo tempo, la riduzione dell'uso dei combustibili fossili. Il panico è tale che gli Stati Uniti sospendono per un mese le sanzioni contro il petrolio russo e addirittura contro le petroliere iraniane che siano già fuori dal Golfo Persico.

Nei passati trent'anni il consumo mondiale di tutti i combustibili fossili è cresciuto del 50%; il carbone, in particolare, continua ogni anno a stabilire un nuovo primato. Ma nessuno nella classe politica europea ha il coraggio di dire che il re è nudo e che l'intera politica europea su clima ed energia ha prodotto un solo risultato: la fuga delle attività manifatturiere dall'Europa ed un declino economico.

In trent'anni, la diminuzione del 20% delle emissioni europee di CO₂, equivalente a meno del 2% di quelle globali, è avvenuta grazie all'aumento delle importazioni di beni prodotti nei paesi extraeuropei. Nessuno dei quali è turbato da alcuna emergenza climatica causata da petrolio, carbone e gas naturale. Tutti però desiderano una sola cosa: che

le proprie economie continuino a crescere perché con questa crescita aumenta il benessere del proprio popolo.

Bene – direte – ma dopo questo pistolotto, hai proposte concrete? Ci provo, anche se mi rendo conto che le cellule cancerogene impiantate oltre 20 anni fa hanno ben attecchito e sono saldamente abbarbicate sul tessuto sano. Dunque, nel breve termine:

1) metter la pietra tombale sulle sovvenzioni pubbliche al fotovoltaico;

2) abbandonare definitivamente l'Ets (*Emission trading system*), un assurdo sistema che sta distruggendo l'economia delle sane aziende energivore, ed equivale ad una tassa sulle emissioni di CO₂;

3) riavviare gli impianti a carbone;

4) riconsiderare la Russia quale privilegiato fornitore di gas a costi contenuti.

Nel più lungo termine:

5) avviare un importante programma sugli impianti elettro-nucleari di grossa taglia, gli unici, con consolidata tecnologia, la cui economia di scala fornirebbe elettricità a costi che porterebbero l'odierna asfittica Europa su un piano competitivo.

* Professore di Chimica Fisica, già presso le Università di Roma Tre e Modena. Portavoce di Clintel Italia. Articolo pubblicato sul quotidiano *La Verità* l'8 aprile 2026.

21^{mo} Secolo
scienza e tecnologia
è presente alla
**NUCLEAR POWER
EXPO 2026**
Fiera di Piacenza
9-11 giugno 2026
**Nel Padiglione 2
Stand Q-32**

A proposito del carbone

Negli ultimi 20 anni la produzione è salita del 50%. Nel 2005 l'energia elettrica generata con i combustibili fossili era il 67%; venti anni dopo è il 60%. Ma il ministro dell'Ambiente e della Sicurezza energetica, Pichetto Fratin, dichiara: riattiveremo le centrali a carbone solo quando il costo del gas supererà i 70 euro al MWh.

di Franco Battaglia *

Se mi è concesso vorrei tornare sul carbone, giacché su esso, pur cruciale per il nostro benessere, v'è la convinzione diffusa che sia tra i peggiori mali del mondo. La convinzione ha preso corpo nelle vostre menti grazie all'orchestrata propaganda ambientalista che, per qualche misteriosa ragione, ogni volta che l'umanità si dota di un bene – offerto vuoi dalla natura, vuoi dall'ingegno umano – che brilla per economicità, efficacia ed efficienza, ecco che esso viene additato come un male da combattere e da sostituire immediatamente con qualcos'altro, tipicamente molto costoso, molto inefficace e molto inefficiente. Anzi, quanto più costoso, inefficace e inefficiente è la sostituzione (la chiamano transizione), tanto più assordante è la propaganda.

Faccio fatica a capacitarmi di come la propaganda riesca a prendere piede. Pensate ad esempio alla plastica, un meraviglioso materiale senza il quale – la vulgata non sembra comprendere – vivremmo come si viveva 100 anni fa. O, ancora, pensate al Ddt, ai fertilizzanti, ai conservanti, all'energia nucleare, alle onde elettromagnetiche, e a decine di altri veri doni di Dio che gli ambientalisti vi hanno convinto ad odiare.

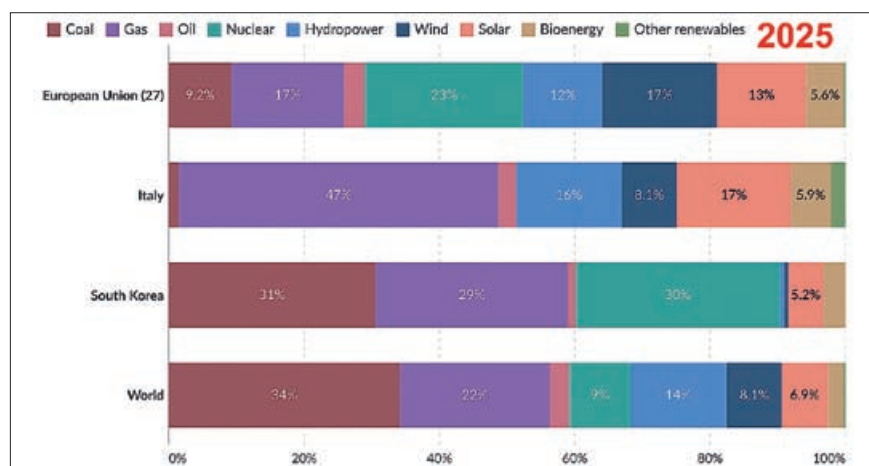
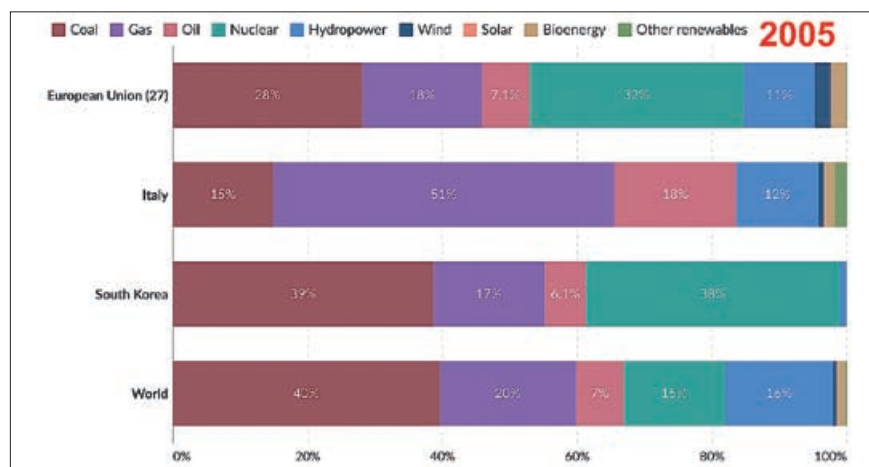
Per oltre vent'anni ho predicato la necessità di riavviare la produzione elettronucleare in casa. Era

il 15 maggio 2012 quando, relatore ad una conferenza al Parlamento di Bruxelles, pronunciavo queste testuali parole: «Negli ultimi anni la Ue ha sprecato ingenti somme di denaro in inutili impianti della *green economy* nel vano tentativo di governare il clima, ed ha rallentato irresponsabilmente lo sviluppo del nucleare, con l'inevitabile conseguenza di dover aumentare l'uso del gas naturale. Perseguendo tale politica i leader della Ue hanno

scavato la nostra fossa, e stanno continuando a farlo».

Di tutta evidenza ho fallito, e m'è rimasta solo la magra soddisfazione di ascoltare, poche settimane fa, Ursula von der Leyen denunciare «l'errore strategico del mancato ulteriore sviluppo dell'elettro-nucleare in Europa». Ora, siccome per l'Italia è di tutta evidenza diventato complicatissimo installare nuovi impianti nucleari, il carbone è rimasto l'ultima nostra spiaggia.

A dispetto della propaganda in Ue, negli ultimi vent'anni la produzione di carbone è aumentata del 50% e il suo commercio via mare è raddoppiato. La nostra vita dipende anche dal carbone, due terzi del quale è usato per produrre elettricità, e il resto dalle industrie che bisognano di calore ad alta tem-



Mix di produzione elettrica nel 2005 e nel 2025. Fonte: Our World in Data.

* Professore di Chimica Fisica, già presso le Università di Roma Tre e Modena. Portavoce di Clintel Italia. Articolo pubblicato sul quotidiano *La Verità* il 21 e 26 aprile 2026.

peratura, che producono acciaio, cemento, e persino gli impianti d'energia alternativi, impossibili da avere se non ci fosse il carbone.

Dei 100 miliardi di tonnellate di materie prime estratte ogni anno dalle viscere della Terra, di carbone vengono estratte meno di 10 miliardi di tonnellate, eppure esso produce oltre un terzo dell'elettricità mondiale; gli impianti che lo bruciano non richiedono tecnologia particolarmente avanzata, sono economici, efficaci, efficienti, non dipendono dal sole o dal vento, non esplodono, possono dotarsi di scorte enormi senza complessi problemi di stoccaggio, inquinano meno di un distributore di benzina. Accertate per 100 anni, stimate per 1000 anni, e ampiamente distribuite nel globo, quelle di carbone sono risorse democratiche di cui il mondo fa largo uso chechché ne dica la Ue.

Tornando alla produzione elettrica, giova fare un confronto tra il 2005 e il 2025, cioè 8 trilioni di euro dopo: tanto è stato l'impegno economico del mondo su eolico e fotovoltaico nel corso degli ultimi vent'anni. Seguite il filo del discorso sui dati, cioè sui fatti, senza farvi illudere dai desideri. La figura confronta il mix di produzione elettrica, nel 2005 e nel 2025, per mondo, Ue, Italia e Corea del Sud. Quest'ultima l'ho aggiunta perché, forse il Paese più moderno e tecnologicamente più avanzato al mondo, è di dimensione e popolazione simile all'Italia e, come l'Italia, non ha molte risorse energetiche in casa, e deve importarle.

Nel 2005, la produzione elettrica mondiale da combustibili fossili era al 67% del totale. Vent'anni e 8 trilioni d'euro dopo, passa al 60%: niente male come decarbonizzazione. Ue e Italia fanno meglio, per così dire: i combustibili fossili stanno nel mix con 20 punti percentuali di meno. Ma a che prezzo? Il prezzo è quel che stiamo pagando tutti noi, sia in Ue che in Italia: energia elettrica alle stelle per le famiglie e a prezzi non competitivi per le imprese. Per l'Italia la cosa è un vero disastro, con praticamente zero elettricità da carbone, e men che zero quella da nucleare, visto che la importiamo. Se, dicevo so-

pra, eolico e fotovoltaico hanno pesato 1000 euro per ogni abitante il pianeta, per l'Italia sono stati 120 miliardi, 2000 euro per ogni italiano. Contribuiscono al 25% della nostra produzione elettrica, ma lo faranno per solo 20 anni e non hanno permesso la chiusura di alcun impianto a gas. Con 120 miliardi avremmo potuto installare oltre 15 GW nucleari, che avrebbero fornito, e per 60 anni, il 50% dell'elettricità che ci serve.

Guardiamo infine la Corea del Sud. Ha mantenuto inalterato la produzione elettrica da combustibili fossili (62% nel 2005 e 61% nel 2025), l'uso del carbone è allineato alla media mondiale, e il nucleare contribuisce per un terzo. Risultato: le imprese sudcoreane pagano l'elettricità la metà di quelle italiane; le famiglie coreane la pagano un terzo delle famiglie italiane.

Cosa, quindi, si potrebbe subire a fare:

1. Eliminare l'applicazione dell'ETS, il sistema finanziario di scambio dei diritti di emissione della CO₂, una forma di tassazione dell'energia fossile, come opportunamente richiesto dall'attuale Governo alla Ue.

2. Programmare e realizzare, in tempi brevi, una studiata strategia per diversificare ed opportunamente bilanciare le diverse fonti d'energia con le quali alimentare il nostro settore elettrico, con l'impiego di tutte le fonti disponibili, tecnicamente ragionevoli e realmente sostenibili.

In merito a quest'ultimo punto, poste le difficoltà nel realizzare in tempi ragionevolmente brevi la produzione in casa da nucleare, è da anni e per più volte che suggeriamo l'aumento della produzione elettrica da carbone, che si potrebbe portare dall'attuale 2% ad almeno il 20% (e anche così si rimarrebbe ben al di sotto della media mondiale, che è del 35%). Ed ecco come potrebbe farsi.

Innanzitutto, riaccendere e far funzionare a pieno regime alcuni impianti già presenti a Civitavecchia, Brindisi e, in Sardegna, a Fiume Santo e a Portovesme, per una potenza complessiva di oltre 5 gigawatt.

Poi, si potrebbero riprendere e realizzare 4 progetti già autorizzati oltre 12 anni fa a Porto Tolle, Saline Joniche, Vado Ligure e, di nuovo, a Fiume Santo, per ancora oltre 4 gigawatt. Sono progetti che furono abbandonati a seguito degli assurdi ricorsi di alcune associazioni ambientaliste: i ricorsi furono rigettati dal Tar, ma ormai la frittata era stata fatta ed è mancato il coraggio politico a fare quel che si sarebbe dovuto fare. Se si avessero gli attributi, avremmo modernissime centrali che potrebbero essere realizzate in tempi relativamente brevi: anche meno di 5 anni, soprattutto per quelle da insediare in luoghi dove già sono presenti le relative infrastrutture.

Infine, si potrebbero progettare e realizzare un'altra mezza dozzina di centrali da insediare lungo le coste, prevalentemente nelle Regioni che hanno un deficit di produzione elettrica rispetto ai consumi, come per esempio: Toscana, Campania e Marche, ma anche a Milazzo in Sicilia, a Monfalcone e, ancora, in Sardegna.

Avremmo così oltre 16 gigawatt – quasi la nostra domanda elettrica di base – alimentati da carbone, un combustibile che è abbondante e presente in tutti i Continenti, in Paesi geopoliticamente molto più stabili (Stati Uniti, Sud Africa, Indonesia, Australia) rispetto a quelli da dove proviene il gas, ed è trasportabile agevolmente via mare.

Ecco detta la vera transizione energetica del sistema elettrico italiano: ridurre il gas naturale da oltre il 50% a meno del 20%. E ancora meno se la transizione qui proposta si completa col nucleare, per il quale sarebbe già un buon inizio limitarsi a 4 centrali con almeno 4 reattori per ciascuna. Sarebbe un grande regalo alla generazione dei bambini che nascono oggi.

Chi sa far di conto, troverà facile immaginare quali e quanti vantaggi ne potrebbero derivare per il nostro Paese, le ricadute in termini economici, di occupazione e di benessere, nonché sicurezza strategica, soprattutto tenendo conto di quanto purtroppo avviene nel mondo.

La presentazione del nuovo libro del Prof. Nicola Scafetta

La frontiera della scienza del clima: variabilità solare, cicli naturali e incertezza dei modelli

Quanto bene comprendiamo davvero il clima terrestre? Quali forze naturali restano fuori dalla nostra portata? Il Net Zero è l'unica strada praticabile da seguire?

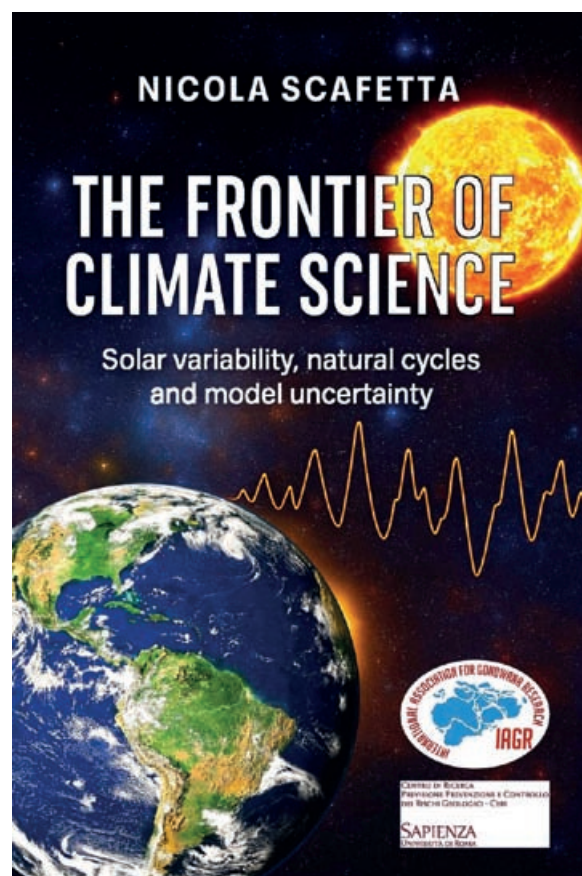
di Nicola Scafetta *

Per più di vent'anni, la mia ricerca ha esplorato l'interazione tra dinamica climatica, variabilità solare e sistemi complessi. Durante questo periodo, ho visto il dibattito sul clima diventare sempre più polarizzato, spesso ridotto a una narrazione ristretta che lascia poco spazio a incertezze o interpretazioni alternative.

Il mio nuovo libro, *The Frontier of Climate Science*, è stato scritto per colmare questa lacuna. Non è inteso come un controdogma, né come una dichiarazione politica. È un viaggio scientifico, che esamina ciò che sappiamo, ciò che supponiamo e ciò che rimane irrisolto riguardo al sistema climatico.

In questo articolo, condivido alcune delle motivazioni che mi hanno spinto a scrivere il libro e ne evidenzio alcuni dei suoi temi centrali.

Negli anni, mi sono sempre più convinto che il sistema climatico non possa essere completamente compreso attraverso una sola lente esplicativa. Il quadro di attribuzione prevalente è quello attualmente sostenuto dal Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (IPCC, delle Nazioni Unite). L'IPCC attribuisce quasi tutto il riscaldamento post-1850 a fattori antropici. Tuttavia, questa valutazione si basa su modelli climatici globali (GCM) elaborati al computer che, pur essendo sofisticati, faticano ancora ad interpretare aspetti fondamentali della variabilità naturale.



ISBN: 9791298617605

(inglese, paperback grayscale ed.)

ISBN: 9791298617612 (inglese, hardcopy color ed.)

ISBN: 9791224067061 (inglese, ebook ed.)

ISBN: 9791224069102

(italiano, paperback grayscale ed.)

Sinossi del libro

Quanto bene comprendiamo davvero il clima terrestre? Quali forze naturali restano fuori dalla nostra portata? Il Net Zero è l'unica strada praticabile da seguire?

The Frontier of Climate Science esplora la dinamica climatica attraverso la fisica, i sistemi complessi e

* Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse, Università degli Studi di Napoli Federico II, Complesso Universitario di Monte S. Angelo, Napoli, Italia.

l'astronomia, sintetizzando diversi decenni di ricerca sottoposta a revisione paritaria.

Il libro esamina criticamente le basi scientifiche della moderna teoria del clima, l'evoluzione delle valutazioni IPCC ed i limiti dei modelli climatici globali (GCM) di fronte alle osservazioni. Studia la variabilità naturale su più scale temporali, incluse oscillazioni oceaniche, variabilità solare e cicli astronomici che guidano sia la variabilità solare che climatica, integrando dati satellitari, ricostruzioni paleoclimatiche e approcci di modellazione empirica.

Da queste prove emerge una visione equilibrata del rischio climatico, che favorisce l'adattamento pragmatico rispetto a percorsi politici strettamente definiti come la neutralità netta. Ricco di intuizioni e approcci analitici, il libro aiuta i lettori a comprendere la variabilità climatica, valutare i rischi, pensare in modo critico ed esplorare questioni chiave aperte nella scienza del clima.

Il volume è stato approvato dalla prestigiosa Associazione Internazionale per la Ricerca Gondwana (IAGR) e dal Centro di Ricerca Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici (CERI) dell'Università Sapienza di Roma.

Dalla prefazione del Prof. M. Santosh

Professore di Scienze della Terra, Fondatore e Segretario Generale della *International Association for Gondwana Research* (IAGR); Consulente Editoriale di *Geoscience Frontiers*; China University of Geosciences, Pechino, Cina.

“Questo libro ... offre un'eccellente finestra sui profondi ambiti della climatologia, della fisica dei sistemi complessi e dell'astronomia, affrontando tre aspetti principali: (1) quanto bene comprendiamo davvero il clima terrestre? (2) quali forze naturali rimangono fuori dalla nostra portata? (3) è il Net-Zero l'unica strada praticabile da seguire?”

“Da un'analisi autorevole, l'autore formula prospettive perspicaci che demistificano l'attribuzione esclusiva del riscaldamento globale nell'ultimo secolo alle attività umane, e danno maggiore importanza all'interazione dinamica tra forze terrestri e cosmiche.”

“Questo lavoro è un'eccellente finestra sulla climatologia come scienza dinamica e richiede strategie adattive basate sulla sostenibilità economica e sull'equità sociale per affrontare le problematiche del cambiamento climatico.”

Dalla prefazione del Prof. Alberto Prestininzi

Professore Ordinario (in pensione) di Geologia Applicata, Sapienza Università di Roma. Fondatore ed ex Direttore del “Centro di Ricerca Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici” (CERI). Fondatore ed ex Editor-in-Chief della *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*.

“In *The Frontier of Climate Science*, Scafetta costruisce un viaggio teorico e didattico che guida il lettore attra-

verso le molteplici dimensioni del sistema climatico. Il libro è concepito come un dialogo critico in cui vengono esaminati in profondità i processi che governano il clima terrestre – molti dei quali rimangono poco compresi o sottovalutati.

“L'obiettivo è distinguere i fatti dalla retorica, restituendo alla scienza il suo ruolo di indagine pluralista, iterativa e non dogmatica.”

“Il lavoro di Scafetta si inserisce pienamente in questa lunga traiettoria di indagine scientifica, ma con una prospettiva teorica e sistemica ... *The Frontier of Climate Science* è quindi un'opera che invita alla riflessione, alla verifica e al dibattito.”

Dalla prefazione della Prof.ssa Judith Curry

Co-fondatrice e Presidente di *Climate Forecast Applications Network*. Professoressa Emerita di Scienze dell'Atmosfera e Climatologia; già Chair della School of Earth and Atmospheric Sciences del Georgia Institute of Technology, Atlanta (Georgia, Stati Uniti).

“Il contributo fondamentale di *The Frontier of Climate Science* è un nuovo paradigma scientifico che fornisce un quadro interpretativo più ampio in grado di risolvere le incongruenze dell'attuale modello antropico del cambiamento climatico.”

“La variabilità solare e il suo ruolo nel cambiamento climatico rimangono tra le questioni più profonde e irrisolte nella scienza climatica contemporanea. Scafetta sostiene un argomento convincente secondo cui è tempo di riportare il Sole al centro del discorso sul clima.”

“Una cultura scientifica sana abbraccia il pluralismo, il rigore metodologico e il dialogo aperto. Solo attraverso questa lente la scienza del clima può rimanere credibile, adattativa e veramente informativa ... Il quadro presentato da Scafetta offre un'opportunità preziosa di coinvolgimento.”

1. Perché ho scritto questo libro

Il mio obiettivo era unire questi fili in una prospettiva coerente e interdisciplinare, che riflettesse non solo l'ampiezza del dibattito scientifico, ma anche le molteplici dimensioni del problema che ho personalmente esplorato nelle mie pubblicazioni scientifiche negli ultimi due decenni, dalla variabilità solare alle oscillazioni climatiche, dai bias dei dati alla modellazione empirica.

2. Il clima come sistema oscillatorio su più scale

Una delle caratteristiche più sorprendenti della storia climatica della Terra è la sua struttura naturale ritmica. Durante tutto l'Olocene, osserviamo:

- oscillazioni multidecennali (~60 anni),
- Fluttuazioni del centenario,
- cicli su scala millenaria come il **ciclo di Eddy**,
- e il **ciclo Hallstatt-Bray**.

Questi motivi compaiono nei carotaggi di ghiaccio, nei sedimenti marini, negli anelli degli alberi e nei documenti storici. Sono anche correlate con pro-

xy solari e astronomici. Questi cicli non sono speculativi; sono tra le caratteristiche più solide della ricerca paleoclimatica.

Tuttavia, i modelli climatici globali (GCM) attuali non riproducono queste oscillazioni con la corretta ampiezza o tempistica. Non è un dettaglio da poco. Se i modelli non riescono a catturare la variabilità naturale del fondo del sistema climatico, allora l'attribuzione alle cause del riscaldamento globale dal 1850 al 1900 fino a oggi diventa intrinsecamente incerta, perché qualsiasi contributo naturale non modellato al riscaldamento (ad esempio dovuto all'aumento dell'attività solare nello stesso periodo) riduce necessariamente la frazione di riscaldamento che può essere attribuita con sicurezza ai forzanti antropici. E se il contributo antropico al riscaldamento passato è inferiore a quanto si suppone, allora il suo contributo al riscaldamento futuro - e quindi al rischio climatico associato - deve essere anch'esso ridotto proporzionalmente.

3. Dataset osservazionali: essenziali ma imperfetti

Un'altra motivazione per la stesura del libro è stata la crescente divergenza tra diversi dataset osservazionali.

I registri della temperatura superficiale sono indispensabili, ma sono anche influenzati da:

- urbanizzazione e cambiamenti nell'uso del suolo,
- trasferimenti di stazioni,
- cambiamenti di strumentazione,
- algoritmi di omogeneizzazione che possono introdurre convergenza artificiale.

I dataset satellitari, al contrario, mostrano **un riscaldamento inferiore del 20-30%** dal 1980, in particolare sulle aree terrestri dell'emisfero nord. Le ricostruzioni delle stazioni solo rurali rivelano anche un riscaldamento secolare più debole.

Queste discrepanze non minano la realtà del riscaldamento globale, ma ampliano l'intervallo di incertezza. Un campo scientifico maturo dovrebbe riconoscerlo apertamente.

4. Il Sole: un attore più complesso di quanto spesso si pensi

Il mio lavoro sulla variabilità solare è iniziato più di due decenni fa, in parte grazie al mio coinvolgimento nell'esperimento ACRIM della NASA-JPL, progettato per misurare l'irradianza solare totale dallo spazio. Col tempo, mi è diventato sempre più chiaro che l'influenza del Sole sul clima è significativa, ma che una valutazione adeguata richiede di affrontare le controversie di lunga data sulla variabilità solare su scale temporali superiori al ciclo solare di 11 anni - controversie che rimangono centrali per comprendere il contributo naturale al cambiamento climatico moderno.

Il libro esamina tali aspetti:

- la controversia ACRIM-PMOD,
- la variabilità solare spettrale,
- la modulazione magnetica dei raggi cosmici,
- i meccanismi legati al cloud,
- ed il possibile ruolo degli armonici planetari.

Il punto non è che "il Sole spiega tutto." Piuttosto, è che **i modelli attuali incorporano una rappresentazione eccessivamente semplificata della variabilità solare**, il che potrebbe aiutare a spiegare perché attribuiscono praticamente zero riscaldamento post-1850 ai cambiamenti solari.

Questa assunzione merita di essere riesaminata.

Le ipotesi contemporanee, secondo cui l'attività solare secolare e multimillenaria sia cambiata solo minimamente, non tengono conto delle forti correlazioni osservate durante l'Olocene tra variabilità solare e cambiamenti climatici documentati. Se si assume che la variabilità solare a lungo termine sia trascurabile, queste relazioni empiriche diventano scientificamente inspiegabili, sottolineando la necessità di rivedere le ipotesi sottostanti.

5. Il problema del "modello caldo" e la sensibilità climatica

Un tema ricorrente nella letteratura recente è la tendenza di molti modelli CMIP6 a scaldarsi troppo. Spesso:

- Sovrastimano il riscaldamento dal 1980 ad oggi,
- non riproducono la pausa del 2000-2014,
- mancano l'oscillazione quasi 60ennale,
- e prevedono un punto caldo troposferico tropicale che rimane sfuggente alle osservazioni.

Questi problemi influenzano direttamente le stime della sensibilità climatica di equilibrio (ECS, ovvero la stima dell'aumento della temperatura media della superficie terrestre prodotto da un raddoppio della concentrazione di CO₂ presente in atmosfera).

Le mie analisi empiriche suggeriscono:

- $ECS \approx 2,2 \pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
- oppure $\approx 1,1 \pm 0,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ se la variabilità solare a lungo termine è maggiore e sono attivi altri meccanismi.

Un ECS più basso implica un riscaldamento futuro più moderato e riduce la necessità di vie di mitigazione estreme.

6. Implicazioni politiche: un appello al realismo, non alla compiacenza

Il libro non tratta le politiche climatiche. Ma le conclusioni scientifiche inevitabilmente hanno implicazioni politiche.

Se la variabilità naturale gioca un ruolo più importante rispetto a quanto attualmente si assume, se i dataset osservazionali contengono bias irrisolti e se l'ECS è inferiore, allora la giustificazione per le strategie più aggressive di riduzione delle emissioni di CO₂ (net-zero) viene meno. Una mitigazione moderata combinata con una resilienza adattiva al cambiamento potrebbe essere più efficace ed eco-

nomicamente sostenibile. Questo non è un appello all'inazione. È un appello al **realismo basato sulle evidenze**.

7. Armoniche planetarie: una possibile origine dei cicli climatici osservati

Un ulteriore tema esplorato nella parte finale del libro riguarda l'origine fisica degli armonici climatici osservati sia nei registri moderni che paleoclimatici. Nel corso degli anni, ho dimostrato che molte di queste oscillazioni - inclusi i cicli millenniali e multimillenniali, di ~20 anni, ~60 anni, ~115 anni e più lunghi - corrispondono strettamente alla struttura armonica prodotta dalle interazioni gravitazionali ed elettromagnetiche tra i pianeti, in particolare Giove e Saturno.

Questo non implica un meccanismo deterministico semplicistico. Piuttosto, suggerisce che il sistema solare si comporti come un sistema dinamico accoppiato in cui i moti dei pianeti possono modulare l'attività solare e, attraverso di essa, il clima terrestre. La coerenza tra armonici planetari, variabilità solare e oscillazioni climatiche attraverso l'Olocene è sorprendente, ed è difficile interpretare queste correlazioni come semplici coincidenze.

Nella sesta e ultima sezione del libro, esamino in dettaglio questi modelli e meccanismi, esaminando

le fondamenta astronomiche, le prove empiriche e i potenziali percorsi fisici - dalla modulazione solare alla forza delle maree - che potrebbero collegare la dinamica planetaria alla variabilità climatica a lungo termine. Sebbene questa linea di ricerca rimanga aperta e complessa, offre un quadro promettente per comprendere l'origine delle strutture quasi-periodiche osservate sia nell'attività solare che nei cambiamenti climatici che gli attuali GCM non riescono a riprodurre.

8. A cosa spero che questo libro contribuisca

La mia intenzione non è chiudere il dibattito, ma ampliarlo. La scienza del clima è un campo dinamico, e la sua forza risiede nella capacità di autocorrezione.

Spero che il libro incoraggi:

- un dialogo scientifico più pluralistico,
- una più profonda comprensione della variabilità naturale,
- un rinnovato focus sulle prove empiriche,
- e un'interpretazione più cauta delle proiezioni dei modelli.

Soprattutto, spero che ricordi ai lettori che la scienza avanza non attraverso il consenso, ma attraverso il continuo interrogarsi.

9. Ringraziamenti: il valore del dialogo scientifico

Sono profondamente grato ai prestigiosi studiosi che hanno contribuito con le prefazioni di questo libro - il Prof. M. Santosh, il Prof. Alberto Prestinanzi e la Prof.ssa Judith Curry. Le loro prospettive riflettono decenni di esperienza in geologia, geofisica e scienze del clima, e la loro disponibilità a confrontarsi con i temi del libro è sia un onore che una testimonianza dell'importanza di un dialogo scientifico aperto.

Desidero inoltre ringraziare l'Associazione Internazionale per la Ricerca Gondwana (IAGR) e il Centro di Ricerca Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici (CERI) dell'Università Sapienza di Roma. Il loro supporto e gli ambienti scientifici hanno svolto un ruolo significativo nel promuovere l'approccio interdisciplinare che sostiene questo lavoro.

10. Considerazioni finali

Il sistema climatico è complesso, affascinante e ancora non completamente compreso. Il mio libro è un tentativo di esplorare questa complessità con onestà intellettuale e curiosità scientifica. Non vedo l'ora di leggere le discussioni che potrà ispirare.

Il libro (in inglese o in italiano) può essere acquistato sui maggiori bookstore on line ed è ordinabile in libreria.

Un estratto del libro con contenuti, prefazioni e introduzione può essere scaricato da Internet al seguente indirizzo: <https://www.iris.unina.it/retrieve/1f3473bf-7c1f-4625-8880-6d5d47de449a/9791298617605.pdf>

PROGECO
Ambiente & Natura O.d.V.

con il patrocinio del
COMUNE DI BUCCINASCO

CONFERENZA PUBBLICA
"CRISI CLIMATICA: COSA DICONO I DATI"

L'associazione Progeco - Ambiente & Natura O.d.V. organizza un incontro pubblico dedicato all'analisi del tema climatico attraverso un approccio scientifico e multidisciplinare.

L'evento si propone di offrire ai cittadini strumenti di comprensione basati su dati, studi ed approfondimenti con esperti, con l'obiettivo di esaminare le dinamiche climatiche e il loro impatto su diversi ambiti.

RELATORI

Intervorranno esponenti di vari ambiti scientifici, tra cui:

- **prof. Luigi Mariani**
Museo di Storia dell'Agricoltura - sezione di paleoclimatologia
- **prof. Gianluca Alimonti**
Primo Ricercatore INFN e docente di Fondamenti di Energetica per il corso della laurea magistrale in Fisica presso UniMi
- **dott. Samuele Venturini**
Biologo, scrittore, ricercatore

PROGRAMMA INDICATIVO DEGLI INTERVENTI

- Il cambiamento climatico e i suoi impatti - verso un approccio fondato su misure
- Clima, biodiversità ed eventi naturali estremi
- Analisi critica della comunicazione e dell'informazione sul clima
- Dibattito aperto con il pubblico

Moderazione:
Rinaldo Sorgenti - Attento osservatore degli aspetti ambientali correlati al settore energia

Partecipazione:
Casa Editrice 21mo Secolo
<https://www.21mosecolo.it/>

L'incontro è aperto alla cittadinanza e rappresenta un'occasione di approfondimento su un tema di grande attualità.

LUOGO
Sala Consiliare,
via Vittorio Emanuele II, 7
- Buccinasco (MI)

DATA
venerdì
12 giugno 2026

ORARIO
dalle 21.00
alle 23.00

INGRESSO LIBERO FINO A ESAURIMENTO POSTI

Una conferenza del prof. Franco Battaglia a Bresso – Milano

Non esiste alcuna emergenza climatica. La petizione inviata all'ONU da 2000 scienziati

di Edoardo Dodo Marinzi *

Lo scorso 9 maggio gli Amici della Biblioteca e l'Associazione Centro Sociale Anziani di Bresso (MI) hanno invitato il prof. Franco Battaglia ad una conferenza sull'argomento *Non esiste alcuna emergenza climatica. La petizione inviata all'ONU da 2000 scienziati* (1). L'argomento è di notevole interesse perché riguarda la vita pratica di tutti e infatti l'incontro ha avuto un successo di pubblico notevole, straordinario per la nostra città: il salone del Centro Anziani si è riempito fino a 120 persone.

Il prof. Battaglia ha illustrato la petizione che 2.000 scienziati del Mondo intero hanno inviato all'ONU. Tra gli italiani Franco Prodi, Renato Angelo Ricci e Antonino Zichichi recentemente scomparso. Ecco i punti salienti:

“È urgente combattere l'inquinamento ove esso si presenti, secondo le indicazioni della scienza migliore. È deplorabile il ritardo con cui viene utilizzato il patrimonio di conoscenze messe a disposizione dal mondo della ricerca e destinate alla riduzione delle emissioni antropiche inquinanti diffusamente presenti nei sistemi ambientali sia continentali sia marini. Bisogna però considerare che l'anidride carbonica di per sé non è un agente inquinante. Al contrario essa è indispensabile per la vita del nostro pianeta.”

“L'origine antropica del riscaldamento globale è però una congettura non dimostrata” “La



letteratura scientifica ha messo sempre più in evidenza l'esistenza di una variabilità climatica naturale che i modelli non sono in grado di riprodurre”. “La responsabilità antropica del cambiamento climatico osservato nell'ultimo secolo è quindi ingiustificatamente esagerata e **le previsioni catastrofiche non sono realistiche**”. “È scientificamente irrealistico attribuire all'uomo la responsabilità del riscaldamento osservato dal secolo passato ad oggi. Le previsioni allarmistiche avanzate, pertanto, non sono credibili”.

“In conclusione, posta la cruciale importanza che hanno i combustibili fossili per l'approvvigionamento energetico dell'umanità, suggeriamo che non si aderisca a politiche di riduzione acritica della immissione di anidride carbonica in atmosfera con l'illusoria pretesa di governare il clima”.

Ci sono quindi due ottime notizie: **le previsioni catastrofiche sul clima non sono realistiche; e l'inquinamento si può combat-**

tere con le risorse fornite dalla scienza. Abbiamo un compito.

Siamo parte di un Universo, che contiene e influenza anche il nostro orticello. In questo ci aiutano gli Amici della Biblioteca e il Centro Anziani. È bello che i meno giovani si occupino di questioni mondiali, che interessano il presente e il futuro, insieme agli incontri sull'arte, sulla storia di Bresso, sulla lingua milanese, il Mindfulness, la letteratura, il buracco, il bridge, la gastronomia, la salute e molto altro.

In apertura della conferenza hanno portato i loro saluti il sindaco di Bresso, Simone Cairo e il vicepresidente della Commissione Ambiente, energia e clima della Regione Lombardia, Riccardo Pase.

(1) Il libro di Franco Battaglia che presenta la Petizione è reperibile presso la Libreria Il Girasole, piazza Immacolata 3 Bresso oppure presso l'editore 21mo Secolo - Via Ludovico di Brema 18 - 20156 Milano - info@21mosecolo.it

* Insegnante, associazione Amici della Biblioteca di Bresso.

Eolico e fotovoltaico sono prodotti grazie ad un largo impiego dei combustibili fossili

Non sempre è rinnovabile ciò che sembra tale

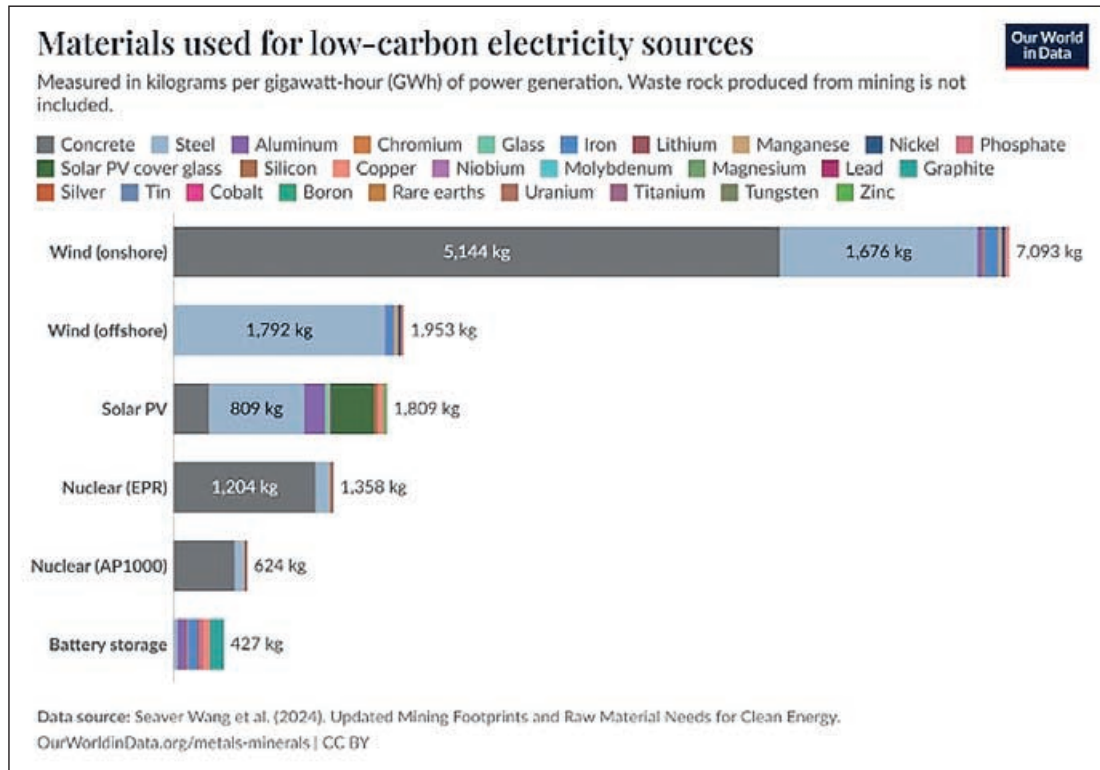


Figura 1, Materiali utilizzati per le fonti di elettricità a basso contenuto di carbonio. Gli argomenti di questo articolo si applicano anche all'energia nucleare; tuttavia, il nucleare è meno intensivo in termini di risorse rispetto a eolico e solare, più lo stoccaggio con batterie. Fonte: Our World in Data.

di Roger Pielke Jr.*

Nelle mie presentazioni inserisco spesso una frase: turbine eoliche e pannelli solari non possono essere prodotti utilizzando energia generata da eolico e solare. Oggi formalizzo questo argomento, e il risultato è sorprendente.

* Professore emerito, College of Arts and Sciences, University of Colorado Boulder; senior fellow dell'American Enterprise Institute (AEI). Articolo pubblicato sul substack, *The Honest Broker*, il 25 marzo 2026 e <http://astrolabio.amici dellaterra.it/node/3760>, il 15 aprile 2026.

Partiamo da una domanda semplice: *le turbine eoliche e i pannelli solari possono essere costruiti a partire da una filiera alimentata da turbine eoliche e pannelli solari?*

La risposta è no.

Le turbine eoliche e i pannelli solari provengono da filiere produttive ad alta intensità di combustibili fossili, e le opzioni tecnologiche per sostituire questi combustibili nella loro produzione non esistono ancora, e potrebbero non esistere mai. Questo articolo ne analizza i dettagli.

Per essere assolutamente chiari, quanto segue non è un argomento contro eolico e solare. I lettori di THB sanno che sono favorevole al solare e meno all'eolico.

Sostengo da tempo che la soluzione più immediata per ottenere grandi riduzioni delle emissioni sia sostituire le centrali a carbone più inquinanti con gas naturale, nucleare, nonché con eolico e solare accompagnati da sistemi di accumulo.

Questo articolo è un esercizio per comprendere quantitativamente le reali sfide della transizione energetica e andare oltre l'affermazione secondo cui disponiamo già di tutte le tecnologie necessarie per una profonda decarbonizzazione, affermazione che tipicamente enfatizza una diffusione estesa della produzione elettrica da eolico e solare, accompagnata da batterie.

Le cosiddette “rinnovabili” non sono affatto rinnovabili. Certamente, le tecnologie solari ed eoliche, insieme allo stoccaggio, possono contribuire alla decarbonizzazione dell’elettricità. Tuttavia, ciascuna di esse è costruita su una base profondamente radicata nei combustibili fossili. [1]

Vediamo alcuni numeri.

La roadmap della IEA “Net Zero by 2050” prevede che la capacità fotovoltaica solare aumenti di 20 volte e quella eolica di 11 volte. Questi aumenti richiedono che le nuove installazioni annuali di solare raggiungano i 630 GW all’anno entro il 2030 e che l’eolico registri incrementi annuali di 390 GW. Lo stoccaggio a batterie deve aumentare di 14 volte fino a 1.200 GW entro il 2030. Questi numeri implicano una mobilitazione senza precedenti di materiali e produzione industriale. Per esempio:

- Il mondo produce attualmente circa 1,9 miliardi di tonnellate di acciaio all’anno. Le turbine eoliche sono composte per il 71–79% da acciaio in massa. La Energy Transitions Commission stima che una transizione energetica verso lo zero netto richieda 6,5 miliardi di tonnellate di materiali finali tra il 2022 e il 2050, di cui il 95% costituito da acciaio, rame e alluminio, circa tre anni e mezzo dell’attuale produzione globale di acciaio.
- Il mondo produce circa 23 milioni di tonnellate (Mt) di rame all’anno. Uno studio S&P Global del gennaio 2026 prevede un deficit di 10 Mt di rame entro il 2040. Lo sviluppo di una miniera richiede in media 17 anni dalla scoperta alla produzione, ciò significa che i progetti avviati oggi non produrranno rame prima dei primi anni ‘40 del secolo.

La produzione su larga scala di turbine eoliche, pannelli solari e batterie non è un’attività di nicchia confinata in poche fabbriche

che ad alta tecnologia. Richiede la produzione continua dell’intera base industriale pesante globale, acciaierie, cementifici, fonderie di rame, raffinerie di alluminio, complessi petrolchimici, forni per il vetro e le reti di trasporto che li collegano. Ognuna di queste industrie oggi funziona con combustibili fossili, senza alternative a zero emissioni diffuse nei processi più energivori.

La produzione primaria di acciaio a partire dal minerale di ferro, circa il 70% della produzione globale, richiede carbone coke metallurgico in altoforni a circa 1.500°C. Il carbone non viene semplicemente bruciato per generare calore elevato, ma è anche utilizzato nel processo chimico che rimuove l’ossigeno dal minerale di ferro per produrre ferro. Nel 2023, meno di 1 Mt di acciaio a quasi zero emissioni è stata prodotta a livello globale, su una produzione totale di 1.889,2 Mt.

Nel suo scenario Net Zero 2050, la IEA prevede che la produzione di acciaio nel 2050 utilizzerà ancora quantità significative di carbone, circa il 22% dell’input energetico, teoricamente associato a sistemi di cattura e stoccaggio della CO₂ che non esistono ancora su scala commerciale.

La base di una turbina eolica è in calcestruzzo armato. I forni per il cemento operano a circa 1.450°C e circa due terzi delle emissioni di CO₂ del cemento non derivano dalla combustione del combustibile, ma da una reazione chimica che avviene indipendentemente dalla fonte di calore. La completa decarbonizzazione del cemento è stata stimata come in grado di raddoppiarne i costi e richiede sistemi di cattura della CO₂ su scala industriale che non esistono ancora.

Anche i pannelli solari sono analogamente intensivi in termini di carbonio. La produzione di polisilicio di grado solare richiede la fusione del quarzo a 1.500–2.000°C, seguita da processi di purificazione chimica. Secondo il rapporto speciale della

IEA sulle catene di approvvigionamento del fotovoltaico, oltre il 60% dell’elettricità utilizzata nella produzione globale di pannelli solari proviene dal carbone e, in Cina, che domina questa produzione, tale quota supera il 75%.

Il vetro che ricopre un pannello solare, circa il 75% del suo peso, è prodotto in forni a circa 1.100°C alimentati a gas naturale o carbone. Il telaio in alluminio richiede processi di fusione alimentati da combustibili fossili. I contatti in argento provengono da miniere alimentate a diesel. Altri materiali derivano dalla petrolchimica. Infine, i pannelli vengono trasportati in tutto il mondo su navi alimentate a olio combustibile pesante.

Esiste un’altra categoria di dipendenza dai combustibili fossili nelle filiere di pannelli e turbine: le materie prime chimiche necessarie per creare i numerosi componenti [2]. Eolico, solare e batterie dipendono necessariamente dall’industria petrolchimica, che la IEA prevede continuerà a crescere fino al 2050 in tutti gli scenari.

Le batterie, necessarie per immagazzinare elettricità quando il vento non soffia e il sole non splende, sono anch’esse ad alta

[2] Claude AI fornisce alcuni dettagli: “Le pale delle turbine eoliche sono costruite con resine epossidiche termoindurenti derivate dal bisfenolo-A di origine petrolifera; una grande pala offshore utilizza circa 12–15 tonnellate di resina epossidica. I fogli posteriori dei pannelli solari sono fluoropolimeri – principalmente PVF (Tedlar) e PVDF – prodotti a partire da materie prime petrolifere. Ogni chilometro di cavo elettrico che collega parchi eolici e impianti solari alla rete è isolato con polietilene reticolato (XLPE), un altro derivato del petrolio. Schiume poliuretatiche e adesivi strutturali sono presenti in tutte le gondole e nelle strutture delle pale. I lubrificanti dei riduttori e i fluidi idraulici per il controllo del passo devono essere sostituiti periodicamente durante i 25 anni di vita di una turbina.”

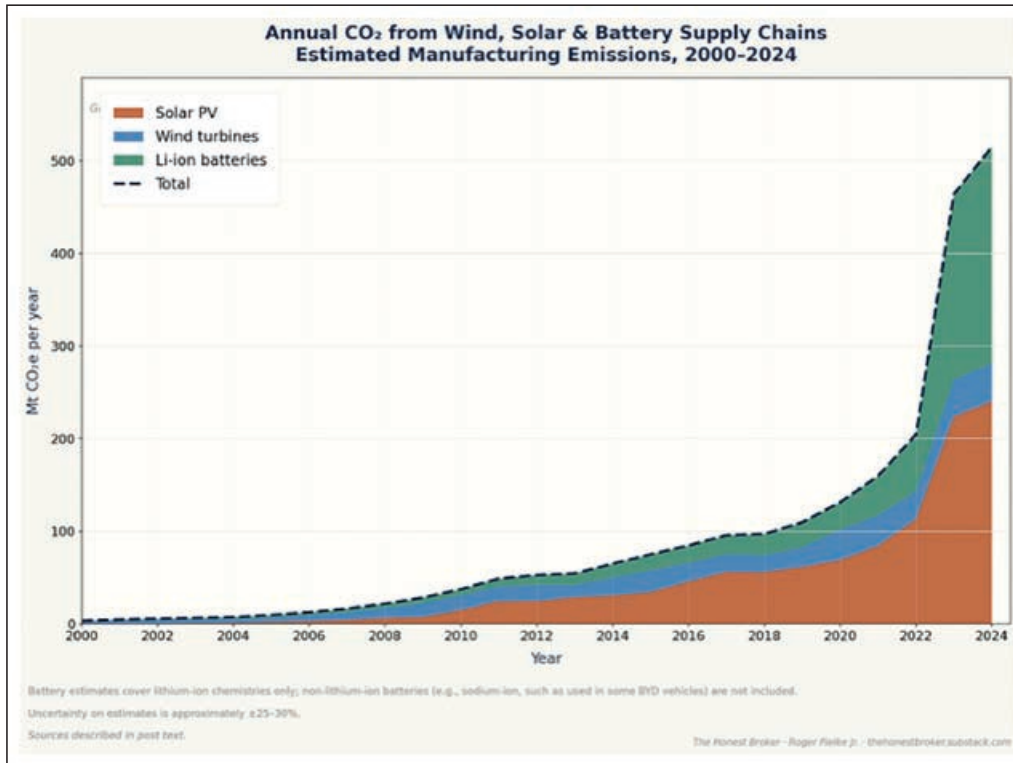


Figura 2, Emissioni annuali di CO₂ generate nella produzione di impianti eolici, solari e relative batterie e dei materiali e componenti necessari.

intensità di combustibili fossili. [3] Le batterie durano circa 10–13 anni, il che significa che devono essere sostituite due o tre volte nel corso della vita degli impianti eolici o solari a cui sono associate, che hanno una durata di circa 25–30 anni. Ogni ciclo di sostituzione

implica una ripetizione completa di estrazione, fusione e produzione. [4]

Le turbine eoliche, i pannelli solari e le batterie sono prodotti dell'intera base industriale globale. Questa base rappresenta circa il 37% delle emissioni globali di

CO₂ legate all'energia, con cinque industrie pesanti, cemento, acciaio, petrolio e gas, chimica e estrazione del carbone, responsabili dell'80% delle emissioni industriali.

La figura 2 mostra una stima delle emissioni di CO₂ delle filiere produttive per nuova capacità eolica, solare e di batterie. Le emissioni annuali sono cresciute da circa 4 Mt nel 2000 a circa 470 Mt nel 2023, circa l'1,3% delle emissioni globali di CO₂ energetica, e paragonabili alle emissioni annuali totali della Corea del Sud o del Canada. Questa crescita

è dovuta a un effetto di volume: l'intensità carbonica per GW è diminuita significativamente, ma le emissioni assolute sono aumentate perché la scala delle installazioni è cresciuta molto più rapidamente della riduzione dell'intensità.

Possiamo farci un'idea della sfida tecnologica della decarbo-

[3] Ulteriori dettagli da Claude AI: "L'anodo in grafite è prodotto calcinando coke di petrolio a 2.500–3.000°C. Il coke di petrolio è un sottoprodotto della raffinazione; non esistono materie prime non fossili disponibili su scala commerciale per la grafite sintetica. L'elettrolita è costituito da solventi carbonati organici derivati dal petrolio. Il litio viene estratto da miniere di roccia dura in Australia e raffinato in Cina su una rete elettrica alimentata a carbone, con emissioni tra 15 e 35 tonnellate di CO₂ per tonnellata di litio, a seconda del processo e della localizzazione. La produzione delle celle – circa il 20% dell'impronta carbonica di una batteria – richiede cicli di formazione che consumano 30–50 kWh per

ogni kWh di capacità prodotta, oltre al funzionamento continuo di ambienti a umidità controllata. La Cina produce circa l'85% delle celle globali su una rete ancora fortemente dipendente dal carbone."

[4] Il riciclo dei materiali non riduce in modo significativo la dipendenza dai combustibili fossili. Claude AI fornisce alcuni dettagli: "Recuperare il silicio da un pannello solare a fine vita richiede delaminazione termica, incisione acida e una nuova purificazione fino al grado solare – un processo che di fatto ripete le fasi più energivore della produzione originale. Attualmente circa il 90% dei pannelli a fine vita finisce in discarica perché è più economico. La principale modalità commerciale per le pale

eoliche consiste nell'utilizzare il materiale tritato nei forni da cemento, dove la resina brucia come combustibile aggiuntivo – un downcycling, non un vero recupero. La pirolisi può avere un'impronta carbonica fino al 19% superiore allo smaltimento in discarica. La solvolisi richiede tra 21 e 91 MJ per chilogrammo di materiale, potenzialmente più dell'energia necessaria per produrre fibra di vetro vergine. Il riciclo delle batterie recupera cobalto e nichel tramite fusione ad alta temperatura, ma litio e grafite vengono persi nei processi pirometallurgici. La chimica dominante per lo stoccaggio su rete – litio-ferro-fosfato – non contiene cobalto né nichel, quindi l'incentivo economico al riciclo è strutturalmente debole."

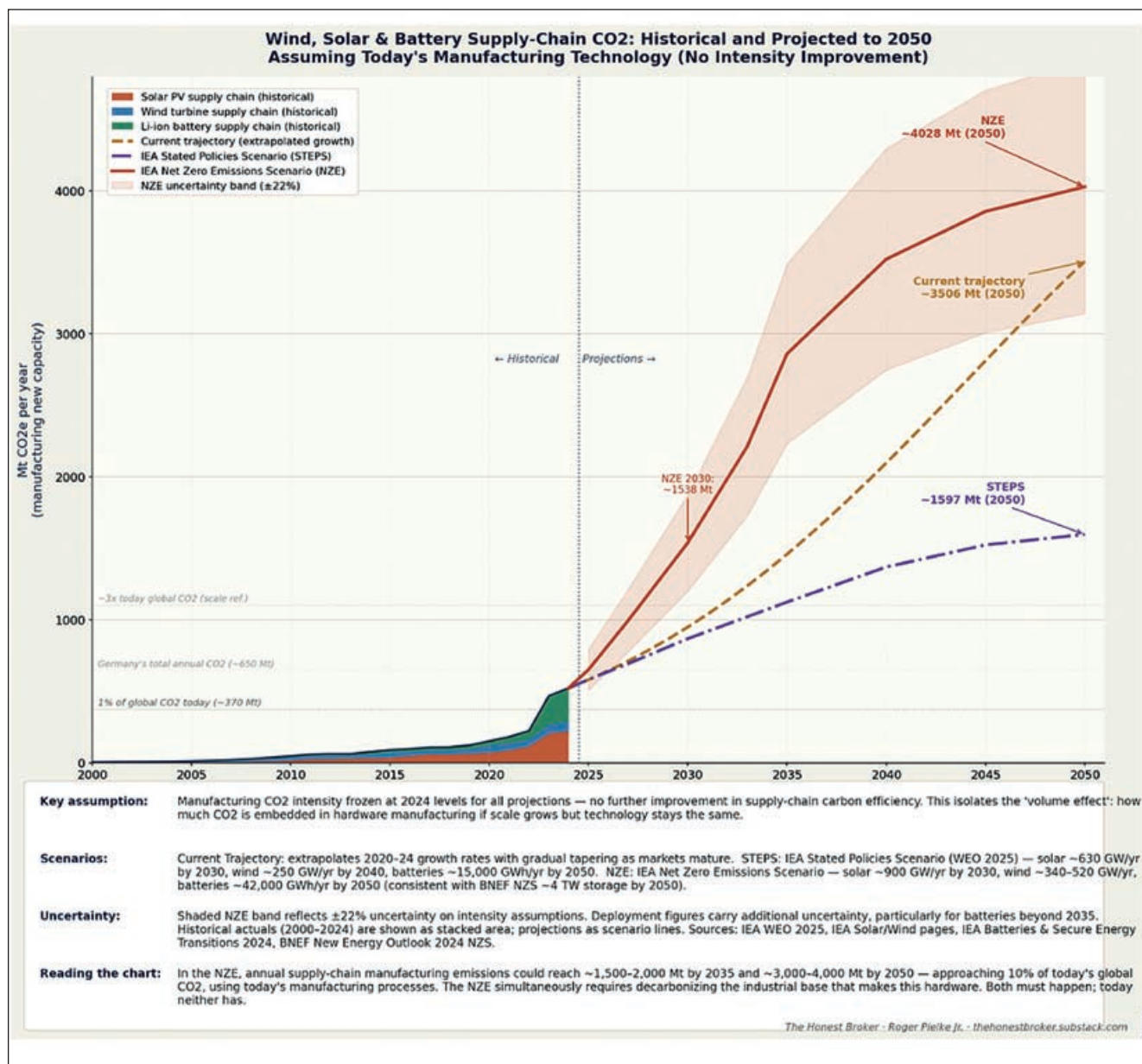


Figura 3, Emissioni generate nella produzione di impianti eolici, solari e relative batterie di accumulo. Dati storici e loro proiezione al 2050, supponendo che non vi siano miglioramenti nell'intensità energetica delle attuali tecnologie di produzione.

nizzazione delle filiere di eolico e solare osservando gli scenari net zero e deducendo le risorse necessarie. In un articolo del 2008 su *Nature* scritto con Tom Wigley e Christopher Green, abbiamo definito questo approccio "baseline tecnologica congelata": se si congelano le tecnologie al livello attuale e si osserva cosa implicano le proiezioni future, si può capire quanta innovazione tecnologica sia implicitamente richiesta

negli scenari. Sostenevamo che "solo con una visione lucida della sfida della mitigazione possiamo sperare di adottare politiche efficaci".

In questo esercizio, l'intensità carbonica della produzione è mantenuta ai livelli del 2024 e vengono esplorate le emissioni implicite fino al 2050. L'obiettivo non è prevedere il futuro, ma isolare l'effetto dell'innovazione tecnologica implicita negli scenari.

I progressi tecnologici non avvengono secondo tempistiche prevedibili, tuttavia gli scenari di decarbonizzazione profonda spesso assumono la cosiddetta JITTI, Just In Time Technological Innovation. [5] La JITTI consente agli scenari di ipotizzare che le tecnologie necessarie appariranno

[5] Questo l'ho appena inventato – JITTI. Mi piace.

no su scala globale e industriale esattamente quando serviranno per trasformare il sistema energetico. Comodo!

La figura 3 mostra le emissioni di CO₂ delle filiere di eolico, solare e batterie fino al 2050 secondo una baseline tecnologica congelata nello scenario Net Zero (NZE) della IEA, nello scenario politiche dichiarate (STEPS) e in una semplice estensione della tendenza storica. [6] I dati storici sono gli stessi mostrati sopra.

I risultati sono impressionanti, e descritti più nel dettaglio di seguito.

Nello scenario IEA STEPS (Stated Policies Scenario), le emissioni annuali della produzione nelle filiere sono circa 870 Mt entro il 2030 e circa 1.600 Mt entro il 2050. Il valore del 2050 supera le emissioni nazionali attuali del Giappone, con una popolazione di 125 milioni e un'economia da 4 trilioni di dollari, e si avvicina alle emissioni combinate di Germania, Francia, Regno Unito, Italia e Spagna.

Nello scenario Net Zero (NZE), le emissioni sono circa 1.540 Mt già nel 2030, simili alle emissioni combinate di Germania, Francia e Regno Unito. Entro il 2050, raggiungono circa 4.000 Mt, comparabili alle emissioni attuali degli Stati Uniti, ovvero circa il 10% delle emissioni globali di CO₂ da energia.

Lo scenario NZE richiede la maggiore quantità di nuova infrastruttura e quindi genera le emissioni più elevate nelle filiere, sotto l'ipotesi di tecnologie congelate. Per realizzare una profonda decarbonizzazione, sia la costruzione massiccia di infrastrutture sia la decarbonizzazione della base industriale globale devono avvenire simultaneamente.

Si consideri che la roadmap IEA NZE richiede che, ogni mese a partire dal 2030, vengano dotati di sistemi di cattura e stoccaggio della CO₂ dieci impianti industriali pesanti, costruiti tre nuovi impianti industriali basati sull'idrogeno, aggiunti 2 GW di

capacità di elettrolizzatori nei siti industriali.

Questo rappresenta il ritmo minimo di trasformazione industriale necessario per mantenere lo scenario in linea, indipendentemente dalla diffusione di eolico, solare e batterie nelle reti globali.

La focalizzazione ristretta su eolico, solare e batterie da parte di molti sostenitori delle politiche climatiche oscura il fatto che queste tecnologie non emergono spontaneamente da processi industriali a zero emissioni.

L'industria dell'acciaio rappresenta circa il 7-9% delle emissioni globali annue di CO₂. Il cemento circa il 6%. Rame, alluminio, chimica e le materie prime petrolchimiche presenti in ogni componente contribuiscono ulteriormente. Si tratta di industrie con cicli di rinnovo degli impianti di 25-40 anni, in cui le decisioni di investimento odierne vincolano i profili emissivi per decenni.

Eolico e solare riducono le emissioni complessive quando sostituiscono la produzione fossile nelle reti elettriche. Ma la transizione energetica non è semplicemente la sostituzione della generazione elettrica fossile con alternative a basse emissioni.

È, soprattutto, la trasformazione delle fondamenta della base industriale globale, e oggi questa trasformazione è ancora lontana. [7]

Gli scenari di decarbonizzazione profonda hanno a lungo assunto che il progresso tecnologico avrebbe raggiunto gli obiettivi nei tempi richiesti dalle politiche.

La prossima volta che sentirai parlare dei numeri di diffusione di eolico, solare e batterie, tieni conto di questa realtà, e chiedi anche quali siano i ritmi di decarbonizzazione di acciaio, cemento, rame, alluminio, petrolchimica, vetro, trasporti marittimi e delle altre fondamenta del mondo moderno.

[6] Note sui grafici: la figura storica (2000-2024) mostra una stima delle emissioni annuali di CO₂ derivanti dalla produzione di nuova capacità eolica, solare e di batterie: le nuove installazioni annuali moltiplicate per l'intensità carbonica della produzione, derivata da curve di apprendimento LCA pubblicate. Fonti: Louwen et al. 2016 (*Nature Communications*); NREL LCA Harmonization 2012/2024; IEA *Solar PV Supply Chains* 2022; Emilsson & Dahllöf 2019; PNAS Nexus 2023 (Llamas-Orozco et al.); Peiseler et al. 2024 (*Nature Communications*). L'incertezza nelle stime di intensità è circa $\pm 25-30\%$. Le cifre includono le emissioni da combustione lungo la filiera; il carbonio associato alle materie prime petrolchimiche (resine epossidiche, isolamento dei cavi, rivestimenti posteriori, lubrificanti) non è incluso e probabilmente aggiunge un ulteriore 5-12% ai valori mostrati. La figura delle proiezioni applica la "baseline tecnologica congelata" introdotta in Pielke, Wigley & Green, *Nature* 452, 531 (2008) – con intensità di produzione mantenuta ai livelli del 2024 – a tre scenari di diffusione della IEA: *Stated Policies* (WEO 2025), *Net Zero Emissions* e una semplice estensione della traiettoria attuale. I confronti tra emissioni nazionali derivano da EDGAR 2025 e IEA *CO₂ Emissions in 2023*. Dati di capacità: IEA-PVPS/IRENA (solare); GWEC/WWEA (eolico); IEA *Global EV Outlook* 2024 (batterie).

[7] Per alcuni può essere scomodo riconoscere che l'economia globale probabilmente avrà bisogno dei combustibili fossili per il futuro prevedibile – e forse per sempre. La conseguenza è che, per raggiungere qualsiasi obiettivo di neutralità climatica, saranno necessariamente richiesti progressi nelle tecnologie di cattura e stoccaggio del carbonio e nella cattura diretta dall'aria. Sarebbe interessante sviluppare scenari che quantifichino la dimensione necessaria di questa base fossile sotto diverse ipotesi di progresso tecnologico. La mia ipotesi è che riduzioni delle emissioni di CO₂ del 70-80% rispetto ai livelli attuali potrebbero essere raggiunte mantenendo una base fossile necessaria, lasciando comunque una quota significativa di emissioni che la società dovrebbe scegliere di rimuovere per raggiungere lo zero netto. Ma è solo una stima – per un futuro articolo!

L'energia nucleare nel mondo

L'energia nucleare fornisce oggi nel mondo circa il 9% dell'elettricità attraverso 415 reattori nucleari, in funzione in 31 Paesi. Altri 30 Paesi hanno avviato il percorso che li porterà a costruire la propria prima centrale nucleare per la generazione di elettricità. Il nucleare è quindi la seconda fonte di energia elettrica e rappresenta oltre un quarto dell'elettricità generata senza l'utilizzo dei combustibili fossili. 23 reattori nucleari hanno sospeso l'attività in attesa di aggiornamenti, in particolare in Giappone, 19 reattori sono ancora fermi dopo l'incidente di Fukushima del 2011. Inoltre, circa 50 paesi utilizzano l'energia nucleare in oltre 220 reattori di ricerca, utilizzati per lo studio, l'addestramento del personale e per la produzione di isotopi per il settore sanitario ed industriale. Fonte <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx> aggiornata all'aprile 2026.

Reattori in funzione

415 390,471 MWe

Reattori con operazioni sospese

23 19,687 MWe

Reattori in costruzione

72 75,474 MWe

Il settore civile dell'energia nucleare, per la generazione elettrica, ha accumulato nei decenni una esperienza di oltre 20.000 anni reattore; oggi sono in funzione impianti nucleari in 31 nazioni, ma altre nazioni, come ad esempio l'Italia e la Danimarca, dipendono dall'importazione di energia elettrica generata dal nucleare nei paesi confinanti. Altre trenta nazioni hanno avviato il percorso che le porterà nel prossimo futuro a costruire il loro primo impianto nucleare. L'industria nucleare è oggi integrata a livello internazionale ed un reattore in costruzione in un paese può avere componenti ed uranio che provengono da molte differenti nazioni.

Nel 2024 le centrali nucleari hanno fornito 2667 TWh di elettricità, con una piccola crescita rispetto ai 2601 TWh del 2023. Le tecnologie nucleari sono inoltre impiegate in numerosi settori civili, industriali, sanitario, di ricerca, di esplorazione spaziale, diversi dalla generazione di energia elettrica.

Per quattordici nazioni, nel 2024, il nucleare ha generato oltre un quarto del fabbisogno elettrico, per la Francia oltre il 70%, per l'Ucraina, la Slovacchia e l'Ungheria oltre la metà. Il Giappone, che in passato si affidava al nucleare per circa un quarto del fabbisogno elettrico, conta di tornare presto a quei livelli, dopo i miglioramenti realizzati nei propri impianti a seguito del terremoto e maremoto di Tohoku del 2011 e del conseguente incidente a Fukushima.

Nel mondo vi è una chiara necessità di costruire

nuovi reattori nucleari, per rimpiazzare vecchi impianti nucleari ma soprattutto a carbone o a gas, e per coprire la crescente domanda di elettricità in molti paesi. Nel 2023 una alleanza di 22 Paesi prese l'impegno a triplicare la potenza installata dei reattori nucleari entro il 2050; a tale alleanza hanno aderito altre dieci nazioni. Nel 2025 il 60% dell'elettricità mondiale è stata generata attraverso l'utilizzo dei combustibili fossili; era il 66,5% nel 2005 e nonostante i costosi incentivi per le nuove fonti rinnovabili intermittenti, poco è cambiato nei passati 20 anni.

Secondo le previsioni dell'International Energy Agency pubblicate nel suo *World Energy Outlook 2025* la potenza nucleare installata nel mondo dovrebbe più che raddoppiare entro il 2050, raggiungendo i 1079 GWe, nello scenario più ottimista. Certamente, se vediamo dove si stanno costruendo nuovi reattori nucleari, possiamo dire che il maggior contributo verrà dalla Cina, seguita dalla Russia e dall'India; mentre l'Occidente sta ancora procedendo troppo lentamente per adeguare la propria industria nucleare ad un tale ambizioso obiettivo.

Nel frattempo le prestazioni dei reattori nucleari sono nettamente migliorate nel corso dei decenni, superando una disponibilità dell'80% della loro potenza massima; risultato che non è influenzato dai loro invecchiamento. La durata dell'attività di molti reattori, è stata allungata dai 40 anni previsti al momento della loro costruzione, a 60 e fino ad 80 anni, che è la durata presunta per i nuovi reattori di Terza+ Generazione oggi in costruzione.

Nuovi Paesi che si dotano di reattori nucleari

Il Bangladesh, la Turchia e l'Egitto sono tra i nuovi Paesi che stanno costruendo la loro prima centrale nucleare; seguiti da altre 27 nazioni, mentre altre 20 stanno considerando l'ipotesi di inserire il nucleare nel futuro mix di generazione elettrica. Più concretamente:

- Hanno avviato la costruzione: Bangladesh, Egitto e Turchia.
- Hanno approvato, finanziato e preso un concreto impegno per una costruzione che si completerà entro i prossimi 15 anni: Kazakistan, Polonia, Uzbekistan e Vietnam.
- Stanno elaborando un programma nucleare specifico, esaminando anche i possibili siti di costruzione, ma senza alcuna previsione dei tempi di realizzazione: Algeria, Azerbaigian, Croazia, El Salvador, Etiopia, Ghana, Giordania, Kenya, Laos, Lituania, Malesia, Marocco, Myanmar, Nigeria, Norvegia, Filippine, Ruanda, Sri Lanka, Serbia, Singapore, Sudan e Thailandia.

È evidente che per arrivare a triplicare la potenza nucleare installata nel mondo c'è ancora molto lavoro da fare. Anche perché le reti elettriche di questi Paesi devono essere adeguate agli impianti nucleari, che in genere hanno potenze superiori a quelle de-

L'energia nucleare nel mondo (2025) (fonte: IAEA PRIS)

COUNTRY	NUCLEAR ELECTRICITY GENERATION		REACTORS OPERABLE		REACTORS UNDER CONSTRUCTION		REACTORS PLANNED		REACTORS PROPOSED	
	TWh	%	No.	MWe	No.	MWe	No.	MWe	No.	MWe
Argentina	10.4	7.4	3	1641	1	29	0	0	4	1200
Armenia	2.6	30.8	1	416	0	0	0	0	1	1060
Bangladesh	0	0	0	0	2	2400	0	0	2	2400
Belarus	14.7	36.3	2	2220	0	0	0	0	0	0
Belgium	29.7	41.5	2	2056	0	0	0	0	0	0
Brazil †	14.9	2.3	2	1884	1	1405	0	0	0	0
Bulgaria	15.1	41.6	2	2006	0	0	2	2500	0	0
Canada	81.2	13.4	17	12,714	0	0	2	400	12	6400
China	417.5	4.7	61	60,289	39	44,176	41	46,931	144	171,875
Czech Republic	28.0	40.2	6	4212	0	0	3	2570	4	3340
Egypt	0	0	0	0	4	4800	0	0	0	0
Estonia	0	0	0	0	0	0	0	0	2	600
Finland	31.1	39.1	5	4369	0	0	0	0	0	0
France	364.4	67.3	57	63,000	0	0	2	3300	4	6600
Hungary	15.2	47.1	4	1916	1	1200	1	1200	0	0
India	49.9	3.3	24	7943	8	6600	14	8275	26	30,800
Indonesia	0	0	0	0	0	0	0	0	2	500
Iran	6.4	1.7	1	915	1	1057	2	1417	4	5000
Japan †	84.9	8.0	33	31,679	2	2756	0	0	1	1385
Kazakhstan	0	0	0	0	0	0	2	2400	2	2400
Korea RO (South)	179.4	31.7	26	25,609	3	4200	1	1400	0	0
Mexico	12.0	4.8	2	1552	0	0	0	0	0	0
Netherlands	3.4	2.8	1	482	0	0	0	0	2	2650
Pakistan	22.8	16.7	6	3262	1	1100	0	0	0	0
Poland	0	0	0	0	0	0	7	4950	22	8800
Romania	10.0	19.8	2	1300	0	0	8	1902	0	0
Russia	202.1	17.8	34	27,870	7	5444	23	21,000	9	754
Saudi Arabia	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2800
Slovakia	17.0	60.6	5	2302	1	471	0	0	1	1200
Slovenia	5.6	35.0	1	696	0	0	0	0	1	1200
South Africa	7.8	3.9	2	1854	0	0	0	0	2	2500
Spain	52.1	19.9	7	7123	0	0	0	0	0	0
Sweden	48.7	29.1	6	7008	0	0	5	1500	8	4300
Switzerland	23.0	28.6	4	2973	0	0	0	0	0	0
Turkey	0	0	0	0	4	4800	0	0	8	9600
Ukraine † ‡	49.9	52.0	15	13,107	2	1900	2	2500	7	8750
UAE	36.5	21.8	4	5348	0	0	0	0	0	0
United Kingdom	37.3	12.3	9	5883	2	3440	3	3830	16	2740
USA	781.9	18.2	94	96,952	0	0	0	0	25	7540
Uzbekistan	0	0	0	0	0	0	4	2110	0	0
Vietnam	0	0	0	0	0	0	2	2400	0	0
WORLD*	2667	c. 9%	438	400,581	79	85,778	124	110,585	311	286,394

Operable = Connected to the grid. Under Construction = First concrete for reactor poured, keel laying for floating plants.

Planned = Approvals, funding or commitment in place, mostly expected to be in operation within the next 15 years.

Proposed = Specific programme or site proposals; timing very uncertain.

* World figures include Taiwan, which generated a total of 11.7 TWh from nuclear in 2024 (accounting for 4.6% of Taiwan's total electricity generation). The island's last reactor was shut down in May 2025.

† Under Construction figures include a number of units where construction is currently suspended: Angra 3 (Brazil); Ohma 1 and Shimane 3 (Japan); Khmelnytskyi 3&4 (Ukraine).

‡ Ukraine 2024 electricity generation estimated.

gli impianti a carbone o a gas che dovrebbero sostituire in futuro. Inoltre, non è ipotizzabile che gli impianti nucleari possano fornire più del 10-15 per cento del fabbisogno elettrico a sistemi elettrici che non sarebbero in grado di sopportare il distacco di un grande impianto per manutenzione, sostituzione del combustibile o per un evento imprevisto.

Certamente le nuove nazioni che considerano o avviano programmi nucleari sono attualmente prive di Autorità di controllo, Autorità capaci di valutare ed autorizzare il progetto di un impianto nucleare e delle competenze necessarie per gestire il ciclo del combustibile nucleare. Per questo devono fare affidamento su processi autorizzativi di nazioni esperte come UK, USA, Francia, Russia e Cina. Alcune nazioni come la Cina e la Russia offrono una consulenza completa, la realizzazione di un impianto "chiavi in mano", la gestione degli impianti, la fornitura e gestione del combustibile nucleare, la formazione del personale e delle Agenzie di regolazione e controllo ed anche il finanziamento di gran parte dei costi di costruzione, che verranno poi recuperati dalla vendita dell'energia elettrica generata dai reattori.

Una importante assistenza è fornita dall'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA), che ha sviluppato un percorso in 19 tappe, Pietre Miliari (Milestones), per i Paesi che intendono realizzare un programma nucleare ed anche per realizzare le corrette misure di non-proliferazione (per evitare ogni utilizzo militare). L'IAEA fornisce anche missioni di esperti in grado di valutare il raggiungimento delle varie tappe.

Ugualmente l'Associazione mondiale degli operatori di centrali nucleari, WANO, mette a disposizione l'esperienza accumulata dai propri soci per una revisione preliminare dei programmi per nazioni ed organizzazioni prive di una precedente esperienza nel settore dell'industria nucleare.

Per maggiori informazioni, aggiornate al 20 maggio 2026:

<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/emerging-nuclear-energy-countries> About 35 countries are considering, planning or starting nuclear power programmes.

Ulteriori reattori nucleari

In aggiunta agli impianti nucleari commerciali per la generazione di energia elettrica, sono in funzione nel mondo circa 220 reattori nucleari di ricerca in oltre 50 paesi, ed altri sono in costruzione per addestramento e produzione di isotopi ad uso industriale e medico.

Nuovi reattori connessi alla rete elettrica nel corso del 2026

Reactor name	Grid connection	Net capacity (MWe)	Location
Taipingling 1	2026-02-13	1116	China
San'ao 1	2026-03-12	1117	China

Costruzione di nuovi reattori avviate nel 2026

Reactor name	Grid connection	Net capacity (MWe)	Location
Xuwei 1	2026-01-16	1,116	China
Kursk 2-3	2026-01-31	1,200	Russia
Paks II-1	2026-02-05	1,100	Hungary
Kaiga 5	2026-03-01	630	India
Kaiga 6	2026-03-01	630	India
Taipingling 4	2026-05-10	1,116	China

La propulsione nucleare di navi e sottomarini è in gran parte ristretta alle marine militari, dove ha operato per cinquant'anni con alcune centinaia di reattori. Oggi essi sono impiegati, in Russia, anche per la propulsione di navi rompighiaccio e nella prima centrale nucleare galleggiante già operativa (con due reattori da 32 MWe), nella regione artica di Pevek. (Vedi anche: "La crescita della flotta russa di rompighiaccio", 21^{mo} Secolo scienza e tecnologia, n. 4 del dicembre 2025).

I nuovi reattori nucleari modulari medio piccoli (SMR)

Molte nazioni ed anche industrie private sono impegnate nella realizzazione di Small Modular Reactor, reattori medio-piccoli modulari, le cui componenti possano essere realizzate in serie in officina e poi montate sul posto nella centrale; essi consentono di ridurre notevolmente l'investimento finanziario necessario ed i tempi di costruzione. Si tratta di 85 progetti, molti dei quali sono parte dei nuovi Reattori di Quarta generazione e/o dei reattori veloci e innovativi. Non tutti i progetti arriveranno a termine, ma alcuni saranno realizzati e collegati alla rete entro il 2030 ed un paio sono già operativi (in Cina e Russia). Alcuni di essi hanno anche la caratteristica di bruciare come combustibile parte dei rifiuti radioattivi generati dalla fissione nucleare, riducendo quindi la quantità di rifiuti generati nell'intero ciclo produttivo. Il settore minerario e quello del trasporto marittimo sono particolarmente interessati a questi nuovi reattori, insieme con il settore militare e dell'esplorazione spaziale.

Per la generazione elettrica, è attualmente difficile stabilire la convenienza economica, che dipenderà da numerosi fattori (localizzazione, numero di reattori previsti, ecc.) e sarà valutabile solo quando i primi reattori avranno accumulato alcuni anni di esercizio ed avviato una attività commerciale.

Vedi anche A. Di Pietro, V. Romanello, M. Sepielli, *Il nucleare del futuro è già realtà – SMR, microreattori, Gen-VI*, 21^{mo} Secolo editore.

Il governo belga vuole acquisire la proprietà delle 7 centrali nucleari

Il governo belga ha avviato trattative per acquisire la proprietà diretta dei sette reattori nucleari del Paese, con la sospensione di tutti i lavori di smantellamento e dismissione «per garantire che lo Stato belga mantenga aperte tutte le opzioni».

Engie, la società francese che controlla la compagnia elettrica belga Electrabel, e il governo belga hanno confermato la firma di una Lettera di Intenti relativa alla proposta di transazione proposta che «comprende l'intero ambito delle attività nucleari attualmente possedute e gestite da Engie ed Electrabel e dalle loro affiliate, compreso l'intero parco nucleare di sette reattori, il personale associato, tutte le controllate nucleari, nonché tutte le attività e passività associate, compresi gli obblighi di smantellamento e dismissione».

La dichiarazione congiunta afferma: «Questa iniziativa riflette la decisione strategica del governo belga di assumere la proprietà diretta delle attività nucleari del paese, in linea con la sua ambizione di prolungare il funzionamento dei reattori nucleari esistenti e di sviluppare nuova capacità nucleare in Belgio. In questo modo, il governo belga si assume la responsabilità del futuro energetico a lungo termine del Belgio, con l'obiettivo di costruire un'attività finanziariamente ed economicamente sostenibile che sostenga la sicurezza dell'approvvigionamento, gli obiettivi climatici, la resilienza industriale e la prosperità socio-economica.»

Le due parti intendono «concludere un accordo preliminare entro il 1° ottobre 2026». La lettera di intenti non costituisce un impegno vincolante: il completamento «rimane soggetto, tra l'altro, alla negoziazione e alla stipula di accordi definitivi, nonché alle necessarie approvazioni da parte di terzi e delle autorità di regolamentazione».

La legge federale belga del 31 gennaio 2003 prevedeva la graduale dismissione di tutti e sette i reattori nucleari del Paese. In base a tale politica, Doel 1 e 2 avrebbero dovuto essere messi fuori servizio in occasione del loro 40° anno di esercizio, nel 2015. Tuttavia, la legge è stata modificata nel 2013 e nel 2015 per consentire a Doel 1 e 2 di rimanere in funzione per altri 10 anni. Doel 1 è stato dismesso nel febbraio 2025. Doel 3 è stato chiuso nel settembre 2022 e Tihange 2 alla fine di gennaio 2023. Tihange 1 è stata scollegata dalla rete il 30 settembre 2025. La quinta unità chiusa, Doel 2 nella regione delle Fiandre, è stata messa fuori servizio per l'ultima volta dopo 50 anni di attività e scollegata dalla rete a dicembre 2025.

Anche gli ultimi due reattori in funzione in Belgio – Doel 4 e Tihange 3 – avrebbero dovuto chiudere alla fine del 2025. Tuttavia, in seguito allo scoppio del conflitto tra Russia e Ucraina

nel febbraio 2022, il governo e Electrabel hanno avviato negoziati sulla fattibilità e sulle condizioni per il proseguimento dell'attività dei reattori per altri dieci anni, fino al 2035. È stato raggiunto un accordo definitivo con una ripartizione equilibrata dei rischi: proprietà paritaria di Doel 3 e Tihange 4 tra lo Stato belga ed Engie e trasferimento delle responsabilità relative alle scorie nucleari da Engie allo Stato belga per 15 miliardi di euro (16 miliardi di dollari), pagabili in due rate.

Per il proseguimento dell'esercizio di Doel 4 e Tihange 3, Electrabel ha dovuto presentare un dossier LTO (Long Term Operation) completo, contenente studi di sicurezza e un piano d'azione per aumentare ulteriormente la sicurezza dei reattori più recenti. Questo dossier è stato presentato nel dicembre 2024 per entrambe le unità. Tihange 3 è stata messa fuori servizio il 5 aprile 2025 per una cosiddetta «revisione LTO», un periodo di ispezione e manutenzione approfondita finalizzato al funzionamento sicuro a lungo termine del reattore. Dopo un'analisi approfondita, l'autorità di regolamentazione FANC e la sua filiale tecnica Bel V hanno stabilito che il reattore soddisfa le condizioni per un riavvio sicuro e il PWR da 1020 MWe ha ripreso a funzionare il 10 luglio 2025. Doel 4 è stato messo fuori servizio il 30 giugno per la revisione LTO ed è stato riavviato l'8 ottobre.

Nel febbraio 2025, il nuovo governo di coalizione belga ha annunciato l'intenzione di mantenere in funzione le due centrali per altri 10 anni oltre il 2035. Nel maggio 2025, il Parlamento federale belga ha votato a larga maggioranza l'abrogazione della legge del 2003 che prevedeva l'uscita graduale dal nucleare e il divieto di costruire nuovi impianti di produzione di energia nucleare. Fonte: *World Nuclear News*, 30 aprile 2026



L'impianto di Tihange.

TerraPower avvia la costruzione della «prima centrale nucleare avanzata su scala industriale degli Stati Uniti»

TerraPower ha annunciato l'avvio ufficiale dei lavori di costruzione della sua prima centrale Natrium, l'unità 1 di Kemmerer nel Wyoming. L'azienda presieduta da Bill Gates afferma che l'unità sarà la prima centrale nucleare avanzata su scala industriale degli Stati Uniti.

La tecnologia

Il reattore veloce raffreddato a sodio Natrium da 345 MWe di TerraPower è dotato di un sistema di accumulo di energia a sali fusi che gli consente di aumentare temporaneamente la potenza fino a 500 MWe quando necessario, permettendo all'impianto di seguire le variazioni quotidiane del carico elettrico e di integrarsi con le fonti rinnovabili intermittenti. Il reattore Natrium è una tecnologia sviluppata da TerraPower e GE Vernova Hitachi Nuclear Energy.

Il processo di autorizzazione

TerraPower ha presentato la domanda di autorizzazione alla costruzione alla Commissione per la regolamentazione nucleare (NRC) nel marzo 2024. La NRC aveva stabilito un calendario iniziale di 27 mesi per la revisione, ma questa è stata completata in 18 mesi grazie a una procedura di audizione semplificata.

TerraPower ha avviato i lavori di costruzione della parte non nucleare dell'impianto di Kemmerer, nel Wyoming, nel giugno 2024 e prevede che il progetto, situato nei pressi di una centrale a carbone in fase di dismissione, sarà completato nel 2030. Il progetto è sviluppato nell'ambito del Programma di dimostrazione dei reattori avanzati del Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti.

Chris Levesque, amministratore delegato di TerraPower, ha dichiarato: «Questo è il momento per cui il nostro settore lavora da una generazione. Non stiamo solo aprendo nuovi orizzonti con una centrale nucleare unica nel suo genere nel Wyoming; stiamo costruendo la prossima generazione di infrastrutture energetiche americane. La centrale Natrium fornirà energia affidabile e regolabile alla rete e l'Unità 1 di Kemmerer fungerà da modello

commerciale per mobilitare una flotta di centrali Natrium in tutto il paese e in tutto il mondo.»

Il governatore del Wyoming Mark Gordon ha dichiarato: «L'inizio dei lavori di costruzione della centrale Natrium di TerraPower a Kemmerer segna una tappa fondamentale non solo per il Wyoming, ma per il futuro dell'energia americana. Il Wyoming alimenta da tempo questo Paese e oggi siamo di nuovo all'avanguardia, questa volta nella tecnologia nucleare di nuova generazione. Questo progetto riflette il nostro impegno per un'energia affidabile, posti di lavoro ben retribuiti e un futuro basato sull'innovazione e sui valori del Wyoming.»

Il senatore statunitense John Barrasso ha dichiarato: «In quanto primo produttore nazionale di uranio, il Wyoming è il luogo ideale per costruire il reattore nucleare avanzato di TerraPower».

Dena Volovar, presidente della divisione Nuclear, Security & Environmental di Bechtel, ha affermato: «Bechtel è orgogliosa di collaborare con TerraPower in qualità di appaltatore per la progettazione, l'approvvigionamento e la costruzione del reattore avanzato Natrium. Combinando l'innovazione di TerraPower nel campo dei reattori con i processi, l'esperienza e il modello di esecuzione di Bechtel, realizzeremo questi progetti nucleari in modo coerente, sicuro e su larga scala. Grazie all'utilizzo dei più recenti strumenti digitali e sistemi di gestione dei progetti, Bechtel è in una posizione privilegiata per realizzare il primo impianto Natrium della nazione con efficienza e certezza di esecuzione».

Il cofondatore di Microsoft Bill Gates è presidente di TerraPower dal 2006. A gennaio il gigante dei social media Meta ha annunciato che i suoi futuri piani in materia di energia nucleare includevano finanziamenti a sostegno dello sviluppo negli Stati Uniti di un massimo di otto reattori veloci al sodio Natrium: due nuove unità in grado di generare fino a 690 MW di energia stabile con consegna già nel 2032, oltre ai diritti per l'energia proveniente da un massimo di altre sei unità Natrium in grado di produrre 2,1 GW e la cui consegna è prevista entro il 2035. A febbraio il reattore Natrium è stato ammesso al processo di Generic Design Assessment del Regno Unito.

Fonte: *World Nuclear News*, 23 aprile 2026

Caricato il combustibile nella prima centrale nucleare del Bangladesh

In Bangladesh si è tenuta a fine aprile una cerimonia per celebrare l'inizio del caricamento di 163 elementi combustibili nella prima unità della centrale nucleare di Rooppur. La cerimonia per celebrare il caricamento del combustibile è stata trasmessa in diretta streaming.

Il caricamento del combustibile nucleare in un nuovo reattore è un momento cruciale nella costruzione di qualsiasi nuovo reattore nucleare. Si tratta della prima fase della procedura di avvio dell'unità e, secondo quanto riportato dalla stampa del Bangladesh, richiederà circa 45 giorni per essere completata. Il passo successivo vedrà il reattore portato a un livello minimo di potenza controllabile, per effettuare controlli e test prima che il livello venga aumentato gradualmente.

Fakir Mahbub Anam, ministro della Scienza e della Tecnologia, ha dichiarato: «L'uso pacifico dell'energia nucleare svolgerà un ruolo fondamentale nel garantire la sicurezza energetica nazionale, accelerare l'industrializzazione e promuovere lo sviluppo di un'economia basata sulla tecnologia. Il progetto della centrale nucleare di Rooppur rappresenta un simbolo del progresso scientifico del Bangladesh e dimostra la volontà e la capacità del Paese di sfruttare in modo responsabile ed efficace le tecnologie avanzate».

Il direttore generale di Rosatom, la società russa che ha realizzato l'impianto, Alexei Likhachev, ha dichiarato: «Oggi il Bangladesh è entrato a far parte del club dei paesi che utilizzano l'energia nucleare a fini pacifici come fonte affidabile di sviluppo sostenibile. La centrale nucleare di Rooppur diventerà senza dubbio un elemento vitale del sistema energetico del paese. Per Rosatom, questo progetto rappresenta un altro passo importante nello sviluppo dell'energia nucleare a livello globale e nel rafforzamento delle relazioni amichevoli con i nostri partner internazionali».

Nel febbraio 2011, la società russa Rosatom firmò un accordo per la costruzione di due reattori a Rooppur, a circa 160 chilometri dalla capitale Dhaka, per conto della Commissione per l'energia atomica del Bangladesh. Il contratto iniziale per il progetto, del valore di 12,65 miliardi di dollari, è stato firmato nel dicembre 2015. La Russian Bank for Development and Foreign Economic Affairs ha finanziato il 90% del progetto; il

prestito verrà restituito in rubli o yen cinesi, nell'arco di 28 anni, posposti di dieci anni dall'avvio del progetto. Il contratto è del tipo "chiavi in mano" e comprende addestramento del personale ed il combustibile nucleare per i primi anni di funzionamento. All'addestramento parteciperà anche il Global Centre for Nuclear Energy Partnership (GCNEP) dell'India, sostenuto dalla Russia e con la partecipazione della IAEA. Rosatom gestirà la centrale nei primi anni di attività, poi passerà la gestione alla Commissione per l'energia atomica del Bangladesh (BAEC). L'Autorità di regolamentazione atomica del Bangladesh ha rilasciato la prima licenza per il sito dell'impianto di Rooppur nel giugno 2016, consentendo l'avvio dei lavori preliminari, comprese le indagini geologiche. La costruzione della prima unità è iniziata nel novembre 2017. La costruzione della seconda unità è iniziata nel luglio 2018. L'epidemia di COVID ha rallentato i lavori, allungando di due anni i tempi di realizzazione previsti inizialmente.

I due reattori in costruzione sono VVER-V523, ad acqua in pressione, ed hanno una potenza di circa 1200 MWe l'uno. I reattori hanno un ciclo di vita iniziale di 60 anni, con possibilità di un'ulteriore proroga di 20 anni. La produzione di elettricità in Bangladesh era nel 2023 pari a 101 TWh, di cui 99 TWh da combustibili fossili, 1.3 TWh da energia solare e circa 0.6 TWh da idroelettrico. I consumi elettrici crescono di circa il 7% l'anno. Discussioni sono in corso per la realizzazione di una seconda centrale nucleare, sempre con due reattori, sia con la Russia che con la Cina. Fonte: *World Nuclear News*, 28 aprile 2026



Il sito dell'impianto di Rooppur

Intervista all'ingegnere Ugo Spezia

Dall'eredità di Enrico Fermi alle nuove prospettive per l'energia nucleare

di Franco Battaglia

Nel quadro del *Progetto Manhattan*, alle 15:25 del 2 dicembre 1942, dal reattore che chiamavano *Chicago Pile 1* (CP-1), Enrico Fermi e la sua équipe ottenevano, in condizioni controllate, la prima reazione di fissione nucleare a catena. L'esperimento, che si fece in una palestra di *squash* sotto le tribune dello *Stagg Field*, vecchio stadio di football dell'università di Chicago, segnava l'inizio dell'era nucleare. Di quell'evento parliamo con Ugo Spezia, eclettico e versatile ingegnere nucleare, massimo esperto italiano di sicurezza nucleare e autore, tra molti altri, del volume *"Italia Nucleare: dalla Pila di Fermi al dissesto energetico"*, una perla che narra, con minuziosi dettagli, alcuni ignoti ai più, la storia dell'energia nucleare in Italia.

Ingegnere Spezia, che significato ebbe il lavoro svolto da Enrico Fermi e dalla sua équipe, e quali furono le ricadute?

«L'esperimento di Fermi apriva al genere umano la possibilità di utilizzare l'energia nucleare, dimostrando che era possibile non solo innescare ma, soprattutto, di tenere sotto controllo la fissione nucleare a catena. Le parole-chiave, qui, sono "sotto controllo" e "a catena". I successivi sviluppi conducevano gli Stati Uniti a realizzare prima le bombe atomiche, che avrebbero posto fine alla seconda guerra mondiale, e poi i reattori elettronucleari che avrebbero consentito di sfruttare quell'energia per scopi pacifici.

Lo sviluppo del nucleare civile ebbe inizio proprio a partire dall'esperimento di Fermi, con la realizzazione dei primi reattori sperimentali funzionanti sui principi della CP-1. Nel 1945 sorgevano a Pasco (Washington) gli stabilimenti della *Hanford Engineer Work*, la cui gestione fu assunta nel 1946 dalla *General Electric*, che sviluppava il reattore ad acqua bollente (BWR). Sempre nel 1945, la Marina americana avviava il programma per lo sviluppo della propulsione nucleare navale, che portò la Westinghouse a sviluppare il reattore ad acqua in pressione (PWR). Con l'iniziativa *"Atoms for Peace"*, avviata nel 1953 dal presidente Eisenhower, i reattori progettati negli USA venivano esportati in tutto il mondo».

Oggi *Atoms for Peace* è solo un gruppo rock sperimentale americano...

«Già. Un po' triste...»

All'epoca, che risonanza ebbero le attività svolte da Fermi?

«Nel 1938 Fermi era stato insignito del Nobel ed era uno tra i maggiori fisici del mondo. Ma, per motivi di segretezza, i suoi studi furono divulgati solo dopo la fine della guerra. Il primo resoconto dell'esperimento sulla CP-1 fu pubblicato nel 1946 da chi curava le pubbliche relazioni del *Progetto Manhattan*. Fino ad allora, a Fermi e ai suoi colleghi era vietato parlare del loro lavoro anche in famiglia. La sera stessa dell'esperimento sulla CP-1, Fermi aveva invitato a casa alcuni colleghi. La moglie Laura, non ca-

pendo perché costoro, entrando in casa, si congratulassero con il marito, ne chiese ragione a Leona Marshall, unica donna dell'équipe. La risposta fu: *"Credo che oggi Fermi abbia affondato un ammiraglio giapponese"*.

Nel settembre 1944 diventava cittadino americano e nel luglio del 1945, dopo una parentesi trascorsa presso i laboratori di Los Alamos (New Mexico), Fermi si trasferiva nuovamente a Chicago per riprendere l'insegnamento all'università. Nel 1946 riceveva dal presidente Truman la *Medal for Merit*, massima decorazione americana al valor civile. Nel 1947 all'esterno dello *Stagg Field* veniva apposta una targa commemorativa dello storico esperimento. Quando nel 1967 lo *Stagg Field* fu abbattuto, nel luogo dove era sorta la CP-1 veniva collocata un'opera di Henry Moore intitolata *"Nuclear energy"*, accanto alla quale c'è tuttora la prima targa del 1947.

Il nome di Enrico Fermi fu associato anche agli episodi di spionaggio nucleare che caratterizzarono la guerra fredda.

Purtroppo sì, ma senza il minimo fondamento. La guerra fredda scatenò una vera e propria caccia alle streghe contro le "spie atomiche": scienziati e tecnici che, lavorando nei centri di ricerca americani e britannici, avrebbero fornito informazioni segrete all'Urss. Ma accanto ai pochissimi casi comprovati, come quelli dei fisici Allan Nunn May e Claus Fuchs, la caccia alle streghe fece anche molte vittime incolpevoli.

Nel 1994, dopo il crollo del muro di Berlino e l'apertura degli archivi del Kgb, un articolo di *Time Magazine* associò agli episodi spionistici anche nomi insospettabili, e tra questi quello di Enrico Fermi. La notizia, ripresa acriticamente dalla stampa nazionale, fece scalpore e causò una vera e propria insurrezione tra i fisici italiani che avevano conosciuto Fermi. La conclusione di un'indagine voluta negli Usa dal presidente Bill Clinton è stata univoca: Fermi fu sempre al di sopra di ogni sospetto.

Come furono accolte in Italia le scoperte di Fermi?

La figura e l'opera di Fermi entravano nell'immaginario collettivo tra i valori di progresso che animavano il dopoguerra e gli anni del boom economico. Fermi era l'idolo di intere generazioni di studenti di fisica e di ingegneria. Egli era tornato brevemente in Italia solo nel settembre del 1949 per partecipare a un congresso a Varenna, sul lago di Como, e la stampa italiana lo accolse come una leggenda vivente. Dopo il congresso, Fermi tenne alcune lezioni a Roma e a Milano, dove fu letteralmente assediato da chi stava avviando i primi progetti nucleari in Italia. Vittorio De Biasi, direttore generale della Edison, lo accompagnò a visitare i neonati laboratori nucleari del CISE a Milano, chiedendogli cosa ne pensasse. Fermi, ancora vincolato al segreto militare, non poteva esprimere valutazioni approfondite. Tornò ancora in Italia nell'estate del 1954 per svolgere alcune lezioni a Varenna, ma era già gravemente malato e, rientrato a Chicago, morì poco dopo. La figura e l'opera di Fermi hanno comunque permeato la nascita e lo sviluppo dei programmi nucleari italiani. Dall'iniziativa della Edison nacque la centrale nucleare di Trino, che fu intitolata proprio ad Enrico Fermi. La maggiore delle centrali nucleari italiane sorse in seguito a Caorso (Piacenza), terra di origine della famiglia Fermi.

Poi vennero la deriva ambientalista e la cancellazione del nucleare italiano...

«Un errore drammatico che vanificava un investimento di 150 mila miliardi di lire storiche, portava alla dissoluzione dell'industria nucleare italiana e ha costretto il paese a spendere altro denaro (cinque miliardi di euro, fino ad ora) per smantellare gli impianti nucleari italiani. Sono impianti che mai hanno prodotto alcun impatto sanitario o ambientale, e che sono stati valutati dall'ONU-IAEA tra i più sicuri al mondo. Le drammatiche conseguenze di quella scelta le viviamo oggi, al centro di una crisi energetica annunciata che ci vede totalmente dipendenti dall'importazione di idrocarburi. L'abbandono dell'energia nucleare ha prodotto anche una progressiva perdita di cultura tecnico-scientifica, che si evidenzia nella sparizione quasi totale degli indirizzi "nucleari" dalle università italiane. Dopo il disastro di Chernobyl, alcuni presidi di scuola "militanti" chiesero addirittura – e ottennero – di cambiare l'intitolazione di alcune scuole che erano state dedicate a Enrico Fermi. Negli anni abbiamo assistito a veri e propri episodi di fanatismo, culminati nel 2012 con la gambizzazione di Roberto Adinolfi, amministratore delegato di Ansaldo Nucleare, il cui unico torto è quello di essere un tecnico nucleare capace».

L'Italia ha abbandonato il nucleare, ma non vi ha rinunciato...

«Infatti: ne ha fatto l'ennesima fonte energetica d'importazione. Il 15% della nostra energia elettrica è d'importazione francese: dalla seconda metà degli anni Novanta importiamo oltre 5 GW elettrici (45 miliardi di kWh l'anno), pagando alla Francia, ogni anno, l'equivalente di un nuovo reattore nucleare. Il primo finanziatore dei programmi nucleari francesi è l'Italia».

Il ministro dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, Pi-

chetto Fratin si è schierato più volte in favore della riapertura dell'opzione nucleare in Italia; il ministro ha però sempre fatto riferimento a reattori di piccola taglia, i cosiddetti Smr (Small modular reactor). A che punto siamo con gli Smr?

«Nel mondo sono in fase di realizzazione due soli progetti di Smr, con evidente carattere di prototipi. Uno, in Cina, è un reattore da 200 MWe (megawatt elettrici), raffreddato a elio. Un altro, in Russia, è un reattore raffreddato a piombo liquido, derivato da quelli impiegati nella propulsione dei rompighiaccio e dei sottomarini nucleari. Bill Gates, poi, sta finanziando il progetto "TerraPower" che punta a realizzare in Wyoming un reattore raffreddato a sodio liquido. Però, nel frattempo, "NuScale", altra startup Usa, sta riconsiderando il progetto a causa del raddoppio dei costi calcolati a preventivo. Tutti gli altri progetti al momento sono solo sulla carta».

E in Italia?

«In Italia sono stati annunciati tre progetti di Smr. Uno da Ansaldo Nucleare che, in base alla sua lunga esperienza industriale, propone un reattore da 125 MWe raffreddato a piombo liquido. Altri due progetti, proposti da "Newcleo", riguardano un reattore da 30 MWe e uno da 200 MWe raffreddati a piombo liquido. Quello di Ansaldo Nucleare deriva dall'evoluzione di un progetto proposto dalla stessa azienda, subito dopo il disastro di Chernobyl, quando si parlava di realizzare nuovi reattori cosiddetti "intrinsecamente sicuri". "Newcleo" è invece una startup creata da un gruppo di tecnici, fisici e ingegneri dalle eccellenti capacità e raggruppa una società di ricerca e sviluppo e una società manifatturiera. Le sue basi di partenza sarebbero ottime, ma senza una vera esperienza industriale in campo nucleare non avendo mai realizzato alcuno di tali impianti».

Ritiene che gli Smr possano realmente semplificare la realizzazione di nuovi impianti nucleari?

«I reattori modulari di piccola taglia godono di indubbi vantaggi costruttivi – quali la rapidità di costruzione dovuta alla modularità e alla prefabbricazione spinta, la potenza ridotta e quindi il ridotto impatto termico – che li rendono inseribili nel territorio più facilmente di quanto non avvenga per i grandi impianti. Sono inoltre concepiti per ampliare gli ambiti applicativi dell'energia nucleare, pensando alla generazione contemporanea di elettricità e di calore, possibilità che li rende idonei ad alimentare grandi complessi industriali e centri urbani di medie dimensioni».

Insomma, la possibilità di fornire ad una città sia l'energia elettrica sia il teleriscaldamento degli edifici. Almeno in teoria: sono, queste, veramente caratteristiche tali da favorire l'accettazione del nucleare?

«Come dice lei, in teoria sì. Ma in pratica non sarei particolarmente ottimista. Considerati gli impieghi, gli Smr dovrebbero essere installati all'interno di aree industriali o in prossimità di centri urbani, e personalmente dubito che il loro inserimento possa essere accettato più facilmente di un qualsiasi altro impianto nucleare».

Occorrerà lavorare molto sul piano della comunicazione e dell'informazione per creare quel consenso che il nucleare ha riscosso da molti anni nei Paesi che ne fanno uso ma che finora in Italia è mancato?

«Scontato il fatto che le resistenze ci sarebbero comunque, bisogna comprendere che in ogni caso si dovrebbero creare le condizioni per la realizzazione innanzitutto di nuovi impianti nucleari di grande taglia. Ormai il mercato nucleare mondiale è presidiato da pochi grandi costrutto-

ri: Francia, Russia, Korea del Sud, USA-Giappone, con l'italiana Ansaldo Nucleare tuttora bene inserita nel contesto internazionale. Costoro offrono "chiavi in mano" – incluso il ciclo del combustibile – impianti della massima taglia possibile, con riferimento alle dimensioni della rete elettrica nella quale sono inseriti. Le grandi dimensioni dell'impianto costituiscono una garanzia di ritorno dell'investimento che, al momento, gli Smr non sono in grado di assicurare. Non a caso il mercato mondiale continua a muoversi in questa direzione: praticamente tutti i reattori in costruzione nel mondo – e si tratta di ben 72 reattori – sono reattori di grande taglia appartenenti alle filiere consolidate. I modelli di Smr finora proposti – e l'Iaea, l'agenzia nucleare dell'Onu, ne ha censiti addirittura una settantina! – sono certamente ottime idee, ma dubito che potranno affermarsi nel breve termine, in quanto non si avvantaggiano delle economie di scala proprie dei grandi reattori, scontano costi del kWh prodotto più elevati, e richiedono lo sviluppo di cicli del combustibile che ancora non esistono.

Le posizioni filonucleari del ministro Pichetto non hanno mancato di sollevare polemiche. Sono polemiche fondate dal punto di vista tecnico?

«Certamente no: motivazioni tecniche non ce ne sono. Si tratta delle stesse posizioni espresse da decenni dagli antinuclearisti, animati da un'opposizione preconcetta che rifiuta sistematicamente di confrontarsi con la realtà. Personalmente ho sperato che le posizioni recentemente assunte dalla Ue sul nucleare facessero emergere anche in campo ambientalista un atteggiamento nuovo, ma in Italia non se ne parla: mentre gli ambientalisti europei si vanno orientando in senso favorevole al nucleare, quelli nostrani continuano a rifiutare l'evidenza dei fatti».

Già. E i fatti dimostrano come l'energia nucleare sia sicura, economica, strategicamente vincente e sostenibile sul piano ambientale.

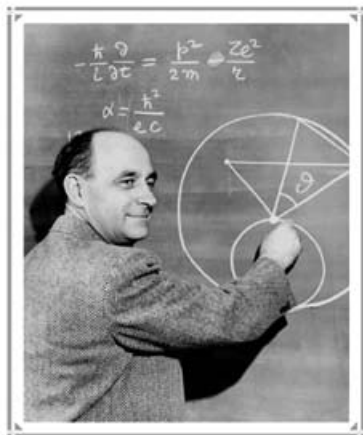
«Sì. E le contraddizioni sono evidenti se solo si pensa al fanatismo ambientalista per la riduzione delle emissioni di CO₂, e, allo stesso tempo, per la opposizione al nucleare, che è privo di emissioni. Le posizioni antinucleari sono ampiamente smentite dalla realtà: la Iaea prevede che il numero dei reattori nucleari installati nel mondo raddoppierà entro il 2050, e si può credere a questa previsione, visto che per realizzarsi è sufficiente, da solo, il programma nucleare avviato dalla Cina.

Insomma, si tratta della solita opposizione ideologica dei soliti Verdi...

«Non potrei definirla altrimenti, ma non ci sono solo i Verdi. Un ex-deputato del M5S, che continua a trovare ospitalità sulla stampa, ha usato, con encomiabile sprezzo del ridicolo, aggettivi quali "folle", "insensato" e "surreale", parlando di "un bluff per distribuire soldi agli amici degli amici" e chiamando a raccolta Pd, M5S, Verdi e +Europa, oltre che "gli scienziati", per una nuova crociata antinucleare, così rivelando di avere in mente un modello socio-economico che non esiste. Non è più lo Stato a decidere quali e quanti impianti elettrici costruire: in un mercato liberalizzato, a decidere se investire su nuovi impianti elettrici – nucleari o di altro tipo – è l'industria elettrica. La classe politica ha solo il dovere di creare le condizioni normative perché quella scelta possa essere esercitata liberamente e non sia impropriamente condizionata. Le crociate non servono: se fosse vero che il nucleare, di piccola o di grande taglia, non è competitivo, quale utility sarebbe tanto folle da sprecarci tempo e denaro?

(dal quotidiano *La Verità*)

UGO SPEZIA

ITALIA NUCLEARE**DALLA PILA DI FERMI
AL DISSESTO ENERGETICO**COLLANA STORIA DELLA SCIENZA
21^{mo} SECOLO

Ugo Spezia

ITALIA NUCLEARE**Dalla Pila di Fermi al dissesto
energetico**

576 pagine Euro 30,00

ISBN 978-88-87731-43-9

INDICE

L'inizio della storia: Enrico Fermi e la "Chicago Pile 1" - L'esperimento del 2 dicembre 1942 - L'Italia e lo spionaggio nucleare - Gli anni dell'entusiasmo: il CISE e il CNRN - Dalla conferenza di Ginevra al CNEN - Dall'entusiasmo alla stasi - Le crisi petrolifere e la pianificazione energetica - Da Caorso a Montalto di Castro - La "Sindrome cinese" e Three Mile Island - Il disastro di Chernobyl - La Conferenza Nazionale sull'energia dell'87 - La cancellazione del programma nucleare - Reattori avanzati, evolutivi e innovativi - La riflessione nei paesi industriali - L'Italia e il business degli idrocarburi - L'integralismo ambientalista - Gli esiti del nucleare in Italia - La guardia al bidone - L'Italia ed il ritorno al nucleare - Il nucleare dopo Fukushima - Il dissesto del sistema elettrico - Un futuro da costruire.

Le indecisioni che hanno caratterizzato lo sviluppo dell'energia nucleare in Italia hanno finito col penalizzare gravemente l'evoluzione del sistema energetico del Paese fino a portarlo all'attuale situazione di dissesto economico: 90 miliardi di euro è la somma complessiva che nel 2022 l'Italia pagherà all'estero per l'importazione di fonti energetiche e di elettricità, mentre le famiglie e le imprese italiane già pagano il chilowattora più caro del mondo. I ripensamenti che hanno azzerato il sistema nucleare italiano, vanificando ingenti investimenti in tecnologia, know-how e capitale umano, sono ripercorsi attraverso la cronistoria degli avvenimenti succedutisi dall'immediato dopoguerra ad oggi: l'avvio e lo sviluppo delle iniziative industriali, con la nascita del CISE e la realizzazione delle prime tre centrali nucleari; la creazione del CNRN e la progressiva dispersione degli obiettivi della ricerca; la nazionalizzazione dell'industria elettrica e il "caso Ippolito"; le corrottele legate al business del petrolio e i fallimenti della pianificazione energetica; la nascita del movimento antinucleare, la demagogia e l'abdicazione della politica; la cancellazione dei programmi nucleari dopo gli eventi di Chernobyl e Fukushima, il disinteresse e l'abbandono di ogni forma di governo del settore energetico. Un insieme impressionante di errori dai quali è indispensabile

ripartire con consapevolezza per ricostruire su nuove basi l'equilibrio energetico del Paese.

Ugo Spezia, ingegnere nucleare, dirigente industriale, giornalista e saggista scientifico, è autore di numerose pubblicazioni di carattere scientifico e divulgativo. È membro della European Academy of Sciences and Arts, operante sotto l'egida dell'Unione Europea, della Società Italiana per il Progresso delle Scienze, fondata nel 1839, e dell'associazione scientifica "Galileo 2001 per la libertà e la dignità della scienza", il cui manifesto è stato insignito da Carlo Azeglio Ciampi dell'Alto patronato della Presidenza della Repubblica. Dal 1987 al 2010 è stato Segretario generale del Forum Italiano dell'Energia Nucleare (FIEN), dell'Associazione Nazionale di Ingegneria Nucleare (ANDIN), della Società Nucleare Italiana (SNI) e dell'Associazione Italiana Nucleare (AIN). È stato inoltre membro della giunta esecutiva del Forum Atomico Europeo (FORATOM).

21mo Secolo Scienza e tecnologia - Via Ludovico di Breme 18 - 20156 Milano
Tel 0233408361 - 3357600520
robertoirsut@21mosecolo.it

A distanza di vent'anni dall'uscita del documentario che gli valse il premio Nobel per la pace

La “scomoda verità” di Al Gore sul clima era una comoda bugia

di Bjørn Lomborg *

Nel maggio 2006 usciva il documentario dell'ex vicepresidente Usa, Al Gore, *An Inconvenient Truth* che portò il cambiamento climatico al centro dell'attenzione globale. Con immagini drammatiche e previsioni allarmanti, trasformò una questione di nicchia in una crisi da prima pagina, influenzando i leader dei paesi ricchi, le élite internazionali e ispirando un'intera generazione di attivisti.

Vent'anni dopo, c'è abbastanza distanza per riflettere non solo sull'impatto del film, ma anche sulla sua accuratezza. Molte delle previsioni più catastrofiche di Gore non si sono avverate, mentre le politiche che il film ha contribuito a ispirare si sono rivelate profondamente sbagliate.

Le previsioni sbagliate di Al Gore sugli uragani

La tesi centrale del documentario era che il cambiamento climatico stesse provocando disastri sempre più gravi, come alluvioni, siccità, tempeste e incendi. Eppure, nell'ultimo secolo, mentre la popolazione mondiale quadruplicava, le morti causate da questi disastri climatici sono crollate. Negli anni Venti del Novecento morivano in media quasi mezzo milione di persone l'anno; oggi il numero è inferiore a 10.000, una riduzione di oltre il 97 per cento. Società più ricche e più avanzate ci hanno reso enormemente più sicuri, dimostrando che adattamento e resilienza funzionano molto meglio di quanto suggerisca l'allarmismo.

Il film sosteneva che il cambiamento climatico avrebbe provocato uragani più frequenti e più violenti. Ma i dati globali mostrano in realtà un lieve calo sia della frequenza degli uragani sia della loro energia complessiva da quando esistono rilevazioni satellitari complete, a partire dal 1980.

Gli incendi seguono uno schema simile. Secondo i dati della NASA, la superficie globale brucia-

ta ogni anno è diminuita di oltre il 25 per cento nell'ultimo quarto di secolo. Negli Stati Uniti gli ultimi anni hanno visto incendi di grandi dimensioni a causa della cattiva gestione forestale, ma l'epoca del Dust Bowl negli anni Trenta fu cinque volte peggiore. E gli incendi sono diminuiti in tutti gli altri continenti.

Il film usava gli orsi polari come simbolo dell'imminente collasso ecologico, suggerendo che stessero annegando a causa dello scioglimento dei ghiacci. In realtà, la popolazione degli orsi polari è più che raddoppiata, passando da circa 12.000 esemplari negli anni Sessanta a oltre 26.000 oggi. La principale minaccia storica era la caccia, non il cambiamento climatico, e le affermazioni di Gore, vent'anni dopo, si sono semplicemente rivelate false.

Le ricette facili proposte da Al Gore non erano facili

L'appello all'azione lanciato da Gore ha spinto politiche molto costose di riduzione delle emissioni. Eppure il consumo di combustibili fossili continua a crescere, perché energia economica e affidabile resta il motore della crescita economica, e le emissioni globali hanno registrato livelli record quasi ogni anno dal 2006.

Siamo ben lontani da una vera transizione verde. Nel 2006 il mondo otteneva l'82,6 per cento della sua energia totale – non solo dell'elettricità – dai combustibili fossili, secondo l'Agenzia internazionale dell'energia. Nel 2023, ultimo anno con dati disponibili, la quota era ancora dell'81,1 per cento. Con questo ritmo, servirebbero più di sei secoli per arrivare a zero. Eppure il messaggio di Gore era esplicito: le soluzioni climatiche esistevano già, bastava la volontà politica dei paesi ricchi per applicarle rapidamente e con decisione.

Quanto costano le politiche climatiche globali

Sebbene il solare e l'eolico siano diventati molto più economici, restano tecnologie intrinsecamente intermittenti: producono energia solo quando c'è sole o vento. Le società moderne hanno bisogno di elettricità affidabile ventiquattr'ore su ventiquat-

* Professore associato alla Copenhagen Business School, Autore dei libri *The Skeptical Environmentalist* (1998) e *Falso Allarme – Perché il catastrofismo climatico ci rende più poveri e non aiuta il pianeta* (2024). Articolo pubblicato su *Tempi* il 24 maggio 2026

tro, il che richiede grandi impianti di riserva, generalmente alimentati da combustibili fossili. Molti pensano che le batterie possano svolgere un ruolo decisivo, ma quasi ovunque le riserve disponibili coprono appena poche decine di minuti.

Il risultato è che finiamo per pagare due volte: una per le rinnovabili e una seconda volta per le infrastrutture di backup necessarie a garantire continuità. Il film ignorava deliberatamente queste realtà ingegneristiche ed economiche.

Dal 2006 il costo globale delle politiche climatiche mondiali ha superato i 16 trilioni di dollari. Solo negli Stati Uniti, l'*Inflation Reduction Act* ha

riversato centinaia di miliardi nelle tecnologie verdi. Eppure le emissioni continuano a crescere, perché gli sforzi del mondo ricco ignorano il fatto che i paesi in via di sviluppo hanno bisogno di energia economica e affidabile per ridurre la povertà.

I paesi ricchi rappresentano appena il 13 per cento delle emissioni future del XXI secolo. Il resto arriverà soprattutto da Cina, India e Africa. Anche se tutti i paesi sviluppati raggiungessero lo zero netto (di emissioni) entro metà secolo, l'effetto sarebbe inferiore a 0,1 °C di riscaldamento evitato entro il 2100, secondo gli stessi modelli climatici dell'Onu.

Ugo Spezia

PAR TERA E PAR MAR

Dodici secoli di viaggi e imprese
dei cittadini della Serenissima

440 pagine Euro 50,00
ISBN 978-88-87731-91-0

I viaggi e le imprese compiuti in terra e in mare dai Veneziani sono paradigmatici delle pulsioni economiche, dello spirito di avventura, della forza morale e della determinazione, ma anche delle inclinazioni caratteriali meno nobili; tutti fattori che, dalle invasioni barbariche alla fine del Settecento, portarono prima alla nascita e alla crescita, poi alla consunzione morale e infine all'esaurimento della luminosa parabola della civiltà veneziana. La nuova identità nazionale che si affermò dopo il trasporto a Venezia delle spoglie di San Marco; le devianze che condussero la Quarta crociata alla conquista e al saccheggio delle città cristiane di Zara e Costantinopoli; gli interminabili viaggi, durati trent'anni, compiuti dal Polo nell'Estremo Oriente; la sapiente organizzazione dell'armamento navale veneziano e il presidio delle rotte commerciali; le peregrinazioni e le esplorazioni compiute nelle gelide acque e nelle terre sconosciute dell'Atlantico del Nord; il trasporto via terra dall'Adige al Garda di un'intera flotta da guerra; la circumnavigazione del globo; lo scontro tra gli interessi economici della Cristianità e dell'Islam ottomano culminato nella battaglia navale di Lepanto; la sregolatezza che condusse Casanova al carcere dei Piombi e il genio che gli consentì di evaderne; la corsa senza ritorno di un giovane ufficiale di marina veneziano verso il Polo Nord; sono tutti episodi che svelano l'impronta epica e avventurosa che ha sempre distinto l'animo



dei Veneziani, raccontati attraverso l'uso estensivo delle immagini, con dovizia di particolari e rigore storico.

Ugo Spezia, ingegnere nucleare, dirigente d'industria, giornalista e saggista scientifico, è membro della European Academy of Sciences and Arts di Salisburgo, istituita nel 1990 sotto l'egida della Commissione Europea, e della Società Italiana per il Progresso delle Scienze, fondata nel 1839. È autore di numerose pubblicazioni di carattere scientifico e divulgativo, tra le quali, in ambito storico, *Memorie di terra e d'acqua - Note di storia e cultura del Veneto dalle origini all'unità d'Italia* (3a edizione in quattro volumi, 2017), *Le Chiuse di Quero e di Feltre* (2019), *Feltre città romana* (2020), *La Battaglia di Cornuda* (2021), *Le Vie di Roma nella X Regio* (2022).

21mo Secolo Scienza e tecnologia - Via Ludovico di Breme 18 - 20156 Milano
Tel 0233408361 – 3357600520
robertoirsut@21mosecolo.it

5th Edition

9-11 June 2026
Piacenza, Italy

**THE BIGGEST ITALIAN
EXHIBITION & CONFERENCE
FULLY DEDICATED TO
THE HYDROGEN INDUSTRY**

AMONG THE CONFIRMED EXHIBITORS AT HYDROGEN EXPO 2026



HYDROGEN EXPO GALA DINNER SPONSORS



Faster[®]
easier to connect

Hydrogen-news.

Among the confirmed Supporting Associations



Institutional Patronages



For info and stand bookings:  
Ph. +39 010 5704948 - info@hydrogen-expo.it



THE FIRST ITALIAN EXHIBITION & CONFERENCE DEDICATED TO THE NUCLEAR ENERGY

Fiera certificata
An exhibition audited by



2nd Edition



NUCLEAR
POWER
EXPO

9-11 June
2026
Piacenza
Italy

AMONG THE CONFIRMED EXHIBITORS AT NPE 2026



NPE GALA DINNER SPONSORS



Among the confirmed Supporting Associations



Institutional Patronages



in FOLLOW US



For information: Tel. +39 010 5704948
info@nuclearpower-expo.it - www.nuclearpower-expo.it



I CONSIGLI di FRANCO BATTAGLIA

Si possono ingannare tutti per qualche tempo, qualcuno per sempre, ma non si possono ingannare tutti per sempre. *Leggete...*



ISBN 9788887731903 – euro 20



ISBN 9788887731866 – euro 25

I libri possono essere ordinati singolarmente all'editore oppure in

OFFERTA SPECIALE

I sette volumi al prezzo di
€ **95,00** (anziché € **127,00**)

+ in omaggio, 2 copie della rivista

21° SECOLO
SCIENZA E TECNOLOGIA

+ Spese di spedizione a carico dell'editore



ISBN 9788887731774 – euro 10



ISBN 9788887731859 – euro 20

Invia l'ordine all'editore per email, telefono o WhatsApp:

21° SECOLO Srl

Via Ludovico di Breme 18

20156 Milano

02-33408361 335-7600520

robertoirsut@21mosecolo.it

info@21mosecolo.it

www.21mosecolo.it

Pagamento con bonifico IBAN:

IT08 C010 3001 6620 0000 1065 855

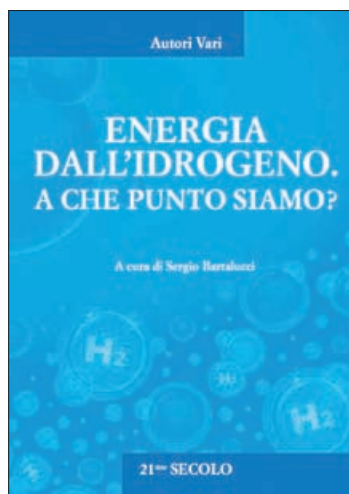
oppure in contrassegno (al postino)

oppure con PayPal

o carta di credito



ISBN 9788887731453 – euro 15



ISBN 9788887731842 – euro 25



ISBN 9788882485627 – euro 12