



LA TRANSIZIONE ENERGETICA E IL RUOLO DELLA CINA

Il testo analizza le sfide globali del XXI secolo, in particolare cambiamento climatico e transizione energetica. Solare ed eolico sono le principali alternative ai combustibili fossili, ma richiedono tecnologie energivore e materie prime strategiche. Grazie a energia a basso costo, investimenti industriali e controllo di silicio e terre rare, la Cina è diventata leader mondiale nelle tecnologie rinnovabili.

Introduzione

L'ingresso nel ventunesimo secolo ha accolto l'umanità con una serie di formidabili sfide planetarie: il cambiamento climatico, l'approvvigionamento energetico, la disponibilità di cibo e acqua, la crescita esponenziale della popolazione sono tra quelle più pressanti. I diversi Paesi della Terra si pongono di fronte a questi problemi con atteggiamenti contrastanti che vanno dalla negazione della loro esistenza alla considerazione responsabile e alla ricerca di potenziali soluzioni. L'assenza di coesione sull'analisi delle cause e sulla volontà di contrastare le conseguenze dei fenomeni citati, è uno dei principali ostacoli alla messa in atto di soluzioni valide. I problemi planetari si possono risolvere solo a livello planetario poiché gli interventi locali sono certamente meritori ma non risolutivi. Questo argomento, ampio ed estremamente complesso, deve essere affrontato, almeno in una fase iniziale, in modo settoriale cercando di capire quali sono le dinamiche che muovono lo svolgersi degli eventi. Un caso emblematico è quello che ha visto lo sviluppo delle tecnologie atte a contrastare il cambiamento climatico e il ruolo che ha svolto la Cina nel contesto. In questo articolo cercherò di inquadrare il problema a partire dalle esigenze tecnologiche per poi analizzare le azioni che hanno portato la Cina ad essere un leader quasi incontrastato del settore.

Cambiamento climatico e transizione energetica.

Come dimostrato da varie fonti è necessario ridurre le emissioni antropiche di CO₂ per contenere il riscaldamento medio della Terra [1-4]. La 21^a Conferenza delle Parti (COP 21) a Parigi nel 2015 ha fissato l'obiettivo di contenimento del riscaldamento globale entro 1,5 °C rispetto al periodo preindustriale (1850-1900). In assenza di interventi mirati, l'aumento medio di 1,5 °C dovrebbe essere raggiun-

to verso il 2040 [4]. Le principali emissioni di CO₂ dalle attività umane derivano dalla produzione di energia mediante combustione di fonti fossili. Per questo da alcuni decenni si sta cercando di sostituire le fonti fossili con fonti rinnovabili. L'energia prodotta dalle varie fonti deve poi essere distribuita fino agli utilizzi finali tramite diversi vettori energetici. Nella Tab. 1 sono riportati i vettori energetici ottenibili direttamente dalle diverse fonti. Va inoltre considerata la possibilità di ottenere a cascata dei vettori da altri vettori. Ad esempio dall'elettricità è possibile ottenere idrogeno mediante elettrolisi dell'acqua e da questo è possibile ottenere metanolo o idrocarburi liquidi mediante idrogenazione della CO₂ (e-fuels) e altre trasformazioni simili si potrebbero citare a compendio di questa tabella, pur specificando che spesso le limitazioni alle possibili trasformazioni sono di natura economica. Se consideriamo le principali tecnologie utili per la sostituzione delle fonti fossili, possiamo fare alcune considerazioni: - il nucleare è una opzione da studiare con attenzione, ma una discussione su questo argomento richiederebbe un articolo dedicato;

FONTI								
VETTORI								
Elettricità	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Calore	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Idrogeno	✓		✓					✓
Metano	✓		✓					✓
Metanolo	✓		✓					✓
Benzina		✓						✓
Jet-fuel	✓	✓	✓					✓
Gasolio	✓	✓	✓					✓

Tab. 1 - Vettori energetici ottenibili direttamente dalle relative fonti

	Solar Thermal (year 2025)	Solar PV (year 2024)
Total installed capacity at the reference year GW	544 th	1600 ^e
Total energy generated in the reference year TWh	443	2136
References	[5]	[6]

Tab. 2 - Capacità totale installata e energia generata negli anni 2024 e 2025 dal solare termico e dal solare PV a livello mondiale

- le biomasse sono attrattive, poiché da queste è possibile ottenere quasi direttamente tutti i vettori energetici di interesse. Il limite delle produzioni agricole per scopo energetico sta nella possibile competizione con le produzioni agricole a scopo alimentare e come detto in apertura, disponibilità di cibo e acqua costituiscono altri problemi planetari tra i più rilevanti. Le produzioni agricole a scopo energetico devono perciò essere limitate all'utilizzo di terreni non idonei per produzioni alimentari. A causa della povertà dei terreni di destinazione la principale difficoltà è l'ottenimento di rese apprezzabili economicamente. Resta aperta e di grande interesse, la possibilità di usare a scopo energetico gli scarti dell'industria agroalimentare così come i rifiuti urbani;
 - l'idroelettrico è sicuramente una fonte rinnovabile interessante, ma limitata alla disponibilità di acqua e di territori che possano essere allagati dalla costruzione di nuove dighe.
- Al di fuori delle considerazioni riportate sopra, le tecnologie di maggiore interesse per la sostituzione delle fonti fossili, sono il solare e l'eolico.

Solare fotovoltaico

L'energia trasmessa dal Sole alla Terra può essere captata e utilizzata come calore (Solare termico) o convertita tramite l'effetto fotovoltaico in elettricità (Solare fotovoltaico). Se consideriamo solo l'efficienza energetica, il solare termico è più efficiente in quanto può produrre rendimenti fino all'80% per generare calore, mentre il solare fotovoltaico ha un'efficienza del 17-25% nella conversione in elettricità. Oggi però il solare fotovoltaico è molto più diffuso del solare termico sia in Italia che nel mondo. La ragione risiede nel fatto che l'elettricità è un vettore energetico più versatile del calore in quanto può essere utilizzata per varie applicazioni domestiche e industriali, per il trasporto ed è più facilmente accumulata, soprattutto attraverso le batterie. La Tab. 2 riporta un confronto tra la diffusione del solare termico (dati 2025) e del solare fotovoltaico (dati 2024). Nel se-

guito, per le ragioni esposte si prenderanno in considerazione gli argomenti legati al solare fotovoltaico. La generazione di elettricità avviene quando la radiazione solare colpisce un materiale semiconduttore cedendo energia agli elettroni più esterni che posso lasciare il materiale ed essere catturati da un conduttore.

I pannelli fotovoltaici svolgono quindi questa azione.

Essi sono costituiti da un supporto strutturale in genere di alluminio che racchiude uno strato superiore trasparente di vetro temperato che protegge le celle da impatti fisici, un foglio di polimero EVA (Etilene-Vinil-Acetato) che avvolge le celle proteggendole da umidità e vibrazioni, dai wafer di silicio monocristallino o policristallino che convertono la luce in elettricità, da un foglio isolante posteriore e da una scatola di giunzione che raccoglie la corrente continua e la trasmette alla linea. La produzione del wafer di silicio di grado fotovoltaico è estremamente onerosa dal punto di vista energetico, infatti il processo produttivo passa attraverso diversi stadi condotti a temperature elevate:

- riduzione del quarzo a Si metallurgico (Si-M) in arco elettrico a 2000 °C;
- reazione del Si-M con acido cloridrico a 300-350 °C per produrre triclorosilano (HSiCl_3) che poi viene distillato per purificarlo;
- il triclorosilano viene trasformato in Si metallico di grado fotovoltaico (Si-PV) mediante deposizione chimica da vapore in presenza di idrogeno a circa 1000 °C (Processo Siemens);
- il Si-PV viene fuso in un crogiuolo di quarzo a 1420 °C, e un seme di cristallo viene inserito e ritirato lentamente per formare un monocristallo da cui si ricavano i wafer (Processo Czochralski);
- oppure il Si-PV viene trasformato mediante il processo di fusione a zone per formare il silicio policristallino.

Tutte queste operazioni sono energivore:

- la produzione di silicio metallurgico richiede 20-30 kWh/kg;
- la produzione di silicio PV col processo Siemens richiede 100 kWh/kg;
- la produzione di silicio solar grade con il processo Czochralski richiede ~300-600 kWh/kg complessivi, considerando purificazione e cristallizzazione.

In generale si assume che per produrre 1 kg di silicio fotovoltaico servano tipicamente circa 300-500 kWh di energia elettrica [7].

Come vedremo più avanti, uno dei motivi per cui sono state fermate le produzioni di Silicio PV in Europa e, in genere, negli Stati occidentali è il costo dell'energia, oltre a quello della mano d'opera. Oggi La Cina copre oltre l'80% della produzione globale di pannelli solari, con una capacità che nel 2025 ha superato i 1.200 GW.

Eolico

L'altra fonte di energia rinnovabile in forte crescita è la generazione eolica [8]. La produzione di elettricità dal vento si può realizzare con due distinte linee tecnologiche. La bassa velocità di rotazione delle pale può essere moltiplicata fino a 100 volte da un moltiplicatore di giri (Gearbox) collegato ad un generatore che produce corrente elettrica. In questo assetto non sono necessarie le terre rare. Alternativamente si può avere produzione di elettricità in assenza di gearbox, in questo caso il rotore delle pale è collegato in presa diretta ad un generatore a magneti permanenti che produce energia elettrica anche a bassi regimi di rotazione. I magneti permanenti più potenti sono quelli costituiti dalla lega NdFeB (neodimio, ferro, boro), a cui, per migliorare le proprietà, vengono aggiunte altre terre rare come il disprosio (Dy) e il terbio (Tb). Entrambe queste soluzioni hanno vantaggi e svantaggi:

- la soluzione con magneti permanenti ha componenti meccaniche ridotte al minimo, per questo il rischio di guasto è molto basso e i costi di manutenzione nel lungo periodo sono contenuti;
- la soluzione (gearbox) senza magneti permanenti ha parecchie componenti meccaniche, perciò il rischio di guasto è elevato e i costi di manutenzione sono alti [9].

Negli impianti on-shore dove i costi per interventi di manutenzione sono più bassi prevalgono i sistemi con gearbox, mentre gli impianti off-shore sono prevalentemente realizzati con magneti permanenti. Questi ultimi si stanno consolidando come standard nell'off-shore e nell'on-shore ad alta efficienza, raggiungendo nel 2025 il 78% della quota di mercato in questo segmento. Come riportato sopra i magneti

permanentemente richiedono l'uso di terre rare il cui mercato globale è controllato dalla Cina per l'80-90% della produzione mondiale, con una quota di estrazione che si aggira intorno al 70-80%.

La crescita cinese e l'impatto sulla transizione energetica

Ho visitato la Cina per la prima volta nel 1990 riportando l'impressione di essere in un Paese del terzo mondo, povero, tecnologicamente arretrato. Le grandi città come Pechino e Shanghai erano sporche e la loro aria quasi irrespirabile a causa dell'utilizzo del carbone e della scarsa qualità dei veicoli circolanti e probabilmente del carburante allora disponibile.

Per capire la grande evoluzione che questa società ha visto in un breve periodo di tempo occorre ripercorrere in estrema sintesi le impostazioni date al governo del Paese dai politici che si sono succeduti dalla uscita di scena di Mao Zedong fino ai giorni nostri (Tab. 3).

Una forte spinta verso lo sviluppo della Cina fu impressa da Deng Xiaoping, che a partire dal 1978 lanciò il modello di "socialismo alla cinese" con una prima apertura all'economia di mercato basata su quattro direttrici: agricoltura, industria, difesa, scienza e tecnologia. Probabilmente da questa impostazione pragmatica è partito lo sviluppo del Paese. Una famosa frase di Deng, passata alla storia fu "Non importa se il gatto è nero o giallo, l'importante è che catturi i topi".

Dal punto di vista energetico la Cina dipendeva totalmente dal carbone, essendo le risorse interne di petrolio e gas scarse e poco sviluppate. Il carbone, assieme all'idroelettrico, ha sostenuto l'economia cinese fino ad oggi, attraverso lo sfrut-

Primi Ministri	Presidenti
• Hua Guofeng (1976–1980): succeduto a Zhou Enlai, fu l'ultimo a ricoprire contemporaneamente le cariche di Primo ministro e Presidente del Partito. • Zhao Ziyang (1980–1987): figura chiave delle riforme economiche degli anni '80. • Li Peng (1987–1998): noto per la linea dura durante le proteste di piazza Tienanmen e per il progetto della Diga delle Tre Gole. • Zhu Rongji (1998–2003): guidò la Cina verso l'ingresso nell'OMC e attuò riforme radicali delle imprese statali. • Wen Jiabao (2003–2013): ricordato per la gestione della crisi finanziaria globale e per il suo stile comunicativo più vicino al popolo. • Li Keqiang (2013–2023): si è concentrato sullo sviluppo della "new economy" e sulla riduzione del debito. • Li Qiang (2023–attuale): è l'attuale Primo ministro, nominato nel marzo 2023.	• Fase di transizione (1976–1983): In questo periodo la carica di "Presidente" non esisteva ufficialmente; le funzioni di Capo dello Stato erano esercitate dal Presidente del Comitato Permanente dell'Assemblea Nazionale del Popolo. • Ye Jianying (1978–1983): Esercì le funzioni cerimoniali di Capo dello Stato. In quegli anni il potere reale era detenuto da Deng Xiaoping, che non fu mai né Presidente né Primo Ministro, ma "Leader supremo" come Presidente della Commissione Militare Centrale. • Li Xiannian (1983–1988): primo Presidente dopo il ripristino della carica con la Costituzione del 1982. • Yang Shangkun (1988–1993): figura storica del partito che guidò il paese durante la transizione economica. • Jiang Zemin (1993–2003): fu il primo a consolidare l'usanza di ricoprire contemporaneamente i tre ruoli chiave (Presidente, Capo del Partito e delle Forze Armate). • Hu Jintao (2003–2013): la sua presidenza fu caratterizzata da una crescita economica record. • Xi Jinping (2013–attuale): nel 2018 ha rimosso il limite dei due mandati presidenziali, permettendogli di rimanere in carica a tempo indeterminato.

Tab. 3 - Primi ministri e presidenti della RPC succedutesi dopo Mao Zedong

 Shanxi – le miniere di carbone più antiche • Fine XIX secolo: prime estrazioni (dinastia Qing) • Anni 1910–30: sfruttamento industriale vero e proprio • 1949–anni '80: enorme espansione sotto la RPC	 Mongolia Interna – il boom moderno • Produzione su larga scala solo dagli anni '80–'90 • Dopo il 2000, miniere a cielo aperto gigantesche • La famosi Haerwusu avviata nei primi anni 2000
 Shaanxi (bacino Shenfu–Dongsheng) Risorse identificate negli anni '70 • Prime miniere: anni '80 • Forte crescita dal 2000 in poi, altamente meccanizzate In produzione da: ~1980, pieno regime dopo 2000	 Xinjiang – le più giovani • Produzione significativa solo dal 2000 • Il mega-bacino di Zhundong: ◦ sviluppo anni 2010 In produzione da: ~2005–2015

Tab. 4 - Principali assets carboniferi cinesi e indicazioni sul loro periodo di sviluppo

tamento delle miniere già note all’epoca e alla scoperta di enormi risorse carbonifere in anni più recenti (Tab. 4) e alla costruzione di enormi dighe.

La disponibilità di grandi quantità di energia a basso prezzo ha spinto diverse applicazioni e soluzioni. Da un lato ha permesso di potenziare l’elettrificazione del Paese che alla fine degli anni Ottanta era ancora scarsa. Ha spinto lo studio di batterie elettriche per sostituire ai veicoli endotermici i veicoli elettrici che hanno consentito, assieme all’elettricità per usi civili, l’abbattimento dell’inquinamento urbano nelle grandi metropoli.

Alla fine degli anni Ottanta, il basso costo dell’energia e della mano d’opera hanno consentito lo sviluppo di prodotti industriali ad alta intensità energetica come i pannelli solari. Le tecnologie occidentali sono state ottimizzate e godendo della competitività economica, hanno spiazzato le produzioni estere rendendo la Cina un produttore quasi monopolista delle tecnologie del fotovoltaico. Analogo pragmatismo è stato applicato alla produzione delle terre rare. Questi elementi sono prodotti con tecniche idrometallurgiche che hanno un pesante impatto ambientale per il rilascio di soluzioni altamente inquinanti. Accanto al principale sito produttivo cinese, gli scarichi di queste attività minerarie hanno generato un grande lago, il lago Baotou, ai confini con la Mongolia, che è il lago più inquinato al mondo [10]. La disponibilità di terre rare ha aperto la via alla produzione di materiali pregiati come di-

Paese	Costo residenziale (\$/kWh)	Costo industriale (\$/kWh)	Anno	Rif.
Cina	0,078	0,117	2025	[12]
Italia	0,353	0,287	2025	[13]
Europa (media)	0,255	0,217	Q1-2026	[14]

Tab. 5 - Costi dell’energia in Cina, Italia ed Europa

verse componenti elettroniche e i magneti permanenti per gli impianti eolici. La Cina ha quindi basato la propria rinascita su interventi molto pesanti dal punto di vista dell’impatto ambientale, che però hanno consentito lo sviluppo delle tecnologie di punta per la produzione dell’energia rinnovabile e ha dato una forte spinta all’elettrificazione e alle applicazioni da queste derivate. Nel 2023 lo share di fornitura energetica in Cina era il seguente: carbone 60,9%, petrolio 18,3%, gas 7,92%, nucleare 2,82%, idroelettrico 2,63%, solare-eolico-altre rinnovabili 4,31%, biomassa e waste 3,16% [11]. Nella Tab. 5 sono riportati a confronto i costi energetici per Cina, Italia e Media europea.

Nel 2024 la Cina ha superato i 1200 GW di rinnovabili installate, anticipando di 6 anni il target che si era posta al 2030. Da quanto riportato fino ad ora si desume la strategia adottata a supporto di questo sviluppo, che si può riassumere in “Prima installa il nuovo e poi rimuovi il vecchio”. L’Europa, stretta in un angolo tra gli sviluppi industriali cinesi sulle tecnologie rinnovabili, sull’elettrico e sulla mobilità e quelle americane sull’IT e sull’intelligenza artificiale, dovrebbe probabilmente riflettere di più sul gatto di Deng Xiaoping.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C.W. Snyder, *Nature*, 2016, **538**, 226.
- [2] S. Schneider, <https://stephenschneider.stanford.edu/Climate/Overview.html>
- [3] Australian Academy of Science: How climate has changed? [https://science.org.au/our-focus/science-everyone/science-climate-change/2-how-has-climate-changed#:~:text=2.-,How%20has%20climate%20changed?,so%20\(Figure%202.1a\)](https://science.org.au/our-focus/science-everyone/science-climate-change/2-how-has-climate-changed#:~:text=2.-,How%20has%20climate%20changed?,so%20(Figure%202.1a))
- [4] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) <https://www.ipcc.ch/sr15/faq/faq-chapter-1/>
- [5] IEA <https://pubs.iea-shc.org/solar-heat-worldwide>
- [6] IEA https://iea-pvps.org/trends_reports/trends-in-pv-applications-2024/
- [7] A. Stoppato, *Energy*, 2008, **33**(2), 224.
- [8] <https://www.iea.org/reports/electricity-2026/supply>
- [9] G. van de Kaa *et al.*, *Technological Forecasting & Social Change*, 2020, **153**, 119933.
- [10] <https://www.lifegate.it/la-dove-nasce-la-tecnologia-e-si-avvelena-la-terra>
- [11] <http://www.iea.org/countries/china>
- [12] <https://www.globalpetrolprices.com/China/electricity.prices/>
- [13] <https://www.globalpetrolprices.com/Italy/>
- [14] https://globalpetrolprices.com/electricity_prices/