

# Il (difficile) cammino verso la decarbonizzazione

di Luciano Celi, Luca Pardi, Stefano Tiribuzi

**Abstract.** Usando un modello sviluppato da uno degli autori (ST) si indaga la possibilità di coprire il fabbisogno energetico italiano dell'anno 2019 con sole fonti elettriche e rinnovabili. L'analisi mostra le potenzialità e le difficoltà della transizione evidenziando la necessità di una riflessione profonda sulla struttura produttiva, energetica, e in ultima analisi politica e sociale del paese.

**Sommario:** Perché la transizione - Energia e potenza - L'energia (la potenza) di cui abbiamo bisogno - La generazione non è tutto - Accumulo circadiano - Sovradimensionamento - Accumulo stagionale - Ridurre e ridistribuire i consumi, migliorare l'efficienza - Conclusioni

**Parole chiave:** decarbonizzazione; transizione energetica

## *Perché la transizione*

In vista dello sciopero per il clima della primavera del 2022, all'interno della nostra associazione (ASPO-Italia), iniziamo a chiederci come avremmo potuto affiancare e aiutare i giovani di *Fridays For Future* a sostenere la loro battaglia, con argomenti tecnicamente utili e non determinati da chiari interessi economici. Questi giovani, a partire da Greta Thunberg, spingono perché si faccia qualcosa per evitare la catastrofe climatica ed ecologica. Il primo punto di ogni iniziativa ambientalista è la transizione energetica, che è il processo trainante della transizione ecologica, che deve condurre in primis alla completa decarbonizzazione del metabolismo sociale ed economico umano.

Ma cosa è necessario fare? E, seconda domanda, come farlo? Secondo alcuni settori dell'opinione pubblica ci sarebbe anche una terza domanda: Perché fare qualcosa? Insomma, i soliti: "cosa, come e perché". A quest'ultima domanda è relativamente facile rispondere. Ci sono tre motivi principali per intraprendere la transizione energetica. Il primo è che le fonti energetiche fossili, che hanno alimentato il sistema industriale mondiale per oltre due secoli, con una sensibile accelerazione nel secondo dopoguerra, sono fonti

non rinnovabili, cioè soggette ad esaurimento. Non stiamo qui a enumerare le evidenze della prossimità del momento critico per tutti i liquidi combustibili, dopo che il picco del petrolio convenzionale è, per ammissione della Agenzia Internazionale per l'Energia, già avvenuto nel 2008.[1] La letteratura scientifica e divulgativa sul tema dell'esaurimento del petrolio, e in genere delle risorse strettamente non rinnovabili, come sono le risorse minerarie, è ormai piuttosto vasta (si vedano ad esempio i riferimenti [2] e [3]). Il secondo motivo è quello della destabilizzazione climatica e tutto quello che essa si porta dietro, in primo luogo la perdita di integrità della biosfera [4]–[6]. La terza motivazione è legata alla necessità dei popoli di aumentare la loro sovranità energetica attingendo alle fonti energetiche presenti sui territori da essi abitati e stabilire un regime di cooperazione internazionale che indebolisca il regime dominante di competizione.<sup>1</sup> Tale regime infatti è spesso, se non sempre, alla base dei conflitti che caratterizzano la storia in generale, e stanno diventando sempre più manifestamente legati al controllo delle materie prime. Il resto di questo scritto si dedica ad elaborare una risposta alle altre due domande: cosa fare e come farlo.

## Energia e potenza

Uno dei maggiori problemi che si incontra cercando di parlare di energia ad un pubblico non specializzato, consiste nella difficoltà di svolgere un tema eminentemente quantitativo, cioè basato sulla misura di grandezze fisiche (in questo caso l'energia) usando appropriate unità di misura, senza perdere l'attenzione di chi legge, o ascolta. Nessuno ha difficoltà ad accettare il fatto che altre grandezze fisiche, altrettanto difficili da definire dell'energia, siano di uso comune e di comune misura. Ognuno di noi misura il tempo, in ore, secondi ecc., usando un orologio; le distanze (cioè lo spazio), in km, metri, millimetri ecc., con dispositivi che vanno, ad esempio, dal contachilometri al calibro; i pesi, in kg, grammi ecc., con una bilancia; e la temperatura, in gradi, con un termometro. Ma nessuno è in grado di dare una definizione semplice di tempo, spazio, peso e temperatura, se non facendo lunghe, e spesso insoddisfacenti, parafrasi. L'energia, come le grandezze citate, non è facile da definire. Tuttavia, come le altre grandezze fisiche, viene misurata usando opportuni dispositivi che restituiscono numeri in determinate unità di misura. Cioè ne determiniamo le quantità coinvolte nei fenomeni fisici che ci interessano. Ad esempio, il contatore elettrico di casa ci fornisce il valore dell'energia consumata in kWh (chilowattora).

In pratica, senza tanti discorsi filosofici su cosa sia l'energia, la definiamo in modo operativo mostrando come si misura. Ad esempio, fissiamo in circa 100 kcal la quantità di energia che serve per scaldare un chilogrammo (circa 1 litro) di acqua distillata da 0 a 100 °C. Ma la caloria, ancora in uso in determinati ambiti (ad esempio l'energetica dell'alimentazione) non è usata né dai fisici né dagli ingegneri che si occupano di energia. L'unità di misura "ufficiale" dell'energia è il Joule (J). Per scaldare quel litro di acqua, portandolo da 0 a 100 °C, ci vogliono circa 420.000 J (420 kJ). Un altro aspetto importante è il tempo che ci vuole per ottenere un certo risultato, ad esempio portare a 100 °C il nostro litro di acqua. Il flusso di energia nel tempo, cioè il numero di Joule di cui abbiamo bisogno ogni secondo per un determinato scopo, si definisce potenza, e la sua unità di misura è, appunto, il Joule per secondo o Watt (1 W = 1 J/s).

$$Potenza (W) = \frac{Energia(J)}{tempo(s)} \quad (1)$$

Se abbiamo un bollitore elettrico da 2 kW (se avete un bollitore elettrico o un piano a induzione la potenza massima è indicata da qualche parte nel manuale di istruzioni), possiamo far bollire l'acqua in tempi più rapidi che con uno da 1 kW. Si deve tener conto anche dell'efficienza con cui il bollitore trasferisce energia al contenitore dell'acqua. Supponiamo di avere un bollitore con un'efficienza del 75%. Questo vuol dire che il dispositivo trasferisce all'acqua il 75% della sua potenza nominale (quella riportata sul manuale d'istruzioni) quindi 1,5 kW. Con questi dati il calcolo è semplice, dalla (1):

$$tempo (s) = \frac{Energia (J)}{Potenza \left(\frac{J}{s}\right)}$$

Quindi;

$$\frac{420.000 J}{1500 J/s} = 280 s$$

Per portare il nostro kg di acqua alla temperatura di 100 °C ci vogliono dunque 280 secondi, poco meno di cinque minuti. A parità di efficienza, con un bollitore con metà, o un decimo, della potenza avremmo bisogno di 10 o 50 minuti rispettivamente. Potenza vuol dire rapidità. È possibile definire una nuova unità di misura dell'energia moltiplicando la potenza del sistema che stiamo usando per il tempo in cui agisce. Una lampadina da 100 W che resta accesa per 1 ora (3.600 secondi) consuma  $3.600 \times 100 = 360$  kJ di energia che definiamo come 100 Wattora (Wh). Il numero di Wh di energia corrispondenti all'uso di un apparato che assorbe (ad esempio la lavatrice), o genera energia elettrica (ad esempio un pannello fotovoltaico) è dato dal prodotto della potenza dell'apparato in Watt per il tempo di utilizzo in ore:

$$Energia (Wh) = Potenza (W) * tempo(ore) \quad (2)$$

Queste sono le unità di misura dell'energia e della potenza, specialmente quando si parla di energia elettrica.

Tutti abbiamo un contratto che limita la massima potenza utilizzabile nell'abitazione familiare, generalmente a 3 kW. È per questo che se utilizziamo contemporaneamente il forno elettrico da 1,5 kW e la lavatrice da 2,0 kW l'interruttore centrale dopo un po' scatta e per riarmarlo dobbiamo spegnere uno dei due elettrodomestici. Dunque, il problema energetico è anche, o è principalmente, un problema di potenza. Cioè di dimensione del flusso di energia nel tempo.

### *L'energia (la potenza) di cui abbiamo bisogno*

Stabiliamo ora di quanta energia abbiamo bisogno e per fare che cosa. Questo è un dato relativamente facile da stimare. Esistono statistiche internazionali e nazionali dalle quali si può estrarre il consumo energetico annuo, paese per paese, per gruppi di paesi (ad esempio per l'Europa) e per il mondo intero. Nella nostra analisi partimmo con un progetto esageratamente ambizioso: dare energia al mondo intero elettrificando tutti gli usi e usando solo Fonti Energetiche Rinnovabili (FER). Il risultato di questo progetto è raccolto in un documento liberamente scaricabile dal sito web di ASPO-Italia [7]. In quel documento ci si fermava a stimare la dimensione degli impianti FER necessari per coprire il fabbisogno di diversi paesi e a fare considerazioni qualitative sulla potenzialità di scambio internazionale e di giustizia energetica. Tutto questo presupponeva che esistessero altre infrastrutture: ad esempio un sistema di distribuzione dell'energia elettrica, che è vero solo per alcuni paesi e, ancora più importante, un sistema di accumulo dell'energia fotovoltaica in esubero nei mesi caldi e carente nei mesi freddi, specialmente nei paesi di latitudine medio alta, dove vive una gran parte della popolazione mondiale. Ci rendemmo conto che l'impresa di fare una stima più precisa necessitava di restringere l'indagine ad un ambito più limitato. Per ovvie ragioni scegliemmo l'Italia. Il risultato dello studio che è scaturito da questa decisione è riportato in un corposo documento, ma non di difficile lettura, edito da CNR edizioni.[8]

L'energia (o la potenza) ci serve per riscaldare e illuminare gli ambienti, muovere cose

e persone, azionare la vasta congerie di macchine da cui siamo circondati, alcune indubbiamente di dubbia utilità (la lista sarebbe lunga e, inevitabilmente, controversa), altre considerate ormai indispensabili (ad esempio il computer su cui sto scrivendo) e, altre ancora, impossibili da eliminare se non attraverso un collasso sistemico (quelle che hanno sostituito i lavori più faticosi, quelle legate alla refrigerazione dei cibi, alla cura dei malati ecc.). L'energia necessaria per questi usi assomma, per l'Italia, a circa 700 TWh (dove il prefisso T, tera, indica 10 elevato alla potenza 12, ossia  $10^{12}$ ). Oggigiorno per generare questa quantità di energia se ne consuma più del doppio, e questo dipende dal fatto che utilizziamo, in modo preponderante, l'energia chimica contenuta nei combustibili fossili bruciandoli. Purtroppo, la combustione è un processo poco efficiente. In un motore a scoppio di un'auto l'efficienza supera raramente il 20% nelle condizioni migliori. Nella pratica, ad esempio nel traffico urbano, l'efficienza è sicuramente molto minore. In una centrale elettrica turbogas moderna a ciclo combinato, si arriva ad efficienze massime del 60%. Diverso è il caso dei motori elettrici la cui efficienza raggiunge il 90%. Se potessimo eliminare tutti i motori che fanno uso di combustibili fossili, sostituendoli con motori elettrici, il sistema energetico sarebbe molto più efficiente e potremmo ottenere gli stessi «servizi energetici» con un minore consumo di energia. Nel nostro lavoro ci siamo perciò proposti di coprire il fabbisogno nazionale di 700 TWh con sole fonti elettriche e rinnovabili. Va precisato che questa è un'ipotesi estremamente semplificativa, giustificata solo dalla necessità di rendere possibile l'analisi numerica dello scenario. Nella realtà resterà sempre una quota non trascurabile di impieghi finali che richiederanno l'impiego di motori alimentati da combustibili, che in tal caso dovranno essere di origine biologica o sintetica questi ultimi ricavati da FER.

A tal fine abbiamo ricostruito a partire dai dati di consumo disponibili, e attraverso una serie di assunzioni e semplificazioni che non è possibile dettagliare in questa sede, il flusso di energia elettrica necessario per ognuna delle 8.760 ore dell'anno 2019, ultimo anno, diciamo, "normale", prima delle turbolenze determinate dalla pandemia. Tale flusso è riportato in figura 1 dove in ascisse si legge il tempo, in questo caso i mesi dell'anno, e in ordinate la potenza media oraria della domanda di

energia elettrica che sostituirebbe la domanda reale, domanda che, nel 2019 è composta dal consumo di petrolio (prevalentemente per i trasporti), di gas (per la generazione elettrica e per il riscaldamento) e delle altre fonti, inclusa una quota di importazione. Se la domanda oraria di potenza fosse costante tutto l'anno il fabbisogno di 700 TWh sarebbe coperto da un sistema di impianti di produzione di energia elettrica che fornisse una potenza costante di 80 GW, indicata nella figura 1 dalla linea orizzontale tratteggiata. Dalla (2), infatti, si ha:

$$\frac{700 \cdot 10^{12} Wh}{8760 h} = 80 \cdot 10^9 W = 80 GW$$

Le aree sottese dalla linea orizzontale di ipotetici consumi temporalmente omogenei (linea blu tratteggiata) e dalla movimentata linea verde chiaro, che rappresenta la nostra ricostruzione della domanda oraria di energia nel 2019, sono identiche e corrispondono al valore di 700 TWh, ma nel caso del profilo reale dei consumi si osservano punte che per alcune ore invernali superano i 150 GW di potenza. La domanda è infatti distribuita in modo irregolare nel tempo, con alti consumi invernali e più bassi consumi estivi, nonché a

causa dell'alternanza giorno-notte, della variabilità meteorologica e di quella legata ai diversi consumi nei giorni feriali e festivi. In figura 1 sono riportate anche la media dei consumi orari su base giornaliera (curva verde scuro) e su base settimanale (curva celeste), Come ovvio nelle medie su tempi sempre più lunghi le oscillazioni si attenuano progressivamente fino ad annullarsi nella media annuale rappresentata dalla linea blu tratteggiata.

Nell'ipotesi di utilizzare solo FER abbiamo scelto le fonti con maggiore potenzialità, almeno sul nostro territorio, le cui tecnologie sono mature: il fotovoltaico (FV), l'eolico terrestre, l'idroelettrico e il geotermico. Abbiamo anche supposto che queste ultime due non abbiano prospettive di ulteriore espansione. Ciò è in effetti molto ragionevole per quanto riguarda l'idroelettrico che, già saturo per mancanza di luoghi dove fare adeguati invasi, soffre anche del problema crescente dei prolungati periodi di siccità. Il geotermico ha invece limitate potenzialità di espansione che dovrebbero essere analizzate in dettaglio. Dunque, lasciando idroelettrico e geotermico al livello attuale, nel nostro modello abbiamo virtualmente sostituito i combustibili fossili con FV ed eolico terrestre.

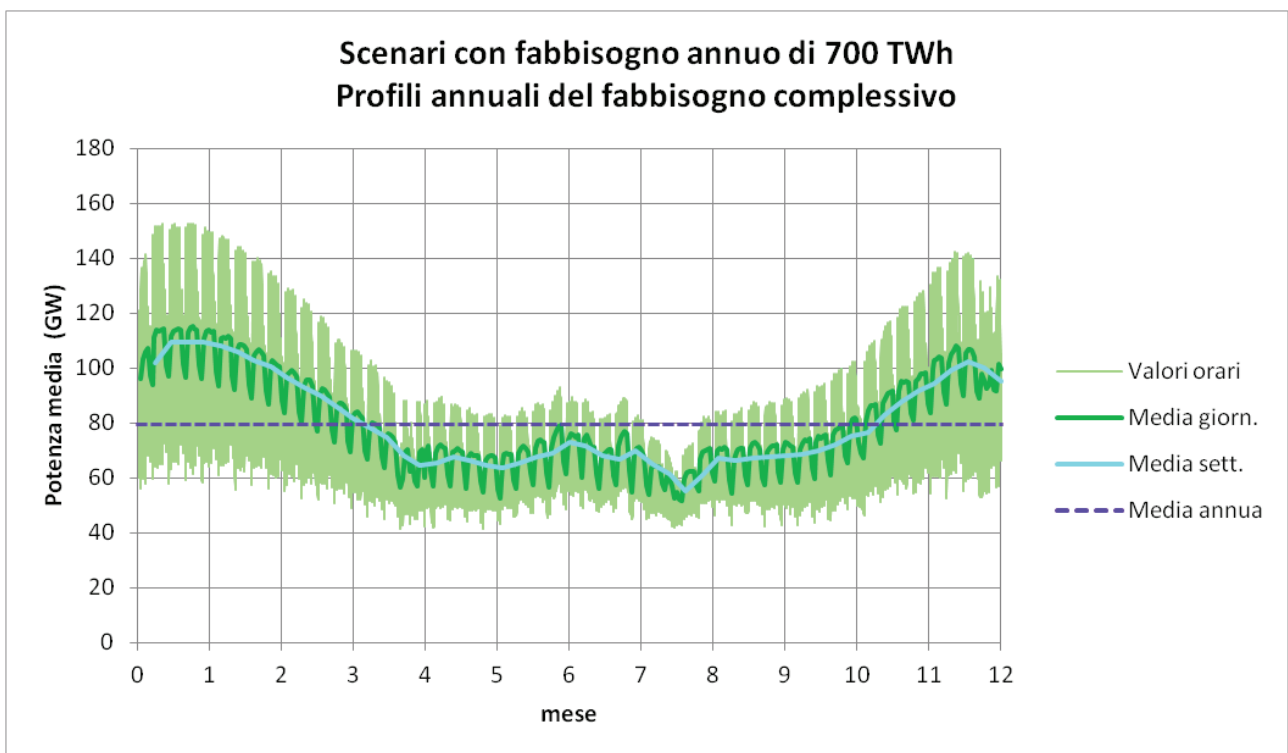


Figura 1. Profili annuali stimati del fabbisogno di energia elettrica con un consumo annuo complessivo di 700 TWh.



## La generazione non è tutto

Lo scenario di partenza che abbiamo disegnato è uno scenario in cui si immagina di realizzare impianti FV ed eolici (nel rapporto 3:1) che, sommati all'esistente produzione idroelettrica ed eolica, generino in un anno esattamente quei 700 TWh di fabbisogno che abbiamo stimato. A questo fine si calcola che per ciascun italiano, dei 60 milioni che siamo, dovrebbero essere installati 41 m<sup>2</sup> di pannelli solari e che per ogni 4.000 abitanti (la popolazione media dei circa 7.500 comuni italiani con il minor numero di abitanti) dovrebbe essere costruita una torre eolica da 5 MW. Per quanto riguarda il dato riguardante la dimensione del FV, si tratta di occupare con pannelli FV poco più dell'1% della superficie nazionale, qualcosa come la superficie della Città Metropolitana (ex Provincia) di Firenze. Per diverse ragioni è discutibile l'idea che per una tale estensione possano essere sufficienti le coperture degli edifici. Per quanto riguarda l'eolico, invece, il dato esposto indica che sarebbero necessari migliaia di km lineari di

torri eoliche (si stima 6.000 km) e non è chiaro se, escludendo per ora l'eolico in mare (abbiamo infatti parlato di "eolico terrestre"), vi siano siti sufficientemente ventosi per accogliere una simile estensione di impianti.

Con questi limiti, comunque, il primo problema di un sistema energetico così costituito è l'intermittenza giorno-notte, la variabilità stagionale e l'aleatorietà legata alle condizioni meteorologiche, di FV ed eolico. Condizione che si riassume parlando di non programmabilità delle fonti rinnovabili eolica e FV. Il FV è produttivo mediamente nel 15% delle ore dell'anno, cioè di giorno e prevalentemente nei mesi fra aprile e settembre; l'eolico è produttivo per il 25 % delle ore dell'anno, con una distribuzione opposta a quella del FV, cioè di giorno e di notte e con una maggiore produttività nei mesi autunnali e primaverili, con una sensibile variabilità interannuale e con imprevedibili periodi di bonaccia più o meno prolungati durante tutto l'anno. La simulazione di un sistema energetico come quello immaginato per questo scenario è riportata in figura 2.

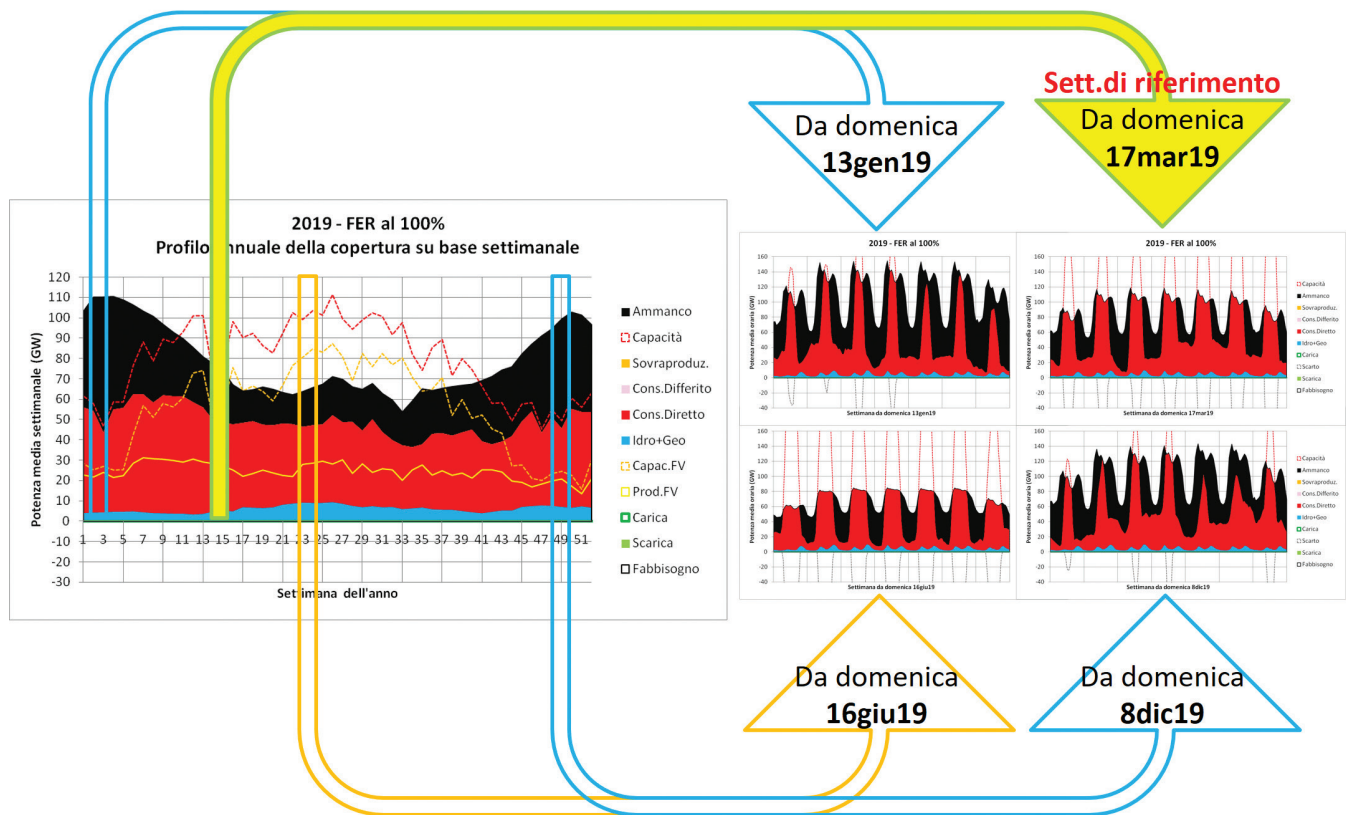


Figura 2. a) profili annuali dei valori orari medi di potenza, calcolati su base settimanale, delle grandezze del bilancio energetico. b) profili orari delle stesse grandezze per 4 settimane dell'anno.

In questa figura si riporta a sinistra la media settimanale della produzione di FER (linee) e della mancanza (area nera) ed esubero derivanti dal loro sbilanciamento orario (figura 2a) mentre a destra si riporta il dettaglio di quattro settimane campione (figura 2b). L'area rossa è la frazione della domanda che viene soddisfatta dalla generazione FER e la parte nera corrisponde invece alla frazione non coperta, cioè ad un ammanco di energia. Nel dettaglio delle settimane si apprezza la variazione oraria, giorno dopo giorno, della domanda soddisfatta e degli ammanchi. Nello scenario descritto, nessun giorno dell'anno è interamente (cioè per tutte le 24 ore) coperto dalla generazione energetica delle fonti rinnovabili (figura 2a). Ciò avviene a causa dell'intermittenza giorno notte del FV (si veda figura 2b), ma anche per la variabilità stagionale a causa della quale si osserva un forte esubero produttivo nei mesi fra l'equinozio di marzo e quello di settembre (curve rosse tratteggiate), e forti carenze nel resto dell'anno aree nere. Soltanto circa 1/3 delle 8.760 ore dell'anno sono interamente coperte dalla produzione delle FER; l'ammanco totale annuo ammonta a 270 TWh sui 700 stimati (cioè il 38%). La linea rossa tratteggiata rappresenta la capacità di generazione da FER che non può essere utilizzata (e quindi va perduta) nelle ore del giorno e in modo crescente verso il centro dell'estate a partire dall'equinozio di primavera.

### *Accumulo su base giornaliera*

Per ovviare al problema dell'intermittenza giorno-notte si assume quindi la realizzazione di impianti di accumulo, che dovranno essere abbinati agli impianti FV, per l'accumulo di energia durante il giorno al fine di coprire i consumi notturni. Con questa misura, prevedendo un accumulo di 6 ore della potenza media assorbita dalla rete nazionale, ovvero di 480 GWh (6 ore x 80 GW), si raddoppia il numero di ore coperte dalla generazione da FER che passa da 1/3 a 2/3 delle 8.760 ore/anno. Questa misura viene ovviamente al prezzo della creazione di una vasta infrastruttura di accumulo basata su accumulatori elettrochimici come quelli al litio, che oggi sono ormai operativi in qualsiasi nuovo impianto FV. Il dato essenziale della simulazione è che si dovrebbe creare una capacità di accumulo di 480 GWh (8 kWh pro-capite) per una quantità annua, stimata sulla base dei dati riguardanti le bat-

terie al litio di ultima generazione, di 190 g di litio pro-capite/anno, un valore da confrontare con il consumo attuale di litio che ammonta a 5 g/pro-capite/anno a livello globale. Va detto che non è irrealistico pensare che nei prossimi anni gli sviluppi tecnologici e normativi ridurranno questo fabbisogno di litio, per sostituzione con altri tipi di accumulatori, per un efficace riciclo o per aumento dell'efficienza. L'ammanco su base annuale, concentrato nei mesi freddi, scende al 22%, dai 270 TWh del primo scenario a 154 TWh. In pratica l'accumulo elettrochimico funziona nei mesi in cui il FV è produttivo. In inverno l'ammanco rimane consistente.

### *Sovradimensionamento*

Una misura che viene spesso invocata come soluzione parziale del problema della variabilità delle FER è il sovradimensionamento degli impianti. Questo corrisponde a installare impianti atti a fornire una quantità di energia superiore a quella del fabbisogno. Abbiamo provato ad aumentare gli impianti seguendo l'evoluzione dell'ammanco su base annua. Mantenendo inalterato il rapporto 3:1 fra FV ed eolico, si ottiene una sensibile riduzione dell'ammanco, fino a 150% dei 700 TWh, oltre il quale l'esubero aumenta più rapidamente di quanto diminuisca l'ammanco. Un sovradimensionamento del 150% porta ad installare tante FER in modo da generare nell'anno 1050 TWh. In questa ipotesi l'ammanco scende al 12%, dai 154 TWh del paragrafo precedente (con accumulo su base giornaliera) a 83 TWh annui, ma lo scarto, ovvero la capacità produttiva che non si riesce a utilizzare, sale da 141 TWh a 418 TWh, una quantità che è oltre una volta e mezzo lo scarto che osserviamo nel primo scenario (270 TWh). Resta il problema della mancanza di energia nei mesi freddi mentre si scarta molta energia in quelli caldi.

### *Accumulo stagionale*

La prima soluzione che viene in mente è, ovviamente, quella di recuperare questa energia accumulandola sotto forma di energia chimica utilizzabile durante l'autunno-inverno. Esplorando le potenzialità di questa misura ci siamo convinti che, probabilmente, la soluzione migliore sarebbe quella di generare metano di sintesi da immagazzinare negli stocaggi geologici, trasportare con gasdotti, e utilizza-

re nelle centrali a ciclo combinato. Tutte infrastrutture che sono, in parte o in toto, già esistenti. Concettualmente il processo è semplice (si veda figura 3): si utilizza l'esubero FV

estivo per generare idrogeno per elettrolisi dell'acqua (un processo tecnologicamente maturo), si fa reagire questo idrogeno con la CO<sub>2</sub> catturata al camino delle centrali elettriche,

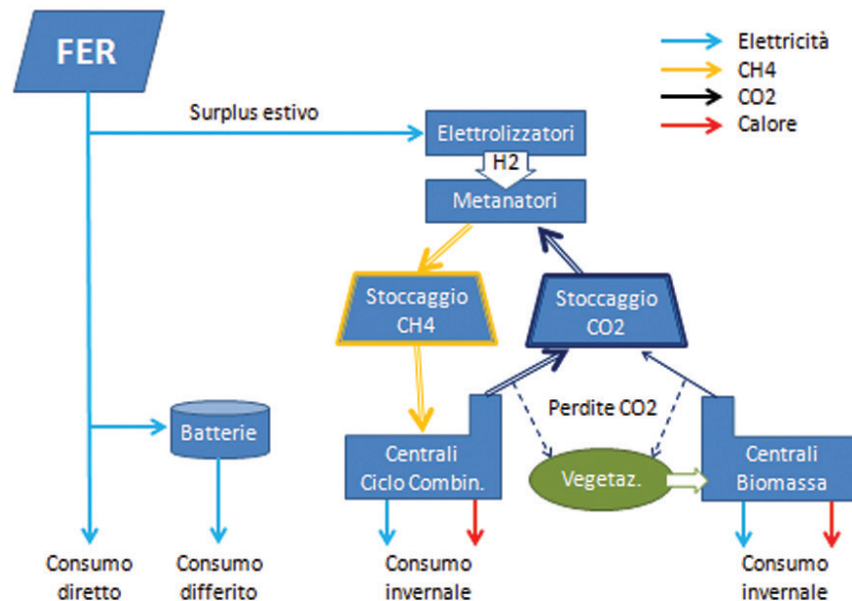


Figura 3. Schema del sistema di stoccaggio stagionale basato sull'accumulo di metano di sintesi.

generando metano che viene immagazzinato nei giacimenti esausti di idrocarburi, come avviene oggi per il gas naturale importato. Il metano viene poi recuperato per essere bruciato nelle centrali turbogas quando la generazione FER è carente. La CO<sub>2</sub> catturata al camino delle centrali viene immagazzinata temporaneamente riservando a questo scopo una parte degli attuali stoccaggi geologici di gas naturale, per poi essere successivamente estratta e combinata insieme all'idrogeno negli impianti di metanizzazione, in modo da produrre durante l'estate il metano sintetico da riutilizzare in inverno. In figura 3 si dà una rappresentazione schematica del ciclo descritto, a cui va aggiunto un contributo da centrali a biomassa che compensano le inevitabili perdite lungo il ciclo. Anche la possibilità di accumulo ha un limite fisico. Noi lo abbiamo posto a 30 TWh elettrici (corrispondenti a 6,5 miliardi di metri cubi di metano). Questi, a loro volta, corrispondono alla metà degli stoccaggi esistenti sul territorio nazionale gestiti da SNAM e Edison, l'altra metà essendo lasciata al necessario immagazzinamento della CO<sub>2</sub>. Eventuali

estensioni degli stoccaggi sono possibili, ma richiederebbero interventi strutturali aggiuntivi. Con l'infrastruttura di accumulo così descritta si arriva a ridurre, ma non ad eliminare, l'ammacco ad un 8% su base annua che è però tutto concentrato nei mesi invernali.

### *Ridurre e redistribuire i consumi, migliorare l'efficienza*

Soltanto con una drastica riduzione dei consumi di energia del 50%, passando quindi da un fabbisogno di 700 ad uno di 350 TWh/anno, si riescono ad azzerare completamente gli ammanchi. Le modalità di riduzione dei consumi così disposta rimangono nel nostro lavoro, per ora, indeterminate. Questo scenario ci dà solo l'ordine di grandezza del problema che stiamo fronteggiando quando si parla di realizzare la transizione energetica. Le possibilità di taglio dei consumi sono diverse, ma è difficile quantificarle con precisione. Sono possibili, ad esempio, guadagni di efficienza grazie alla riqualificazione energetica degli edifici e alla sostituzione delle caldaie tradi-



zionali con pompe di calore, alla riduzione del traffico veicolare e all'adozione di sistemi più efficienti e integrati di produzione di cibo. Una delle regole che dovrà progressivamente prendere piede nei prossimi decenni è che la domanda dovrà inseguire la generazione e non viceversa, cioè dovremo usare l'energia quando c'è: spostare il più possibile i consumi dalla notte al giorno e ai mesi ad alta insolazione. A questo proposito stiamo ancora lavorando alla seconda parte del lavoro citato nel riferimento [8] nel quale si esplorerà la possibilità di una redistribuzione giornaliera e stagionale della domanda. L'analisi comunque richiederebbe uno studio dettagliato della domanda che permetta di definire le quantità che è effettivamente possibile redistribuire e quelle che sono legate ad attività che non sono flessibili nel tempo.

Un limite del nostro studio è che include in modo limitato gli scambi, che potrebbero essere importanti, di energia con altri paesi. Ad esempio, nella transizione si dovrà sfruttare la complementarità fra sud e nord Europa nella generazione eolica e FV fra inverno ed estate. Questi scambi, possibili sulla carta, e già parzialmente in essere (ad esempio fra Francia e Italia per l'energia elettrica, principalmente di origine nucleare), implicano comunque la messa a punto di reti adeguate e personale in grado di gestirli. Da questo punto di vista, almeno a livello europeo, ma potenzialmente anche mediterraneo, si pensi al progetto DE-SERTEC,[9] la sovranità di cui si parla non è nazionalismo energetico, ma allentamento dei motivi di conflitto e stimolo alla cooperazione internazionale.

Secondo gli autori di questo articolo, i risultati dello studio ASPO-Italia indicano la necessità di un mantenimento e rafforzamento di un sistema energetico centralizzato, costituito da reti di trasporto di energia elettrica e di gas (metano di sintesi e CO<sub>2</sub>) estese a livello nazionale ed europeo. Reti che possono consentire di superare lo scoglio maggiore che si presenta di fronte all'attuazione della transizione da fonti fossili a FER, ovvero la compensazione tra eccesso di generazione elettrica diurno e carenza notturna e soprattutto quella tra surplus estivo e deficit invernale. Grandi strutture tecnologiche significano anche grandi strutture aziendali che hanno le risorse economiche e le competenze adeguate alla loro gestione.

Sarebbe quindi opportuno riconsiderare un

atteggiamento che tende a dare l'illusione che si possa ottenere la quasi indipendenza energetica a livello domestico o di piccole comunità, demonizzando al contempo le grandi aziende energetiche, soprattutto quelle nazionali e controllate dallo stato, quindi in qualche modo dalla comunità nazionale. Le soluzioni individuali, rappresentate iconicamente dalla villetta termicamente efficiente, con i suoi 5-10 kW di pannelli sul tetto e con la macchina elettrica in giardino (giardino dove si coltiva il proprio orto con metodi biologici) che fa il pieno col sole, immagine che sta sempre più entrando nell'immaginario collettivo, riguardano una parte esigua della popolazione, sono inapplicabili nei condomini urbani, grandi e piccoli, e danno un contributo limitato alla transizione energetica. Al contrario, queste soluzioni tendono a rinforzare le posizioni demagogiche e populiste che indicano nella transizione un progetto che solo i ricchi della Terra si possono permettere, spostando la parte meno abbiente dell'opinione pubblica occidentale verso posizioni di conservazione del paradigma fossile costi quel che costi. Fermo restando che nell'attuale paradigma rientrano le infrastrutture di distribuzione e stoccaggio del gas naturale e le centrali a gas, un patrimonio infrastrutturale che, come abbiamo visto nelle nostre analisi, potrebbe rivelarsi indispensabile proprio per consentire la transizione.

## Conclusioni

Lo studio che abbiamo sommariamente illustrato mostra alcuni aspetti semplici e ineludibili della cosiddetta transizione energetica. L'attuale profilo temporale (giornaliero e stagionale) della domanda di energia si è sviluppato in un periodo di disponibilità quasi illimitata dell'energia a buon mercato dei combustibili fossili e di parallela crescita della popolazione e dei consumi. Tale profilo è incompatibile con un diverso tipo di sistema energetico basato sull'elettrificazione dei consumi e la generazione di energia elettrica da FER. Non sfugge a nessuno che la modifica del sistema dovrà essere condotta nel corso di alcuni decenni, ormai meno di tre se l'obiettivo è la totale decarbonizzazione entro il 2050. Tuttavia, un piano di transizione energetica dovrebbe fin da ora includere un credibile sistema di accumulo stagionale dell'energia e politiche di progressiva, ma profonda, ristrutturazione



turazione del patrimonio edilizio, modifica delle modalità di trasporto di merci e persone, rilocalizzazione delle attività produttive. Un progetto di questo genere difficilmente potrebbe supportare un'ulteriore crescita materiale e demografica come quella che viene costantemente invocata come cura di tutti i mali. Le FER si basano su flussi naturali di energia la cui intensità non può essere modulata quasi a piacere, come è avvenuto per qualche secolo grazie ai combustibili fossili. Si tratta di flussi stazionari che inevitabilmente supportano, al più, un sistema economicamente in stato stazionario. Considerando, oltre alle questioni energetiche, tutto il quadro ambientale e

la necessità di rinaturalizzare estesamente il pianeta, seguendo ad esempio il suggerimento del libro *Metà Terra* di Edward Wilson, in cui si propone di restituire metà della superficie del pianeta alle altre specie,[10] non è irragionevole pensare che la transizione energetica, per essere anche ecologica, deve permettere di governare un generale rientro dell'umanità nell'alveo della sostenibilità biofisica che, pensiamo noi, è cosa diversa dalla parola sostenibilità appiccicata all'interno di ossimori di successo come quello della Crescita Sostenibile o della «produzione sostenibile di idrocarburi nazionali» come si legge in uno dei documenti ministeriali usciti nel decennio scorso.

---

1 - La parola "sovranità" ha assunto un connotato negativo a causa di una sua identificazione con l'idea nazionalista di autarchia. Qui la si usa per riferirsi al diritto di una nazione o di una comunità a controllare le proprie risorse energetiche e a determinare in autonomia le proprie politiche energetiche.

[1] International Energy Agency. «World Energy Outlook 2018», p. 661, 2018.

[2] M. Auzanneau e H. Chauvin, *Il fondo del barile. Gli effetti del declino del petrolio nella società industriale*. in Apocalottimismo. (Massa-Carrara): Lu.:Ce edizioni, 2022.

[3] U. Bardi e L. Mercalli, *La terra svuotata: il futuro dell'uomo dopo l'esaurimento dei minerali*. Roma: Editori Riuniti University Press, 2011.

[4] «Planetary boundaries». Consultato: 17 agosto 2021. [Online]. Disponibile su: <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>

[5] J. Rockström, A. Wijkman, e G. Bologna, *Natura in bancarotta: perché rispettare i confini del pianeta: rapporto al Club di Roma*. Milano: Ambiente, 2014.

[6] W. Steffen *et al.*, «Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet», *Science*, vol. 347, fasc. 6223, pp. 1259855–1259855, feb. 2015, doi: 10.1126/science.1259855.

[7] «La Transizione». Consultato: 22 febbraio 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.aspoitalia.it/index.php/55-uncategorised/387-la-transizione>

[8] S. Tiribuzi *et al.*, *Verso un sistema energetico italiano basato sulle fonti rinnovabili. Prima parte: analisi introduttiva, problematiche e scenari propedeutici*. Roma: CNR Edizioni, 2023. Consultato: 24 aprile 2023. [Online]. Disponibile su: <http://eprints.bice.rm.cnr.it/22309/>

[9] «Desertec», *Wikipedia*. 16 ottobre 2023. Consultato: 26 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Desertec&oldid=136012099>

[10] Edward O. Wilson, *Half-Earth: Our Planet's Fight for Life*. Liveright Publishing Corporation, 2017.