



ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI

CONVEGNI LINCEI SU “IL FUTURO DELL’UMANITÀ”

ENERGIA: IL NECESSARIO E IL POSSIBILE

10-11 GIUGNO 2024

A B S T R A C T

La scienza deve guidare le politiche di transizione energetica dell'UE in materia di decarbonizzazione, sicurezza energetica e accessibilità economica

William Gillett

Direttore del programma Energia, Consiglio consultivo scientifico delle Accademie europee (EASAC)

Da oltre vent'anni l'Unione europea adotta politiche e legislazioni in materia di clima ed energia che riguardano la sicurezza energetica, la sostenibilità e l'accessibilità economica. Nel 2015, l'UE ha sottoscritto l'accordo di Parigi per limitare il riscaldamento globale a non più di 1,50 C.

Dal dicembre 2019 sono state introdotte politiche e normative più incisive nell'ambito del Green Deal dell'UE per rispettare gli impegni in materia di cambiamenti climatici, sicurezza energetica e accessibilità economica. Nel giugno 2021, l'UE ha adottato la sua legge sul clima che prevede emissioni nette di carbonio pari a zero entro il 2050 e, dopo l'invasione dell'Ucraina nel 2022, le direttive sull'energia sono state aggiornate per rafforzare la sicurezza energetica insieme agli sforzi per decarbonizzare la domanda di energia negli edifici, nei trasporti e nell'industria.

I trasporti possono essere decarbonizzati "evitando" il trasporto motorizzato (ad esempio, camminando e andando in bicicletta), "spostando" passeggeri e merci verso modalità di trasporto più efficienti (ad esempio, autobus, treni, navi) e "migliorando" le prestazioni energetiche dei veicoli (ad esempio, riducendo le dimensioni e utilizzando propulsori più efficienti).

I 250 milioni di edifici dell'UE producono circa il 25% delle emissioni di gas serra dell'UE e circa il 90% di questi edifici sarà ancora in uso nel 2050. Quasi l'80% degli edifici esistenti nell'UE è di tipo residenziale e quasi tre quarti di essi hanno scarse prestazioni energetiche. L'UE ha proposto un'ondata di ristrutturazioni per ridurre la domanda energetica degli edifici nei prossimi 30 anni. Ciò richiederebbe un aumento dei tassi di ristrutturazione annuali dall'1% al ~3%, il che rappresenterebbe una sfida non solo per l'industria edilizia ma anche per i proprietari degli edifici (finanziamenti). In futuro, le politiche dell'UE dovrebbero concentrarsi sugli edifici a emissioni zero e sulla ristrutturazione dei quartieri per aumentare il valore degli immobili e la qualità della vita. Gli investitori possono essere incoraggiati dai benefici per la salute degli edifici a basse emissioni, che presentano un minor surriscaldamento, una migliore ventilazione e una migliore illuminazione diurna. Tuttavia, è necessario trovare un compromesso efficace dal

punto di vista dei costi, caso per caso, tra la riduzione della domanda finale di energia attraverso le ristrutturazioni (isolamento dell'involucro dell'edificio, dei sistemi di riscaldamento, delle finestre) e la fornitura di elettricità rinnovabile per le pompe di calore, il calore solare e geotermico.

Importante è anche la riduzione delle emissioni incorporate nei materiali, soprattutto nelle fondazioni, nei solai e nei componenti strutturali (acciaio e calcestruzzo). Gli edifici esistenti dovrebbero essere ristrutturati, non demoliti, e i materiali riutilizzati e riciclati. Si dovrebbe utilizzare maggiormente il legno al posto dei materiali ad alta intensità di carbonio (acciaio e cemento).

Il gas naturale non è sempre più pulito del carbone per la produzione di energia elettrica a causa delle perdite di metano lungo la sua catena di approvvigionamento; per questo motivo, nel novembre 2021, in occasione della COP 26, è stato lanciato il Global Methane Pledge per ridurre le emissioni di metano del 30% entro il 2030. Il gas naturale fornisce quasi il 40% dell'energia utilizzata negli edifici, quindi le caldaie a gas devono essere eliminate il prima possibile. Con l'abbandono dei combustibili fossili, i responsabili politici devono fornire un sostegno strategico alle industrie chiave e alle PMI e devono ridurre la povertà energetica sostenendo i gruppi a basso reddito.

Gli esperti delle accademie scientifiche nazionali europee lavorano attraverso l'EASAC per fornire una consulenza scientifica indipendente sulle politiche e sulla legislazione in materia di clima ed energia. I rapporti dell'EASAC sulla decarbonizzazione dei trasporti e degli edifici e sul futuro del gas, con consigli per affrontare la questione dell'accessibilità, sono disponibili gratuitamente sul sito web dell'EASAC. Di recente è stato avviato un nuovo lavoro per produrre consigli per i responsabili politici sulla sicurezza delle forniture energetiche sostenibili. Verranno presentati i principali messaggi di questi rapporti dell'EASAC per i responsabili politici.

Le conseguenze ambientali dell'inazione

Gianmaria Sannino

Capo Divisione "Modelli e tecnologie per la riduzione dei rischi da catastrofi" ENEA

I cambiamenti climatici interessano tutte le regioni del mondo. Le calotte polari di ghiaccio si stanno sciogliendo e il mare si sta innalzando. In alcune regioni gli eventi meteorologici estremi e le precipitazioni stanno diventando più comuni, mentre in altre si registrano ondate di calore e siccità più estreme. Poiché le temperature globali continuano a salire a causa dell'aumento della concentrazione di gas serra nell'atmosfera, l'urgenza di agire diventa sempre più evidente.

Le conseguenze ambientali dell'inazione sono profonde e di vasta portata, con impatti che potrebbero rimodellare i sistemi naturali e umani su scala globale.

Senza un impegno significativo per ridurre le emissioni di gas serra, assisteremo a un aumento della gravità e della frequenza degli eventi meteorologici estremi. Questi includono uragani più intensi, siccità prolungate e modelli stagionali imprevedibili che possono devastare le comunità, interrompere la produzione di cibo e portare a significative perdite economiche.

Una delle conseguenze più dirette del riscaldamento globale è l'innalzamento del livello del mare, causato dallo scioglimento delle calotte glaciali e dei ghiacciai e dall'espansione dell'acqua marina con il riscaldamento. Le aree costiere di tutto il mondo sono particolarmente vulnerabili e devono affrontare un aumento delle inondazioni, dell'erosione e dell'intrusione di acqua salata nelle riserve di acqua dolce. Questo minaccia gli habitat, l'agricoltura e le infrastrutture urbane, spostando le popolazioni e creando rifugiati climatici.

L'inazione porta al deterioramento degli ecosistemi, che sono fondamentali per mantenere l'equilibrio dell'ambiente terrestre. La perdita di biodiversità è preoccupante non solo per l'estinzione delle specie, ma anche perché influisce sui servizi ecosistemici che sostengono la vita sulla Terra, tra cui l'impollinazione, la purificazione dell'acqua e il sequestro del carbonio.

Il cambiamento climatico è un potente moltiplicatore dei problemi sociali e sanitari esistenti, esacerbando le disuguaglianze ed esponendo le popolazioni vulnerabili a maggiori rischi. Le ondate di calore possono portare a un aumento della mortalità, mentre il cambiamento climatico influisce sulla sicurezza idrica e alimentare, portando a malnutrizione e conflitti per le risorse.

Alcuni impatti del cambiamento climatico potrebbero essere irreversibili se si superano delle soglie. Tra questi, il collasso delle calotte glaciali e il deperimento delle foreste. Questi cambiamenti non solo hanno conseguenze ambientali dirette, ma amplificano anche il riscaldamento globale attraverso meccanismi di feedback positivi, rendendo ancora più difficile invertire la tendenza.

Le conseguenze ambientali dell'inazione climatica sono profonde e di vasta portata. Affrontare il cambiamento climatico non è solo una sfida ambientale: è un imperativo sociale che richiede un'azione globale urgente e concertata. L'inazione non solo aggrava il degrado ambientale, ma mette anche a rischio la capacità delle generazioni future di prosperare sulla Terra.

Ogni azione intrapresa per ridurre le emissioni e migliorare la resilienza ci allontana da conseguenze disastrose, rendendo la lotta al cambiamento climatico una delle sfide più critiche del nostro tempo.

Durante l'intervento, esploreremo le possibili conseguenze del cambiamento climatico utilizzando diversi scenari climatici dell'IPCC. Ogni scenario descrive diversi gradi di riscaldamento e gli impatti associati. Inoltre, ci concentreremo sulle metodologie utilizzate per generare le proiezioni climatiche, sia su scala globale che regionale. In particolare, verranno presentate le ultime proiezioni climatiche per la regione mediterranea prodotte dall'ENEA e simulate con un modello climatico regionale all'avanguardia.

Domanda energetica: attuali metodi di produzione e prospettive di sviluppo

Sergio Carrà
Politecnico di Milano

Nel secolo scorso un gruppo di geologi, facenti capo a King Hubbert, sostenevano che nell'intorno del 1980 sarebbe finito il petrolio, suscitando profondo sgomento.

Quarant'anni dopo l'autorevole "*Annual Energy Review*", affermava che la moderna attività industriale è basata sul petrolio e la sua principale attività è la combustione. Infatti il contributo dei combustibili fossili aveva raggiunto l'80%, circa della produzione totale di energia. Ciò grazie allo sviluppo delle tecnologie impiegate nell'estrazione degli idrocarburi dal sottosuolo, fruendo di dati geologici e geofisici, gestiti mediante complessi modelli matematici. Pertanto la richiesta di energia è aumentata nel tempo, con conseguente consumo di petrolio ed aumento della concentrazione della CO₂ nell'atmosfera. Come testimoniato dai dati analitici che indicano l'aumento in funzione del tempo della sua concentrazione nell'atmosfera.

In tale quadro l'idrogeno, impiegato quale vettore energetico, offre interessanti aspetti nel settore del trasporto, conseguenti dalla sua produzione per elettrolisi, usando energia elettrica ottenuta per via rinnovabile.

L'impiego della fissione nucleare si è invece sviluppato lentamente sino a fornire

attualmente il 5% dell'energia totale, mentre la fusione nucleare è tuttora oggetto di ricerche. Nel contempo si è sviluppato l'impiego delle energie rinnovabili, eolica e fotovoltaica, che comunque a livello mondiale non hanno superato la soglia del 5,5%.

È stata quindi promossa una transizione energetica intesa ad imporre il passaggio delle fonti energetiche con impronta carbonica ad altre aventi basse emissioni. Tuttavia la rapidità dei processi diffusivi presenti nei gas, tende a rendere uniforme la composizione atmosferica dell'intero pianeta, creando una situazione imbarazzante per chi ritiene di poter limitare l'evoluzione del riscaldamento globale operando sul piano locale. In sostanza la riduzione dell'aumento della CO₂ nell'atmosfera può avere successo solo se basata su iniziative di respiro internazionale.

Ci si deve comunque chiedere se sia ragionevole ritenere che l'accanimento nell'impiego di tecnologie prive di innovazione possa salvare il pianeta da una evoluzione che appare epocale. Per concludere che solo nuovi approcci potranno eludere i menzionati pericoli, rendendo necessaria l'esplorazione di possibili svolte, con rinnovato contenuto tecnologico. Coinvolgenti processi, oggetto di ricerca. Quali la fusione nucleare e le applicazioni della microbiologia per quanto riguarda la produzione di carburanti ottenuti da biomasse. Quest'ultimo aspetto conseguente dai successi realizzati negli ultimi anni nel settore della biologia sintetica, offre un promettente approccio, che ha già portato ad importanti sviluppi, come confermato dalla produzione di combustibili il cui impiego sta dilagando nel settore aeronautico.

Lasciando presagire l'inizio di un'era post petrolifera.

La transizione alle energie rinnovabili

Nicola Armaroli

Istituto per la Sintesi Organica e la Fotoreattività Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-ISOF)

La transizione dai combustibili fossili alle energie rinnovabili è lo strumento chiave per combattere i cambiamenti climatici e scongiurare effetti catastrofici sulla civiltà umana. L'umanità modifica incessantemente il proprio portafoglio energetico da oltre 200 anni, ma le precedenti transizioni (ad esempio dalla biomassa al carbone) sono durate circa un secolo. Non abbiamo a disposizione altrettanto tempo per la transizione alle rinnovabili, perché l'obiettivo globale è la neutralità climatica entro il 2050. Una transizione energetica epocale da completare in un quarto di secolo è una colossale sfida tecnologica, economica e sociale. Il processo vedrà l'elettricità solare ed eolica - in combinazione con diverse tecnologie di stoccaggio - giocare un ruolo dominante, grazie a una combinazione unica di caratteristiche tecniche ed economiche e a una intrinseca complementarità stagionale e giornaliera.

I temi discussi includono l'elettrificazione degli usi finali dell'energia, la fattibilità di un'economia all'idrogeno, le prospettive del nucleare e la disponibilità di risorse minerarie per la produzione di convertitori e accumulatori di flussi di energia rinnovabile. Il quadro globale evidenzia enormi opportunità di progresso scientifico e tecnologico, ma suggerisce anche che il percorso verso una transizione giusta e sostenibile è molto stretto, in un mondo con vecchie e nuove tensioni e già pesantemente colpito dalla crisi climatica. Per agire con efficacia, le risorse e il tempo a disposizione sono ormai molto limitati.

Bibliografia

N. Armaroli, Fossil fuels exit: challenges, perspectives, bottlenecks, *The Oxford Handbook on the Greening of Economic Development*, Oxford University Press, 2024.

Le sfide del fotovoltaico per la transizione energetica

Paola DelliVeneri
Divisione Fotovoltaico Solare ENEA

Il fotovoltaico (PV) è destinato ad essere un attore chiave nella transizione globale verso sistemi energetici puliti e sostenibili. La sfida cruciale è accelerare la diffusione del fotovoltaico in tutto il mondo per soddisfare le ambizioni di emissioni nette a zero, mentre il consumo di elettricità continua a crescere. Le strategie utili sono l'aumento dell'efficienza di conversione dei moduli fotovoltaici e la promozione di approcci per la diffusione ubiquitaria del fotovoltaico. Mentre la consolidata tecnologia fotovoltaica al silicio cristallino (c-Si) sperimenta continui progressi e progetti aggiornati, una soluzione per aumentare significativamente l'efficienza è l'applicazione di una o più celle solari a più ampio bandgap in cima al dispositivo al Si in architetture tandem per un migliore utilizzo dello spettro solare. Grazie all'elevato potenziale di efficienza dimostrato e alle prospettive di ulteriori miglioramenti, in particolare i tandem perovskite/silicio sono oggetto di un'intensa attività di ricerca e hanno recentemente intrapreso la strada della commercializzazione. Parallelamente, in considerazione delle notevoli risorse di terreno necessarie, si dovrebbero esplorare soluzioni che integrino il fotovoltaico con applicazioni concorrenti, come nel caso dell'agrivoltaico per un utilizzo ottimale del terreno condiviso con l'agricoltura.

L'intervento ripercorre le modalità con cui alcune di queste sfide scientifiche e tecnologiche vengono affrontate presso l'ENEA - Divisione Fotovoltaico Solare parlando anche di azioni di collaborazione che coinvolgono diverse università nazionali e altri enti di ricerca con l'obiettivo comune di raggiungere il target nazionale definito dal Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) in termini di potenza fotovoltaica installata.

Le bioenergie e i biocarburanti per la transizione energetica e ambientale negli scenari Net-Zero emissions 2050

Franco Cotana
AD di RSE spa, Università di Perugia

Nel contesto della transizione energetica, il ruolo della filiera delle biomasse, delle bioenergie e dei biocarburanti rappresenta una risorsa per energetica rinnovabile e programmabile indispensabile. Stime del CRB Centro Ricerca sulle Biomasse, istituito nel 2003 dal ministero dell'Ambiente presso l'Università di Perugia, valutano la disponibilità di biomasse sostenibili in Italia pari al 30% di tutto il fabbisogno energetico nazionale al 2050 al netto dell'efficienza energetica. Dall'ultimo inventario forestale del 2021, emerge chiaro che l'Italia ha un enorme potenziale di crescita di biomasse ligno-cellulosiche inutilizzato: il nostro Paese usa solo il 30% del legno che cresce ogni anno, in particolare nei boschi cedui, contro una media europea del 75%. Del resto l'Italia è un paese forestale con una media di oltre il 35% di superficie boschiva e lo sviluppo di filiere basate su questa risorsa in regioni come l'Umbria, l'Abruzzo, la Basilicata, il Trentino con superfici forestali oltre il 60% del territorio permetterebbe di creare ricchezza e occupazione evitando lo spopolamento delle aree interne. La gestione ottimizzata dei boschi può consentire un aumento della CO₂ sequestrata e la prevenzione degli incendi che, a causa anche dei cambiamenti climatici, sono sempre più frequenti e di sempre maggiori estensioni in relazione all'intensità e alla persistenza di venti.

Già oggi le biomasse rappresentano (Pellet, legna da ardere, bricchette, cippato etc.) circa il 50% di tutta l'energia rinnovabile prodotta in Italia, gran parte di tale energia viene utilizzata per usi termici ma in futuro, grazie a moderne tecnologie potrà essere utilizzata per la produzione di Bio-Idrogeno e biocarburanti.

È noto come il cambiamento tecnologico legato alla transizione energetica nel settore dei trasporti e nella mobilità elettrica non possa essere immediatamente implementato ma debba essere raggiunto gradualmente al fine di non distruggere il sistema produttivo dell'industria delle tecnologie energetiche. Il trasporto stradale pesante e per alcuni settori come ad esempio trasporto navale e trasporto aereo, necessita ancora di combustibili o biocarburanti da fonti rinnovabili con tecnologie integrate per l'accumulo.

A tale proposito, l'Italia è stata pionieristica negli ultimi 15 anni con la realizzazione delle bioraffinerie di ENI-Versalis per la produzione di biodiesel HVO (nei siti di Venezia Porto Marghera e di Augusta) e di bioetanolo da biomasse lignocellulosiche residuali (impianto già di Mossi e Ghisolfi) realizzato a Crescentino in provincia di Alessandria.

In prospettiva, oltre alla miscelazione con il gasolio e con la benzina di biodiesel e bioetanolo va considerata la filiera di produzione di idrogeno da biomasse. La tecnologia di produzione di idrogeno a basso costo da biomassa risulta infatti economicamente vantaggiosa per i prossimi 15 anni, ed in particolare più competitiva rispetto alla filiera di produzione dell'idrogeno basata sull'elettrolisi con energia elettrica prodotta da fonte rinnovabile Fotovoltaico o Eolico.

Al momento le due tecnologie di produrre bioidrogeno da biomassa sono la *steam reforming* del biometano (tecnologia matura e consolidata) e la *steam gasification* del cippato di legno, tecnologia in fase di industrializzazione alla luce della strategia di potenziamento delle bioenergie per l'Italia al 2050. RSE ed Enea hanno previsto nel prossimo piano triennale della ricerca di sistema 2025-2027 uno speciale focus sullo sviluppo di tecnologie per le filiere delle bioenergie e dei biomateriali per l'efficienza energetica e la sostenibilità.

Riferimenti

- 1) Temporim, R.B.L., Cavalaglio, G., Petrozzi, A., Coccia, V., Iodice, P., Nicolini, A., Cotana, F., Life Cycle, Assessment and Energy Balance of a Polygeneration Plant Fed with Lignocellulosic Biomass of *Cynara cardunculus* L., (2022) *Energies*, 15 (7), art. no. 2397, DOI: 10.3390/en15072397
- 2) Carmona-Cabello, M., Sáez-Bastante, J., Barbanera, M., Cotana, F., Pinzi, S., Dorado, M.P., Optimization of ultrasound-assisted liquefaction of solid digestate to produce bio-oil: Energy study and characterization, (2022) *Fuel*, 313, art. no. 123020, DOI: 10.1016/j.fuel.2021.123020
- 3) Frota de Albuquerque Landi, F., Fabiani, C., Castellani, B., Cotana, F., Pisello, A.L., Environmental assessment of four waste cooking oil valorization pathways, (2022) *Waste Management*, 138, pp. 219- 233, DOI: 10.1016/j.wasman.2021.11.037
- 4) Aiello, D., Sannino, C., Giannoni, T., Fabbri, G., Gelosia, M., Nicolini, A., Turchetti, B., Cotana, F., Buzzini, P., Triacyl glycerols from yeast-catalyzed batch and fed-batch bioconversion of hydrolyzed lignocellulose from cardoon stalks, (2021) *Fermentation*, 7 (4), art. no. 315, DOI: 10.3390/fermentation7040315
- 5) Comodi, P., Zucchini, A., Susta, U., Cambi, C., Vivani, R., Cavalaglio, G., Cotana, F., Correction to: Multiscale minero-chemical analysis of biomass ashes: A key to evaluating their dangers vs. benefits (*Sustainability* 2021, 13, 6052), (2021) *Sustainability (Switzerland)*, 13 (22), art. no. 12634, DOI:10.3390/su132212634
- 6) Cavalaglio, G., Gelosia, M., Giannoni, T., Barros Lovate Temporim, R., Nicolini, A., Cotana, F., Bertini, A., Acid-catalyzed steam explosion for high enzymatic saccharification and low inhibitor release from lignocellulosic cardoon stalks, (2021) *Biochemical Engineering Journal*, 174, art. no. 108121, DOI: 10.1016/j.bej.2021.108121

Idroelettrico una risorsa indispensabile

Francesco Fornari

Enel Green Power

L'idroelettrico in Italia e in tutto il mondo occidentale ha raggiunto una sua maturità in termini di utilizzazione della risorsa acqua e territorio, il suo sviluppo inteso come crescita consiste essenzialmente nella conversione o potenziamento di impianti di pompaggio ma molto lavoro è necessario per mantenere in efficienza e sicurezza il parco in funzione

Gli impianti esistenti sono un asset essenziale per il sistema energetico che sta evolvendo verso una presenza sempre più ampia di fonti rinnovabili non programmabili e nessun programma ne prevede la sostituzione

La sostenibilità di impianti concepiti mediamente 80 anni fa è oggetto di un importante sforzo mirante a prolungarne per quanto possibile l'utilizzo per difenderne gli indubbi benefici spesso dati per scontati nel rispetto di regole sempre più cogenti

In molti casi un impianto idroelettrico è diventato più importante per le sue ricadute ambientali, turistiche, irrigue, potabili, difesa dalle piene, antincendio che non per l'energia prodotta, la ripartizione degli oneri segue regole ampiamente superate.

Temi come la coesistenza delle specie animali e vegetali con le infrastrutture o la gestione dei sedimenti accumulati nei serbatoi artificiali sono oggetto di un ampio dibattito tecnico internazionale in cui l'Italia si mantiene all'avanguardia.

L'età delle infrastrutture presuppone nuovi investimenti per preservare in sicurezza l'esistente e la scadenza e la durata delle concessioni in essere pone dei problemi importanti nella pianificazione delle attività a lungo ammortamento.

Lo sviluppo dell'idroelettrico sia nel mondo che in Italia è concentrato su nuovi impianti di pompaggio che si rendono necessari per accumulare energie rinnovabili prodotte in momenti in cui risultano in esubero.

Massimizzare l'utilizzo dell'energia geotermica per una transizione energetica sostenibile

Monia Procesi

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

L'aumento della richiesta globale di energia ha posto l'accento sull'importanza di sviluppare strategie urgenti per sostenere risorse e tecnologie a basse emissioni di carbonio. La dipendenza da fonti di energia tradizionali è minacciata dal contesto geopolitico globale, aumentando di conseguenza l'urgenza di una transizione verso fonti più sostenibili. In questo contesto, l'incremento nell'uso delle energie rinnovabili diventa imperativo per garantire una gestione energetica indipendente e sostenibile, in linea con gli obiettivi dell'Unione Europea.

Tra le opzioni promettenti, lo sviluppo dell'energia geotermica emerge come un obiettivo cruciale. La geotermia utilizza il calore terrestre sia per la produzione di energia elettrica che per usi termici diretti, offrendo una vasta gamma di applicazioni come il

teleriscaldamento, il geoscambio e l'impiego in molti processi produttivi quali la pastorizzazione del latte, la produzione di formaggi o l'essiccazione di alimenti. Le risorse geotermiche di bassa temperatura (<100°C) sono generalmente impiegate negli usi termici diretti, mentre il calore delle risorse di media (100-150°C) e alta temperatura (>150°C) è generalmente utilizzato in modo indiretto per la produzione di energia geotermoelettrica. Generalmente, le risorse utilizzate per usi diretti si trovano a profondità dell'ordine delle decine-centinaia di metri mentre quelle utili alla produzione elettrica sono ospitate a profondità dell'ordine del chilometro.

Nonostante l'energia geotermica abbia avuto storicamente un ruolo limitato negli scenari energetici globali, può invece svolgere un ruolo significativo a livello locale, soddisfacendo ampiamente la domanda di energia. Questo concetto diventa particolarmente rilevante per i Paesi caratterizzati da elevata potenzialità geotermica come l'Italia, dove oggi, sfortunatamente, si assiste però a uno scarsissimo impiego e sviluppo rispetto al potenziale esistente. L'Italia, ricca di risorse geotermiche, ha dimostrato e continua a dimostrare eccellenza nel settore trasportando le proprie conoscenze anche al di fuori del paese e mantenendo gli storici impianti geotermici operanti in Toscana, nei campi di Lardarello, Travale-Radicondoli e Monte Amiata. Questi campi, con i loro 37 impianti, riescono a soddisfare il 30% del fabbisogno energetico toscano e attualmente coprono il 2% del fabbisogno nazionale. L'Italia rappresenta uno dei paesi più potenti nel mercato geotermico, con un potenziale di produzione stimato superiore a 100 TW/a entro il 2050. Massimizzare l'utilizzo dell'energia geotermica e soprattutto integrarla con altre risorse energetiche rinnovabili contribuirebbe significativamente alla transizione energetica sostenibile, stimolando inoltre le economie locali attraverso applicazioni tradizionali e innovative.

Per ottimizzare questo processo di massimizzazione, sono necessarie varie azioni. Queste includono l'allocazione di investimenti nella ricerca, non solo per identificare e caratterizzare le risorse, ma anche per promuovere l'avanzamento tecnologico e la comprensione dei potenziali rischi associati, insieme a pratiche per prevenirli. Inoltre, è importante accelerare le procedure burocratiche di autorizzazione e intensificare le attività di disseminazione ed educazione energetica col fine di creare una popolazione giovane e adulta informata e consapevole delle scelte energetiche proposte dal proprio Paese. Questo preparerebbe potenzialmente le persone ad azioni partecipative critiche mirate al raggiungimento della sostenibilità energetica, economica e sociale.

Energie Rinnovabili Marine: Un'opportunità per la transizione energetica del nostro Paese?

Claudio Lugni
CNR INSEAN

Sommario

L'utilizzo delle Energie Rinnovabili Marine, con particolare attenzione ai parchi eolici offshore e alle isole solari galleggianti, sembra essere un passo ineludibile verso una strategia di transizione energetica ben definita per il nostro Paese. Tuttavia, le acque profonde del nostro Mar Mediterraneo pongono diverse sfide, sia tecnologiche che strategiche (infrastrutture mancanti e mancanza di regole chiare per il processo di autorizzazione) che devono essere affrontate per favorire un pieno sviluppo della tecnologia, possibilmente basato sull'uso della catena del valore nazionale. Nuovi scenari, come quello dell'Arcipelago Energetico Galleggiante (primo esempio di città galleggiante) possono essere immaginati in una prospettiva a lungo termine, come parte di un uso sostenibile dello spazio marino.

L'imperativa sfida sociale del raggiungimento della sostenibilità ambientale per il contenimento del cambiamento climatico richiede, da un lato, importanti azioni di efficientamento nell'uso delle fonti energetiche e di recupero degli sprechi energetici, e dall'altro un importante potenziamento delle infrastrutture per lo sfruttamento di energia naturale rinnovabile (vento, sole, onde, ecc.).

Secondo gli scenari energetici strategici previsti dalla Commissione UE, il sistema energetico europeo, sia di produzione che di consumo, deve rapidamente adeguarsi ai criteri di sostenibilità, già previsti all'interno del Green Deal, che prevedono:

- Riduzione del consumo di energia
- Aumento della quota energetica da fonti rinnovabili
- Taglio (drastico) dell'uso dei combustibili fossili
- Implementazione del concetto di economia circolare (riutilizzo dei materiali, prolungamento del tempo di utilizzo dei materiali)
- Indipendenza energetica

L'EU vorrebbe così facilitare la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra spianando la strada all'attuazione della neutralità climatica entro il 2050.

Il punto E) è un indiscutibile elemento di resilienza. Nel 2020 circa il 60 % dell'energia consumata in UE, è stata importata. La Russia che ha avuto un ruolo dominante come fornitore di energia, con il 29 % di petrolio greggio, il 43 % di gas naturale e il 54 % di combustibili fossili solidi, soprattutto carbone. Ciò ha comportato una vulnerabilità alle carenze energetiche, in particolare per quegli stati EU più dipendenti di altri dall'energia russa.

Per realizzare questa ambiziosa prospettiva, la crescita delle rinnovabili e delle infrastrutture connesse, gioca un ruolo fondamentale:

- a fronte di una capacità attuale di generazione europea da fonte solare di circa 200 GW, si prevede di raddoppiare a 400 GW entro il 2030 e raggiungere quota 1.400 GW entro il 2050;
- l'attuale capacità dell'eolico dovrà aumentare di 100 GW, raggiungendo i 300 GW entro il 2030 e i 1100 GW entro il 2050;

Tali infrastrutture, tuttavia, hanno dimensioni relativamente elevate, in termini di consumo di suolo e di impatto paesaggistico, tali da suscitare possibili resistenze da parte della popolazione locale.

In questo contesto, l'ipotesi di spostare in mare tali infrastrutture a sufficiente distanza dalla costa è una soluzione da perseguire con determinazione, nonostante la maggiore complessità del sistema.

Se si dovesse pensare ad una classificazione delle tecnologie per le rinnovabili marine (cioè eolico, onde, maree e correnti, solare) basata sul loro livello di maturità tecnologica, l'eolico offshore ed i dispositivi per correnti e maree avrebbero certamente una posizione di primo livello, seguito dal solare PV galleggiante e quindi dalle onde marine. Non si è infatti ancora trovato un meccanismo "vincente" per lo sfruttamento di energia dalle onde, un winner che possa utilizzare una parte consistente dell'enorme quantitativo di energia disponibile nelle onde marine. D'altra parte i dispositivi da correnti e maree, seppure efficienti, non trovano grande applicabilità in alcuni bacini EU ed in particolare nel Mediterraneo, data la ridotta estensione di zone con una risorsa rilevante.

In un tale contesto, l'EU si propone come leader mondiale per le energie rinnovabili marine ed in particolare per la tecnologia eolica offshore, destinata ad avere un ruolo

dominante verso l'indipendenza energetica con oltre 60GW entro il 2030 e 300 GW nel 2050.

Seguendo il percorso virtuoso che ha portato, nel caso dell'eolico offshore con fondazione fissa, all'abbattimento dei costi di installazione e manutenzione fino a stimare un LCOE per il 2030 al di sotto di 7 ct€/kWh, l'EU vuole proporsi con lo stesso ruolo e con la stessa strategia per cercare di ridurre il costo anche nel caso di piattaforme per l'eolico galleggiante. Tale tecnologia diventa un passo obbligato per garantire una rapida diffusione dell'eolico offshore in ambienti marini ben diversi dal Mar del Nord, quali per esempio quelli tipici nel Mar Mediterraneo e/o nell'Oceano Atlantico. In tali contesti, i fondali ben più profondi, rendono necessarie e convenienti tecnologie basate sull'utilizzo di strutture galleggianti. La strada che ormai è stata delineata per una rapida transizione ecologica vede l'utilizzo di turbine sempre più grandi in potenza (attualmente siamo ai 15 MW e si traguarda l'obiettivo del 20 MW) e specificamente progettate per applicazione in campo marino. Questo consentirà nel breve termine una riduzione dei costi di manutenzione ed operazione dell'impianto, lasciando prevedere un LCOE attorno ai 12 ct€/kWh nel 2030 (SET-Plan).

Come sottolineato dal piano di attuazione del SET, è opinione comune la necessità che nuove aree offshore vadano oltre le regioni di acque poco profonde del Mare del Nord, dove la turbina eolica a fondo fisso è una tecnologia ben consolidata. I mari più profondi, che richiedono l'uso della tecnologia galleggiante, devono essere sfruttati per il pieno dispiegamento dell'energia eolica. Considerando queste prospettive, il Mar Mediterraneo è un'alternativa molto attraente. Nonostante la minore velocità media del vento rispetto al Mare del Nord, le condizioni del mare più miti e la maggiore stabilità della risorsa eolica forniscono condizioni vantaggiose per minori costi di investimento e manutenzione e facilitano una prevista riduzione dell'LCOE, un fattore chiave per un pieno dispiegamento del vento galleggiante tecnologia delle turbine.

A causa della nuova sfida legata alla grande profondità dell'acqua, nel Mar Mediterraneo mancano ancora turbine eoliche offshore. Tuttavia, molto recentemente, il primo prototipo di una turbina eolica galleggiante innovativa su progetto Saipem, è stato costruito e installato dal CNR in mare davanti al porto di Napoli, presso il sito MaRELab. L'attività è stata parte di una collaborazione congiunta tra CNR e Saipem, con l'obiettivo di fare un passo avanti nella rivelazione e comprensione delle principali problematiche connesse all'utilizzo di soluzioni innovative per le tecnologie galleggianti applicate all'eolico offshore. Questo è solo uno degli obiettivi del Progetto di Ricerca "Ricerca di Sistema, Tema 1.8: Energia Elettrica dal Mare" (RdS), finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico/Ministero della Transizione Ecologica e coordinato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) con il contributo di "Università della Campania" (Unicampania) e "Università di Roma Tre" e "Sapienza".

Più in generale, il RP RdS mira allo sviluppo di un approccio scientifico consolidato per studiare soluzioni tecnologiche innovative per l'energia rinnovabile marina (da vento, sole, onde, corrente) e consentire un TRL più elevato, fino a 8-9, con uno sforzo di investimento ridotto.

Ciò si ottiene attraverso una strategia di indagine interdisciplinare e completa che combina: i) una serie di modelli numerici completamente integrati con complessità variabile (a seconda della fase di progettazione) per l'aerodinamica, idrodinamica, strutturale, di controllo ed elettrica di il sistema energetico marino; ii) esperimenti su scala modello in laboratori interni che emulano le condizioni reali in mare; iii) esperimenti in mare (presso il sito MaRELab) su un prototipo in scala maggiore (fino a scala reale) del dispositivo energetico marino considerato.

Una nuova strategia per la raccolta dell'energia rinnovabile marina è stata teorizzata per la prima volta dal 2015 dal CNR-INM e pubblicata per la prima volta come una delle tre linee strategiche della Traiettorie 5 (Energia Rinnovabile Marina) nel piano d'azione del Cluster BIG: l'Arcipelago Energetico Galleggiante (FEA). Concepita per le aree marine di

acque profonde, tipiche del Mediterraneo, la FEA è un prototipo di smart-city galleggiante e modulare, energeticamente indipendente, in grado di raccogliere l'energia rinnovabile marina (sole, vento, geotermia, onde) e utilizzarla per l'attività umana e industriale in situ. La proposta Energy Archipelago, oggetto di una importante collaborazione tra CNR e Fincantieri, mira a superare gli ostacoli tecnologici connessi alla realizzazione in mare aperto di impianti di generazione di energia da fonti rinnovabili marine (eolico, moto ondoso) integrati con sistemi fotovoltaici, al punto da realizzare prototipi dimostrativi di isole energetiche di potenza crescente, la cui modularità consentirà la costruzione di arcipelaghi i) di potenza adeguata alle diverse località geografiche, ii) con combinazione di sistemi e tecnologie di energy harvesting opportunamente ottimizzati per la risorsa energetica disponibile nel sito e iii) con possibile utilizzo in situ dell'energia immagazzinata.

Il punto iii) implica l'integrazione della capacità di produrre acqua dolce dalla desalinizzazione dell'acqua di mare, idrogeno e ossigeno dall'elettrolisi; la prima adatta a rendere l'arcipelago una città galleggiante per l'attività umana nonché un possibile serbatoio d'acqua per una comunità di piccole isole vicine, la seconda come sito di rifornimento per unità navali ibride. Inoltre, l'energia immagazzinata può essere utilizzata per alimentare impianti di acquacoltura e mitilicoltura da realizzare nelle vicinanze. L'ampia disponibilità di energia elettrica può inoltre rendere gli arcipelaghi luoghi idonei per l'ubicazione di Data Center e siti unici per il monitoraggio delle acque marine e della vita marina, che - come è noto - sono particolarmente energivori. Questa integrazione impiantistica - impossibile nelle infrastrutture a terra - consentirà di aumentare l'efficienza complessiva e migliorare il piano economico degli investimenti.

L'impianto degli arcipelaghi sarà innanzitutto funzionale all'autonomia energetica di insediamenti urbani costieri isolati (isolette, villaggi periferici rispetto all'infrastruttura elettrica nazionale), e poi, con l'aumento delle potenze di produzione, a poter fornire un importante contributo al sistema elettrico nazionale.

In altre parole, l'aumento del fabbisogno energetico del pianeta, unito alla sua sovrappopolazione e alla conseguente, tendenzialmente, insufficiente disponibilità di territori suggerisce la necessità dello sviluppo di un paradigma alternativo che sposti sempre più certe attività oggi concentrate onshore verso gli oceani.

In questo contesto, si intende studiare la sostenibilità dell'integrazione tra più fonti di energia e suoi usi per scopi industriali concentrati offshore, con la logica di mettere in comune le necessarie infrastrutture di supporto e quindi valutare possibili sinergie.

Con un'ulteriore analisi si intende verificare se l'idea di un arcipelago energetico multifunzionale che favorisca una "simbiosi" tra diverse discipline, possa creare i presupposti per il superamento di alcuni potenziali conflitti tra diverse categorie come quella della pesca selvaggia e quella della produzione di energia offshore.

Idrogeno rinnovabile: un vettore di energia verde per la decarbonizzazione dell'industria e l'accoppiamento di settori

Francesco Sergi

Istituto per le Tecnologie Energetiche Avanzate del CNR

Attualmente, le principali opzioni per ridurre le emissioni di gas climalteranti possono essere riassunte in tre azioni cruciali: l'eliminazione graduale dei combustibili fossili, l'uso di fonti energetiche rinnovabili e l'elettrificazione dei consumi. Tuttavia, la decarbonizzazione del settore industriale non può essere raggiunta solo con questo approccio, perché gran parte delle filiere dell'industria pesante utilizzano il carbonio nei loro processi (ad esempio, il processo di produzione dell'acciaio, la raffinazione, la

produzione di prodotti chimici, ecc. In genere, queste industrie appartengono al cosiddetto settore difficile da abbattere, perché è difficile ridurre le emissioni di anidride carbonica nei loro processi produttivi.

L'idrogeno prodotto da fonti rinnovabili è un vettore di energia verde che può essere utilizzato per i settori industriali difficili da abbattere, per lo stoccaggio dell'energia, per il trasporto dell'energia e per l'accoppiamento dei settori al fine di ottenere un sistema energetico più resiliente, decarbonizzato e integrato.

Questa presentazione esplorerà i vantaggi e gli svantaggi della produzione e dell'utilizzo dell'idrogeno verde, le limitazioni e le opportunità, i problemi legati ai costi e la fornitura delle materie prime necessarie.

Prospettive future nell'accumulo di energia elettrica

Pier Paolo Prosinì

ENEA

Con l'aumento delle fonti rinnovabili nel mix energetico, lo stoccaggio dell'elettricità sta diventando sempre più importante. Per favorire la diffusione delle energie rinnovabili, è necessario un progressivo aumento delle capacità di stoccaggio. Infatti, poiché le energie rinnovabili sono discontinue, è necessario compensare le discrepanze tra i picchi di produzione e di domanda. Tra i vari sistemi di accumulo, le batterie rappresentano quello più efficiente, in quanto consentono di immagazzinare e rilasciare direttamente l'elettricità.

Ciò che dovremo tenere in maggiore considerazione nel prossimo futuro è lo sviluppo di batterie sostenibili, ossia che utilizzino materie prime altamente disponibili e per le quali si conosca il loro utilizzo.

Questo tema verrà affrontato nella presentazione: non solo verranno mostrate valide alternative per la creazione di sistemi di accumulo efficienti e a basso impatto ambientale, ma verranno anche illustrate strategie per il recupero delle batterie a fine vita.

Motivazioni per la costruzione di reattori modulari avanzati raffreddati a piombo

Luciano Cinotti

Newcleo

L'abbondanza di combustibili fossili a basso costo ha creato difficoltà allo sviluppo dell'energia nucleare che

(i) non ha sviluppato nuove tecnologie, limitandosi alla costruzione di reattori raffreddati ad acqua e

(ii) si è affidato alle economie di scala nel tentativo di ridurre i costi aumentando la potenza unitaria prodotta.

L'adozione esclusiva di reattori raffreddati ad acqua non ha portato a progressi nel ciclo del combustibile, caratterizzato da uno scarso utilizzo delle risorse naturali di uranio e dalla produzione di scorie a lunga vita. L'aumento delle dimensioni, insieme al declino delle capacità produttive, ha aumentato i tempi/costi di produzione.

I piccoli reattori modulari raffreddati ad acqua (SMR) sviluppati da varie aziende puntano invece sulla semplicità, sulle economie di serie, sulla standardizzazione, sulla riduzione dei tempi di produzione e sulla sicurezza, ma non migliorano il ciclo del combustibile. In un sistema elettrico dominato dalle rinnovabili, i piccoli reattori nucleari avranno la funzione di stabilizzare la rete.

Il Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti (DOE) ha lanciato l'iniziativa Generation IV nel 2000 per esplorare nuove tecnologie e la Roadmap del 2002 ne seleziona 6. Di queste, 4 sfruttano un reattore veloce e una tecnologia di tipo "fast".

Di questi, 4 sfruttano un flusso di neutroni veloci e offrono:

- la possibilità di ridurre il consumo di uranio di oltre 100 volte, rendendo il nucleare una fonte di energia praticamente inesauribile;
- ridurre drasticamente la produzione di scorie a lunga vita utilizzando come combustibile alcuni di quei materiali che rappresenterebbero dei rifiuti per i reattori raffreddati ad acqua.

newcleo si concentra sullo sviluppo di reattori veloci raffreddati a piombo liquido e nel 2023 è stata inclusa nell'iniziativa France 2030 di Bpifrance. *newcleo* intende costruire un primo reattore da 30 MWe in Francia e una serie di reattori modulari avanzati (AMR) da 200 MWe in Europa. È anche ipotizzabile la costruzione di reattori raffreddati ad acqua il cui plutonio e altri materiali fissili a lunga vita vengano poi utilizzati dai reattori raffreddati a piombo di *newcleo*, con un mix appropriato tra i due tipi di impianto.

Energia da fusione nucleare: dalla ricerca di base alla commercializzazione

Stefano Atzeni

Focused Energy GmbH, Darmstadt, Germany

Le ricerche sulla fusione nucleare hanno l'obiettivo di realizzare impianti per produzione di energia con un impatto ambientale estremamente limitato (non dando luogo a rilascio diretto di gas clima alteranti, né di rifiuti nucleari ad alta attività), indipendente dalle condizioni meteorologiche, utilizzando materie prime ampiamente disponibili e praticamente inesauribili. Gli attuali studi riguardano infatti la reazione D-T fra gli isotopi deuterio (D) e trizio (T) dell'idrogeno, che si fondono in un nucleo di elio (particella alfa) e liberano un neutrone ed energia. Il deuterio si estrae dall'acqua di mare, il trizio, presente in natura solo in tracce, si può produrre irraggiando con i neutroni della reazione DT stessa un opportuno 'mantello' contenente litio. Un reattore da 1000 MW elettrici richiederà solo 100 kg di deuterio e 300-600 kg di litio ogni anno.

La sfida scientifica da affrontare riguarda il riscaldamento del combustibile reagente, allo stato di plasma, a una temperatura di circa 100 milioni di gradi, ben superiore a quella del centro del sole, e il suo 'confinamento', cioè mantenimento in condizioni di reazione, isolato dalla struttura del reattore, per un tempo sufficientemente lungo. A tal fine si utilizzano due schemi alternativi, confinamento magnetico e inerziale, ciascuna con numerose varianti. Nelle macchine a confinamento magnetico attualmente con migliori prestazioni, i 'Tokamak', si contiene un plasma piuttosto tenue all'interno di un recipiente toroidale, attorno a cui sono avvolti potenti elettromagneti. Inoltre, un apposito circuito induce nel plasma una corrente, riscaldandolo e generando un ulteriore campo magnetico, che si somma a quello generato dai magneti, dando luogo alle forze magnetiche che mantengono il plasma in equilibrio. Il plasma è ulteriormente scaldato tramite l'iniezione di onde elettromagnetiche e di fasci di particelle energetiche. Nel confinamento inerziale, potenti fasci laser impulsati irraggiano un 'bersaglio' di dimensioni

millimetriche, causandone l'implosione, la compressione e il riscaldamento, con l'obiettivo di innescare, in una piccola porzione del combustibile una 'combustione nucleare', che si propaga all'intero bersaglio.

Negli ultimi anni sono stati ottenuti significativi progressi in entrambe le linee. Nel confinamento magnetico, cui storicamente sono state dedicate maggiori risorse (soprattutto nell'Unione Europea e in Giappone), la macchina Tokamak europea JET ha prodotto circa 60 MJ di energia in 5 secondi e, in altri esperimenti ha ottenuto un'amplificazione energetica $Q = 0.67$ (rapporto fra energia di fusione ed energia conferita al plasma). Tokamak con magneti superconduttori hanno mantenuto il plasma in equilibrio per 1000 secondi. Un risultato storico è stato ottenuto nella fusione inerziale: in esperimenti con il laser NIF del Lawrence Livermore National Laboratory (Livermore, California) si è realizzata per la prima volta l'ignizione termonucleare (innescò di un'onda di reazione 'autostenuta', cioè causata dall'energia depositata nel plasma dalle particelle alfa di fusione), e si è ottenuto $Q = 1.9$: un bersaglio irraggiato con impulsi laser di 2 MJ, ha prodotto 3.8 MJ.

Si tratta in entrambi i casi di risultati importanti, ma – oltre a quelli tecnologici (relativi ad affidabilità, disponibilità, costi) – ulteriori progressi scientifici sono necessari. Nel campo della fusione magnetica, la Roadmap Europea prevede in primo luogo la partecipazione alla realizzazione del reattore sperimentale ITER, in costruzione in Francia nell'ambito di un più ampio consorzio internazionale, con l'obiettivo di produrre 500 MW termici in impulsi di una decina di minuti, con $Q = 5-10$, e – contestualmente – di sperimentare tutta una serie di tecnologie necessarie per un successivo reattore commerciale. ITER sarà avviato entro pochi anni, ma la piena operatività con DT è prevista solo per il 2038. Sono comunque già in corso attività su DEMO, il successivo prototipo di reattore commerciale. Nella fusione inerziale è necessario verificare la fattibilità di schemi (ampiamente studiati teoricamente, ma sperimentati solo in scala ridotta) che possano conseguire valori di Q dell'ordine di 100. Inoltre, debbono essere sviluppate tecnologie laser, ottiche, termotecniche che consentano un funzionamento ripetitivo, efficiente ed economico del processo. In questo caso non esistono al momento road-map istituzionali, ma alcune start-up, fra cui Focused Energy, hanno definito programmi che giungono fino alla costruzione di reattori prototipo, e studiano e sviluppano tutte le tecnologie necessarie.

È infatti da rilevare l'ingresso nel settore della fusione di aziende che mirano ad una rapida commercializzazione della fusione e che hanno raccolto globalmente investimenti superiori ai 4 miliardi di dollari. Alla nascita di tali aziende ha fatto seguito, soprattutto negli USA e in Germania, una positiva reazione delle Istituzioni pubbliche. Negli USA sono stati avviati, sotto l'egida del Department of Energy, programmi di Private-Public-Partnership. In Germania, il governo federale ha lanciato un ambizioso programma a sostegno di iniziative collaborative (fra aziende private, accademia e centri di ricerca), aperto sia alla fusione magnetica, sia per la prima volta, alla fusione inerziale. Inoltre, la SPRIND, (German) Federal Agency for Disruptive Technologies ha costituito un'azienda per lo sviluppo di tecnologie laser per la fusione, che opererà in collaborazione con e in supporto di Focused Energy e di un'altra start-up.

Mobilità sostenibile e politica industriale

Annamaria Simonazzi
Sapienza Università di Roma

La transizione verde e le innovazioni in campo digitale, stanno determinando un cambiamento radicale nell'industria automobilistica e nel prodotto "automobile". Il pacchetto "Fit for 55" (2023), una serie di proposte legislative volte a ridurre le emissioni di gas a effetto serra dell'UE di almeno il 55% entro il 2030 per arrivare allo zero nel 2050, prevede fra l'altro il divieto dell'immatricolazione di veicoli alimentati a benzina o diesel nei paesi membri a partire dal 2035. L'industria europea è stata colta impreparata e rischia di perdere terreno rispetto alla concorrenza cinese. Infatti, grazie a una politica pubblica lungimirante, che ha da gran tempo sussidiato la crescita del settore, sostenendo la creazione dell'intera filiera, la Cina è diventata il principale paese produttore e esportatore di auto elettriche. Economie dinamiche e di agglomerazione le danno un vantaggio enorme sui concorrenti.

La minaccia all'industria europea ha indotto la Commissione Europea a rivedere la sua filosofia "liberista", adottando diverse misure a difesa dell'industria nazionale. Preoccupazioni di ordine geopolitico hanno inoltre indotto a valutare politiche di riduzione del rischio che deriva da una dipendenza eccessiva da fonti estere.

La nuova politica europea deve fare i conti con diversi problemi. Una politica protezionistica comporta il rischio di ritorsione, che potrebbe tagliare fuori l'industria europea da inputs, materie prime e tecnologie fondamentali per la trasformazione verde. Inoltre, un de-coupling con l'industria cinese potrebbe danneggiare la competitività delle imprese europee, nella misura in cui impedisce loro di beneficiare dei minori costi e dell'enorme vantaggio cinese nelle tecnologie verdi e digitali. Infine, l'apertura del mercato europeo ai prodotti cinesi potrebbe ridurre i costi e accelerare l'adozione di veicoli elettrici, favorendo il processo di decarbonizzazione, al costo però di minare la base industriale dell'UE. Dunque, l'apertura alla Cina pone un trade-off fra occupazione e decarbonizzazione e un conflitto di interessi fra le case automobilistiche occidentali, interessate a difendere le loro quote nel mercato globale, e i loro governi, interessati alla difesa dell'occupazione.

Si richiede dunque un delicato equilibrio tra protezione e concorrenza, con l'introduzione di misure capaci di accelerare la produzione e l'adozione di veicoli verdi. Un aspetto importante riguarda il finanziamento della transizione. Un Fondo sovrano europeo, al pari dell'IRA americano, per finanziare la nuova agenda di politica industriale è fortemente avversato da alcuni stati europei. La nuova politica industriale europea, dunque, ha lasciato ai singoli stati il compito di finanziare la transizione. Con il rinnovato Patto di stabilità, questo implica un margine di manovra assai diverso fra paesi nella concessione di aiuti volti ad attrarre gli investimenti necessari per la costruzione della nuova filiera dell'auto elettrica, salvaguardare l'occupazione e alleviare gli effetti delle massicce transizioni occupazionali tra settori, profili lavorativi e tra regioni causati dalla ristrutturazione dell'industria. Costi di breve e benefici di lungo periodo distribuiti in modo assai diseguale fra gli stati e all'interno degli stati rischiano di rallentare il processo di transizione verde.

Un modello diverso di sviluppo e di politica industriale, basata sul ruolo e sulla capacità di programmazione e di guida del pubblico, coordinata a livello europeo e attenta alla coesione sociale, potrebbe trasformare la transizione verde da sfida a opportunità.

Mobilità sostenibile nei contesti delle fonti energetiche rinnovabili e nei contesti di cambiamento climatico

Lorenzo Peretto
Università di Bologna

La domanda di energia, e in particolare di energia elettrica, è in continuo aumento da oltre un secolo. Ci sono così tante nuove applicazioni e settori in cui l'energia è essenziale e richiesta da rappresentare una delle sfide più significative nella ricerca di un ambiente più sicuro e più sano (obiettivo "net zero"). Ad esempio, i condizionatori d'aria, sia a livello industriale che residenziale, hanno aumentato drasticamente la domanda di energia elettrica. Per far fronte a questo obiettivo, gli enti normativi e legislativi nazionali e internazionali hanno scelto di orientarsi verso differenti fonti di energia rispettose dell'ambiente e senza impatto sulla salute della terra e delle persone. Le fonti di energia rinnovabili e distribuite vengono viste come una soluzione solida e robusta per un ambiente privo di emissioni di carbonio.

Un problema parallelo che contribuisce a minacciare la salute dell'ambiente e delle persone è rappresentato dai veicoli per la mobilità, in particolare la mobilità nelle città. Parallelamente all'evoluzione delle nuove fonti energetiche rinnovabili, tutti i grandi sforzi orientati a rendere la mobilità molto più accessibile e sostenibile dal punto di vista ambientale hanno portato a sostituire, nei veicoli, i tradizionali motori a combustione interna con motori elettrici, alimentati da batterie elettriche e da fonti energetiche basate sull'idrogeno (celle a combustibile o carburante).

Tuttavia, questa transizione è ancora controversa in alcune circostanze. Da un lato, la mobilità elettrica nelle città non produce inquinamento a livello locale; dall'altro, la produzione di veicoli elettrici genera inquinamento in altri luoghi e richiede speciali elementi rari. Tuttavia, i vantaggi associati alla transizione verso la mobilità elettrica in termini di qualità della salute, efficienza, rumorosità, peso, ecc. sono così numerosi da rendere tale evoluzione dirimente. Inoltre, essa corrisponde pienamente alla definizione riportata nella strategia europea sullo sviluppo sostenibile approvata nel 2006 dal Consiglio Europeo, che richiede di garantire che i sistemi di trasporto corrispondano alle esigenze economiche, sociali e ambientali della società, minimizzando al contempo gli impatti negativi sull'economia, sulla società e sull'ambiente.

La presentazione si concentrerà sulle principali caratteristiche dei veicoli elettrici rispetto a quelli convenzionali. Saranno evidenziate le sfide e i cambiamenti apportati dalla mobilità elettrica (nuove reti elettriche per le fonti di energia rinnovabili e distribuite, comunità energetiche, stazioni di ricarica, vehicle-to-grid, concetto V2G, catena di fornitura, nuove competenze dei lavoratori, ristrutturazione di impianti di produzione e collaudo, ecc.) con particolare attenzione agli effetti sulla società e sugli stili di vita.

Quando il vento soffia più forte L'impatto dei cambiamenti climatici sul trasporto marittimo

Emilio Fortunato Campana
CNR

Sommario: Il trasporto via mare è il motore nascosto della globalizzazione. Infatti, il 90% del trasporto mondiale di merci avviene via mare: senza, metà del mondo morirebbe di fame, l'altra metà di freddo.

Alla diffusione del trasporto marino è legata tuttavia una parte non piccola dell'immissione di CO₂ in atmosfera. Per limitare e poi risolvere i problemi posti dal cambiamento climatico

e dall'inquinamento e degrado degli oceani, l'attenzione delle istituzioni internazionali è quindi sempre più orientata verso le tecnologie per la decarbonizzazione del trasporto marittimo, e la ricerca scientifica e tecnologica si sta concentrando su nuovi combustibili, produzione di energia alternativa a bordo, navi a guida autonoma, elettrificazione, nuove tecnologie digitali, con un orizzonte che arriva al 2050 per un completo raggiungimento dell'obiettivo.

Per il momento, e nei prossimi anni, le emissioni di gas serra continueranno a spingere verso l'alto le temperature globali: di conseguenza potremo inoltre prevedere venti più forti, e un conseguente aumento degli stati di mare medi e della frequenza di eventi estremi (onde anomale), che richiedono quindi nuovi e più avanzati metodi di progettazione, basati modelli di simulazione avanzata, integrati con metodi di ottimizzazione multidisciplinare. Anche dal punto di vista matematico, il problema infatti non è banale: la nave è infatti un oggetto (grande) elastico che viaggia all'interfaccia di due fluidi in regime fortemente turbolento, e la frontiera (libera) tra i due ha inoltre una forma che dipende dalla soluzione di PDE non lineari, con condizioni al contorno stocastiche.

La transizione verde nell'aviazione commerciale

Erasmus Carrera

Professore di Aeronautica ed Astronautica, Presidente Associazione Italiana di Aeronautica ed Astronautica, Politecnico di Torino

L'aviazione commerciale è senza dubbio il settore aeronautico che desta maggiore interesse per una sua possibile transizione ecologica diretta alla riduzione di emissione di inquinanti. L'aviazione commerciale comprende principalmente il trasporto aereo civile e la gestione aeroportuale. L'emissione di inquinanti legato all'uso corrente di combustibile di natura fossile per la generazione di forze propulsive siano esse ottenute con elica o a getto. Sebbene la quantità complessiva di anidride carbonica prodotta dal trasporto aereo sia di un ordine di grandezza inferiore alla stessa prodotta in altri ambiti (processi industriali, agricoli e nella produzione di elettricità e riscaldamento/condizionamento), vi è un grande interesse nello studio di possibili soluzioni che vedano una forte riduzione, fino all'annullamento della quantità di inquinanti legati all'aviazione civile. Enti regolatori, compagnie aeree, enti di ricerca, istituzioni governative ed industrie aeronautiche hanno da tempo costituito organismi di studio, tavoli comuni per stabilire delle linee guida e azioni da intraprendere per raggiungere 'emissioni zero' entro il 2050. Due sono i grandi filoni di intervento:

1- continuare a migliorare l'efficienza dell'aeroplano nel suo complesso, efficienza intesa come possibilità di trasportare lo stesso peso con consumi sempre inferiori di combustibile (alleggerire le strutture, uso nuovi materiali, spesso multifunzionali, migrare su architetture di maggiore efficienza aerodinamica, gestione ottimale delle rotte di volo fino a prevedere soste di rifornimento combustibile per voli a lungo raggio, miglioramento della gestione dei mezzi aerei in aeroporto);

2- intervenire direttamente sulla propulsione,

(a) attraverso l'uso di combustibili sostenibili, non di origine fossile,

(b) utilizzare la propulsione ibrida, con la contemporanea presenza di motore termico ed elettrico per generare la spinta necessaria a sostenere il peso dell'aeromobile;

(c) realizzare propulsori completamente di tipo elettrico, con estensivo uso di batterie a

combustibile. Lo sviluppo di queste ultime non potrà che giovare dalla tecnologia che verrà sviluppata anche in altri settori del trasporto, in particolare quello automobilistico e navale.

La presentazione discuterà lo stato dell'arte dei temi sopra elencati, e riporterà possibili considerazioni sulla fattibilità delle dichiarazioni 2050, note in Europa come *'Destination 2050: The European Aviation Sector's Climate Mission'*, e di come i diversi enti si preparano alla implementazione delle azioni decise e alla loro esecuzione secondo il piano stabilito.

Transizioni energetiche in mezzo a una trasformazione economica

Arunabha Ghosh

CEO, Consiglio per l'energia, l'ambiente e l'acqua

I Paesi in cui sono in corso le tradizionali trasformazioni conoscono la prosperità economica prima di affrontare una transizione energetica. Tuttavia, questa traiettoria appare molto diversa per le economie emergenti come l'India, dove si verificano molteplici transizioni energetiche in concomitanza con una rapida crescita economica. I mercati emergenti sono fondamentali per la transizione energetica globale: si prevede che l'88% della crescita della domanda di elettricità tra il 2019 e il 2040 provenga da loro. Se non passano, o "saltano", alle energie rinnovabili e ad altre fonti energetiche pulite, non ci sarà alcuna transizione energetica globale. Questo è il decennio del grande salto, con i mercati emergenti come l'India che passano alle energie pulite a un ritmo rapido.

L'India ha un orizzonte temporale breve, dal raggiungimento del picco dei combustibili fossili entro il 2040 al raggiungimento dell'obiettivo di zero emissioni entro il 2070. A tal fine, tutti i vettori energetici indiani dovranno crescere per soddisfare la crescente domanda di energia. L'approvvigionamento dei combustibili convenzionali dovrà essere messo in sicurezza prima della loro graduale eliminazione e i nuovi combustibili dovranno essere alimentati e sostenuti per crescere. In linea con ciò, l'India sta attraversando quattro transizioni energetiche fondamentali: il passaggio dalle fonti di energia tradizionali a quelle moderne, la rapida urbanizzazione, la crescita di infrastrutture energetiche sostenibili e una maggiore integrazione nei mercati energetici globali. Attraverso queste transizioni, l'India sta assistendo a cambiamenti su larga scala nella sua domanda di energia, nell'accesso all'energia e nell'efficienza energetica.

Queste transizioni energetiche hanno un impatto su altri obiettivi di sviluppo sostenibili (SDG), dall'equità di genere ai nuovi posti di lavoro, dalle città sostenibili alla produzione e al consumo responsabili, fino alla riduzione della povertà attraverso mezzi di sussistenza basati sull'energia pulita. L'India sta anche promuovendo iniziative globali, come l'International Solar Alliance e la Global Biofuels Alliance.

Allo stesso tempo, persistono tre sfide. I finanziamenti per l'energia pulita continuano ad avere costi elevati per i mercati emergenti. Le catene di approvvigionamento di energia pulita sono altamente concentrate e hanno un impatto su materiali, minerali e prodotti intermedi e finiti. I nuovi mercati dell'idrogeno verde sono limitati anche dalla mancanza di standard comuni tra le varie giurisdizioni. Per una rapida crescita delle rinnovabili nel decennio del salto di qualità, è necessario risolvere i problemi più strutturali della transizione energetica.

Questo intervento al convegno presenterà i dati relativi alle molteplici transizioni energetiche dell'India, discuterà in modo più approfondito le sfide associate agli investimenti e ai finanziamenti a basso costo, illustrerà gli approcci innovativi per il co-sviluppo tecnologico e i nuovi modelli di business per la diffusione dell'energia pulita, e approfondirà come le catene di approvvigionamento globali debbano diventare più resilienti per rispondere alle sfide della sicurezza energetica per i combustibili del futuro.

Prospettive internazionali sul contributo del nucleare a una transizione energetica giusta e sostenibile

Henri Paillere

Responsabile della sezione Pianificazione e studi economici,
Dipartimento di Energia Nucleare,
Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica

L'energia nucleare è ed è stata un contributo fondamentale alla decarbonizzazione del settore energetico. L'AIEA stima che negli ultimi cinque decenni l'energia nucleare abbia evitato circa 70 Gt di emissioni di CO₂. Sebbene oggi solo 31 Paesi operino con il nucleare, in alcuni Paesi o regioni (Unione Europea o Stati Uniti) esso rappresenta la principale fonte di elettricità a basse emissioni di carbonio e, a livello globale, il nucleare è ancora la seconda fonte di elettricità a basse emissioni di carbonio dopo l'energia idroelettrica. La mancanza di politiche e investimenti favorevoli negli ultimi due decenni, anche a seguito dell'incidente di Fukushima Daiichi, ha fatto sì che la generazione nucleare di energia non sia progredita - nel 2021 la generazione nucleare di energia era allo stesso livello del 2006 - mentre la generazione da altre fonti a basse emissioni di carbonio, come l'energia eolica o solare, è aumentata notevolmente. Di conseguenza, la quota di elettricità nucleare è diminuita costantemente, passando da quasi il 18% a metà degli anni '90 a poco più del 9,2% nel 2022.

Le crescenti preoccupazioni per il cambiamento climatico e per la sicurezza dell'approvvigionamento energetico hanno portato a riscoprire gli attributi del nucleare: la minore impronta di carbonio tra le tecnologie a bassa intensità, il suo contributo alla sicurezza dell'approvvigionamento energetico e alla stabilità delle reti elettriche, ma anche la non richiesta di programmazione e la flessibilità che lo rendono un partner interessante per le fonti rinnovabili variabili. Inoltre, sebbene sia più costosa dell'eolico e del solare su una base LCOE (costo livellato dell'elettricità), può contribuire a ridurre il costo complessivo della transizione, riducendo la necessità di sovraccaricare le capacità rinnovabili e di stoccaggio. L'Agenzia Internazionale per l'Energia (AIE) ha recentemente concluso che "senza ulteriore nucleare, la transizione energetica pulita diventa più difficile e più costosa".

Alla COP28 di Dubai, l'energia nucleare è stata inserita nel First Global Stocktake tra le tecnologie a basse emissioni necessarie per una riduzione profonda, rapida e sostenuta delle emissioni di gas serra in linea con i percorsi di contenimento dell'aumento delle temperature a 1,5 °C dell'Accordo di Parigi. Le nuove tecnologie nucleari che si affacciano sul mercato - come i piccoli reattori modulari - sono sempre più considerate come opzioni per sostituire le centrali elettriche fossili per la produzione di elettricità o calore. I benefici macroeconomici degli investimenti nucleari, tra cui la creazione di posti di lavoro e le ricadute tecnologiche, possono contribuire a garantire che la transizione dalle attività basate sui combustibili fossili non lasci indietro le comunità.

Anche il sostegno allo sviluppo delle capacità infrastrutturali fornito dall'AIEA a decine di Paesi emergenti sta ridisegnando le prospettive dell'energia nucleare. La tabella di marcia Net Zero dell'AIE prevede più del raddoppio della capacità nucleare entro il 2050, in linea con le proiezioni della capacità nucleare della stessa AIEA.

La presentazione illustrerà le proiezioni globali e regionali, i fattori trainanti e le sfide dell'Agenzia.

La transizione energetica e l'industrializzazione sostenibile: prospettive dai paesi in via di sviluppo

Annalisa Primi

Capo Divisione Trasformazione Economica e Sviluppo
Centro di Sviluppo- OCSE - Parigi, Francia

[le opinioni espresse in questo breve abstract sono quelle dell'autore e non riflettono necessariamente quelle dell'Organizzazione]

L'energia è diventata la nuova frontiera dello sviluppo. Accelerare la transizione energetica è cruciale per raggiungere il net zero e limitare il riscaldamento globale a 1,50 C entro il 2050. Tuttavia, non tutti i paesi hanno la stessa responsabilità per la crisi climatica attuale, né dispongono delle stesse opzioni e capacità per affrontare la transizione. La transizione energetica non è solo fondamentale per salvare il nostro pianeta e preservare la vita umana su di esso, ma comporta anche importanti implicazioni geopolitiche. Se gestita correttamente, potrebbe essere un punto di svolta per i paesi in via di sviluppo e ridefinire il loro ruolo e la loro posizione nelle reti globali del commercio, industria e innovazione.

Le energie rinnovabili rappresentano una grande opportunità per i paesi in via di sviluppo. Offrono soluzioni a bisogni pressanti come fornire energia a aree remote e scarsamente popolate. Ma soprattutto, se abbinata a strategie di industrializzazione ben concepite e intelligenti, potrebbero offrire maggiori opportunità di creazione di valore locale rispetto a quanto era possibile sotto il paradigma dei combustibili fossili. I paesi in via di sviluppo hanno risorse naturali che li rendono attori chiave nella transizione energetica. Questi paesi ospitano importanti giacimenti di minerali critici o essenziali per la transizione energetica, come litio, nichel, cobalto e altri. Più del 90% dell'offerta di mondiale di nichel, platino, cobalto e grafite proviene da paesi non OCSE. L'accesso a questi minerali critici è cruciale per garantire la sicurezza e la sostenibilità delle catene di approvvigionamento e per avanzare e accelerare efficacemente la transizione energetica. In alcuni casi, i paesi in via di sviluppo hanno anche vantaggi strategici in termini di localizzazione per radiazione solare, vento e biomassa.

Però i paesi in via di sviluppo sono, e dovrebbero mirare a essere, più che semplici fornitori di materie prime se vogliono cogliere appieno i benefici della transizione energetica e trasformarla in un'opportunità per trasformare le loro economie, diversificare il commercio, aumentare il valore aggiunto locale e ridurre la dipendenza dagli shock esterni. La transizione energetica rappresenta una grande opportunità per attivare nuove forme di industrializzazione sostenibile nei paesi in via di sviluppo.

L'obiettivo globale e condiviso della transizione energetica dovrebbe contribuire a cambiare la mentalità dei paesi avanzati e dei paesi in via di sviluppo nelle loro strategie commerciali, di investimento e industriali. Dovrebbe promuovere nuove forme di partenariato bilanciando le aspirazioni dei paesi in via di sviluppo e le necessità di quelli avanzati. Non riuscire a farlo comporta alti rischi. Potrebbe rallentare sensibilmente il ritmo della transizione energetica, limitare gli investimenti innovativi e bloccare prematuramente l'economia mondiale in determinate soluzioni energetiche; potrebbe, soprattutto, contribuire a frammentare sempre più l'economia mondiale. Per i paesi in via di sviluppo, oltre a questi pericoli, rappresenterebbe una grande opportunità persa per avviare processi di industrializzazione sostenibile e trasformare il loro ruolo nell'ordine economico globale.

Il ritmo e la direzione della transizione energetica stanno e continueranno a plasmare profondamente le relazioni internazionali, i partenariati tra governo e imprese e, in definitiva, le opportunità di crescita e sviluppo nei prossimi decenni. Oggi, è

nell'interesse dei paesi in via di sviluppo, e dell'economia globale, trattare il futuro dell'energia come una frontiera aperta. Le grandi aziende energetiche sono partner essenziali nel plasmare i futuri possibili dell'energia; è altrettanto importante creare le condizioni per far emergere nuovi attori, sia nei paesi avanzati che in quelli in via di sviluppo. Tra le azioni urgenti vi è l'identificazione di meccanismi efficaci di partenariato, nuovi modelli di finanziamento e la preservazione dello spazio politico per i paesi in via di sviluppo per collaborare e co-investire in scienza, industria, infrastruttura e innovazione.

L'attuale quadro normativo dell'UE in materia di energia è adatto allo scopo in vista degli obiettivi europei di riduzione dei gas serra per il 2040?

Clara Poletti
ARERA

Gli ambiziosi obiettivi europei di riduzione dei gas serra richiedono un cambiamento radicale nella produzione, nel trasporto e nel consumo di energia. La trasformazione dei nostri sistemi energetici deve bilanciare l'urgenza della decarbonizzazione con la necessità di garantire la sicurezza dell'approvvigionamento energetico e l'accessibilità economica. Una trasformazione così profonda e accelerata avrà implicazioni intersettoriali significative non solo per i settori energetici, ma anche per l'economia europea nel suo complesso e, in ultima analisi, per i cittadini europei.

Il quadro giuridico e normativo europeo, sviluppato progressivamente a partire dalla fine degli anni '90 e tuttora in evoluzione, si è dimostrato efficace nel garantire l'integrazione dei mercati nazionali. L'approccio cooperativo adottato nella creazione dell'agenzia europea ACER è stato una pietra miliare del processo di integrazione. Tuttavia, l'attuale quadro normativo deve essere adattato e ulteriormente migliorato per affrontare le sfide future.

Ad oggi non è chiaro quali soluzioni tecnologiche e quali accordi di mercato prevarranno in futuro, soprattutto per i cosiddetti settori e industrie "difficili da abbattere". Da un lato, osserviamo una crescente spinta verso la diffusione di fonti energetiche decentralizzate e l'utilizzo di piattaforme locali (o comunità energetiche) per far incontrare domanda e offerta. Questa tendenza sarà favorita dalla crescente disponibilità di nuove tecnologie informatiche.

Questa tendenza sarà favorita dalla crescente disponibilità di nuovi strumenti ITC e di soluzioni intelligenti anche per i piccoli consumatori e le famiglie. D'altra parte, una più robusta integrazione transfrontaliera, sostenuta da ulteriori grandi interconnessioni infrastrutturali, è considerata necessaria per sfruttare appieno il potenziale di ulteriori fonti rinnovabili, data la loro distribuzione geografica disomogenea e la loro volatilità. Una maggiore condivisione delle risorse aumenterebbe la resilienza del sistema e molto probabilmente ridurrebbe i costi. Questi due quadri non sono necessariamente alternativi l'uno all'altro, ma sono in qualche modo in competizione. È in corso una discussione su come garantire la coerenza ed evitare la duplicazione dei costi. Allo stesso modo, per quanto riguarda i mercati al dettaglio, ci sono opinioni divergenti sul ruolo che possono svolgere i clienti domestici. Se i prezzi al dettaglio elevati possono essere necessari per riflettere adeguatamente le esternalità ambientali e i vincoli del sistema, possono essere molto dannosi per l'accessibilità economica. Se da un lato c'è una spinta verso una partecipazione più attiva dei clienti, dall'altro c'è una forte necessità di proteggere i consumatori, soprattutto quelli più vulnerabili.

Nella ricerca di un equilibrio tra obiettivi apparentemente contrastanti, il dibattito tra i regolatori, le istituzioni e i vari stakeholder è oggi molto aperto, anche se alcuni temi sono costantemente identificati come cruciali: come migliorare la regolazione dei servizi di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica, date le prospettive di elettrificazione dei

nostri sistemi per sostenere la decarbonizzazione; come assicurare la flessibilità necessaria per far fronte alla variabilità delle fonti rinnovabili; e come proteggere i clienti, soprattutto quelli più vulnerabili, dagli aumenti dei prezzi.

Diverse sfide normative future derivano dalla necessità di distribuire in modo efficiente una nuova ondata di investimenti in infrastrutture energetiche in un breve periodo di tempo, sia a livello transfrontaliero che all'interno di ciascun Paese. Questi investimenti riguarderanno in particolare le reti di distribuzione, poiché l'aumento della generazione distribuita e la prevista crescita dell'autoconsumo comporteranno un'enorme sollecitazione della rete. I regolatori dovranno sfruttare le nuove soluzioni tecnologiche, costruendo un quadro sempre più incentrato sulle prestazioni (un approccio basato sui risultati) per garantire l'efficienza degli investimenti. Inoltre, la pianificazione delle infrastrutture dovrebbe essere sempre più basata su scenari congiunti che integrino più vettori energetici (elettricità, gas naturale, gas rinnovabili) con un maggiore coordinamento tra i livelli europeo e nazionale, nonché tra trasmissione e distribuzione. Ciò comporta la scelta di sviluppi infrastrutturali appropriati e la massimizzazione dell'utilizzo degli asset esistenti attraverso interventi a basso costo.

Gli investimenti nella rete possono aumentare la capacità del sistema europeo di supportare la diffusione delle fonti rinnovabili intermittenti, ma da soli non sono sufficienti. La flessibilità del sistema elettrico, definita come la capacità di adattare i modelli di generazione e consumo nei diversi periodi di mercato, deve migliorare. Questo aspetto è fondamentale per il futuro sistema elettrico. Oltre agli interventi volti a migliorare la flessibilità dell'offerta energetica attraverso il potenziamento della rete e lo sviluppo dello stoccaggio (che sono comunque investimenti di capitale), la flessibilità della domanda può essere abilitata sia dal mercato all'ingrosso che da quello al dettaglio. Tuttavia, resta fondamentale chiarire che l'abilitazione della domanda (riduzione e modulazione dei consumi), pur essendo importante, non può essere il pilastro principale su cui fare affidamento per la transizione, a partire dal fatto che è improbabile che interessi un segmento di clientela significativo come quello dei soggetti vulnerabili o in condizioni di povertà energetica.

In conclusione, le sfide che il sistema energetico si trova ad affrontare richiedono un aggiornamento del quadro normativo, che deve preservare e rafforzare l'integrazione transfrontaliera, pur essendo flessibile e in grado di accogliere soluzioni su misura per ciascun Paese. Oltre alle complessità tecniche e di implementazione, meritano un'attenta considerazione i miglioramenti nel modo in cui vengono identificate le esigenze infrastrutturali e i costi transfrontalieri vengono ripartiti tra i Paesi.