

L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA PER LA TRANSIZIONE ECOLOGICA

Rapporto ICE 2021-2022



20
22



Ministero degli Affari Esteri
e della Cooperazione Internazionale

ITCA 

ITALIAN TRADE AGENCY

EXECUTIVE SUMMARY

- Il report analizza gli scenari attuali della transizione ecologica nei settori energetici: il focus è sul ruolo dell'innovazione tecnologica quale vettore per introdurre una maggiore flessibilità dei sistemi.
- Nel dibattito sull'evoluzione dei sistemi energetici verso forme più green ha inizialmente preso una direttrice premiante l'energia elettrica generata da fonti rinnovabili a discapito del gas. Ma il gas contribuisce per il 40% all'elettricità italiana con una quota analoga a quella delle rinnovabili.
- Le rinnovabili hanno un costo di produzione quasi nullo, ma non garantiscono stabilità e continuità di fornitura. Inoltre, considerando i costi di produzione e smaltimento dei pannelli, la convenienza è fortemente ridotta.
- L'analisi è inserita in un periodo storico in cui la ripresa post Covid-19 ha creato uno shock nei meccanismi di domanda e offerta e la guerra contro l'Ucraina ha peggiorato le relazioni con la Russia, che fornisce il 40% del fabbisogno italiano di gas. Inoltre, l'aumento della domanda di gas naturale ha visto dirottare verso Oriente molti carichi altrimenti destinati all'Europa.
- Non esiste una via immediata per la transizione, ma scelte strategiche che rendano l'Europa meno esposta alle oscillazioni del mercato. Tra le ipotesi, l'introduzione di una policy europea per regolamentare il riempimento degli stoccaggi e il ricorso a una diversificazione delle fonti di approvvigionamento.
- In tema di diversificazione, è sempre più centrale il ruolo dei gas rinnovabili, come il biometano, sia per il raggiungimento dei target di decarbonizzazione sia per una sostanziale riduzione delle importazioni.
- La frontiera dell'idrogeno quale "terza via energetica" risolutiva appare oggi poco praticabile, a causa di vincoli e ostacoli tecnici, come il tema della sicurezza infrastrutturale e il massiccio consumo di acqua.
- Più sensato è immaginare una transizione energetica graduale, sostenuta da una differenziazione delle fonti tra loro complementari piuttosto che prevedere il passaggio ad una sola "dominante".
- I progressi della ricerca faciliteranno la realizzazione di nuovi sistemi di produzione su bassa scala, che stimoleranno la creazione di comunità energetiche in grado di sfruttare i dettami dell'economia circolare.
- Date le caratteristiche del territorio, il fotovoltaico rappresenterebbe per il nostro Paese la prima scelta per la transizione ecologica dei sistemi energetici. L'installazione massiva di impianti, però, comporta difficoltà di ordine burocratico e logistico.
- La combustione di fonti fossili contribuisce per circa i 2/3 delle emissioni globali di gas serra e di CO₂, deteriorando la qualità dell'aria e la salute dell'ambiente e dei suoi abitanti.
- Secondo un'analisi IRENA (2018), la quota di energie rinnovabili nella produzione di elettricità deve passare dal 4,5% nel 2015 al 60% entro il 2050 per consentire la decarbonizzazione del settore energetico.
- Per velocizzare la transizione sono state individuate quattro macro-direttrici da seguire: tecnologia abilitante (che faciliti l'integrazione delle tecnologie di generazione da fonti rinnovabili), modelli di business (che responsabilizzino i consumatori, trasformandoli in attori attivi), progettazione del mercato (per assicurare ai sistemi di alimentazione quote più elevate di rinnovabili) e funzionamento del sistema (grazie a pratiche che gestiscano l'incertezza della generazione di rinnovabili).
- L'evoluzione tecnologica dovrà seguire queste quattro direttrici attraverso interventi normativi che incentivino i player del settore energetico ad integrare le innovazioni nei loro modelli produttivi ed operativi.



L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA PER LA TRANSIZIONE ECOLOGICA

SCENARI E MODELLI DI SVILUPPO NEI POSIZIONAMENTI ENERGETICI INTERNAZIONALI

A cura di A. Dell'Acqua

L'innovazione tecnologica

è vista come un vettore fondamentale per introdurre una maggiore flessibilità dei sistemi energetici ed agevolare il processo di transizione

1. INTRODUZIONE

Il contributo ha l'obiettivo di analizzare gli scenari attuali della transizione ecologica nei settori energetici tradizionali¹. In particolare, partendo dal superamento ideologico della dicotomia delle fonti energetiche è assunta una visione olistica e convergente del mix energetico e delle relative infrastrutture, con le fonti rinnovabili e l'economia circolare² ad assumere un ruolo cardine nel futuro del settore energetico. L'analisi è calata nel quadro dei posizionamenti energetici internazionali ed è analizzato il ruolo dell'innovazione tecnologica quale vettore fondamentale per introdurre una maggiore flessibilità dei sistemi energetici ed agevolare il processo di transizione energetica. Sono pertanto esaminate le principali macro-direttrici di sviluppo tecnologico in termini di tecnologie abilitanti, nuovi modelli di business, architettura dei mercati e sistemi operativi. Sulla base delle analisi svolte vengono forniti alcuni spunti per orientare le politiche governative e le strategie industriali nel prossimo futuro.

¹ Per le finalità di questo scritto con il termine "settori energetici tradizionali" viene fatto riferimento ai sistemi di produzione energetica che utilizzano principalmente fonti fossili.

² Una tra le definizioni più efficaci di "economia circolare" e tra quelle maggiormente indicative per gli operatori del settore è fornita dalla Ellen Mac Arthur Foundation, che qui riportiamo per esteso: "un'economia circolare disaccoppia l'attività economica dal consumo di risorse limitate. È un sistema resiliente che fa bene alle imprese, alle persone e all'ambiente. L'economia circolare è un framework di soluzioni di sistema che affronta sfide globali come il cambiamento climatico, la perdita di biodiversità, i rifiuti e l'inquinamento."

2. SCENARI DI TRANSIZIONE ECOLOGICA: OLTRE LA DICOTOMIA GAS-ENERGIA ELETTRICA

Il dibattito, ormai quotidiano, sugli scenari di evoluzione dei sistemi energetici atti a favorire la transizione verso forme più rispettose dell'ambiente, sembra aver inizialmente preso una direttrice univoca, premiante l'energia elettrica, generata primariamente e possibilmente in esclusiva da fonti rinnovabili, a discapito del gas, in particolare nelle sue origini da idrocarburi, poiché quest'ultima ritenuta palesemente inquinante. Qualche altra voce, con relativo orientamento industriale, si è spinta oltre, avocando nell'idrogeno la soluzione per realizzare efficacemente la transizione energetica. Come nella più classica affermazione che tra i due litiganti sia il terzo in realtà a primeggiare, l'idrogeno viene individuato come la soluzione energetica in grado di cancellare tutti i vincoli e le ambiguità di eco-compatibilità delle altre due fonti energetiche.³

In realtà la problematica inerente la modalità di cambiamento del mix energetico per agevolare l'evoluzione verso consumi energetici che non rechino danni all'ambiente è assai più complessa e articolata. A ciò è da aggiungersi la considerazione che la produttività energetica per superficie vede le fonti fossili ampiamente in vantaggio rispetto alle fonti rinnovabili.⁴

Per comprendere meglio la situazione e disegnare scenari energetici più plausibili è necessario comprendere più a fondo l'attuale struttura di produzione energetica nel contesto nazionale. Il mix di produzione corrente vede in realtà le due fonti energetiche di gas ed energia elettrica come altamente collegate, poiché il primo contribuisce per circa il 40% all'elettricità italiana, con una quota praticamente analoga a quella delle fonti rinnovabili. Le rinnovabili, vi è però da dire, hanno un costo di produzione in esercizio sostanzialmente nullo, poiché il vento e il sole non devono essere pagati, al contrario del gas che invece ha costi di estrazione e produzione ben definiti. Basando il

ragionamento unicamente su questa considerazione di ordine economico, le rinnovabili dovrebbero semplicemente rimpiazzare il gas, e da qui la caldeggiata supremazia dell'energia elettrica sul gas avanzata da più voci all'inizio del dibattito. In verità, la generazione di energia da fonti rinnovabili, com'è ampiamente noto, è soggetta a forti oscillazioni e non è pertanto in grado di garantire stabilità e continuità di fornitura atta a soddisfare il complessivo fabbisogno energetico. Inoltre, il costo complessivo della produzione da rinnovabili (solare, eolico), considerando i costi di produzione e smaltimento dei pannelli e dei campi eolici, riduce anche fortemente la convenienza economica di queste soluzioni, rendendole in certi casi anche più onerose.⁵ Pertanto il gas rimane sempre una utile fonte, quantomeno come riserva energetica, per garantire la stabilità del sistema.

Nell'ultimo periodo il sistema energetico nazionale, come quello internazionale, è stato impattato da vari fenomeni straordinari, tali che molti esperti ne hanno identificato le caratteristiche di "tempesta perfetta", con varie concause. La prima è stata la ripresa post Covid-19, in cui la richiesta improvvisa e globale di energia e materie prime ha creato uno shock nei meccanismi di domanda e offerta. A ciò sono stati addizionati i fattori geopolitici legati principalmente alla guerra Russia-Ucraina, che hanno determinato relazioni internazionali problematiche con l'attore russo, il più grande fornitore di gas per l'Europa e in grado da solo di sopperire al 40% del fabbisogno italiano. Nello specifico, la scelta strategica operata dalla Russia di aumentare le forniture di gas alla Cina e diminuirle all'Europa ha creato forti tensioni sul piano degli approvvigionamenti con il prezzo del gas che ha segnato enormi rialzi. Al tempo stesso, la mancata entrata in funzione del gasdotto Nord Stream 2, che collega direttamente la Russia alla Germania, ha creato, in pieno inverno, uno sbilanciamento molto forte tra la domanda e l'offerta di gas. L'avvio della guerra in Ucraina ha esacerbato le forti tensioni già presenti sui mercati dell'energia, nonché ha avviato forti spirali speculative.

³ Si veda su questo tema il contributo di Alverà M. (2020).

⁴ La densità energetica prodotta è oggi così distribuita: combustibili fossili 500-10.000 W per m²; nucleare 500-1.000 W per m²; solare e idroelettrico 5-20 W per m²; eolico 1-2 W per m²; biomasse < 1 W per m².

⁵ Assumendo un approccio *Life Cycle Assessment* (LCA) nel computo dei costi e dei benefici economici è necessario considerare anche i costi di installazione e smaltimento dei sistemi di produzione, sebbene "una tantum". In merito si veda, tra gli altri contributi, Blanco et al. (2020) e Gerbinet et al. (2014).

Tali eventi rappresentano però solo la “punta dell’iceberg” della spirale al rialzo dei prezzi del gas. Sussistono infatti tematiche di tipo industriale che hanno spinto in alto il costo della materia prima gas, fino a farlo più che triplicare, e richiedono di essere affrontate in maniera strutturale.

Tra le altre, proprio la netta contrazione nella produzione da fonti rinnovabili registrata sul finire dell’anno, comprovante l’instabilità di tale fonte energetica, ha richiesto una più marcata compensazione da parte del gas. Inoltre, vi è stata un’azione speculativa di alcuni Paesi europei (ad eccezione dell’Italia) per il riempimento degli stoccaggi e l’aumento della domanda di gas da parte dell’Asia che ha accentuato ulteriormente il fenomeno che vedeva dirottare verso Oriente molti carichi di gas naturale liquefatto altrimenti destinati all’Europa.

Ciò ha dimostrato come una soluzione semplice, immediata ed univoca per agevolare la transizione energetica e combattere il rincaro dell’energia non esista. Possono esistere, invece, scelte strategiche che, inserite in un piano organico e ponderato tra le diverse fonti energetiche, possono rendere il continente europeo⁶, e al suo interno il sistema energetico nazionale, meno esposto alle oscillazioni del mercato. L’introduzione di una policy a livello europeo per regolamentare il riempimento degli stoccaggi e il ricorso a una maggiore diversificazione delle fonti di approvvigionamento sono due tra le ipotesi più urgenti e dibattute. In tema di diversificazione, è sempre più centrale il ruolo dei gas rinnovabili, sia per il raggiungimento dei target di decarbonizzazione sia per una sostanziale riduzione delle importazioni. Il biometano ad esempio, con il 5% della domanda di gas dell’Unione europea, rappresenta oggi la fonte di origine rinnovabile più significativa, ma ancora ben lontana dal suo reale potenziale di impiego che in diversi studi viene fissato a oltre il 10% dei consumi in Italia e tra il 25 e il 30% in Europa al 2030. L’infrastruttura del gas, può essere considerata ancora una poten-

te leva in grado di assicurare flessibilità al sistema energetico con la duplice funzione di stoccaggio e vettore di energia. La prospettiva di disporre di moderne reti del gas, rese intelligenti e flessibili attraverso la digitalizzazione, consente di immaginare una infrastruttura complementare in grado di accogliere, gestire e riconoscere i diversi flussi di gas, e grazie alla sua notevole capillarità, fungere anche da forte stimolo per una maggiore produzione di biometano e idrogeno verde.

Questa svolta nel pensiero comune si deve anche all’intensa attività di advocacy sviluppata negli ultimi anni da GD4S, l’Associazione che rappresenta i principali attori della distribuzione del gas in Europa, che ha contribuito al superamento ideologico della dicotomia tra fonti energetiche e ha sottolineato l’importanza di un approccio olistico per il raggiungimento dell’obiettivo net zero.⁷

La frontiera dell’idrogeno quale “terza via energetica” prontamente risolutiva del problema, come da molti immaginata, appare ancora distante e poco praticabile, a causa di una serie di vincoli ed ostacoli tecnici. L’idrogeno è infatti la molecola più piccola dell’universo e ha delle caratteristiche chimico-fisiche molto specifiche. Le sue minuscole dimensioni le permettono di infiltrarsi agilmente e fuggire anche attraverso fessure nanometriche, spesso presenti ad esempio nelle saldature di vecchi metanodotti. Le probabilità di incidenti gravi in caso di perdite di idrogeno è pertanto maggiore rispetto a quelle delle attuali reti del metano.⁸ Pertanto il tema della sicurezza infrastrutturale, nel caso di una rapida transizione all’idrogeno, diventerebbe centrale e prioritario, con una richiesta pressante e improrogabile di rifacimento o rigenerazione delle infrastrutture reticolari esistenti. Quest’ultima attività però richiederebbe un lungo tempo di esecuzione, probabilmente alcuni decenni, prima di essere completata in modo soddisfacente per garantire ampia copertura e capillarità. Sussistono poi ulteriori problematiche in merito alla compressione: per veicolare una certa quanti-

⁶ Il riferimento esplicito è al Green Deal europeo, che contempla un insieme di iniziative politiche proposte dalla Commissione europea con l’obiettivo di azzerare le emissioni di carbonio e raggiungere la neutralità climatica nel 2050.

⁷ L’obiettivo “net zero” è definito e misurato da una molteplicità di metriche, tra cui quella più nota è l’azzeramento delle emissioni di CO₂ nell’atmosfera, a cui ne vengono affiancate molte altre di natura intermedia o complementare (come ad esempio il livello di efficienza energetica degli edifici, l’intensità delle emissioni da pompe di calore e da sistemi di raffrescamento, il tasso di riciclo dell’industria). Per una disamina più completa della misurazione dell’obiettivo “net zero” è possibile far riferimento allo studio di KPMG, “Net Zero Readiness Index 2021”.

⁸ È sufficiente una concentrazione di idrogeno superiore al 4% perché un ambiente diventi potenzialmente esplosivo.

tà di energia, è richiesto un volume di idrogeno tre volte maggiore rispetto al metano. In breve, per l'idrogeno occorrerebbe un'infrastruttura dedicata, che avrebbe un costo esorbitante.

È più ragionevole prevedere un utilizzo dell'idrogeno sul corto-medio raggio, cioè più su base regionale o locale che transcontinentale, e nella forma "verde", ossia generato da processi di elettrolisi, o "bianca", ossia prodotto a partire da scarti e rifiuti industriali, piuttosto che nella forma "blu", ossia estratto da combustibili fossili con sequestro permanente di CO₂.

L'idrogeno potrà diventare una soluzione importante, sul medio-lungo termine, per lo stoccaggio stagionale: è prefigurabile la possibilità di immagazzinare gli eccessi di sole in estate in idrogeno, da utilizzare in inverno, sebbene però d'estate vi possa essere minore portata d'acqua per poterlo produrre. Inoltre, dovrà essere utilizzato laddove non esistano alternative più facili ed efficienti come i trasporti pesanti e i settori "hard to abate" (acciaio, vetro, cemento). Più difficile invece immaginare l'utilizzo dell'idrogeno nel settore automobilistico: l'auto ad idrogeno consuma più del triplo di un'auto a batteria e non esiste una rete di distribuzione e rifornimento.

Vi è inoltre un ulteriore tema legato all'idrogeno, spesso non al centro del dibattito ma che si muove sottotraccia. La produzione di idrogeno, su larga scala, richiederebbe un massiccio consumo di acqua. Ciò creerebbe un paradosso sostanziale: per generare energia da una "fonte pulita", l'umanità verrebbe razionata o addirittura privata di una fonte vitale per la propria sussistenza quale è l'acqua.⁹

Alla luce delle analisi e delle considerazioni prima esposte appare pertanto più consono ed opportuno immaginare una transizione energetica più graduale, sostenuta da una differenziazione delle fonti, tra loro complementari e integrate, piuttosto che prevedere il passaggio ad una sola fonte "dominante", ed arrivando a definire così un "paniere energetico" equilibrato e coerente sotto il profilo economico e ambientale.

Considerata però la contestuale emergenza, che richiede di accelerare sul fronte del cambiamento energetico con un cronoprogramma ben definito e pressante, non tanto per migliorare l'efficienza energetica e ridurre il costo, ma per evitare catastrofi naturali irreversibili come lo scioglimento della calotta polare, appare come chiave il ruolo che potrà giocare l'innovazione tecnologica nei sistemi di produzione energetica.

L'innovazione, in tutte le sue forme, può essere applicata in modo da permeare tutti i sistemi di produzione e distribuzione energetica, siano essi quelli dell'energia elettrica, delle rinnovabili, del gas naturale e dell'idrogeno, per aumentarne la produttività e l'efficienza, evitando sprechi e limitandone l'impatto ambientale. Inoltre, i progressi della ricerca scientifica potranno permettere di realizzare

La produzione di idrogeno

su larga scala richiede un massiccio consumo di acqua. Ciò creerebbe un paradosso: per generare energia, l'umanità verrebbe razionata o privata dell'acqua

⁹ Una delle possibilità alternative allo studio è la produzione di idrogeno dall'acqua di mare, dove la ricerca è a buon punto.

nuovi sistemi di produzione su bassa scala che possano garantire una produzione distribuita di energia e la creazione di comunità energetiche in grado di sfruttare appieno i dettami dell'economia circolare con livelli elevati di salvaguardia ambientale.

3. IL RUOLO DELLE FONTI RINNOVABILI E DELL'ECONOMIA CIRCOLARE PER LA TRANSIZIONE ENERGETICA

L'opinione diffusa è che il ruolo chiave nella transizione energetica verso fonti più pulite sarà giocato in via preponderante dalla produzione energetica da fonti rinnovabili. Le tecnologie rinnovabili sono quelle ritenute maggiormente ad "impatto zero" poiché capaci di sfruttare risorse naturali non deperibili e senza la necessità di generare emissioni di CO₂ nell'atmosfera, sebbene presentino al momento alcuni limiti tecnico-produttivi ed economici¹⁰.

A ciò è da aggiungersi la considerazione, non certo secondaria, che la produzione di energia da fonti rinnovabili abbia un costo "operativo" sostanzialmente pari a zero, poiché il sole e il vento sono materie prime energetiche gratuite. La tecnologia fotovoltaica e quella eolica rappresentano perciò i vettori fondamentali della transizione ecologica, anche se per la loro piena diffusione permangono alcuni evidenti limiti implementativi.

A livello nazionale, ad esempio, l'installazione di pale eoliche troverebbe il suo luogo di elezione nella pianura padana, un territorio piatto e vasto e con una ampia disponibilità di terreni agricoli.¹¹ Il limite è però dovuto alle basse correnti eoliche in questo territorio che riducono di molto la produttività ed efficienza di questa tecnologia. Il fotovoltaico rappresenterebbe quindi per il nostro Paese la principale fonte

su cui concentrare gli sforzi per la transizione ecologica dei sistemi energetici. In effetti, qualsiasi superficie disponibile già coperta, come i tetti delle case o dei capannoni industriali, è una piattaforma di per sé utilizzabile per l'installazione di pannelli solari e in Italia vi sono ancora migliaia di chilometri quadrati di tetti di case e capannoni, oltre a enormi aree industriali dismesse potenzialmente sfruttabili. È però necessario rilevare che l'installazione massiva di impianti fotovoltaici non è un'attività eseguibile con facilità e rapidità, non tanto per problematiche di ordine tecnico, ma piuttosto per le difficoltà di ordine burocratico e oggi anche logistico. Il sistema delle leggi che regolamentano l'installazione di tali impianti è molto stratificato, per effetto di provvedimenti succedutisi nel tempo. Ma al di là delle problematiche burocratiche, tipiche del nostro Paese, sussiste un problema più strutturale della produzione di energia dal sole. Tale fonte, infatti, come anche quella eolica, è altamente oscillante in funzione della variabilità delle condizioni meteorologiche.

Pertanto, ogni fonte rinnovabile richiederebbe un sostanziale ed imprescindibile apporto da altre fonti, purtroppo più inquinanti. Una soluzione a questa problematica può essere ricercata però nello sviluppo tecnologico al servizio delle fonti rinnovabili. In merito a questo aspetto sono rilevabili due direttrici principali: lo sviluppo tecnologico dei sistemi di accumulo, che possono permettere di immagazzinare energia nelle fasi di surplus della produzione da rinnovabili e rilasciarle nella fase di deficit, e lo sviluppo tecnologico di soluzioni di economia circolare. L'enfasi posta sull'innovazione tecnologica in questi settori non è solo dettata dalla volontà di seguire degli slogan molto in voga e un po' semplicistici come "innovare è bello", ma è una vera e propria necessità, quale "anello mancante" per realizzare sistemi energetici eco-compatibili ed efficaci.

¹⁰ A queste considerazioni ne andrebbero aggiunte altre di maggior respiro come lo sfruttamento di particolari materiali (es. alluminio, terre rare, etc.) che possono determinare squilibri a livello sociale in Paesi in via di sviluppo.

¹¹ Un trend che si sta affermando a livello internazionale è anche quello dell'installazione in siti *off-shore*, con esempi in Scozia e in Gran Bretagna.

4. L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA A SUPPORTO DEI PROCESSI DI TRANSIZIONE

La necessità di energie pulite non è mai stata così importante come in epoca odierna. La modalità con cui oggi giorno è prodotta e consumata l'energia non è sostenibile e, considerato il contesto di una continua crescita a livello globale sia economica sia in termini di popolazione, l'urgenza è ancor più marcata. Il cambiamento climatico prodotto da emissioni antropogeniche da gas serra è tra le sfide più impegnative che l'umanità deve affrontare.

La combustione di fonti fossili contribuisce per circa i 2/3 delle emissioni globali di gas serra e della massa di emissioni di CO₂, quindi il settore energetico deve porsi in prima linea negli sforzi per contrastare il cambiamento climatico. Il crescente utilizzo di fonti fossili nei Paesi emergenti sta deteriorando la qualità dell'aria con serie conseguenze sulla salute pubblica.

Non è realistico aspettarsi che l'umanità riduca il proprio consumo di energia semplicemente rinunciando ai servizi energetici su larga scala. Ciò che serve è un passaggio continuo e completo a tecnologie e paradigmi energetici innovativi che forniscano i servizi energetici di cui abbiamo bisogno ma che non emettano gas a effetto serra o inquinino l'aria (o la terra e l'acqua). Questo cambiamento migliora anche la sicurezza energetica riducendo la dipendenza dalle fonti di energia importate su catene di approvvigionamento spesso vulnerabili. Questa transizione è in corso da decenni, ma ancora molto è da fare.

L'evoluzione storica del settore energetico a livello globale evidenzia che le transizioni energetiche su larga scala sono possibili e sono state realizzate nel secolo scorso. Tuttavia, la trasformazione potrebbe richiedere decenni prima che abbia un impatto importante sulle quote relative di carburan-

te. La domanda di energia, guidata da popolazioni ed economie in rapida crescita, è in costante aumento, così che i nuovi combustibili e le nuove tecnologie nelle prime fasi della loro implementazione hanno ampiamente contribuito a soddisfare la domanda aggiuntiva piuttosto che sostituire le tecnologie esistenti. La vastità del sistema energetico globale significa che, oggi più che mai, qualsiasi nuova tecnologia deve essere implementata rapidamente e su vasta scala per intaccare le quote di quelle esistenti. Ci sono voluti due o tre decenni per passare dalla prima commercializzazione delle tecnologie energetiche a una quota di mercato di appena il 2,5-3% e altri decenni per raggiungere un'ampia diffusione.¹² Il tempo necessario per costruire infrastrutture su larga scala e per vedere i vantaggi per le tecnologie innovative dall'apprendimento e dalle economie di scala hanno anche limitato il ritmo delle transizioni energetiche, così come la riluttanza ad abbandonare gli investimenti irrecuperabili prima della fine della vita utile degli asset.¹³

Un'altra lezione importante, che possiamo apprendere dall'evoluzione del settore energetico, è che il progresso della tecnologia dell'energia pulita è stato più visibile nella fornitura di energia, così come nell'elettricità e nella trasformazione di altri combustibili. Nell'uso finale dell'energia, sono stati compiuti progressi, ma ci sono poche scoperte della medesima scala del solare fotovoltaico e dell'eolico nella produzione di energia. Data la dimensione relativa delle emissioni derivanti dall'uso di carbone, petrolio e gas nei settori dell'industria, dei trasporti e dell'edilizia, il progresso tecnologico dovrà accelerare notevolmente per raggiungere gli obiettivi ambientali.

Nel successivo paragrafo vengono pertanto esaminate le quattro macro-direttrici dello sviluppo tecnologico che possono essere seguite per velocizzare i processi di transizione energetica e rispondere all'urgenza di scongiurare gli effetti più sciagurati del cambiamento climatico.

¹² Sul tema si veda Bento, Wilson e Anadon, 2018.

¹³ I contributi principali sul tema sono quelli di Grubler, 2012 e Smil, 2010.

5. LE MACRO-DIRETTRICI DI SVILUPPO TECNOLOGICO

La rapida riduzione dei costi della produzione di energia solare ed eolica ha posto queste tecnologie al centro della trasformazione in corso del settore energetico. Secondo un'analisi IRENA (2018), la quota di energie rinnovabili nella produzione globale di elettricità deve crescere dal 4,5% nel 2015 ad oltre il 60% entro il 2050 per consentire la decarbonizzazione del settore energetico. Numerose soluzioni innovative che integrano più forme di energie rinnovabili vengono testate e implementate in diversi Paesi e regioni. Tuttavia, solo un ridotto numero di Paesi è vicino al raggiungimento di quote elevate di energie rinnovabili nel mix di generazione e solo modalità particolari di funzionamento del sistema elettrico lo consentono. La sfida per una tale transizione è enorme e lo sviluppo tecnologico è una via da percorrere obbligatoriamente. In ragione delle principali innovazioni, oggi identificabili nel settore energetico e classificate da IRENA (2019), è possibile individuare le quattro macro-direttrici di tale sviluppo tecnologico nelle seguenti dimensioni: tecnologia abilitante, modelli di business, progettazione del mercato e funzionamento del sistema.

Le tecnologie abilitanti per lo sviluppo delle infrastrutture svolgono un ruolo importante nel facilitare l'integrazione delle energie rinnovabili. Lo stoccaggio delle batterie, insieme alle tecnologie digitali, sta cambiando i paradigmi del settore energetico e aprendo le porte a varie nuove applicazioni che migliorano la flessibilità del sistema. L'elettrificazione dei settori di uso finale, fatta in modo intelligente, può emergere non solo come un nuovo mercato per le rinnovabili, ma anche come futura domanda flessibile. Il sistema deve essere adattabile per poter assorbire l'elettrificazione e l'elettrificazione può portare ulteriore flessibilità se gestita in modo intelligente.

I modelli di business sono essenziali per monetizzare il nuovo valore creato da queste tecnologie e quindi consentirne la diffusione. Diversi modelli di business innovativi emergono dal punto di vista del consumatore, data la diffusione di risorse energetiche distribuite, insieme a schemi innovativi che consentono la fornitura di energia rinnovabile in aree con possibilità limitate, come aree non connesse alle reti energetiche (c.d. off-grid) o densamente popolate.

È necessaria l'innovazione nella regolamentazione e nella architettura del mercato, ma dovrebbe esserci un equilibrio tra una regolamentazione stabile e prevedibile che possa garantire gli investimenti del settore privato e una regolamentazione flessibile che consenta l'innovazione. Allo stesso tempo, la velocità dell'innovazione normativa deve essere allineata alla velocità del modello di business e dell'innovazione tecnologica. L'adattamento del design del mercato alle nuove sedi diventa fondamentale per accelerare la transizione energetica, consentendo la creazione di valore e flussi di entrate adeguati. Sono necessarie innovazioni sia nel mercato all'ingrosso che nel mercato al dettaglio, per sbloccare tutto il potenziale di flessibilità nel sistema elettrico.

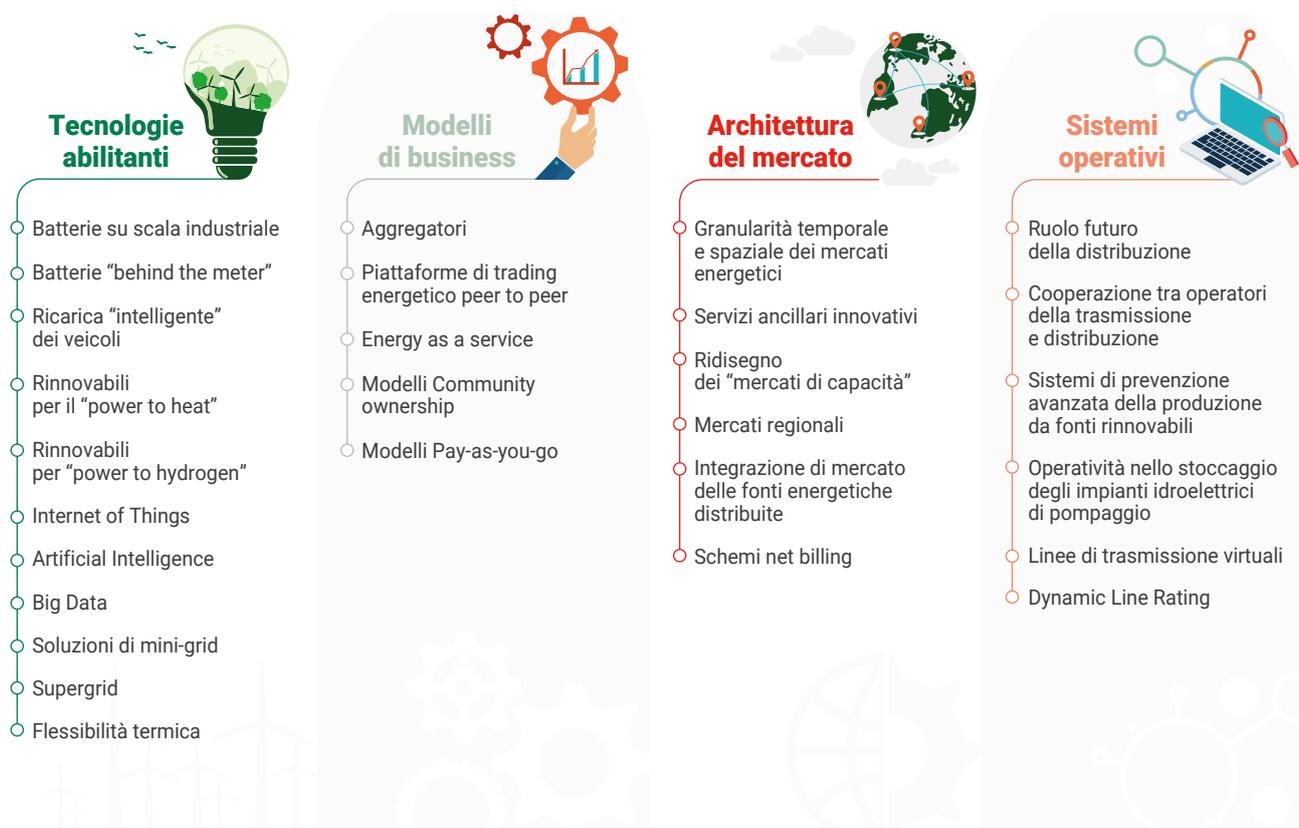
Secondo un'analisi IRENA (2018), la quota di energie rinnovabili nella produzione di elettricità deve crescere dal 4,5% (2015) al

60%

entro il 2050 per consentire la decarbonizzazione del settore energetico

Infine, con le nuove tecnologie e una solida progettazione del mercato in atto, sono necessarie anche innovazioni nei sistemi operativi che stanno emergendo in risposta all'integrazione di quote più elevate di energie rinnovabili nella rete. Queste innovazioni sono state raggruppate in due categorie: innovazioni che accomodano l'incertezza ed un funzionamento innovativo del sistema capace di integrare le risorse energetiche distribuite.

Grafico 1 - Le innovazioni tecnologiche per la transizione energetica



Fonte: rielaborazione da IRENA (2019).

LE TECNOLOGIE ABILITANTI

Le tecnologie abilitanti facilitano l'integrazione delle tecnologie di generazione da fonti rinnovabili. Tali tecnologie includono, tra le altre, le batterie di accumulo, le tecnologie che consentono l'elettrificazione di altri settori con elettricità rinnovabile, gli sviluppi digitali e ICT e le soluzioni di reti intelligenti. Tutti questi sviluppi offrono nuove opportunità per l'integrazione di quote più elevate di energie rinnovabili, poiché consentono nuove modalità di funzionamento e ottimizzazione dei sistemi energetici.

Lo stoccaggio
fornisce vantaggi significativi
nei sistemi di alimentazione,
in particolare per i servizi ausiliari
e per supportare il soddisfacimento
dei picchi di domanda residua

Il costo dello stoccaggio continua a diminuire aprendo le porte a un'implementazione accelerata per le applicazioni attuali e diventando fornitore di nuovi servizi ai sistemi di alimentazione. In particolare nei sistemi con notevoli vincoli di trasmissione, lo stoccaggio offre approcci innovativi per soluzioni economiche che aumentano la flessibilità del sistema. Lo stoccaggio può dunque fornire vantaggi significativi nei sistemi di alimentazione, in particolare per i servizi ausiliari e per supportare il soddisfacimento dei picchi di domanda residua. Al di là di queste applicazioni iniziali, potrebbero emergere percorsi nazionali per l'implementazione innovativa di servizi di stoccaggio in base alle specificità di ciascun sistema.

Le principali innovazioni in questo ambito sono rappresentate dalle batterie su scala industriale e dalle batterie "behind-the-meter".

Le batterie su scala industriale sono utilizzate principalmente per fornire funzioni di supporto alla rete, ma possono anche essere associate direttamente a una fonte di generazione rinnovabile per fornire una produzione aziendale più controllabile.

Le batterie "behind-the-meter" si trovano presso o vicino al sito di utilizzo dell'energia e a valle del punto di connessione tra l'utenza e il cliente. Di solito viene applicato nelle case e nei luoghi di lavoro. Questa tecnologia consente di realizzare il c.d. "accumulo distribuito residenziale".

Nell'attività di stoccaggio è meritevole di segnalazione l'attivismo di Enel-X, società del gruppo Enel, che si posiziona tra i principali operatori globali di impianti di stoccaggio di energia in batteria "behind-the-meter". Sotto questo profilo, anche un player italiano è protagonista a livello internazionale nella fornitura delle tecnologie per la transizione energetica.

L'evoluzione verso l'elettrificazione, quale elemento che autorevoli centri studi indicano come imprescindibile per raggiungere gli obiettivi internazionali fissati al 2050, può avvenire in due modi: decarbonizzando i settori di uso finale attraverso l'elettricità rinnovabile e, se implementato in modo intelligente, diventando una fonte di flessibilità per integrare più energie rinnovabili nei sistemi energetici.

Sotto questo profilo le principali innovazioni tecnologiche sono rappresentate dalla ricarica "intelligente" dei veicoli e dall'utilizzo delle energie rinnovabili per il power-to-heat e il power-to-hydrogen.

La ricarica "intelligente" dei veicoli elettrici adatta il ciclo di ricarica agli eventi nel sistema di alimentazione, consentendo ai veicoli di essere integrati nel sistema di alimentazione in modo facile da usare e alla rete.

Il power-to-heat rinnovabile è l'uso di energia rinnovabile per generare energia termica utile per edifici o processi industriali, ad esempio tramite pompe di calore o caldaie elettriche, mentre il power-to-hydrogen è la tecnologia che permette di produrre idrogeno da elettricità rinnovabile attraverso l'elettrolisi e può essere utilizzato come mezzo per l'accumulo di energia. Può essere distribuito agli utenti in reti di gas naturale riconvertite e può essere inoltre impiegato nelle celle a combustibile per generare elettricità, bruciato per azionare un generatore, utilizzato come com-

bustibile per il trasporto o il riscaldamento e aggiunto alle reti di distribuzione del gas o come materia prima in altri settori.

La digitalizzazione può essere definita come la conversione dei dati in valore per il settore energetico. La maggiore digitalizzazione offre l'opportunità di raccogliere più informazioni di sistema. La raccolta di informazioni e il riconoscimento dei modelli possono consentire il funzionamento proattivo della rete per evitare guasti o ridurre i tempi di inattività. Allo stesso tempo, grazie a una maggiore certezza e una migliore prevedibilità della risposta del sistema, il sistema può essere utilizzato con una quota maggiore di energie rinnovabili senza aumentarne i costi operativi.

In questo ambito le principali innovazioni sono rappresentate dall'Internet of Things (IoT), dall'artificial intelligence (AI) e dai big data.¹⁴

L'IoT consente la comunicazione in tempo reale, attraverso Internet, tra i dispositivi nei punti di domanda di elettricità (case, strutture commerciali e industriali) e attraverso la rete, facilitando la raccolta e lo scambio di informazioni.

La combinazione di big data e AI è emersa come uno degli sviluppi più importanti in diversi campi. Sebbene molte tecnologie di intelligenza artificiale esistano da diversi decenni, solo ora sono in grado di trarre vantaggio da set di dati di dimensioni sufficienti, fornendo apprendimento e risultati significativi per le applicazioni del mercato energetico.

In questo segmento tecnologico Enel-X ha sviluppato un software di ottimizzazione all'avanguardia (DER.OS) che alimenta il sistema di stoccaggio in batterie "behind-the-meter" dietro le quinte. Il software in questione sfrutta sofisticati algoritmi di machine learning e AI per estrarre il massimo valore per il cliente.

La blockchain è una tecnologia di contabilità distribuita¹⁵

che può essere utilizzata per registrare in modo sicuro tutte le transazioni che avvengono su una determinata rete e pertanto può avere importanti applicazioni nei mercati energetici per agevolare le operazioni di trading e facilitare l'introduzione di nuovi modelli operativi anche su piccola scala.¹⁶

Un'elevata penetrazione di energie rinnovabili nel sistema richiederebbe un nuovo approccio al funzionamento della rete, che utilizzi i dati e gli strumenti di comunicazione per gestire la variabilità e l'incertezza associate alla produzione di energia da queste fonti. Le tecnologie delle reti intelligenti possono aiutare a integrare efficacemente quote elevate di rinnovabili incorporando le tecnologie dell'informazione e delle comunicazioni in ogni aspetto della generazione, trasmissione e consumo di elettricità. Nello specifico, stanno emergendo due direzioni di tipi di rete: 1) soluzioni di mini-grid che offrono energia pulita e affidabile sia alle comunità connesse alla rete che off-grid, e 2) supergrid che emergono come soluzione per il trasporto di energia rinnovabile su lunghe distanze. In futuro si potrebbe sviluppare una cosiddetta "griglia di reti", con diversi livelli di operatività e scambio per ottimizzare la produzione e la domanda di energia rinnovabile.

Il miglioramento della flessibilità termica come soluzione a breve-medio termine sta diventando popolare in molti Paesi. Alcune tecnologie di generazione sono intrinsecamente più flessibili di altre. Tuttavia, le tecnologie più vecchie e meno flessibili possono essere migliorate mediante retrofit, ad un certo costo.

I generatori termici convenzionali possono essere resi flessibili grazie all'ammodernamento di determinati componenti fisici e attraverso modifiche operative, per ottenere un carico minimo inferiore, ridotti tempi di avvio e più alte velocità di rampa.

¹⁴ Su questi temi è opportuno ricordare il quadro di incentivi alla trasformazione dell'industria italiana stabilito dalla normativa "Industry 4.0".

¹⁵ Cfr. "La blockchain è un registro di contabilità, condiviso e immutabile, che facilita il processo di registrazione delle transazioni e la tracciabilità dei beni in una rete commerciale", IBM (2012), <https://www.ibm.com/it-it/topics/what-is-blockchain>.

¹⁶ Le *energy grid* sono in effetti uno degli utilizzi più diffusi non DeFi della blockchain, specialmente negli USA.

6. MODELLI DI BUSINESS

I modelli di business svolgono un ruolo fondamentale nel monetizzare il nuovo valore creato da queste tecnologie e nell'accelerare la loro diffusione. Con il dispiegamento di risorse energetiche distribuite, emergono modelli di business innovativi per responsabilizzare i consumatori, trasformandoli in attori attivi. Gli aggregatori consentono ai piccoli consumatori di partecipare ai mercati dell'elettricità, alle piattaforme di trading peer-to-peer o al modello energy-as-a-service, abilitato dai contatori intelligenti e dalla digitalizzazione. Inoltre, i modelli di business consentono la fornitura di energia rinnovabile in aree off-grid (come i modelli pay-as-you-go) o in luoghi in cui la proprietà e la gestione collettiva delle risorse energetiche è preferita rispetto alla proprietà individuale (i c.d. modelli di community ownership).

Con la quota crescente di generazione distribuita, i consumatori stanno diventando sempre più consumatori-produttori. Non solo prelevano energia dalla rete, ma producono, immagazzinano e forniscono energia. Risorse energetiche distribuite, insieme a informazioni e comunicazioni emergenti ed applicazioni tecnologiche nel settore energetico, mettono al centro i consumatori, informandoli e consentendo loro di prendere decisioni attive in merito alla loro fornitura e consumo di energia. Stanno emergendo diversi modelli di business innovativi che potrebbero definire il ruolo futuro del settore energetico quali gli aggregatori, il trading di elettricità peer-to-peer e l'energy-as-a service.¹⁷

Un aggregatore può far funzionare insieme più fonti di energia rinnovabile distribuita, creando una capacità considerevole simile a quella di un generatore convenzionale (chiamato anche "centrale elettrica virtuale"). In quanto tali, gli aggregatori possono quindi vendere elettricità o servizi ausiliari nel mercato all'ingrosso o nell'approvvigionamento di servizi ausiliari del gestore del sistema.

I modelli di business basati sul trading mediante piattaforme sono talvolta indicati come "Uber o Airbnb dell'energia" in quanto creano un mercato online per l'energia in cui consumatori e fornitori di energia distribuita effettuano transazioni peer-to-peer (P2P). L'obiettivo principale di un mercato P2P è fornire un meccanismo trasparente e affidabile per consentire ai consumatori-produttori di bilanciare in modo equo le proprie preferenze e le proprie esigenze.

Il trading P2P incoraggia più installazioni di generazione distribuita di energia rinnovabile e un maggiore uso locale delle risorse energetiche. Ma il trattamento normativo, ad esempio per i canoni di utilizzo della rete, richiede ancora una forte evoluzione prima che l'implementazione su larga scala del trading P2P possa fornire forti vantaggi ai consumatori.

Energy-as-a-service si riferisce al passaggio dalla vendita di kWh alla vendita di servizi ai clienti, dato il maggiore potenziale dei servizi "dietro il contatore", come

Con la quota crescente

di generazione distribuita, i consumatori stanno diventando sempre più consumatori-produttori: prelevano energia dalla rete, ma la producono e immagazzinano anche

¹⁷ Tali modelli stanno conoscendo un'ampia diffusione nell'esperienza statunitense che è sicuramente quella più all'avanguardia nella loro applicazione.

la gestione della domanda, il supporto ai clienti con generazione decentralizzata e accumulo di energia e scambio di energia elettrica tramite reti locali, la consulenza su risparmio energetico, le misure di miglioramento del comfort e della sicurezza e altri servizi diversi.

Sempre Enel-X ricopre una posizione di rilievo nella fornitura di soluzioni energy-as-a-service offrendo partnership a livello internazionale ai produttori di apparecchiature originali (OEM): gli OEM forniscono i prodotti hardware mentre Enel-X fornisce energia come servizio.

Stanno emergendo anche modelli di business innovativi in risposta alle crescenti preoccupazioni ambientali e agli obiettivi di sostenibilità. Quando ad esempio non vi è alcuna possibilità finanziaria o fisica di installare una centrale elettrica privata a energia rinnovabile, possono essere implementati i modelli community-ownership e i modelli pay-as-you-go.

I modelli community-ownership si riferiscono alla proprietà e alla gestione collettiva di beni legati all'energia, consentendo ai membri di una comunità di condividere i vantaggi di una centrale elettrica rinnovabile.

Pay-as-you-go sono tecnologie di pagamento mobile che sono facilmente accessibili in aree remote. Invece dei normali pagamenti fissi, i clienti pagano direttamente il servizio che utilizzano spesso sotto forma di un pacchetto di elettrodomestici e della relativa alimentazione; non ricevono alcun servizio per il quale non abbiano prima pagato. Di conseguenza, spesso i pagamenti possono essere effettuati in importi inferiori rispetto a quanto sarebbe altrimenti possibile e i clienti hanno un maggiore controllo sui propri consumi e quindi sulle proprie spese.

Pay-as-you-go
sono tecnologie
di pagamento mobile
accessibili in aree remote:
consentono ai clienti
di avere un maggiore controllo
sui propri consumi
e sulle proprie spese

7. ARCHITETTURA DEL MERCATO

I regolamenti in alcuni mercati dell'energia stanno mostrando come i mercati possono essere adattati per riflettere le esigenze dei sistemi di alimentazione con quote più elevate di energie rinnovabili e per rispondere alle tendenze della digitalizzazione, del decentramento e dell'elettrificazione. Il collante che tiene insieme tutto questo è un mercato che prezza correttamente l'energia e i servizi di bilanciamento e che remunera tutti gli attori che sono in grado di fornire questi servizi. Più il mercato è lontano da questo livello di efficienza, ad esempio mediante la fissazione di limiti di prezzo troppo bassi o attraverso la socializzazione dei costi di congestione, più correttivi sono necessari, come il dispacciamento dei "mercati di capacità" per pagare gli investimenti necessari.

Nessuno di tali correttivi alloca valore in modo efficace come un mercato dell'energia e dei servizi ben funzionante. Il graduale miglioramento dei prezzi del mercato energetico è fondamentale indipendentemente da eventuali correttivi a breve termine che potrebbero essere adottati.

Sono richiesti nuovi modelli di mercato sia nel mercato all'ingrosso che in quello al dettaglio, con l'introduzione di importanti innovazioni, come qui di seguito dettagliate. Nei mercati all'ingrosso le innovazioni principali saranno determinate dall'aumento della granularità temporale e spaziale dei mercati energetici, dall'introduzione di servizi energetici ancillari innovativi, dal ridisegno dei "mercati di capacità" e dai mercati regionali.

Aumentare la granularità temporale introducendo nuovi prodotti (ad es. contratti di 15 minuti) e avvicinando gli intervalli di scambio al tempo reale è un modo per valutare la flessibilità delle tecnologie che possono rispondere rapidamente a condizioni in rapido cambiamento (ma potrebbero non essere in grado di impegnarsi con tempi di rilascio più lunghi), o di rinnovabili che possono contribuire ad un mercato con elevata certezza solo se il tempo di rilascio è molto breve.

L'aumento della granularità della localizzazione, utilizzando prezzi zonali o nodali o segnali di prezzo sia a livello di trasmissione che di distribuzione (compresi i costi di ripescazione o i mercati della flessibilità), coglie i nuovi vincoli di rete e trasmette segnali di localizzazione efficienti.

Per affrontare la variabilità e l'incertezza della crescente quota di energia rinnovabile nella rete, i prodotti dei servizi ausiliari devono essere adattati per aumentare la flessibilità del sistema, incentivare la risposta rapida e la capacità di rampa e remunerare ciascuno dei servizi. Anche il mercato dei servizi ausiliari dovrebbe essere aperto a nuovi partecipanti, come lo stoccaggio delle batterie, la gestione della domanda e altre risorse energetiche distribuite e i generatori di energie rinnovabili. Le principali innovazioni nei "mercati di capacità" riguardano i sistemi che consentano l'accesso delle fonti rinnovabili a tali mercati, l'introduzione di requisiti di flessibilità

per agevolare l'integrazione delle energie rinnovabili nonché la gestione della domanda, lo stoccaggio dell'energia e delle interconnessioni transfrontaliere.

I mercati regionali, all'interno di un contesto nazionale, implicano regole armonizzate nel mercato all'ingrosso, nel mercato dei servizi ausiliari e nei mercati della capacità in tutta la regione. La creazione di un mercato regionale sfruttando le interconnessioni consolida le aree di bilanciamento e aumenta la flessibilità. Condividendo le risorse su vaste regioni, si riduce la necessità di riserve operative, nonché i requisiti e i costi di riduzione.

Le innovazioni nei mercati al dettaglio riguardano l'introduzione di tariffe legate al tempo di utilizzo, l'integrazione di mercato delle fonti energetiche distribuite e gli schemi di net billing.

Le tariffe legate al tempo di utilizzo, mediante segnali di prezzo, possono permettere di traslare i consumi dai punti di picco energetico a quelli di minore domanda.

L'accesso delle fonti energetiche distribuite ai mercati all'ingrosso può invece agevolare, attraverso il meccanismo dei prezzi di mercato, la risposta alla domanda energetica.

In base ai meccanismi di net billing, l'elettricità immessa nella rete da un proprietario di un tetto fotovoltaico viene compensata in base al valore del kWh immesso in quel momento.

La fattura emessa si basa sul valore dell'energia prelevata, dopo aver sottratto il valore dell'energia immessa rispetto agli schemi di contabilizzazione netta, dove la fattura si basa sulla differenza tra la quantità di energia elettrica immessa e quella prelevata. Il produttore-consumatore diventa quindi un partecipante attivo e può fornire flessibilità di rete in base ai segnali di prezzo.

8. SISTEMI OPERATIVI

Il funzionamento dei sistemi energetici sta cambiando a causa delle nuove tecnologie e delle normative di mercato e sta affrontando nuove sfide. In primo luogo, l'aumento della quota di generazione distribuita e il decentramento del sistema trasforma la rete di distribuzione in una rete di flusso di energia bidirezionale, che richiede nuove pratiche operative. Per facilitare l'integrazione di tali tecnologie, le società di distribuzione dovrebbero assumere nuovi ruoli. Inoltre, è necessaria la cooperazione tra i gestori dei sistemi di distribuzione e trasmissione per integrare meglio le risorse energetiche distribuite nell'intero sistema.

In secondo luogo, sono necessarie nuove pratiche operative per gestire l'incertezza della generazione di energie rinnovabili. Sono stati sviluppati metodi e strumenti avanzati di previsione della generazione da fonti rinnovabili per ridurre l'incertezza. Stanno emergendo altre pratiche operative per aumentare la flessibilità, come nuove operazioni di stoccaggio di idro-pompe. Con aree ricche di sorgenti di rinnovabili lontane dai centri di domanda (soprattutto eolica), la congestione della rete si verifica per periodi di tempo limitati. Emergono pratiche operative innovative per sostituire l'elevato investimento richiesto per rafforzare le linee, utilizzando apparecchiature di stoccaggio o il dynamic-line rating (DLR).

I sistemi energetici basati su modelli di generazione distribuita richiedono una innovazione nel ruolo futuro dei distributori nonché la cooperazione tra operatori della trasmissione e della distribuzione.

La responsabilità dei gestori del sistema di distribuzione dovrebbe ampliarsi per gestire efficacemente le risorse energetiche distribuite collegate alla loro rete consentendo la loro integrazione nella rete e massimizzando i benefici che possono fornire. I nuovi ruoli dovrebbero includere l'approvvigionamento di servizi di rete da risorse energetiche distribuite e gestione delle risorse energetiche distribuite per ottimizzare l'uso delle reti esistenti e differire investimenti non necessari sia attraverso il controllo diretto che attraverso segnali di prezzo.

Il gestore del sistema di distribuzione dovrebbe fungere da facilitatore di mercato neutrale per la partecipazione delle risorse energetiche distribuite ai mercati dei servizi a monte. Affinché queste risorse possano partecipare ai mercati all'ingrosso, diventa essenziale un coordinamento efficiente tra i gestori dei sistemi di distribuzione e di trasmissione.

I gestori del sistema di distribuzione dovrebbero inoltre contribuire o fungere da piattaforma di scambio di dati tra i gestori del sistema di trasmissione e i proprietari di risorse energetiche distribuite fornendo visibilità ai gestori del sistema di trasmissione sul tipo e sulla disponibilità di queste risorse.

Ciò consentirebbe una corretta integrazione delle risorse energetiche distribuite nel sistema aumentandone la flessibilità e massimizzando i benefici degli asset già collegati.

Sono necessarie
nuove pratiche operative
per gestire e ridurre l'incertezza
della generazione
di energie rinnovabili

In questo ambito sono da segnalare le attività di Terna, il gestore della rete elettrica nazionale, che è impegnata in un importante piano di investimenti varato nel 2021 per connettere gli impianti di produzione da energie rinnovabili. Il piano permetterà al gestore della rete di distribuzione di connettere 40 GW di potenza da fonte rinnovabile al completamento del piano di investimenti.

La variabilità e l'incertezza della generazione eolica e solare rappresentano una sfida importante per il funzionamento del sistema elettrico. Il bilanciamento della generazione con il carico in tempo reale richiede una maggiore flessibilità del sistema di alimentazione. Richiede l'acquisizione di maggiore capacità di back-up, detta anche capacità di riserva, per far fronte a questa variabilità. Gli impianti idroelettrici di pompaggio esistenti sono impianti flessibili che possono essere utilizzati per aumentare la capacità del sistema di reagire alla variabilità della generazione. Sono inoltre in fase di sviluppo strumenti e modelli per prevedere meglio la produzione di energia rinnovabile.

Le innovazioni in questo ambito riguarderanno i sistemi di previsione avanzata della produzione energetica da fonti rinnovabili e l'operatività nello stoccaggio degli impianti idroelettrici di pompaggio.

Nuovi modelli potrebbero migliorare l'accuratezza e il dettaglio delle previsioni di generazione di energia rinnovabile utilizzando il cloud computing, modelli matematici avanzati (che producono risultati di previsione in minuti anziché in ore), previsioni meteorologiche ad altissima risoluzione e apprendimento automatico/AI. Una migliore previsione della produzione di energia rinnovabile riduce l'incertezza per gli operatori di sistema, con conseguente migliore integrazione dell'energia rinnovabile.

Gli impianti di pompaggio idroelettrico sono impianti flessibili che possono essere gestiti in modo da integrare la pro-

duzione di energia eolica/solare nel breve termine reagendo alla variabilità con rampe veloci e nel lungo termine, data la complementarità nei modelli di generazione, su base giornaliera, settimanale o stagionale.

Il sistema di trasmissione elettrica sta diventando più complesso con quote più elevate di generazione rinnovabile. Il cambiamento dei modelli di domanda e le nuove risorse di generazione da fonti rinnovabili su scala industriale richiedono una gestione efficiente delle risorse di trasmissione per prevenire la congestione e la riduzione della generazione rinnovabile.

Le principali innovazioni che possono permettere di raggiungere questi obiettivi sono relative alle linee di trasmissione virtuali e il dynamic-line rating (DLR).

Le batterie situate su entrambi i lati di una parte congestionata del punto di rete possono fornire un accumulo di energia di riserva durante un evento di emergenza per alleviare il sovraccarico termico. Queste linee di trasmissione virtuali differiscono o evitano la necessità di aggiornare le linee di trasmissione fisiche. Una quantità relativamente modesta di storage può essere utilizzata per soddisfare la piccola parte della domanda di picco che supererebbe la capacità della linea di trasmissione. Ciò ridurrebbe la riduzione della produzione di energie rinnovabili a causa della congestione della rete.

Dynamic-line-rating (DLR) implica che la capacità delle linee di trasmissione varia dinamicamente in base alle condizioni meteorologiche (es. la capacità termica della linea è maggiore quando soffiava il vento o quando la temperatura scende a causa del miglior raffreddamento). DLR mitiga la congestione della rete e facilita l'integrazione dell'energia eolica consentendo vantaggi economici e migliorando le prestazioni di affidabilità dei sistemi energetici.

9. CONCLUSIONI

La transizione energetica non sarà un processo semplice ed immediato e richiederà il superamento della dicotomia elettricità e gas naturale, essendo quest'ultima una risorsa energetica ancora importante per il passaggio intermedio verso la decarbonizzazione dei sistemi energetici. Sarà inoltre opportuna una riflessione sul ruolo del nucleare nel paniere energetico, soprattutto nell'ottica di identificare soluzioni efficaci e in tempi brevi per contrastare il cambiamento climatico. L'idrogeno appare come una alternativa intrigante ma dall'elevata complessità tecnologica ed infrastrutturale ed è pertanto immaginabile un suo ruolo complementare, ma non dominante, rispetto alle soluzioni energetiche da fonti rinnovabili e dell'economia circolare. Al fine di accelerare i processi di transizione energetica e agevolare la convergenza delle diverse fonti energetiche è fondamentale il ruolo dell'innovazione tecnologica in cui sono individuabili quattro principali macro-direttrici di sviluppo: tecnologie abilitanti, nuovi modelli di business, architettura dei mercati e sistemi operativi. Le politiche governative dovranno pertanto facilitare l'evoluzione tecnologica su queste quattro direttrici attraverso interventi normativi che incentivino i player del settore energetico - sia a livello nazionale che a livello locale - ad integrare tali innovazioni nei loro modelli produttivi ed operativi, nonché ad evolversi rapidamente per potersi adeguare alle evoluzioni tecnologiche in tempi ragionevoli.

Bibliografia

Bento, N., Wilson, C., Anadon, L.D. (2018), Time to get ready: conceptualizing the temporal and spatial dynamics of formative phases for energy technologies. *Energy Policy*. Vol. 119, 282-293.

Blanco C.F., Cucurachi S., Guinée J.B., Vijver M.G., Peijnenburg W.J.M.G., Trattnig R., Heijungs R. (2020), Assessing the sustainability of emerging technologies: A probabilistic LCA method applied to advanced photovoltaics. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 259.

Gerbinet S., Belboom S., Léonard A. (2014), Life Cycle Analysis (LCA) of photovoltaic panels: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 38, 747-753.

Grubler, A., (2012), Energy transitions research: Insights and cautionary tales, *Energy Policy*, Vol. 50, issue C, 8-16.

Smil, V. (2010), *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects*, Praeger Pub Edition.

IRENA (2018), *Global energy transformation: A roadmap to 2050*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2019), *Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate a variable renewables*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.



www.ice.it

Italian Trade Agency



@ITAtradeagency



ITA - Italian Trade Agency



@itatradeagency

