

durante la coalescenza di due stelle di neutroni (B.P. Abbott, R. Abbott, D. Abbott et al. 2017), è stato possibile confermare con grande precisione le previsioni della relatività generale, secondo cui la velocità di propagazione delle onde gravitazionali è identica a quella della luce. Questa scoperta ha quindi permesso di confutare alcune teorie di energia oscura, benché molte altre siano ancora compatibili con i dati.

Un'altra conseguenza importante dell'esistenza dell'energia oscura interagente è che essa modifica la crescita delle perturbazioni cosmologiche. Secondo il paradigma attuale, le grandi strutture astrofisiche, ovvero, in sostanza, galassie e ammassi di galassie, si sono formate a partire da minutissime fluttuazioni della densità di materia sviluppatasi per effetti quantistici durante l'epoca dell'inflazione primordiale. La successiva crescita di queste fluttuazioni è dovuta alla gravità. Se l'energia oscura agisce come una quinta forza, le fluttuazioni possono crescere più o meno rapidamente rispetto a un Universo con una semplice costante cosmologica. È chiaro quindi che uno studio accurato della crescita delle perturbazioni potrebbe permettere di chiarire le caratteristiche della nuova componente cosmica. Una crescita maggiore, per es., implica che le galassie sono più ammassate tra di loro, ossia che la distribuzione è più disomogenea. Il livello di disomogeneità trova una precisa formulazione matematica nel concetto di *spettro di potenza*. Dalla forma ed evoluzione temporale dello spettro di potenza si può risalire all'intensità della forza associata all'energia oscura. Più in generale, dallo spettro di potenza si possono ottenere informazioni cruciali sul modello cosmologico, informazioni non derivabili dal solo diagramma di Hubble.

Le proprietà dell'energia oscura, infine, possono essere investigate anche mediante il fenomeno delle *lenti gravitazionali*. Secondo la relatività generale, la luce si propaga nello spazio seguendo traiettorie, dette *geodetiche*, che dipendono dalla distribuzione della materia circostante. Tali traiettorie sono in generale curve e coincidono con la linea retta solo nel limite in cui possiamo trascurare la gravità. Ne segue che in prossimità di grandi concentrazioni di materia, per es. vicino agli ammassi di galassie, il segnale luminoso emesso da una sorgente distante viene deviato sensibilmente, dando luogo a fenomeni affascinanti come lo sdoppiamento e la distorsione delle immagini dei corpi celesti, analoghi a quelli creati dalle comuni lenti ottiche. Misurando accuratamente l'entità di tali effetti è possibile determinare diverse caratteristiche dell'energia oscura, come la sua abbondanza e il grado d'interazione con la materia. Per ottenere questi risultati, è necessario però ricostruire la distribuzione di milioni o miliardi di galassie in vaste regioni spaziali e in estesi intervalli temporali (v. oltre).

ESPERIMENTI DI NUOVA GENERAZIONE. – Per dirimere la questione della natura dell'energia oscura sono

in corso o in programmazione diverse campagne di osservazione. Tra queste citiamo la *Dark energy survey* (DES) al Cerro-Tololo inter-american observatory in Cile, il *Dark energy spectroscopic instrument* (DESI) del Kitt Peak national observatory negli Stati Uniti e i futuri satelliti Euclid della European space Agency (lancio previsto per il 2022) e WFIRST della NASA (lancio previsto intorno al 2025).

Una delle missioni più interessanti è il satellite Euclid (Laureijs, Amiaux, Arduini et al. 2011; Amendola, Appleby, Avgoustidis et al. 2018), cui collaborano moltissimi ricercatori italiani. Euclid completerà, durante la sua missione di sei anni, una carta celeste completa di posizioni, distanze, spettri elettromagnetici e immagini di circa due miliardi di galassie distribuite su un terzo della volta celeste. I dati così raccolti costituiranno il più avanzato censimento dell'Universo, e permetteranno di delineare la storia e la geografia del Cosmo fino a più di 6000 Mpc di distanza con una precisione finora mai raggiunta.

Questi dati saranno sfruttati dagli astrofisici per molteplici scopi, dall'evoluzione delle galassie alla ricerca di nuovi tipi di sorgenti, alla caratterizzazione della materia oscura. Per quanto riguarda l'energia oscura, Euclid ne misurerà le caratteristiche fondamentali, in particolare la sua equazione di stato e la sua azione come forza aggiuntiva alla gravità, che potranno quindi essere confrontate con le previsioni teoriche. Da una parte, è certamente possibile che Euclid confermerà, rendendoli più stringenti, i risultati attuali in accordo con la costante cosmologica. Dall'altra, non c'è dubbio che se si individuasse anche solo una minima deviazione dalla costante di Einstein, la fisica dovrebbe rinnovare gli sforzi teorici e sperimentali per collocare il nuovo ingrediente nel quadro, finora ritenuto completo, delle particelle e delle forze fondamentali.

BIBLIOGRAFIA: D. HUTERER, M.S. TURNER, *Prospects for probing the dark energy via supernova distance measurements*, «Physical review D», 1999, 60, 081301; L. AMENDOLA, S. TSUJIKAWA, *Dark energy. Theory and observations*, Cambridge 2015; B.P. ABBOTT, R. ABBOTT, D. ABBOTT ET AL., *Gravitational waves and gamma-rays from a binary neutron star merger: GW170817 and GRB 170817A*, «Astrophysical journal», 2017, 848, 2, p. L13; L. AMENDOLA, *L'altra faccia dell'Universo*, Bologna 2018; L. AMENDOLA, S. APPLEBY, A. AVGoustIDIS ET AL., *Cosmology and fundamental physics with the Euclid satellite*, «Living reviews in relativity», 2018, 21, 2, pp. 1-345. Si veda inoltre: R. LAUREIJS, J. AMIAUX, S. ARDUINI ET AL., *Euclid. Definition study report*, ESA/SRE(2011)12, 2011, <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1110/1110.3193.pdf> (25 luglio 2020).

Luca Amendola

ENERGIE RINNOVABILI. – LE FONTI DI ENERGIA RINNOVABILE. LE RINNOVABILI NELLA CRISI DA COVID-19. LE INFRASTRUTTURE: ACCESSO ALL'ENERGIA ELETTRICA E RESISTENZA DELLE RETI. LE TECNOLOGIE: I COSTI DELLE NUOVE FONTI. I LATI OSCURI DELLE RINNOVABILI. LE POLITICHE: UNA SVOLTA POSSIBILE CON L'EUROPEAN GREEN DEAL. Bibliografia. Webgrafia

ENERGIE RINNOVABILI

LE FONTI DI ENERGIA RINNOVABILE. – Le energie rinnovabili sono prodotte da fonti naturali costantemente reintegrate, che non sono soggette a esaurimento; sono alternative o complementari alle fonti fossili (carbone, petrolio e gas), sulle quali si sono fondati lo sviluppo economico e l'organizzazione della vita dopo la prima rivoluzione industriale.

Alcune sono in uso da tempo: si pensi all'energia idroelettrica, utilizzata da secoli, che ancora oggi rappresenta la principale tra le fonti rinnovabili. Tuttavia è negli ultimi decenni che le nuove rinnovabili hanno mostrato maggiore crescita e si sono arricchite di varie tipologie, grazie all'innovazione tecnologica radicale che ha consentito la cattura e l'utilizzo di nuove fonti – solare, eolico, biomasse, tra le altre – e al diffondersi della consapevolezza dei rischi provocati dalle emissioni di biossido di carbonio generate dai combustibili fossili. È ormai riconosciuto il ruolo essenziale delle fonti rinnovabili ai fini della decarbonizzazione del pianeta, in particolare nella produzione di energia elettrica e nei trasporti.

Molti avvenimenti hanno agito sul percorso delle energie rinnovabili negli anni recenti; è sufficiente richiamare i principali. L'avanzamento del sentiero tecnologico ha contribuito a estendere le possibilità di nuove fonti, tra le quali l'idrogeno, i sistemi a concentrazione solare, l'eolico *offshore* (con impianti su piattaforme galleggianti in superfici di acqua); l'innovazione ha poi contribuito ad affinare i sistemi di accumulo dell'energia elettrica e a ridurre drasticamente i costi del loro utilizzo.

L'investimento in nuove infrastrutture, alimentato dal crescere della 'finanza verde', ha rafforzato la combinazione tra fonti rinnovabili e nuovi strumenti digitali nei Paesi industrializzati e, in piccola parte, ha migliorato l'accesso all'energia nelle regioni che ne sono prive.

Di recente, la pandemia (v.) da Covid-19 (*Coronavirus disease 2019*), nella tragedia che ha colpito l'umanità intera, ha mostrato la tenuta dell'uso delle fonti rinnovabili a fronte del crollo della domanda di combustibili fossili durante il blocco delle attività deciso dai governanti.

Da ultimo, e di rilievo, la prospettiva delle rinnovabili tra le politiche per decarbonizzare il pianeta ha dato alimento al piano *European green deal*, proposto dalla presidente della Commissione europea Ursula von der Leyen nel dicembre del 2019, che ha consentito di coagulare il consenso politico dei Paesi membri in una prospettiva comune di crescita equilibrata nel rispetto dell'ecosistema.

Tra il 2000 e il 2018 le nuove fonti sono cresciute a una velocità straordinaria, con un tasso medio annuo del 14,5%, mentre l'idroelettrico si è limitato a un tasso del 2,6%. Il 31% dell'energia prodotta dalle nuove rinnovabili si deve all'Europa, il 18% agli Stati Uniti e il 26% alla Cina, che pure in un decennio (2008-18) ha conosciuto una crescita media annua del 37%. L'Africa, invece, rappresenta soltanto l'1,3% del globale. La

produzione di elettricità da fonti rinnovabili ha continuato ad aumentare nel 2018, fino a coprire un quarto della produzione complessiva di energia elettrica (27%, nei dati IEA, *International Energy Agency*). Il 90% di questo incremento si deve all'energia solare, eolica e idroelettrica.

Si tratta di un andamento che dà conto delle prospettive future. Ma il passato pesa: nel mondo la quota delle rinnovabili sul totale delle fonti primarie di energia è ancora a un livello contenuto (11%); l'Europa ha una posizione di avanguardia (15,5%), la Cina sta al 12,7%, gli Stati Uniti al 7,3%, l'America Centrale e Meridionale al 29% e l'Africa all'8% nel 2018. Nonostante la crescita considerevole, infatti, l'integrazione delle fonti rinnovabili è stata più lenta in settori di uso finale, quali i trasporti, l'industria e il comparto residenziale, dove l'elettrificazione procede di pari passo con l'adozione di misure di potenziamento dell'efficienza energetica.

LE RINNOVABILI NELLA CRISI DA COVID-19. – Le rinnovabili, pur risentendo come tutti i comparti produttivi di alcune rotture nella catena di fornitura (si pensi al blocco delle attività produttive in Cina, che rappresenta il 70% della manifattura di moduli fotovoltaici al mondo), si sono qualificate come la fonte di energia più resistente nella crisi da Covid-19. Anche dopo il blocco delle attività, la domanda per la generazione di elettricità è rimasta pressoché costante, alzando di due punti percentuali la loro quota nel mix di fonti primarie (secondo l'IEA, durante il blocco delle attività in numerosi Stati si sono raggiunti record nella quota oraria dell'uso di fonti rinnovabili nella domanda di elettricità: tra questi, Belgio, Italia, Germania, Ungheria e la costa orientale degli Stati Uniti). Le cause sono da ricercare nell'organizzazione dei mercati, nell'uso di fonti rinnovabili nella generazione elettrica locale e nel fatto che esse generalmente godono di una priorità di dispacciamento rispetto alle altre fonti, in virtù dei bassi costi operativi e di normative che ne garantiscono la precedenza; ma la domanda per gli altri usi si è ridotta. Come conseguenza, nel primo trimestre del 2020, durante il periodo più acuto della crisi, si è registrata una crescita della domanda di rinnovabili dell'1,5% rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente, soprattutto fotovoltaiche ed eoliche, mentre la domanda di fonti fossili è crollata.

Gli investimenti nelle rinnovabili e nell'efficienza energetica potranno giocare un ruolo importante per uscire dalla crisi economica della pandemia. Le politiche di transizione energetica, infatti, contribuiranno positivamente all'utilizzo delle risorse messe a disposizione per la ripresa in sintonia con gli obiettivi globali di sviluppo sostenibile definiti dai governi, soprattutto nell'Unione Europea (UE). Offrono così un collegamento importante tra gli interventi per uscire dalla crisi e le strategie di crescita di medio-lungo termine.

Ci si aspetta, infine, che gli investimenti ‘verdi’ creino nuova occupazione nella fase di recupero della crescita; IRENA (*International Renewable ENergy Agency*), l’agenzia delle Nazioni Unite per le rinnovabili, stima che ogni milione di dollari investito in energie rinnovabili o in flessibilità energetica potrà creare almeno 25 posti di lavoro (mentre ogni milione investito in efficienza produrrebbe circa 10 posti di lavoro) e che, rispetto alle politiche correnti, un piano accelerato di transizione energetica potrà creare 5,5 milioni di nuovi posti di lavoro entro il 2023.

LE INFRASTRUTTURE: ACCESSO ALL’ENERGIA ELETTRICA E RESISTENZA DELLE RETI. – La transizione energetica richiede investimenti considerevoli. Per i Paesi in via di sviluppo si pone l’esigenza di un’infrastrutturazione di base che possa assicurare la disponibilità della fornitura di energia a costi accessibili. Tra il 2010 e il 2017 più di 920 milioni di persone sono usciti dalla condizione di privazione dell’energia elettrica, ma la Banca mondiale stima che ancora circa 840 milioni di individui della popolazione mondiale siano privi di accesso all’elettricità. I progressi conseguiti non sono uniformi: il miglioramento più significativo si è registrato in America Latina e in Asia orientale, regione prossima alla copertura totale; seguono l’Asia centrale e meridionale. L’Africa subsahariana, invece, rimane l’area che soffre del deficit di accesso all’energia elettrica più importante: riguarda 570 milioni di persone, più di un abitante su due, con Stati come Burundi, Ciad e Malawi che mostrano tassi di elettrificazione pari o inferiori al 20%.

Particolarmente difficile è la diffusione della rete nelle aree rurali, dove sono necessarie soluzioni *off-grid*, in grado cioè di generare energia elettrica fuori dalla rete nazionale. Ai ritmi registrati negli ultimi anni, si può ipotizzare che l’obiettivo di assicurare universalmente l’accesso all’energia sarà raggiunto entro il 2030. Ma la difficoltà di servire le località più remote e le megalopoli fa temere che possano rimanere più di 650 milioni di persone private di questo diritto nel 2030, di cui 9 su 10 dell’Africa subsahariana (IEA, IRENA, UNDS, World Bank group, WHO 2019).

Per il mondo sviluppato, invece, le sfide sono per la tenuta delle infrastrutture, la riorganizzazione della produzione elettrica distribuita localmente, la minaccia di attacchi digitali, la possibilità che si verifichino eventi ambientali catastrofici. Gli investimenti devono garantire una riorganizzazione efficiente delle reti, certezza degli approvvigionamenti, resistenza e sicurezza anche informatica dei sistemi, l’integrazione dei mercati e l’interoperabilità delle tecnologie. L’industria elettrica si ristruttura, sostenuta da politiche pubbliche e incentivi con il supporto di regole volte a promuovere la transizione, a sostenere la crescita delle fonti rinnovabili fino al raggiungimento della loro piena competitività con le fonti fossili e a cofinanziare le infrastrutture necessarie alla trasformazione del sistema.

Nuove tecnologie digitali accompagnano la riorganizzazione della filiera elettrica, attraverso l’uso di ‘reti intelligenti’, ovvero digitalizzate, contatori digitali in grado di raccogliere da remoto i dati di produzione e di consumo dei cittadini per garantire l’equilibrio tra domanda e offerta, così come non sono trascurabili i progressi nei sistemi di accumulo dell’elettricità nelle batterie per la mobilità elettrica.

LE TECNOLOGIE: I COSTI DELLE NUOVE FONTI. – Tra le nuove fonti di energia ancora in fase sperimentale, un potenziale importante è nell’idrogeno, in particolare nell’idrogeno ‘verde’, prodotto cioè da fonti rinnovabili, che si distingue dall’idrogeno ‘grigio’, prodotto da fonti fossili, e dall’idrogeno ‘blu’, ottenuto da fonti fossili tramite la cattura e lo stoccaggio del carbonio. Questa risorsa risulta tuttavia ancora costosa e poco efficiente, soprattutto se comparata all’idrogeno prodotto da fonti fossili e, ancor più, se confrontato con il gas naturale: per l’idrogeno a basso contenuto di carbonio vengono stimati costi compresi tra 12 e 25 dollari per MBtu, quando il gas naturale ne comporta tra 3 e 10. Tuttavia, la riduzione dei costi e lo sviluppo tecnologico degli elettrolizzatori e delle celle a combustibile potranno accelerare un più ampio utilizzo dell’idrogeno ‘verde’ (Potier, Chung 2020). Esso può risultare strategico nei comparti dove la decarbonizzazione è più difficile, come i trasporti pesanti, il trasporto aereo e gli impianti industriali ad alta temperatura.

Un ulteriore vantaggio dell’idrogeno è la sua flessibilità: può essere miscelato con il gas naturale, seppure in percentuale ancora limitata, trasportato attraverso i gasdotti e immagazzinato per poter essere utilizzato in risposta alla domanda. Il World economic forum (WEF) stima che, investendo nello sviluppo tecnologico nel prossimo decennio, l’idrogeno potrà soddisfare il 18% della domanda energetica globale entro il 2050 e contribuire per circa il 20% all’abbattimento di CO₂ necessario per limitare il riscaldamento globale (Potier, Chung 2020). Si tratta di stime, ma lasciano capire l’indirizzo degli investimenti attesi nel settore.

La tecnologia ha abbattuto i costi delle rinnovabili anche rispetto ai combustibili fossili. Più della metà della capacità rinnovabile nel 2019 mostra costi di produzione di energia elettrica inferiori persino al carbone. Il fotovoltaico solare manifesta il maggiore calo dei costi nel periodo 2010-19 (-82%), seguito dai sistemi a concentrazione solare (CSP, *Concentrating Solar Power*), che utilizzano la radiazione solare, concentrata attraverso specchi, principalmente ai fini della produzione di energia elettrica, con -47%, dall’energia eolica terrestre (-40%) e dall’eolica *offshore* (-29%). Anche i costi dell’elettricità dal solare fotovoltaico solare *utility-scale* (impianti fotovoltaici di media-grande potenza, che immettono nella rete elettrica l’energia prodotta, di solito considerati tali dal MW in su) sono

Oltre alla transizione verso un'economia sostenibile e verde, una seconda ondata di cambiamenti tecnologici sta interessando il settore energetico: la digitalizzazione, che implica nuove opportunità per le parti interessate e gli operatori, ma anche nuove sfide per gli operatori del mercato e i regolatori.

La digitalizzazione è uno strumento utile per raggiungere l'obiettivo generale di un sistema energetico flessibile e sostenibile. Secondo l'Agenzia internazionale dell'energia (AIE), più di 1 miliardo di famiglie e 11 miliardi di elettrodomestici intelligenti potrebbero partecipare attivamente all'equilibrio dei sistemi elettrici interconnessi entro il 2040, grazie a contatori intelligenti e dispositivi collegati. Secondo l'AIE, l'introduzione della cosiddetta *demand side response* con strumenti digitali automatici potrebbe evitare investimenti di 270 miliardi di dollari in nuove infrastrutture elettriche. Con interventi sull'illuminazione, sulla climatizzazione e sulla forza motrice (per es., ascensori), gli edifici potrebbero ridurre significativamente i propri consumi energetici.

Le tecnologie digitali sono quindi destinate a trasformare il sistema energetico globale nei prossimi decenni, rendendolo più affidabile e sostenibile sotto il profilo sia economico sia ambientale. In particolare, nel settore dell'energia elettrica, caratterizzata dalla necessità di garantire l'equilibrio tra domanda e offerta in tempo reale, la digitalizzazione potrebbe contribuire a integrare in rete quote sempre più rilevanti di fonti rinnovabili, che per la loro intrinseca variabilità comportano una maggiore e più urgente esigenza di flessibilità.

Anche l'esperienza del cliente finale nel settore energetico ne potrà risentire, per la capillarità delle tecnologie digitali nelle nostre case, negli edifici, nei luoghi di lavoro e sulle direttrici di mobilità. Lo sviluppo dei dispositivi interconnessi (IoT, *Internet of Things*) potrà portare significativi benefici in termini di efficienza energetica per le famiglie e le industrie, ma anche nuovi rischi di cybersecurity. La domanda non è quindi 'se' nel settore dell'energia la digitalizzazione si svilupperà, ma piuttosto 'come' cogliere le opportunità di miglioramento del costo del servizio e della sua sostenibilità ambientale, proteggendosi al contempo dai rischi connessi.

Nel settore dell'energia, le tecnologie dell'informazione hanno svolto un ruolo chiave nello sviluppo della concorrenza (si pensi all'introduzione delle *borse dell'energia*, che

realizzano forme di competizione tra impianti di generazione su base oraria). Con la digitalizzazione, il passo avanti è dato dalla maggiore disponibilità a basso costo dei dati, che possono essere analizzati più velocemente e trasmessi per attuare le azioni di controllo sulla domanda o sull'offerta.

Gli elementi chiave della digitalizzazione includono (CEER 2019): la disponibilità dei dati in formato digitale, per la possibilità di impiego di sensori a sempre minor costo; l'utilizzo di grandi quantità di dati per estrarre informazione a valore aggiunto, tramite opportune applicazioni *analytics*, di apprendimento automatico e di intelligenza artificiale; la connettività, ovvero la possibilità di scambiare informazioni tra esseri umani, dispositivi e macchine, tramite reti digitali e protocolli interoperabili.

La digitalizzazione è anche un fattore chiave per un decentramento efficiente del sistema energetico, che consente di integrare efficacemente un gran numero di diverse fonti di energia e flessibilità. La digitalizzazione permette quindi di facilitare un altro importante obiettivo di transizione del settore energetico, la decarbonizzazione, che richiede un approccio intersettoriale (elettricità e gas, ACER 2019) e dell'intero sistema (*whole system approach*), tenendo conto di tutta la filiera: generazione, commercio all'ingrosso, sviluppo delle reti, misura dell'energia e vendita al dettaglio.

Non tutti gli effetti della digitalizzazione sono positivi per la decarbonizzazione. Da una parte, la riduzione del costo dell'energia e della mobilità può portare a effetti di rimbalzo che aumentano la domanda. Dall'altra, aspetti particolari legati alla digitalizzazione (come la blockchain technology, v.) possono comportare aumenti di consumi nel settore dei servizi informatici e di telecomunicazioni (ICT, *Information and Communication Technologies*).

I cambiamenti derivanti dalla digitalizzazione richiedono un approccio dinamico alla regolazione. Le autorità nazionali di regolazione devono riuscire a stare al passo con i cambiamenti e garantire che la regolazione, tradizionalmente indirizzata all'efficienza economica, non crei barriere ingiustificate all'innovazione, pur continuando a rafforzare e proteggere i consumatori durante la transizione. Ciò implica il passaggio da una regolamentazione statica a un regime stazionario a una regolazione dinamica e agile. I regolatori dell'energia dovranno progressivamente adottare un approccio più

flessibile, basato su principi normativi generali, apprendendo dagli sviluppi tecnologici e dei mercati connessi, favorendo esperimenti e progetti pilota (un aspetto su cui la regolazione in Italia è all'avanguardia, come testimoniato da un recente rapporto ISGAN, *International Smart Grid Action Network*, 2019). In tal modo, la regolazione riuscirà a continuare a offrire benefici a vantaggio, in definitiva, dei cittadini e dei consumatori finali di energia.

BIBLIOGRAFIA: IEA (*International Energy Agency*), *Digitalisation and energy*, 2017, www.iea.org/digital/; ACER (*Agency for the Cooperation of*

Energy Regulators), *The bridge beyond 2025. Conclusions paper*, Ljubljana 2019; CEER (*Council of European Energy Regulators*), *Consultation on dynamic regulation to enable digitalisation of the energy system. Conclusions paper*, C19-DSG-09-03, 2019, www.ceer.eu/1740; ISGAN (*International Smart Grid Action Network*), *Casebook on innovative regulatory approaches with focus on experimental sandboxes*, 2019, <http://www.iea-iskan.org/casebook-on-innovative-regulatory-approaches-with-focus-on-experimental-sandboxes/>.

LUCA VINCENZO NICOLA LO SCHIAVO

diminuiti su base annua (-13%), nel 2019. L'eolico *onshore* (di terra) e quello *offshore* (su piattaforme marine) sono diminuiti di circa il 9%.

Oltre ai costi, migliora l'efficienza delle nuove fonti, grazie all'innovazione tecnologica incrementale. L'eolico *offshore*, per es., ha un potenziale molto più elevato rispetto al fotovoltaico e all'eolico su terra grazie a turbine che riescono a sfruttare la forza del vento lontano dalla costa. Nell'orizzonte prossimo si intravedono altre innovazioni, tra le quali turbine galleggianti, che possono aprire nuovi mercati. Si rileva, infine, una crescita importante dell'interesse verso il biogas, il gas ottenuto dalla digestione anaerobica di residui organici; secondo l'IEA, oggi sarebbe possibile produrre oltre 570 Mtep all'anno di biogas, pari quasi al 20% della domanda globale di gas naturale, con uno spostamento considerevole, pertanto, verso forme sostenibili di produzione di energia e un'importante riserva di crescita per le economie emergenti.

I LATI OSCURI DELLE RINNOVABILI. – La produzione e l'uso di fonti rinnovabili richiedono quantità notevoli di minerali pesanti e metalli. Tra questi spiccano le terre rare, 17 elementi della tavola periodica, dai costi elevati in termini sia energetici, in quanto il processo di estrazione richiede grandi quantitativi di energia, sia ambientali, poiché il processo di raffinazione utilizza sostanze chimiche inquinanti.

Si tratta di risorse minerali necessarie per lo sviluppo della nuova filiera energetica e della mobilità sostenibile e, più in generale, per le infrastrutture digitali di supporto. Questo aspetto lascia intravedere diversi lati oscuri nella transizione energetica, di natura geopolitica e ambientale. Non è possibile qui entrare nel dettaglio di un'analisi delle risorse minerarie; è importante richiamare tuttavia le difficoltà principali che si prospettano in questa direzione.

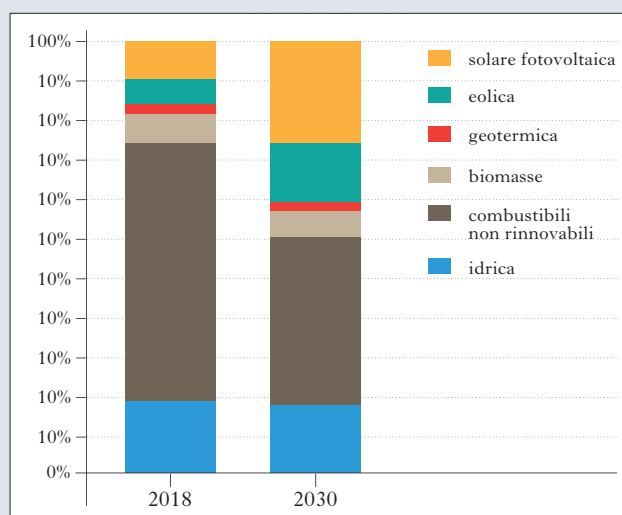
La prima riguarda il controllo delle risorse. Le riserve di terre rare e dei metalli necessari alla nuova filiera energetica sono concentrate in poche regioni, tra le quali la Cina ha un evidente predominio, insieme a Cile e Argentina, per il litio utilizzato nelle batterie, mentre il Congo per il cobalto necessario alla mobilità elettrica (le cui miniere sono per lo più controllate dalla Cina), il neodimio per le turbine eoliche, il silicio utilizzato nella produzione del fotovoltaico. Questa condizione ha in sé i germi di un conflitto cruento per il controllo dei territori dove si concentrano le risorse naturali nella competizione globale, come avvenne per il petrolio nel secolo scorso, e di una posizione dominante della Cina, che di queste risorse possiede la quota maggiore.

Alle terre rare si aggiungono minerali quali nickel e manganese, essenziali per l'elettrificazione, dei quali il continente africano possiede riserve considerevoli. Oltre alla Cina, anche gli Stati dell'America Meridionale sembrano essere in grado di cogliere l'opportunità della dotazione di risorse naturali per posizionarsi all'interno delle catene del commercio internazionale e trarne occasioni di sviluppo; così non pare invece per i Paesi africani, per i quali la transizione ha il doppio volto dell'opportunità e della minaccia. Infatti, sebbene le risorse minerarie abbiano un ruolo dominante in molti Stati, che rappresentano complessivamente quasi il 70% della popolazione in estrema povertà, in questo continente è più forte la minaccia di conflitti e nuove forme di sfruttamento legate all'esigenza crescente di risorse minerarie. Analoga preoccupazione, forse ancora maggiore, desta la condizione del lavoro non protetto nelle miniere, per il quale le Nazioni Unite sono oggi attive con i primi accertamenti, opportuni, ma certamente non sufficienti.

Il secondo elemento tra i lati oscuri della nuova filiera delle rinnovabili riguarda l'inquinamento che deriva dall'uso intensivo dei minerali pesanti, i quali,

Negli ultimi 10-15 anni, si è assistito a un importante e rapido cambiamento del mix produttivo europeo e nazionale, per effetto della rilevante diffusione delle ‘nuove’ fonti energetiche rinnovabili per lo più aleatorie (cioè la fonte eolica e la fonte solare utilizzata con impianti fotovoltaici) e spesso convertite in energia elettrica tramite impianti di generazione distribuita (cioè impianti di piccola e media taglia connessi alle reti elettriche di distribuzione). Tale cambiamento è indotto dagli strumenti adottati, nel settore elettrico, ai fini del raggiungimento degli obiettivi europei al 2020, poi estesi e resi più ambiziosi per il 2030. Nel 2020, almeno il 20% del consumo finale lordo totale europeo va soddisfatto con fonti rinnovabili, declinato in obiettivi vincolanti per ogni Stato membro (per l’Italia, il 17%, già raggiunto). Al 2030 l’obiettivo sale al 32% e non è più declinato in obiettivi vincolanti per ogni Stato membro, cui, invece, spetta la definizione e l’implementazione di un proprio Piano nazionale integrato energia e clima (PNIEC).

In poco più di un decennio, quindi, la produzione nazionale da fonti rinnovabili è più che raddoppiata per effetto del maggior utilizzo di fonti diverse da quella idrica, soprattutto eolica e solare. Nel 2004, la produzione lorda da fonti rinnovabili era pari a 55,7 TWh, il 18,4% della produzione lorda totale, mentre nel 2018 essa è stata pari a 114,4 TWh (il 39,9% della produzione lorda totale): di questi, il 35,3% (40,4 TWh, di cui 17,7 TWh eolici e 22,7 TWh fotovoltaici) è stato prodotto da fonti non programmabili, seppure più prevedibili grazie ai miglioramenti progressivi negli algoritmi utilizzati allo scopo. Inoltre le nuove fonti rinnovabili vengono utilizzate ove sono disponibili per il tramite di numerosi impianti di media e piccola taglia, connessi alle reti elettriche di distribuzione storicamente prive (o quasi) di generazione elettrica: la cosiddetta generazione distribuita ha visto la sua produzione crescere da 2 TWh nel 2007 a più di 30 TWh nel 2017, soprattutto per effetto degli impianti fotovoltaici dai quali ora viene prodotta più della metà dell’energia elettrica da generazione distribuita. Il numero complessivo degli impianti di produzione dell’energia elettrica in Italia è aumentato dai circa 3000 del 2000 ai circa 35.600 del 2008, fino agli attuali circa 840.000 (quasi tutti, in termini numerici, fotovoltaici). Questo cambiamento nel mix produttivo nazionale diventerà sempre più evidente nei prossimi anni, in vista del raggiungimento degli obiettivi europei al 2030 (v. fig.), a fronte di una produzione



Cambiamento atteso nel mix produttivo nazionale tra il 2018 e il 2030, a partire dai dati a consuntivo 2018 e dalle ipotesi riportate nel Piano nazionale integrato energia e clima. Fonte: elaborazione dell’Autore

complessiva che potrebbe variare di poco rispetto ai livelli attuali.

Occorre comunque tenere conto del fatto che, a differenza dei combustibili (fossili o rinnovabili, quali le biomasse) e della fonte idrica, le nuove fonti rinnovabili non possono essere usate all’occorrenza, ma solo quando e dove è accessibile la fonte e non quando e dove l’energia elettrica deve essere disponibile per la copertura del carico: l’energia elettrica non è accumulabile ma, al più, tramite i sistemi di accumulo, può essere convertita in altre forme energetiche dalle quali è possibile produrre nuovamente energia elettrica (esistono diverse tipologie di sistemi di accumulo, quali pompaggi, batterie elettrochimiche, sistemi *power to gas*, tutte caratterizzate da elevati costi e perdite di conversione energetica non trascurabili).

Il fatto che la nuova produzione da fonti rinnovabili non sia sempre disponibile dove e quando serve, comporta sviluppi infrastrutturali (potenziamento di collegamenti elettrici o nuove realizzazioni per trasportare l’energia elettrica da dove viene prodotta a dove serve) da coordinare con le altrettanto importanti evoluzioni nel dispacciamento elettrico (cioè nell’esercizio combinato delle unità di produzione e delle unità di consumo, affinché, in ogni istante, vi sia equilibrio tra produzione e consumo, garantendo la sicurezza del sistema elettrico).

Il sistema elettrico italiano del futuro, oltre alla già richiamata crescente incidenza degli impianti non programmabili (eolici e fotovoltaici), sarà anche

caratterizzato dal venir meno degli impianti alimentati da carbone, solo parzialmente sostituiti da impianti termoelettrici alimentati da gas naturale che sosterranno la transizione energetica in corso verso le fonti rinnovabili, nonché da una inevitabile maggiore presenza di sistemi di accumulo (soprattutto impianti idroelettrici di pompaggio, eventualmente realizzati convertendo già esistenti impianti di produzione da apporti naturali e batterie elettrochimiche).

In un siffatto sistema, occorre sempre più disporre di nuove risorse per i servizi ancillari in sostituzione di quelle fornite dagli impianti termoelettrici: si tratta, cioè, di aumentare, anche su base aggregata, la platea dei soggetti in grado di modificare la propria produzione o il proprio consumo all'occorrenza, per garantire che, in ogni istante, sia soddisfatta la richiesta di energia elettrica nel rispetto dei vincoli delle reti elettriche e del funzionamento in sicurezza del sistema elettrico complessivo.

Oltre a ciò, per consentire un'efficace realizzazione degli interventi necessari allo scopo, è opportuno fare in modo che i nuovi impianti da fonti rinnovabili siano installati dove possono essere più proficuamente utilizzati, ottimizzando in riduzione gli incentivi necessari (per es., intervenendo sulle procedure per le incentivazioni e riducendo il rischio in capo agli investitori, anche tramite semplificazioni nelle procedure autorizzative).

Occorre utilizzare strumenti efficienti che, remunerando non solo l'energia prodotta, ma

anche la capacità disponibile, ancorché non sempre utilizzata (finché e nei limiti in cui è necessaria), consentano di effettuare gli investimenti necessari per garantire che il sistema elettrico nel medio-lungo termine sia adeguato alla copertura della domanda elettrica (gli impianti alimentati da fonti aleatorie non sono tecnicamente in grado di dare lo stesso contributo all'adeguatezza degli impianti programmabili). È auspicabile, altresì, discutere e implementare meccanismi efficaci per la realizzazione e la remunerazione dei sistemi di accumulo necessari soprattutto per il *time shifting*, poiché l'energia elettrica da fonti rinnovabili spesso non viene prodotta quando serve: il modo più efficace ed economicamente efficiente per lo sviluppo dei sistemi di accumulo potrebbe essere l'uso di strumenti di mercato con un orizzonte a lungo termine per dare stabilità agli investimenti, favorendo le tecnologie più competitive (e pertanto meno costose per i consumatori) e riducendo i rischi associati allo sviluppo delle medesime e i relativi costi di capitale. Il sistema elettrico, già profondamente modificato negli ultimi anni, continuerà a essere oggetto di importanti innovazioni, verso uno *smart system* sempre più caratterizzato da flessibilità e interoperabilità tra tutti i soggetti a vario titolo coinvolti.

ANDREA GALLIANI

I giudizi contenuti nel presente articolo sono espressi a titolo personale e non coinvolgono in alcun modo l'Autorità.

tuttavia, restano sotto la soglia dell'inquinamento prodotto dai combustibili fossili, sia per i rischi sulla salute umana, sia per l'equilibrio dell'ecosistema. È invece ben lungi dall'essere risolto il problema dello smaltimento e del riciclaggio dei metalli – acciaio e rame in particolare – e delle terre rare, il cui volume si prospetta di grande entità già durante la transizione energetica.

LE POLITICHE: UNA SVOLTA POSSIBILE CON L'EUROPEAN GREEN DEAL. – Nell'ambito del contrasto ai cambiamenti climatici (v.) e della transizione energetica (v.), l'Unione Europea mostra una nuova ambizione di leadership sostenuta dalla diffusione delle fonti rinnovabili. Ne dà testimonianza il recente programma di misure *European green deal*, che la Commissione ha lanciato nel dicembre del 2019. L'UE rappresenta solo il 9% delle emissioni di CO₂ prodotte nel mondo, contro il 29% della Cina e il 14% degli Stati Uniti, mentre India e Giappone rispondono, rispettivamente,

per il 7% e il 5%. L'Europa ha mostrato, dunque, l'andamento più virtuoso, ma di certo insufficiente a ridurre i rischi globali da sola; in un decennio, tra il 2008 e il 2018, le emissioni europee sono scese del 15%, quelle dell'America Settentrionale dell'8,5%, mentre la regione Asia-Pacifico le ha incrementate del 25,5%. È utile ricordare anche che le politiche e le nuove tecnologie hanno registrato un effetto virtuoso nel disaccoppiamento delle emissioni dalla crescita economica: tra il 1990 e il 2018 l'Unione Europea ha ridotto le emissioni di gas serra (-23%), mentre l'economia è cresciuta di 61 punti percentuali.

L'*European green deal* ha impostato un nuovo percorso di iniziative funzionali al raggiungimento di una crescita sostenibile. Parte rilevante riguarda le azioni in materia di clima, con la *European climate law*, proposta dalla Commissione il 6 marzo 2020, che sancisce l'obiettivo della neutralità climatica (emissioni nette di gas serra pari a zero) entro il 2050; implica la riforma di tutte le misure che hanno dato vita alle

politiche dell'UE per il clima: tra le principali, il sistema ETS (*Emission Trading System*, il mercato di scambio dei permessi di emissione), le direttive sull'efficienza energetica, sulle rinnovabili e sulla tassazione dell'energia, il regolamento sull'uso del suolo. Per l'attuazione risulta fondamentale l'apporto degli Stati membri: la realizzazione coerente di Piani nazionali integrati per l'energia e il clima (PNIEC) costituisce un elemento imprescindibile per raggiungere gli obiettivi dell'intera regione.

Un aspetto di questi indirizzi deve essere valutato appieno nella sua rilevanza. Dopo la crisi drammatica della pandemia, l'obiettivo di perseguire una ricrescita sostenibile condivisa offre all'Unione Europea l'opportunità politica di un salto qualitativo inatteso. La costruzione di un indirizzo europeo di politica industriale e di risorse finanziarie comuni tra i Paesi membri, maturata dopo la pandemia e oggi in fase di negoziato e di deliberazione da parte del Consiglio e del Parlamento, ha in sé le potenzialità di una svolta storica nella crescita dell'Unione e dell'integrazione. Le istituzioni europee, in particolare la Commissione e la Banca centrale europea, hanno mostrato una capacità di guida che richiede un seguito da parte degli Stati membri; la Germania, che apre su questo terreno la presidenza tedesca del Consiglio europeo (2° semestre 2020), sembra aver colto l'entità della sfida politica.

È di grande rilievo che sia stata riconosciuta a Bruxelles la necessità di reperire risorse finanziarie condivise, per far fronte alla drammatica crisi economica, che siano indirizzate verso gli obiettivi definiti dall'*European green deal*, prima della crisi. Tra le altre misure, i fondi stanziati per prestiti di lungo periodo e trasferimenti agli Stati più colpiti costituiscono un cambiamento di prospettiva che si affianca al Piano di investimenti per un'Europa sostenibile, capace di mobilitare 1000 miliardi di euro in dieci anni tra investimenti pubblici e risorse private, e al meccanismo per una *just transition*, finalizzato a supportare i settori e le regioni maggiormente colpiti.

In conclusione, la transizione verso un mondo di energie rinnovabili ha incontrato oggi sul suo cammino la sfida più difficile – sanitaria, sociale, economica – di cui la nostra generazione abbia memoria. È una prova terribile per tutte le popolazioni del pianeta; ma potrebbe essere anche l'occasione perché nel laboratorio politico dell'Europa si compia un salto storico e si disegni la via di collaborazione tra civiltà diverse con una guida politica che oggi è più che mai necessaria in un mondo spaesato, che richiede nuovi indirizzi politici.

BIBLIOGRAFIA: D. LA PORTA ARROBAS, K.L. HUND, M.S. MCCORMICK ET AL., *The growing role of minerals and metals for a low carbon future*, Washington (D.C.) 2017; V. TERMINI, *Il mondo rinnovabile. Come l'energia pulita può cambiare l'economia, la politica e la società*, Roma 2018; G. PITRON, *La guerra dei metalli rari. Il lato oscuro della transizione energetica e digitale*, Roma 2019.

WEBGRAFIA: GLOBAL SUSTAINABLE INVESTMENT ALLIANCE, *Global sustainable investment review 2018*, 2018, http://www.gsi-alliance.org/wp-content/uploads/2019/03/GSIR_Review2018.3.28.pdf; IEA (*International Energy Agency*), *Global energy review 2019*, <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2019>; IEA, IRENA (*International Renewable Energy Agency*), UNSD (*United Nations Statistical Division*), WORLD BANK GROUP, WHO (*World Health Organization*), *Tracking SDG7. The energy progress report*, Washington (D.C.) 2019, <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/2019-Tracking-SDG7-Report.pdf>; IEA, *The future of hydrogen*, 2019, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>; R. CORRIAS, *Hydrogen: unlocking the potential of green gas*, ISPI (*Istituto per gli Studi di Politica Internazionale*), 21 febbraio 2020, <https://www.ispionline.it/it/pubblicazione/hydrogen-unlocking-potential-green-gas-25108>; IEA, *Global energy review 2020*, <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>; IRENA, *Post-Covid recovery. An agenda for resilience, development and equality*, Abu Dhabi 2020, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Post-COVID_Recovery_2020.pdf; IRENA, *Renewable power generation costs in 2019*, Abu Dhabi 2020, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf; B. POTIER, E. CHUNG, *A clean energy future with hydrogen could be closer than we think*, World economic forum, 31 gennaio 2020, <https://www.weforum.org/agenda/2020/01/a-clean-energy-future-with-hydrogen-could-be-closer-than-we-think/>.

Tutte le pagine web si intendono visitate per l'ultima volta il 25 agosto 2020. Valeria Termini - Michele Masulli

EPIDEMIE. – LE EPIDEMIE NELLA STORIA DELL'UOMO. LA QUARANTENA. LE EPIDEMIE NELL'ERA MODERNA. DEFINIZIONE DI CASO E SISTEMI DI SORVEGLIANZA INFETTIVOLOGICA. STRUMENTI DI CONTRASTO DI UN'EPIDEMIA NELL'ERA MODERNA. L'era digitale. Bibliografia. Webgrafia

Le stime della World health organization (WHO) certificano che ogni anno il 15% di tutti i decessi nel mondo è direttamente attribuibile a malattie infettive. Agenti patogeni resistenti a più farmaci, la rapida diffusione di malattie emergenti esacerbate dalla globalizzazione e la portata estesa di malattie tropicali e trasmesse da vettori, risultanti da continui cambiamenti climatici, mettono a rischio un numero sempre crescente di persone. Nel prossimo futuro ci si troverà ad affrontare una serie di sfide che richiederanno una rivoluzione nella nostra capacità di comprendere, scoprire e sviluppare rapidamente nuove tecniche diagnostiche, approcci profilattici, terapeutici, per vecchi e nuovi agenti infettivi per l'uomo.

Il termine *epidemia* (dal greco *epì* «sopra» e *dèmos* «popolo») definisce una malattia infettiva che colpisce nello stesso momento più individui appartenenti alla stessa comunità. Focolai o *outbreak*, invece, di piccola o poco più significativa entità vengono continuamente registrati nel mondo, così come nel nostro Paese, da agenti infettivi con caratteristiche diverse di infettività. La risposta alle epidemie segue alcune aree d'azione; innanzitutto è necessario: