

5 **L'Italia alla sfida della transizione energetica**

Sommario 5.1 L'energia come pilastro portante dello sviluppo. – 5.2 Le fonti fossili: un male da importazione ancora necessario. – 5.3 L'Italia e il gas naturale: una relazione complessa. – 5.4 Le fonti rinnovabili: energie nuove per l'Italia. – 5.5 Il ritorno al nucleare, un tema controverso

5.1 L'energia come pilastro portante dello sviluppo

L'accesso sicuro, affidabile e sostenibile all'energia rappresenta un pilastro fondamentale per lo sviluppo socio-economico di qualsiasi paese e un prerequisito imprescindibile per il funzionamento di tutti i settori economici, dalla pubblica amministrazione alle industrie, dalle attività commerciali a quelle agricole, fino alle abitazioni private. Inoltre, l'energia svolge un ruolo chiave nel garantire la qualità della vita dei cittadini, influenzando aspetti come la salute, l'istruzione, la mobilità e il benessere generale. Un testo che si propone di descrivere le dinamiche di sviluppo economico di un paese attraverso la lente della sostenibilità non può quindi prescindere da una panoramica quantomeno introduttiva sul tema della produzione e sicurezza energetica, elemento vitale ove si intrecciano stabilità economica, competitività dei sistemi produttivi, sicurezza nazionale e sostenibilità. Stabilità economica in quanto, riducendo la dipendenza da fonti esterne, si attenua l'impatto dei fluttuanti prezzi globali e si

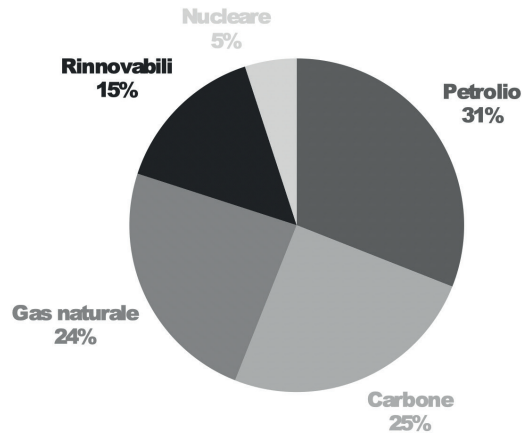


Figura 5.1 Fonti di energia primaria globale (2022). Fonte: International Energy Agency

garantiscono maggiore stabilità e minor vulnerabilità a shock esterni. Nel contempo si promuovono investimenti nazionali nello sviluppo di fonti energetiche domestiche, creando posti di lavoro e stimolando la crescita economica, con un maggiore controllo sulle risorse energetiche stesse. Parimenti, costi energetici stabili e concorrenziali favoriscono la competitività delle imprese sui mercati nazionali e internazionali, attraendo investimenti dall'estero e riducendo nel contempo (in ottica di sicurezza nazionale) la dipendenza da altri paesi e la loro influenza sulla politica interna ed estera: una maggiore autonomia e indipendenza che si rivelano particolarmente salutari in tempi di grande incertezza e gravi crisi internazionali come quelle che stiamo vivendo, in un mondo sempre più multipolare e instabile. Il tutto ovviamente in sinergia con la stella polare della sostenibilità ambientale, emancipandosi dalle fonti fossili e promuovendo lo sviluppo di fonti rinnovabili: proprio all'energia pulita e accessibile è dedicato l'obiettivo 7 degli SDG (Clean and Affordable Energy) che ambisce a garantire accesso universale a servizi energetici puliti, economici e affidabili.

In definitiva, la sicurezza energetica è un investimento nel futuro di un paese, garantendo prosperità economica, competitività, sicurezza nazionale e un ambiente sostenibile e non vi sono, in altre parole, dubbi che su come investire in diversificazione ed efficienza energetica grazie a innovative tecnologie sia fondamentale per un futuro energetico sicuro e sostenibile. Coerentemente con questo assunto di base, il presente capitolo intende quindi fornire una panoramica

generale sul tema, scevra da eccessivi tecnicismi ma puntuale nel descrivere da un lato le diverse tipologie di fonti di energia e i loro utilizzi, e dall'altro la situazione in Italia per quanto concerne disponibilità, criticità e prospettive. A tal fine la discussione si articola in tre paragrafi, dedicati rispettivamente alle fonti fossili, a quelle rinnovabili e all'energia nucleare, con le prime che soddisfano ancora l'80% del fabbisogno energetico globale: più in dettaglio [fig. 5.1], secondo la IEA nel 2022 la domanda di energia primaria per fonte poteva essere così suddivisa: petrolio 31%, carbone 25%, gas naturale 24%, rinnovabili 15% e nucleare 5%.

5.2 Le fonti fossili: un male da importazione ancora necessario

Le fonti fossili quali carbone, petrolio e gas naturale sono combustibili che si formano da resti di organismi viventi sepolti sottoterra per milioni di anni, e rappresentano tutt'ora la fonte principale utilizzata a livello globale per produrre energia, pur in un contesto caratterizzato dal rapido sviluppo di fonti alternative e sostenibili che stanno operando una lenta ma virtuosa sostituzione.

Come tutti sanno, le fonti fossili hanno pesanti ripercussioni sull'ambiente e un loro sfruttamento intensivo porta con sé una serie di problematiche di difficile soluzione. Il primo aspetto da considerare è ovviamente quello legato all'inquinamento atmosferico causato dalle emissioni in atmosfera di gas climalteranti che provocano e accelerano il fenomeno del riscaldamento globale (*global warming*). La combustione di fonti fossili per la produzione di energia, trasporti, riscaldamento e altri usi industriali ha portato difatti a un aumento significativo di gas serra nell'atmosfera, in particolare di anidride carbonica (CO₂). Sebbene questa (insieme ad altri gas serra) svolga la fondamentale funzione di trattenere il calore del sole nell'atmosfera creando un effetto serra naturale che mantiene la temperatura del pianeta abitabile, le eccessive emissioni di origine antropica hanno moltiplicato tale effetto, provocando un riscaldamento globale incontrollato che ha già portato a un aumento delle temperature di circa 1°C rispetto all'era preindustriale (incremento ancora più marcato in Italia), con un trend in costante aumento. Benché a un occhio inesperto un tale riscaldamento possa risultare marginale, gli impatti su un equilibrio fragile come quello del clima e degli ecosistemi naturali sono in realtà prorompenti ed evidenti (come evidenziato nel cap. 1): dallo scioglimento dei ghiacciai e conseguente innalzamento del livello del mare all'aumento nella frequenza e violenza di fenomeni meteorologici estremi, dall'acidificazione degli oceani alla perdita di biodiversità. Senza tralasciare ovviamente le conseguenze delle emissioni in atmosfera sulla salute umana: la comunità scientifica

ritiene che i decessi direttamente causati dall'inquinamento atmosferico da fonti fossili superi i 5 milioni di casi l'anno.

Un ulteriore aspetto da considerare concerne la sfera geopolitica e la condizione di dipendenza da paesi stranieri in cui si possono trovare paesi come l'Italia, che essendo poveri di queste materie prime hanno la necessità di ricorrere largamente a importazioni dall'estero. Tale debolezza si è mostrata in tutta la sua drammaticità più volte, nella storia italiana ed europea, e in tempi recenti con la dipendenza dal gas russo e le conseguenze dell'aggressione all'Ucraina del 2022. Ma in precedenza vi sono stati altri momenti di tensione, come durante i famigerati shock petroliferi degli anni Settanta in cui i forti rialzi del prezzo del petrolio portarono a una brusca impennata dell'inflazione e una conseguente recessione globale: il primo (1973-74) innescato dalla guerra arabo-israeliana e dall'embargo petrolifero dell'OPEC verso le nazioni occidentali, e il secondo (1979-80) provocato dalla rivoluzione iraniana.

Infine, bisogna considerare che le fonti fossili non sono rinnovabili (se non, in punta di teoria, nel corso dei milioni di anni) e in quanto tali sono di conseguenza destinate a esaurirsi. Se questo è chiaramente un aspetto positivo dal punto di vista prettamente ambientale, ne consegue comunque la necessità di trovare in tempi relativamente brevi alternative che siano tecnologicamente fattibili ed economicamente convenienti, oltre che ambientalmente sostenibili. Le fonti di energia rinnovabile (FER, o RES nell'acronimo inglese di Renewable Energy Sources), considerate da molti (e a ragione) come risposta ineludibile ed efficace al problema energetico, verranno descritte in dettaglio nel prossimo paragrafo. Giova qui ricordare semplicemente che, come anticipato in sede introduttiva, le FER rappresentano a oggi una risposta del tutto insufficiente a quelle che sono le richieste energetiche dei nostri sistemi produttivi e delle nostre comunità: la scomoda verità (o *inconvenient truth*, per citare il Premio Nobel nonché ex vicepresidente USA Al Gore) è che le fonti fossili resteranno centrali nel mix energetico di molti paesi (Italia inclusa) ed essenziali per i sistemi produttivi ancora per molti anni. Il che non deve ovviamente venire interpretato come una licenza morale per non approfondire sforzi sempre maggiori per minimizzarne l'utilizzo, puntando contemporaneamente con decisione su alternative sostenibili. È ovviamente impossibile prevedere con precisione quando si esauriranno le riserve disponibili di petrolio, carbone e gas naturale, e già in passato sono state proposte le stime più disparate che spesso non hanno retto alla prova dei fatti. Troppe sono infatti le variabili in gioco che possono modificare in un senso o nell'altro le stime: si pensi per esempio a come le analisi siano necessariamente limitate ai giacimenti a oggi conosciuti, pur nella consapevolezza che in futuro potremmo scoprirne di nuovi o in alternativa disporre di tecnologie innovative che permettano di estrarre materiale da giacimenti

a oggi irraggiungibili. O ancora, si pensi al tasso di consumo a livello globale che potrebbe aumentare o diminuire a seconda di diverse traiettorie di sviluppo. Con tutti i caveat del caso e con la semplice intenzione di fornire un'indicazione che non può essere che approssimativa, si può comunque ipotizzare che ai tassi attuali di consumo il petrolio sarà il primo a esaurirsi in una cinquantina di anni, seguito dal gas naturale entro la fine del secolo mentre il carbone non dovrebbe esaurirsi prima di 250 o 300 anni. Carbone che peraltro (oltre a essere il più inquinante fra i tre) è al centro di traiettorie di sfruttamento molto diverse a seconda del contesto di riferimento: progressivamente abbandonato da molti paesi (compresi in primis quelli della EU), ma sfruttato intensivamente altrove e soprattutto in Cina, che da sola è responsabile del 50% del suo utilizzo globale.

Concentrandosi a titolo esemplificativo sul petrolio, si può fornire qualche dato di dettaglio. Nel 2019, ultimo anno *business as usual* (prima che l'emergenza Covid e le tensioni internazionali avessero un impatto sulle nostre vite e sui consumi energetici) le riserve conosciute ammontavano a circa 1.700 miliardi di barili, con un consumo globale nel medesimo anno indicativamente pari a 35 miliardi di barili: ne consegue che proseguendo a questo ritmo il petrolio si vedrebbe esaurito nel 2067. Resta ovviamente quanto anticipato in precedenza, ovvero sulla inattendibilità di stime precise in virtù delle diverse variabili in grado di modificare in un senso o nell'altro qualsivoglia previsione. Si pensi a come i consumi di petrolio potrebbero da un lato aumentare in conseguenza del tasso di sviluppo in numerose economie emergenti, con conseguente forte richiesta energetica nei settori industriali e nei trasporti; o come d'altro canto i consumi potrebbero subire una futura contrazione a causa di diversi fattori, quali per esempio l'ascesa dell'auto elettrica, lo sviluppo di FER, il miglioramento dell'efficienza energetica ma anche cambiamenti virtuosi nelle abitudini di consumo, con una maggiore consapevolezza ambientale che sfocia nell'adozione di stili di vita più sostenibili.

La domanda che ci si pone è quindi per quanto tempo vogliamo che il petrolio sia disponibile e soprattutto a quale prezzo, nella consapevolezza che prezzi elevati potrebbero rivelarsi un'arma a doppio taglio per i produttori spingendo i consumatori a cercare fonti di energia alternative e stimolando di conseguenza lo sviluppo di tecnologie efficienti, come per esempio nel caso prima menzionato dell'elettrificazione nel comparto automotive. I segnali di una diminuzione della domanda hanno iniziato a manifestarsi in questi ultimi anni e la pandemia di Covid ha solo accelerato questa tendenza. Giova qui ricordare la famosa frase (la cui paternità è tuttora oggetto di dibattito): «come l'età della pietra non è finita perché sono finite le pietre così l'età del petrolio potrebbe non finire perché si esauriscono le riserve».

Nel frattempo, in attesa che vengano sciolti i nodi intorno al nucleare e che le rinnovabili si sviluppino significativamente (tematiche di

cui si parlerà in dettaglio nei successivi paragrafi di questo capitolo), l'Italia deve giocoforza continuare a fare affidamento sulle fonti fossili e sulla loro importazione dall'estero. Una tale dipendenza impatta sul costo finale per gli utenti dell'energia, come è accaduto di recente al gas dopo l'invasione russa dell'Ucraina: ne deriva che il costo dell'energia in Italia è tra i più alti in Europa, penalizzando la competitività delle imprese e il benessere dei cittadini. Oltre alla carenza strutturale di materie prime vi è chi sottolinea come burocrazia e complessità normativa da un lato e ritardo nello sviluppo delle *smart grid* dall'altro possano ostacolare lo sviluppo di nuovi progetti energetici, e rallentare la transizione verso nuovi e sostenibili paradigmi in cui le fonti energetiche nazionali vengono integrate efficacemente nel complesso sistema di gestione della domanda di energia.

Il carbone ha dominato il panorama energetico italiano per gran parte del secolo scorso, alimentando centrali elettriche e industrie e contribuendo in maniera determinante allo sviluppo industriale ed economico del paese. Le miniere di carbone (concentrate principalmente in Sardegna e Toscana) hanno rappresentato un fulcro dell'economia nazionale, fornendo occupazione e ricchezza fino a che, a partire dagli anni Cinquanta, l'utilizzo del carbone ha subito un graduale declino, sancito dall'ascesa di fonti energetiche alternative come il petrolio e il gas naturale (più economiche ed efficienti) e favorito anche dall'emergere di preoccupazioni legate all'impatto ambientale delle attività di estrazione e consumo.

Ad oggi l'Italia non dispone di riserve significative di carbone e le centrali a carbone rimaste sono in fase di chiusura o riconversione a gas: l'Unione Europea ha peraltro avviato da anni una seria e incisiva politica di *phasing-out* e il nostro paese (dove sono sei le centrali a carbone attualmente attive) si è impegnato ad abbandonare il carbone nel mix di generazione elettrica a partire dal 31 dicembre 2025, con l'eccezione della Sardegna che dovrebbe godere di un piccolo rinvio. Si può quindi ipotizzare una rapida contrazione anche nelle importazioni dall'estero di carbone (tradizionalmente da Russia e Stati Uniti), che ha permesso nel 2021 di produrre circa 14 TWh pari a meno del 5% del fabbisogno elettrico italiano.

Per quanto riguarda il petrolio l'Italia è un paese con una lunga storia di sfruttamento di questa fonte fossile, che pure ha avuto un ruolo importante nello sviluppo economico italiano: le prime esplorazioni ebbero luogo in Emilia-Romagna, dove nel 1860 venne perforato il primo pozzo italiano, ma la produzione commerciale iniziò solo nel 1906 in Basilicata, con la scoperta del campo petrolifero di Viggiano. Attualmente il quadro è invece caratterizzato da riserve relativamente modeste (concentrate principalmente in Basilicata, Sicilia e Val d'Agri), con una produzione nazionale declinante che a oggi copre solo una piccola parte del fabbisogno (ampiamente inferiore al 10%). L'Italia ha di conseguenza la necessità di importare dall'estero

la maggior parte del petrolio, da paesi quali la Russia (sebbene dopo l'invasione dell'Ucraina il suo contributo sia sensibilmente ridotto), l'Azerbaijan o la Libia: il greggio viene trasportato in Italia principalmente via mare attraverso petroliere mentre gli oleodotti sono meno utilizzati, date le lunghe distanze rispetto ai paesi produttori.

La terza tipologia di fonte fossile è rappresentata dal gas naturale, costituito da una miscela di gas (principalmente metano) che, a causa di alcune peculiarità che le sono proprie (il minore impatto ambientale, le difficoltà di trasporto, l'impatto sull'economia italiana in questi anni), sarà oggetto di una discussione più approfondita.

5.3 L'Italia e il gas naturale: una relazione complessa

Anche per quanto concerne il gas naturale l'Italia non dispone di ingenti riserve disponibili (e queste ultime spesso non vengono sfruttate al massimo del loro potenziale) e deve quindi ricorrere massicciamente alle importazioni dall'estero, con una fortissima dipendenza dalla Russia che fino al 2022 ha coperto oltre il 40% del nostro fabbisogno. Una tale situazione di dipendenza energetica (peraltro con paesi privi delle tutele legislative caratteristiche delle democrazie liberali occidentali) espone l'Italia a diverse criticità, quali la vulnerabilità alle fluttuazioni dei prezzi (le quotazioni del gas naturale sui mercati internazionali subiscono frequenti oscillazioni, influenzate da eventi geopolitici, fattori climatici e dinamiche di domanda e offerta), il rischio di interruzioni dell'approvvigionamento (per tensioni geopolitiche, incidenti infrastrutturali o decisioni strategiche del fornitore) e limitata capacità di manovra (scarsa capacità di reagire a eventi avversi sui mercati internazionali e di perseguire una politica energetica più autonoma).

Per affrontare queste sfide l'Italia ha avviato diverse azioni orientate anzitutto a una maggiore diversificazione nelle forniture, tramite l'acquisto da paesi quali Azerbaijan, Algeria o Qatar e soprattutto l'importazione di gas naturale liquefatto (GNL) da diverse aree del mondo, per far fronte in sicurezza alle richieste energetiche di gas per utilizzi civili e industriali. Questi si aggirano intorno ai 70-75 miliardi di metri cubi l'anno, ad appannaggio in primis di riscaldamento e produzione di elettricità e a seguire di utilizzi nel comparto industriale (nel 2023 il consumo è stato sensibilmente inferiore, a causa del combinato disposto di un inverno mite e degli alti prezzi energetici che hanno spinto aziende e privati a risparmiare per quanto possibile i consumi). Attualmente l'Italia estrae circa 4 miliardi di metri cubi l'anno con una produzione nazionale che è andata sensibilmente diminuendo nel tempo (se si pensa che negli anni Novanta quest'ultima si attestava sui 20 miliardi di metri cubi) per una serie di fattori, quali l'esaurimento dei giacimenti e la mancanza di

nuove esplorazioni, le restrizioni ambientali e l'opposizione di fette crescenti di popolazione. Il grosso del gas naturale utilizzato in Italia viene quindi importato dall'estero tramite gasdotti o tramite navi metaniere. Nel primo caso vi sono diversi punti d'accesso al nostro paese sia a nord (Passo Gries e Tarvisio) sia a sud, dove gasdotti sottomarini collegano i paesi del Nordafrica all'Italia tramite i punti di accesso di Mazara del Vallo, Gela e Melendugno. A livello europeo, il gasdotto più rilevante anche per ragioni geopolitiche è stato invece il North Stream, in grado di collegare Russia e Germania (e quindi Unione Europea). In seguito all'invasione russa dell'Ucraina il gasdotto sottomarino è stato sabotato e a oggi non è in funzione, come pure inattivo è il North Stream 2, gasdotto gemello che non ha mai visto l'ingresso in fase operativa perché la crisi internazionale ha impedito che le procedure amministrative e autorizzative di un'infrastruttura comunque completata venissero espletate.

Per quanto concerne invece il trasporto di gas su navi metaniere, queste tradizionalmente trasportano GNL, che viene reso liquido a bassissime temperature (-161°C) permettendone il trasporto di un quantitativo assai maggiore: si pensi che il volume di GNL si riduce di circa 600 volte rispetto al volume del gas naturale a temperatura ambiente). Una volta arrivate a ridosso delle coste italiane, le navi metaniere vengono collegate agli impianti di rigassificazione che possono essere o su piattaforma o su vere e proprie navi di rigassificazione (le FSRU, o Floating Storage and Regasification Units). Semplificando, il processo prevede che il GNL venga fatto passare per un sistema di tubi immersi nell'acqua marina, la cui temperatura lo riscalda facendolo tornare allo stato gassoso per poter essere a quel punto collegato tramite una specifica infrastruttura alla rete nazionale a terra. I rigassificatori sono passati all'onore della cronaca negli ultimi due anni in quanto l'Italia si è trovata nella necessità di diversificare le forniture di gas naturale dovendo limitare fortemente la propria dipendenza dal gas russo, obiettivo raggiunto dato che nel 2023 quest'ultimo (4,5%) ha rappresentato una percentuale residuale, a vantaggio di altri partner internazionali prima menzionati. Nel caso del GNL invece (le cui importazioni pesano nel 2023 per circa un quarto del totale) non è dato conoscere l'origine precisa ma semplicemente il punto di entrata del gas: in questo senso il rigassificatore di Cavarzere (Venezia) ha pesato per oltre la metà del GNL importato in Italia, seguito dal rigassificatore di Livorno e da quelli di Panigaglia e Piombino, attivato di recente. Il tema dei gassificatori è utile anche a comprendere il cosiddetto fenomeno *nimby* (acronimo di Not in My Back Yard) che si riferisce all'opposizione (talora animata da condivisibili motivi di preoccupazione, talora frutto semplicemente di una avversione ideologica senza giustificazioni razionali o scientifiche) nelle comunità locali a opere di interesse pubblico che potrebbero avere un impatto negativo sul territorio in cui vengono

realizzate. Questo può quindi valere per gli impianti di rigassificazione, per i termovalorizzatori o per infrastrutture e impianti per la produzione di energia rinnovabile, ove persino una fetta di coloro che hanno un atteggiamento positivo nei confronti di tali opere potrebbe essere poco propensa ad accettare che vengano costruite nei pressi delle proprie abitazioni. Il tema è particolarmente delicato ed è ovvio che talora le infrastrutture proposte o realizzate abbiano effettivamente impatti negativi più o meno significativi su ambiente e comunità locali; ciononostante, duole constatare come la sindrome *nimby*, alimentata spesso da un pernicioso mix di ignoranza e ambientalismo ideologico, sia particolarmente sviluppata in Italia e rappresenti un freno non indifferente a uno sviluppo (sostenibile) del paese.

La sicurezza energetica dell'Italia passa quindi, per quanto concerne il gas, per due direttrici fondamentali: diversificazione delle forniture da un lato e potenziamento delle infrastrutture di stoccaggio, al fine di creare riserve strategiche che possono essere utilizzate in caso di interruzioni dell'approvvigionamento. E questo a maggior ragione in virtù della stagionalità della fonte di energia, molto più richiesta nei mesi invernali a causa degli utilizzi nel settore riscaldamento. Ne consegue che nel periodo freddo vi è tipicamente un fabbisogno energetico superiore rispetto a quello che può essere l'import dall'estero ed è quindi necessario per così dire *fare scorte* nei mesi estivi quando viceversa il fabbisogno nazionale è inferiore rispetto a produzione interna e importazioni. Ci si potrebbe quindi domandare dove si possa stoccare il gas, in modo da poterlo estrarre e renderlo fruibile nel momento del bisogno. Il gas viene stoccato in vecchi giacimenti esausti, aree costituite da rocce porose e permeabili con il gas che viene iniettato ed entra in tali pori, come l'acqua farebbe con una spugna: si tratta di una soluzione sicura in quanto giacimenti esausti rappresentano luoghi sulla cui tenuta stagna si può avere chiaramente la certezza più assoluta. Il sistema prevede quindi che vi sia un impianto di compressione dove avviene la iniezione estiva nel giacimento sotterraneo, a cui si alterna nei periodi di maggiore fabbisogno una erogazione invernale che prevede l'estrazione del gas dal giacimento medesimo e il convogliamento in un impianto di trattamento che procede poi all'immissione nella rete nazionale. Attualmente in Italia sono in esercizio una dozzina di siti di stoccaggio ubicati prevalentemente nelle regioni del nord: questi rappresentano un importantissimo e strategico *cuscinetto di sicurezza*, pur nella consapevolezza che è attualmente possibile stoccare un ammontare di circa 17 miliardi di metri cubi di gas che rappresentano meno di un quarto del tipico fabbisogno annuo nazionale.

5.4 Le fonti rinnovabili: energie nuove per l'Italia

Le FER rappresentano, insieme risparmio energetico e uso razionale delle risorse, un elemento importante del circolo virtuoso che permette di produrre e sfruttare in maniera efficace ed efficiente energia pulita. Avendo un tasso di rigenerazione uguale o superiore al tasso di consumo, sono fonti di energia non destinate a esaurirsi: i tre principali tipi di energia sono idroelettrico, eolico e solare/fotovoltaico, ma ne esistono altri quali per esempio geotermico e biomasse.

I vantaggi rispetto alle fonti fossili sono numerosi, a partire dalla sensibilissima riduzione delle emissioni di gas serra, contribuendo quindi alla lotta contro il cambiamento climatico. Giova ricordare che ovviamente anche queste tipologie di energia *pulita* comportano alcune emissioni nocive durante il proprio ciclo di vita, dalla produzione all'installazione fino allo smaltimento: per esempio, la produzione di pannelli solari fotovoltaici può generare emissioni di gas serra durante la fase di estrazione e lavorazione delle materie prime. Inoltre, lo smaltimento dei pannelli a fine vita potrebbe comportare rischi ambientali se non gestito correttamente. Le emissioni generate dalle FER sono tuttavia molto inferiori a quelle prodotte dalle fonti fossili, e in continuo calo grazie all'avanzamento tecnologico e all'adozione di pratiche più sostenibili.

Per quanto concerne il contesto italiano, un altro aspetto di rilievo pertiene al tema della sicurezza energetica: vento, sole e acqua sono disponibili in grandi quantitativi nel nostro paese (soprattutto in specifiche aree), e non sono quindi soggette a problemi di fluttuazioni di prezzo,¹ interruzioni dell'approvvigionamento o crisi geopolitiche.

A fronte degli innegabili e rilevanti vantaggi, le FER presentano anche talune problematiche che rallentano un loro sviluppo più marcato e rapido. Da un punto di vista economico, i costi iniziali per l'installazione degli impianti e delle infrastrutture collegate possono essere elevati e scoraggiare gli investimenti necessari, mentre da un punto di vista operativo, alcune rinnovabili (si pensi al solare o all'eolico) soffrono di una tipica (e non prevenibile) intermittenza; questo rappresenta un problema in quanto la produzione di energia non è costante e può variare significativamente in base a fattori esterni come il tempo atmosferico, mentre la rete elettrica deve essere bilanciata in tempo reale (cioè produzione e domanda di energia devono essere allineate). Conseguentemente, per gestire

¹ Ovviamente vi possono essere eccezioni che non inficiano comunque la validità dell'asserzione generale, come per esempio i prezzi delle materie prime necessarie per i pannelli fotovoltaici, che possono variare sensibilmente e che l'Italia tipicamente importa dall'estero.

l'intermittenza delle FER è necessario investire in sistemi di accumulo di energia e in altre tecnologie che possono aumentare i costi del sistema elettrico.

L'energia solare è sostanzialmente inesauribile (le stime più accreditate suggeriscono che il sole diventerà una nana bianca e si spegnerà indicativamente fra 5 miliardi di anni) e pulita, in quanto gli impianti non emettono gas nocivi in fase di operatività, anche se come anticipato non si può parlare di *impatto zero*, essendoci emissioni collegate alle fasi di costruzione degli impianti, di reperimento dei materiali richiesti e di trasporto dell'energia stessa. L'Italia da questo punto di vista è un paese con buone potenzialità soprattutto nelle sue regioni meridionali dove più alto è l'irraggiamento annuale e si potrebbe quindi sfruttare ampiamente l'energia del sole per i due scopi che lo caratterizzano: solare termico e produzione di elettricità da pannelli fotovoltaici. Partendo dal primo utilizzo, l'energia solare viene catturata dai pannelli solari termici, composti da un collettore solare generalmente realizzato in rame o alluminio e rivestito da un materiale che assorbe bene il calore, come una vernice nera o un film di ossido di titanio. L'energia solare assorbita dal collettore riscalda un fluido termovettore come acqua o aria, che circola all'interno di tubi posti all'interno del collettore stesso e che successivamente cede il calore acquisito a un serbatoio di accumulo, riempito d'acqua fredda: questa viene riscaldata (grazie al principio della termodinamica sulla trasmissione del calore da un corpo caldo a uno più freddo) e resa disponibile per diversi usi, quali il riscaldamento degli ambienti tramite i caloriferi o l'utilizzo di acqua calda sanitaria.

I pannelli fotovoltaici sono invece dei veri e propri generatori di energia elettrica che si presentano come delle tessere composte da tante piccole celle fotovoltaiche, capaci di catturare l'energia solare e trasformarla in elettricità. Ogni cella è formata da due strati di materiale semiconduttore (come il silicio) che a contatto con la luce solare genera una corrente elettrica. L'energia elettrica prodotta può essere utilizzata direttamente per alimentare l'abitazione o l'edificio in cui sono installati i pannelli, mentre la quantità eccedente può essere immagazzinata in sistemi di accumulo per un uso successivo (per esempio nelle ore notturne) sfruttando speciali batterie, spesso al litio o al piombo. Ma vi è anche la possibilità di collegare i pannelli alla rete e di vendere quindi l'energia che non viene utilizzata. I pannelli fotovoltaici oltre che su edifici pubblici e privati sono ovviamente presenti anche in aree dedicate, le cosiddette centrali fotovoltaiche: nel 2023, i pannelli in Italia hanno prodotto 30,6 TWh di energia pulita (+10% rispetto all'anno precedente), il 57% dei quali nelle centrali e il restante 43% sulle abitazioni e in piccoli impianti.

Un aspetto che pone alcuni interrogativi a livello di competitività del sistema-paese e di sicurezza energetica e che merita un breve inciso è rappresentato dal ruolo chiave del silicio, elemento

fondamentale per la produzione di celle fotovoltaiche e soggetto al quasi-monopolio della Cina, in grado di sfruttare la propria posizione dominante per influenzare i prezzi e la disponibilità del materiale e di creare pericolose dipendenze geopolitiche e vulnerabilità nelle catene di approvvigionamento. Memori della recente *lezione* del gas russo, molti paesi occidentali stanno investendo nella diversificazione della produzione e nella ricerca di alternative, tramite lo sviluppo di nuove tecnologie e l'utilizzo di materiali riciclati al fine di ridurre la dipendenza da un unico fornitore e di rafforzare la sicurezza degli approvvigionamenti. L'Italia in questo contesto ha una posizione problematica in quanto non possiede depositi di silicio puro sufficientemente ricchi e concentrati per essere sfruttati economicamente (nonostante il silicio sia l'elemento più abbondante nella crosta terrestre dopo l'ossigeno, si trova principalmente in composti come i silicati, difficili da estrarre e processare). È quindi probabile che negli anni futuri la cosiddetta *geopolitica del silicio* avrà un impatto sulle relazioni commerciali tra diversi paesi, con possibili tensioni legate al controllo delle risorse e al protezionismo. E tali tensioni riguarderanno più in generale tutti i materiali strategici per la transizione ecologica e digitale (i.e. la *twin transition*) come le cosiddette *terre rare*, gruppo di 17 elementi chimici dalle proprietà uniche, essenziali per la produzione di una vasta gamma di tecnologie moderne (e.g. smartphone, computer, batterie per auto elettriche, fibre ottiche, eccetera). Il tema è di grande attualità anche in Italia, sempre più voci autorevoli si levano a favore della riapertura delle miniere o la ricerca di nuovi giacimenti per quelle materie prime (a partire dalle 17 terre rare, ma non limitandosi a queste) critiche per la *twin transition*. Secondo l'Ispra (Istituto superiore per la ricerca e la protezione ambientale) 16 di queste su 34 sono presenti in Italia. L'ultima mappatura completa risale addirittura agli anni Settanta, e da allora la maggior parte delle miniere è stata abbandonata: spesso non per l'esaurimento delle stesse, ma per i costi per renderle sostenibili e tecnologicamente avanzate ritenuti eccessivi. Se è stato quindi a lungo più conveniente ricorrere alle importazioni dall'estero, le turbolenze internazionali e la scarsa affidabilità di paesi illiberali come Cina e Russia hanno fatto cambiare il vento in molti paesi occidentali, con sicurezza nazionale e sovranità energetica che vengono a ragione considerate priorità strategiche anche a discapito (almeno nell'immediato) della convenienza economica.

Tornando alla panoramica sulle FER, una seconda tipologia è rappresentata dal comparto eolico, che condivide col solare gli indubbi vantaggi di essere una forma di energia pulita, sostenibile e illimitata ma anche le problematiche dell'intermittenza e della scarsa prevedibilità. La tecnologia alla base degli impianti eolici prevede che il rotore delle pale stesse sia collegato a un albero di trasmissione che ruota all'interno della cosiddetta navicella: l'energia rotazionale si

trasforma successivamente in energia elettrica grazie a un generatore, energia che viene poi convogliata nei cavi e raggiunge la rete di distribuzione nazionale. Gli impianti eolici possono trovarsi sia sulla terraferma (i.e. *onshore*) che su piattaforme marine (i.e. *offshore*): l'Italia ha sicuramente un buon potenziale da questo punto di vista soprattutto nelle zone costiere del meridione e delle isole, ma sfortunatamente per una serie di ragioni solo in parte condivisibili a oggi sfrutta solo una frazione di quanto teoricamente possibile e auspicabile. Le motivazioni che bloccano l'eolico in Italia sono eterogenee e spaziano da considerazioni di natura economica per gli investimenti richiesti alla sindrome *nimby*, o ancora a timori per la presunta deturpazione del paesaggio o per le conseguenze negative su flora e fauna locale. Nel 2023 in Italia l'eolico ha contribuito per 23,4 TWh alla produzione di energia elettrica: nonostante un aumento del 15% rispetto all'anno precedente, questo rappresenta meno del 10% dell'energia prodotta, mentre vi sono altri paesi come la Danimarca che hanno puntato con decisione sull'energia eolica e che oggi sono in grado di produrre quasi il 60% dell'elettricità che consumano sfruttando questa specifica fonte rinnovabile.

La terza tipologia di FER che viene qui descritta è l'energia idroelettrica, che storicamente ha rappresentato la principale fonte di energia pulita in Italia. Le centrali idroelettriche sfruttano l'energia potenziale dell'acqua in caduta per generare elettricità, con il processo che si basa su alcuni semplici principi fondamentali: l'acqua viene raccolta in bacini artificiali (o derivata da corsi d'acqua naturali), e successivamente convogliata tramite condotte forzate verso turbine idrauliche che, mosse dalla forza dell'acqua, ruotano azionando i generatori elettrici che producono elettricità. L'Italia vanta una lunga storia nello sfruttamento dell'energia idroelettrica, con la costruzione delle prime centrali già a fine Ottocento. Nel corso del Novecento il settore ha poi conosciuto un notevole sviluppo, raggiungendo il suo apice negli anni Cinquanta e Sessanta e perdendo successivamente il suo ruolo da protagonista non tanto per un calo della produzione quanto per un appiattimento significativo della curva di crescita e al combinato disposto di carenza di ulteriori sorgenti idroelettriche vantaggiose da sfruttare e di perdita di prestigio dovuta a disastri quali la tragedia del Vajont del 1963 in cui persero la vita 1.910 persone. Buona parte delle centrali più grandi sono entrate in funzione entro gli anni Cinquanta, gli investimenti si sono concentrati sulla installazione di impianti di piccole dimensioni (il cosiddetto mini-idroelettrico), tanto che negli ultimi 20 anni la taglia media complessiva a livello nazionale si è dimezzata, passando indicativamente da 8MW a 4MW.

Oggi, l'Italia è il secondo produttore europeo di energia idroelettrica, con una capacità installata di circa 22 GW e quasi 5.000 impianti attivi (dati Terna), grazie alla conformazione fisica del territorio

che permette di sfruttare su Alpi e Appennini quei dislivelli necessari per sfruttare al meglio l'energia potenziale dell'acqua. La breve panoramica sull'idroelettrico si può concludere evidenziandone due aspetti in chiaroscuro che la caratterizzano, nel contesto delle rinnovabili. Una specifica criticità riguarda il fatto che l'idroelettrico soffre particolarmente gli effetti del cambiamento climatico. In Italia, le frequenti e prolungate siccità inficiano il potenziale idrico sfruttabile, con torrenti di montagna secchi e bacini artificiali che faticano a riempirsi: basti pensare che nel 2022, a causa delle problematiche sopra esposte, la produzione idroelettrica italiana è scesa di oltre il 37% rispetto all'anno precedente (mentre fortunatamente nel 2023 è tornata a livelli fisiologici). Un aspetto premiante dell'idroelettrico consiste invece nel fatto che (pur con tutti i caveat del caso) i bacini idroelettrici fungono da sistemi di stoccaggio naturale dell'energia, permettendo di accumulare energia durante periodi di bassa domanda e di rilasciarla quando richiesta.

La seguente tabella [tab. 5.1] sintetizza la produzione nazionale di energia elettrica nel 2000, 2010, 2015 nonché dal 2020 al 2023, disaggregata per fonte:

Tabella 5.1 Produzione energia elettrica in Italia (TWh). Fonte: Terna

	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
Termoelettrico	208,1	240,9	221,0	182,9	173,9	182,2	191,3	157,9
Idroelettrico	50,2	42,4	53,8	46,5	49,0	46,9	29,9	39,8
Fotovoltaico	0,0	0,0	1,9	22,6	24,5	24,6	27,7	30,6
Eolico	0,5	2,3	9,0	14,7	18,6	20,7	20,3	23,4

Nel 2023 le rinnovabili hanno contribuito per il 37% alla produzione di energia elettrica in Italia, numeri in netto miglioramento rispetto all'anno precedente grazie soprattutto alla ripresa dell'idroelettrico.

Si può quindi concludere che, se da un lato l'Italia presenta criticità nello sfruttamento di fonti fossili, il paese ha indubbie potenzialità per quanto riguarda le FER, con evidenti progressi negli ultimi 20 anni. A far ben sperare per il futuro ci sono inoltre due fattori. Da un lato le competenze e il *know-how*, con l'Italia che possiede un sistema di ricerca e innovazione di alto livello nel settore energetico e diverse aziende e università che operano all'avanguardia nello sviluppo di tecnologie innovative e pulite. Dall'altro la posizione geografica nel Mediterraneo, che rende il nostro paese strategico per lo sviluppo di interconnessioni elettriche con i paesi del Nordafrica e del Medio Oriente, favorendo la diversificazione delle fonti di approvvigionamento e rendendo l'Italia un potenziale hub energetico per l'intera Unione Europea.

Una situazione a livello di sistema-paese che si presenta quindi in chiaroscuro, con un quadro energetico complesso e sfidante caratterizzato da una forte dipendenza dalle importazioni di energia. Tale dipendenza nasce dalla scarsità di materie prime energetiche cui si è aggiunta la rinuncia al nucleare dopo l'esito del referendum indetto nel 1987 a valle del disastro nucleare di Chernobyl, nell'allora Unione Sovietica. Ed è al tema (controverso e purtuttavia di grande attualità) dell'energia atomica che si dedicherà l'ultimo paragrafo del capitolo.

5.5 Il ritorno al nucleare, un tema controverso

Il paragrafo non può che aprirsi con una doverosa precisazione, ovvero che chi scrive non ha le competenze scientifico-ingegneristiche per esprimere un giudizio con adeguata cognizione di causa su un tema altamente complesso ove si intersecano aspetti legati alla tutela ambientale, alla salute umana, agli investimenti necessari e alla sicurezza dei reattori. Cionostante si possono qui condividere alcune riflessioni che evidenzino le argomentazioni di chi è a favore del nucleare (e nel caso italiano, di un ritorno al suo sfruttamento) e di chi invece si oppone a questa eventualità. Partendo dai fatti, si può dire che tra il 1964 e il 1990 l'Italia ha vissuto un'esperienza pluridecennale con l'energia nucleare, con la costruzione di quattro centrali operative a Trino Vercellese (Vercelli), Caorso (Piacenza), Latina e Garigliano (Caserta). Simboli di un progresso tecnologico che prometteva energia pulita e abbondante, queste centrali alimentarono il fabbisogno energetico del paese per un quarto di secolo finché nel 1986 l'incidente di Chernobyl cambiò radicalmente il panorama energetico globale e portò in Italia al referendum del 1987 che sancì la scelta di abbandonare l'energia nucleare. Le quattro centrali furono progressivamente dismesse, avviando un complesso processo di smantellamento che ancora oggi prosegue. L'Italia è stata quindi a lungo l'unico paese membro del G7 a non produrre energia nucleare, cui si è aggiunta nel 2023 la Germania. Tuttavia, il dibattito sull'opportunità di questa scelta rimane aperto: nuove tecnologie e la crescente attenzione all'ambiente riaccendono la discussione sul ruolo che il nucleare potrebbe avere nel futuro energetico del paese. Inoltre, giova ricordare che in Italia importiamo indicativamente il 5% dell'energia elettrica dalla Francia, nel cui mix energetico il nucleare gioca un ruolo preponderante.

Per quanto concerne le argomentazioni a favore o contro il ritorno al nucleare nel nostro paese, un aspetto fondamentale (e controverso) riguarda l'impatto ambientale di tale tecnologia, che non sfrutta fonti fossili bensì uranio (presente in natura, ma *non rinnovabile*) e plutonio (artificiale, derivato dall'uranio). Detto che l'Unione Europea ha inserito il nucleare nella lista degli investimenti *utili alla*

transizione presenti nella tassonomia comunitaria, non è certamente facile tracciare una linea e definire con chiarezza se il nucleare rappresenti effettivamente una forma di energia pulita. O meglio, bisognerebbe intendersi su come si declini un tale concetto.

Volendo limitare l'indagine quindi anche alla semplice dimensione dell'impatto ambientale vi sono numerose considerazioni da fare. Da un lato è innegabile che l'energia atomica sia molto vantaggiosa dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico in quanto a differenza della produzione elettrica da fonti fossili non sono previste emissioni di gas a effetto serra nell'atmosfera. Più nello specifico, il processo di fissione nucleare che avviene all'interno di una centrale nucleare non produce direttamente anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄) o protossido di azoto (N₂O), anche se emissioni possono essere collegate alle fasi di costruzione dell'impianto e al suo esercizio. Ciononostante vi sono altri aspetti che vanno tenuti in considerazione, come per esempio la gestione e lo smaltimento delle scorie radioattive prodotte. La maggior parte di queste decadono (ovvero perdono la propria radioattività diventando di conseguenza inoffensive) in un tempo ragionevole misurabile in anni, ma una percentuale minoritaria ma non trascurabile richiede tempi estremamente superiori, quantificabili in diverse migliaia (e in alcuni casi milioni) di anni.

Un secondo aspetto pertiene alla sicurezza degli impianti nucleari. I sostenitori di questa tecnologia sostengono che i reattori di nuova generazione siano estremamente avanzati anche dal punto di vista della sicurezza attiva (ovvero che richiede il diretto intervento di un soggetto esterno) e passiva (che si basa sulle leggi della fisica e prescinde quindi da quest'ultimo), e non paragonabili quindi a reattori di generazioni precedenti: il disastro di Chernobyl andrebbe quindi contestualizzato in un periodo in cui la tecnologia era obsoleta, la manutenzione del tutto inadeguata e l'intervento umano tardivo e incerto. In altre parole tutto quello che poteva andare storto, secondo la più classica legge di Murphy, è andato storto. È chiaro che le conseguenze dell'incidente sono state drammaticamente catastrofiche, e non è possibile in alcun modo minimizzare l'impatto di un disastro che, secondo le più accreditate stime indipendenti, ha causato circa 10.000 vittime (considerando anche le persone che si sono ammalate e sono decedute ad anni di distanza in conseguenza dell'esposizione all'aria radioattiva). D'altro canto, vi è chi fa notare come a oggi, in oltre 70 anni di energia atomica, Chernobyl rappresenti l'unico caso (per quanto drammatico) di disastro nucleare civile con vittime. Il terremoto del 2011 di Fukushima (Giappone) rappresenta un altro evento-chiave, ma le numerose vittime sono state causate dal sisma e dal conseguente tsunami, non dalle radiazioni emesse dal reattore compromesso (anche se vi sono associazioni ambientaliste che rigettano una tale lettura, sostenendo come plausibile un aumento della mortalità nelle zone interessate a causa di malattie

collegate all'incidente). Qualunque sia la propria opinione in proposito, è indubitabile che la sicurezza rappresenti un fattore di primario interesse e preoccupazione, essendo obiettivamente difficile sostenere con assoluta certezza che le pur nuove tecnologie possano rendere i reattori immuni da incidenti. D'altro canto, le voci favorevoli al nucleare sottolineano come, a fronte di qualche migliaia di vittime a livello globale in decine di anni di operatività del nucleare, ogni anno solo in Italia almeno 70.000 persone muoiano prematuramente per l'inquinamento dell'aria, decessi che potrebbero essere in parte evitati se l'energia elettrica venisse prodotta da centrali nucleari e non dalle ben più inquinanti centrali a fonti fossili.

Complesse valutazioni quindi sugli impatti ambientali, sulla sicurezza (anche considerando le nuove frontiere del cyber terrorismo) ma anche sui vantaggi di natura economica e geopolitica. Da un lato, il nucleare potrebbe diventare appetibile come risposta alla volatilità dei prezzi internazionali e alle recenti tensioni geopolitiche, che rendono l'Italia vulnerabile a shock esterni minacciando contemporaneamente la sicurezza degli approvvigionamenti. Dall'altro, conviene rammentare come anche nel caso di una decisione politica favorevole al nucleare ci vorrebbero svariati anni (anche 10) prima di poter beneficiare effettivamente di reattori operativi, con investimenti molto onerosi.

