icom 2005 25
istituto per la competitività

RAPPORTO OSSERVATORIO
INNOV-E 2025

L'INNOVAZIONE ENERGETICA MOTORE DEL FUTURO

LUGLIO 2025

icom 2005 25
istituto per la competitività

RAPPORTO OSSERVATORIO
INNOV-E 2025

L'INNOVAZIONE ENERGETICA MOTORE DEL FUTURO

LUGLIO 2025

COORDINATORE SCIENTIFICO
Antonio Sileo

AUTORI
Beatrice Ala
Alessandro D'Amato
Cristina Orlando
Giulia Rovai
Antonio Sileo

RINGRAZIAMENTI A
Monica Bonacina della Fondazione Eni Enrico Mattei per il capitolo:
"La difficile corsa verso una mobilità climaticamente neutrale"

Edoardo Lisi per il paragrafo "Anche il Motorsport corre verso la decarbonizzazione"

Giuseppe Palazzo del Dipartimento Sviluppo sostenibile e Fonti Energetiche RSE per il capitolo:
"Il ruolo delle industrie nel sistema energetico integrato"

Giuseppe Prencipe del Dipartimento di Informatica, Università di Pisa
e di Energee 4 e Armando Sternieri di Energee 4 per il capitolo:
"Gestione dell'energia, digital twin e intelligenza artificiale"

Luca Giagnoni, Partner presso Giovannelli Masi Cecconi & Associati
per la postfazione: "Quale (nuova) spinta per le rinnovabili?"

Gloria Marcotullio e Paola Sesti per i preziosi spunti e suggerimenti

I-Com Edizioni
© 2025 I-Com servizi srl
ISBN 9791280680174
Luglio 2025

INTRODUZIONE

Il Rapporto I-Com sull'innovazione energetica, quest'anno in cui il nostro Istituto festeggia i suoi primi vent'anni di attività, è giunto alla diciassettesima edizione. Come di consueto abbiamo cercato di proseguire un'attività avviata nel 2009 e, di anno in anno, aggiornata e adattata ad un contesto sempre più stabilmente mutevole.

Un ossimoro che ben si presta a descrivere in due parole quanto accaduto a partire dalla pandemia. Dai prezzi energetici arrivati a livelli inimmaginati, si è passati a un'altrettanta imprevista volatilità e a un deteriorato contesto geopolitico dove, anche vicino alla sempre più vecchia Europa, le armi sono tornate mezzo di (non) risoluzione dei conflitti, ancor più dello scorso anno.

Legittimo dunque chiedersi cosa succederà alla transizione ambientale ed energetica. Sarà rallentata? Chi ne sosterrà i costi? Quanto saranno diffusi i benefici?

Fatalmente lo scopriremo nei prossimi anni. Crediamo, tuttavia, che indipendentemente da quanto costerà, la transizione sarà guidata dall'innovazione, che aiuterà anche a contenerne i costi.

Nelle non poche pagine che seguono, cercheremo di fornire spunti utili per una riflessione periodica sia sulla direzione presa dall'innovazione in materia di energia e di ambiente, sia sul posizionamento dell'Italia rispetto agli altri Paesi nella ricerca e nello sviluppo in campo energetico.

Un'innovazione non solo tecnologica, ma anche di norme, prassi e abitudini che sovente sono un fattore determinante perché le nuove tecnologie prendano piede.

Come nelle scorse edizioni, abbiamo cercato di offrire una panoramica inevitabilmente parziale, ma ci auguriamo non troppo sfocata.

Per farlo, come da tradizione, abbiamo coinvolto ricercatori esperti e analisti più giovani, e ci pare che tutti si siano piuttosto appassionati, cimentandosi in non facili raccolte di dati, elaborazioni e considerazioni originali.

Alle consuete analisi dei brevetti energetici, elettrici, della mobilità elettrica e delle start up energetiche, abbiamo affiancato il ruolo delle industrie nel sistema energetico integrato, l'innovazione ed efficienza per il settore residenziale e – non si poteva non farlo – ci siamo interessati anche di intelligenza artificiale, con un focus sulla gestione dell'energia e sul *digital twin*. Per la seconda volta abbiamo indagato su competenze e formazione specifica necessarie alla transizione energetica e ci siamo avvicinati all'energia dallo spazio, perché crediamo che nei prossimi anni le questioni extra-atmosferiche ci riguarderanno parecchio.

Avremmo voluto soffermarci di più sulle (nuove) rinnovabili, e sulle condizioni al contorno utili a supportarne la crescita, e sui sistemi di accumulo, ma il successo italiano del Meccanismo di Approvvigionamento di Capacità di Stoccaggio Elettrico (*MACSE*) e dunque dei sistemi di stoccaggio a batteria (*BESS*) è ancora troppo nella cronaca per poterlo commentare, lo faremo nella prossima edizione. Insieme a nuovi driver sul lato domanda, domestica e non.

Ad ogni modo, poiché l'innovazione è cambiamento, affinché le cose possano cambiare in meglio è necessario un collaborativo impegno dei soggetti pubblici e delle imprese in un'articolata ricerca di nuove soluzioni sistemiche, ma anche di nuove visioni e traguardi, naturalmente sostenibili. Tuttavia, poiché le scadenze si avvicinano, il continuo rilancio degli obiettivi non crediamo porti grandi risultati, anzi.

Buona lettura, che sia approfondita o anche più rapida: il rapporto si presta a entrambi i modi. In quest'ultimo caso, però, sarà più difficile cogliere eventuali errori o imprecisioni, di cui, come sempre, la responsabilità è tutta del curatore.

INDICE

EXECUTIVE SUMMARY 7

CAPITOLO 1
BREVETTI ENERGETICI: ELETTRICITÀ E RIDUZIONE DELLE EMISSIONI 17
1.1. Metodologia 19
1.2. L'attività brevettuale mondiale 21
1.3. I brevetti in campo elettrico per la riduzione delle emissioni 28
1.4. La situazione italiana 34

CAPITOLO 2
I BREVETTI PER LA MOBILITÀ ELETTRIFICATA 37
2.1. Introduzione e approccio metodologico 39
2.2. La mobilità sostenibile nel contesto globale: tecnologie e brevetti 40
2.3. Il progresso dei brevetti in Italia 48

CAPITOLO 3
LA DIFFICILE CORSA VERSO UNA MOBILITÀ CLIMATICAMENTE NEUTRALE 53
3.1. Introduzione 55
3.2. Offerta e domanda disallineate 55
3.3. Le auto incrementali non accelerano la decarbonizzazione 57
3.4. Il parco italiano, pur cambiando, continua a crescere 58
3.5. Gli auto-dazi europei 60
3.6. Più attenzione ai consumi 61
3.7. Anche il motorsport corre verso la decarbonizzazione* 62
3.8. Le biciclette continuano a frenare 63
3.9. Spunti finali 64

CAPITOLO 4
IL RUOLO DELLE INDUSTRIE NEL SISTEMA ENERGETICO INTEGRATO 67
4.1. La luce in fondo al blackout 69
4.2. L'energia oltre il settore energetico 71
4.3. Il vettore termico 74
4.4. Esempi di progetti 76
4.5. Considerazioni finali 78

CAPITOLO 5
INNOVAZIONE ED EFFICIENZA PER IL SETTORE RESIDENZIALE 81
5.1. L'efficienza energetica degli edifici nel Green Deal 83
5.2. Una disamina dei consumi residenziali italiani 85
5.3. Un parco immobiliare molto datato 88
5.4. Soluzioni specifiche e ostacoli strutturali 90
5.5. Tipicità e ostacoli strutturali italiani 93
BOX Uno sguardo all'Europa 93

CAPITOLO 6
GESTIONE DELL'ENERGIA, DIGITAL TWIN E INTELLIGENZA ARTIFICIALE 99
6.1. Introduzione 101
6.2. Cos'è la gestione dell'energia? 103
6.3. Digital Twin 104
6.4. Intelligenza Artificiale e Machine Learning 105
6.5. Edifici intelligenti 107
6.6. Impianti industriali 107
6.7. Smart Grids 108
6.8. Integrazione delle fonti rinnovabili 109
6.9. Pianificazione urbana sostenibile 110
6.10. Il contesto italiano: digitalizzazione e transizione ecologica 111
6.11. L'IA è dunque la soluzione definitiva? 112
6.12. Conclusioni e prospettive future 114

CAPITOLO 7
TALENTI E LAVORI PER LA TRANSIZIONE ENERGETICA 117
7.1. Introduzione 119
7.2. Il quadro internazionale 119
7.3. Lavori verdi: alcuni dati del 2024 124
7.4. Considerazioni finali 129

CAPITOLO 8
L'ENERGIA DALLO SPAZIO 131
8.1. L'economia spaziale: l'Italia nel contesto globale 133
8.2. L'utilizzo delle fonti energetiche da e nello spazio 136
8.2.1. Verso sistemi di propulsione e propellenti green per un accesso allo spazio più sostenibile 136
8.2.2. Il ruolo delle space solar cells e gli sviluppi legati all'energia solare spaziale 139
8.3. La sostenibilità dello spazio: la questione dei detriti 141
8.4. Il valore (e l'impatto ambientale) del turismo spaziale e dell'estrazione di materiali dai corpi celesti 143
8.5. L'importanza dei dati di osservazione della Terra: il programma Copernicus 146

CAPITOLO 9
L'UNIVERSO DELLE START-UP INNOVATIVE E QUELLE IN AMBITO ENERGETICO 151
9.1. Il trend temporale 153
9.2. La distribuzione geografica 156
9.3. Composizione per attività 160
9.4. Composizione per dimensione 161
9.5. L'attività brevettuale 169

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 175

POSTFAZIONE
QUALE (NUOVA) SPINTA PER LE RINNOVABILI?** 183

BIBLIOGRAFIA 189

Il presente rapporto, come da tradizione, è frutto di un lavoro più corale che collettaneo, tuttavia i capitoli che lo costituiscono possono essere attribuiti così come segue: il primo a Cristina Orlando, il secondo a Giulia Rovai, il terzo a Monica Bonacina e Antonio Sileo, il quarto a Giuseppe Palazzo, il quinto a Cristina Orlando, il sesto a Giuseppe Prencipe e Armando Sternieri, il settimo a Cristina Orlando, l'ottavo ad Alessandro D'Amato, il nono a Beatrice Ala

*Edoardo Lisi **Luca Giagnoni

EXECUTIVE SUMMARY

L'edizione 2025 del Rapporto I-Com sull'innovazione energetica, come di consueto, prova ad innovare lo spettro d'indagine. E dunque oltre alle analisi sui brevetti e sulle start-up sulla mobilità, ci siamo interrogati sul ruolo delle industrie in un sistema energetico (sempre più) integrato, siamo ritornati su formazione e competenze necessarie per la transizione, ci siamo lanciati su spazio ed energia e abbiamo indagato intorno agli usi dell'intelligenza artificiale nella gestione dell'energia e sull'efficienza energetica per il settore residenziale. Alle fonti rinnovabili, giocoforza trattate in tutto il Rapporto, è dedicata anche la postfazione.

Nel **capitolo 1** si presenta, come di consueto, un'analisi dei brevetti concessi a livello mondiale in ogni ambito tecnologico, per poi concentrarsi sui brevetti in ambito energetico. Nella seconda parte, l'attenzione si sposta su un sottogruppo dei brevetti energetici: i brevetti nel campo della generazione, trasmissione, distribuzione e accumulo di energia elettrica che concorrono alla riduzione delle emissioni di gas serra. Sono presentati i dati del 2023 in quanto il conteggio dei brevetti risente di un *lag* di precisione. In continuità con le edizioni precedenti, le banche dati consultate sono l'IP Statistics Data Center di WIPO e PATSTAT. I brevetti concessi a livello mondiale appaiono in decisa crescita. Il 2023 si rivela un anno di intensa attività brevettuale con quasi il 10% in più di brevetti concessi rispetto al 2022. Per quanto riguarda la distribuzione dei brevetti concessi per Paese di origine in ogni ambito tecnologico, la Cina rimane al primo posto e distacca di molto Stati Uniti e Giappone, che esibiscono un numero quasi identico di brevetti concessi. I brevetti in ambito energetico crescono del 3,3% nel 2023 in confronto al 2022, una variazione decisamente inferiore a quella dei brevetti mondiali, ma sostanzialmente in linea con l'andamento degli ultimi tredici anni. La variazione contenuta non è dovuta tanto all'attività della Cina, dove la crescita di brevetti concessi prosegue a ritmi vertiginosi, ma alla diminuzione dei brevetti in ambito energetico concessi dalla quasi totalità degli altri paesi. Le uniche variazioni positive si osservano infatti per Cina e Corea Del Sud. La leadership tecnologica appartiene ancora una volta alla Cina, seguita da Giappone, Corea del Sud, Stati Uniti e Germania. I brevetti energetici contano per il 6% del totale di brevetti concessi a livello mondiale, in lieve diminuzione rispetto al 2022. L'Italia continua ad avere una posizione marginale. Per quanto riguarda le tecnologie elettriche per la riduzione delle emissioni, la categoria tecnologica più vivace in termini di innovazione è quella degli accumuli, seguita da solare fotovoltaico, eolico, nucleare ed idroelettrico. Il numero di brevetti concesso nel campo degli accumuli è di tre volte superiore ai brevetti concessi nel fotovoltaico, rendendo questa categoria largamente preponderante. La distribuzione dei brevetti concessi per Paese, come nelle ultime edizioni del presente Rapporto, vede in testa la Cina. Il distacco con i Paesi che seguono per unità di brevetti concessi è sempre più ampio: la Corea del Sud, seconda con 11.463 brevetti concessi, ha un distacco dalla Cina di più di 33.000 brevetti. Stessa cosa per gli Stati Uniti, terzo Paese per unità brevettuali, che si fermano a 8.557 brevetti concessi, meno delle unità concesse nel 2010. Seguono il Giappone e la Germania, con, rispettivamente, 6.169 e 2.882 brevetti concessi nel 2023. Nel 2023, la Cina domina su tutte le categorie brevettuali prese in considerazione ad eccezione dell'idroelettrico, dove la Corea del Sud detiene il primato per brevetti concessi nel 2023. Anche categorie che storicamente ricadevano sotto una specializzazione statunitense come il termoelettrico o

la cattura, lo stoccaggio, il sequestro o smaltimento delle emissioni sono ora, anche se di poco, prerogativa del dragone asiatico. Questo non accadeva nella precedente edizione del Rapporto, dove perlomeno una manciata di campi tecnologici non vedevano la Cina come Paese maggiormente specializzato. Nel 2023, ogni tipo di specializzazione europea è andata perduta. I paesi UE rimangono minimamente rilevanti solo nei campi dell'idroelettrico, del solare termodinamico, dell'eolico, e nella cattura, stoccaggio, sequestro e smaltimento delle emissioni di gas serra, con specializzazioni contenute e che toccano rispettivamente il 16%, 11%, 13% e 10%. Il nostro Paese trova poco spazio anche in questi campi tecnologici sopra descritti. L'Italia, infatti, fa capo solamente al 2% dei brevetti sia per il solare termodinamico che per il termoelettrico, mentre concede l'1% dei brevetti totali nell'ambito della cattura e stoccaggio delle emissioni e dell'idroelettrico.

Il **capitolo 2** fornisce un'analisi dettagliata dell'attività brevettuale nel campo della mobilità elettrica. L'analisi è incentrata sulle innovazioni tecnologiche più rilevanti e utilizza i dati forniti dal database PatStat dell'EPO (European Patent Office). In particolare, vengono esaminate le tecnologie legate a veicoli ibridi e plug-in, veicoli elettrici, energy storage, stazioni di ricarica e tecnologie a idrogeno. Nel 2023, la categoria dell'energy storage emerge come quella dominante a livello mondiale. In questa categoria si sono raggiunti i 16.000 brevetti emessi, ovvero il 53,9% della quota mondiale nel campo della mobilità elettrica. Tra il 2015 e il 2023, l'attività brevettuale nel campo dei veicoli ibridi ha visto un graduale declino, mentre si è osservata una discreta crescita nel campo delle stazioni di ricarica (+54%), dei veicoli elettrici (+41,6%) e nelle tecnologie a idrogeno (+20,7%), nonostante quest'ultima rappresenti comunque soltanto il 4,6% del totale.
Nel 2023 la Cina si conferma alla guida dell'innovazione nella mobilità sostenibile depositando 7.510 brevetti e superando ampiamente gli altri Paesi considerati. Questo fattore denota un importante cambiamento nel panorama globale, in particolare considerando che nel 2015 era il Giappone a guidare l'innovazione nel settore con 8.139 brevetti. Da allora, il contributo del Giappone è diminuito ampiamente, riducendosi circa del 70% e arrivando nell'ultimo anno al deposito di 2.474 brevetti. La Corea del Sud ha invece incrementato il suo posizionamento, configurandosi come uno dei principali concorrenti della Cina. Questo Paese, nel 2023, ha depositato 3.686 brevetti, raggiungendo il secondo posto per numero di brevetti all'interno del campione. Gli Stati Uniti rimangono a loro volta uno dei Paesi più innovativi con 3.011 brevetti, seguiti dal Giappone e dalla Germania, quest'ultima con un contributo di 1.915 brevetti. Nel contesto europeo, la Germania è l'unico Paese che si avvicina ai leader globali. L'Italia, dall'altro lato, riveste un ruolo ancora marginale in questo scenario, con 96 brevetti depositati nel 2023, ovvero un ammontare leggermente inferiore rispetto ai 103 del 2015.
Osservando come i Paesi a livello individuale focalizzino i loro sforzi nell'innovazione nei diversi settori, l'energy storage emerge come categoria che rappresenta la quota più rilevate dell'attività brevettuale, rispetto alle altre. Le tecnologie a idrogeno rimangono molto marginali, mentre le altre aree di attività, come i veicoli elettrici, quelli ibridi e le stazioni di ricarica, mostrano una distribuzione abbastanza omogenea in tutte le nazioni. Ogni Paese mostra comunque delle caratteristiche distintive. Ad esempio, in Italia, approssimativamente un quarto (22,9%) dei brevetti riguarda i veicoli elettrici, riflettendo l'impegno del Paese in questo segmento. Dall'altro lato, l'India non ha depositato alcun brevetto nel 2023 per questa tecnologia, ma ha dato priorità allo sviluppo nel campo dei veicoli ibridi e alle stazioni di ricarica.

Nel 2023, la Cina emerge come il Paese più fortemente specializzato nelle tecnologie legate all'energy storage. Da un lato, il 63% dei brevetti depositati da questo Paese fanno riferimento a questa categoria; dall'altro, la Cina da sola rappresenta il 45% dell'attività brevettuale in ambito energy storage all'interno del campione considerato. Questo Paese ha anche dimostrato una notevole attività nell'ambito delle stazioni ricarica e dei veicoli elettrici. La distribuzione per Paese dell'innovazione nei veicoli ibridi e nelle tecnologie a idrogeno appare molto più omogenea, con nessuna nazione nettamente in vantaggio rispetto alle altre.

Tra il 2012 e il 2023, un totale di 1.065 brevetti sono stati depositati dall'Italia nel campo della mobilità sostenibile. La maggior parte di questi ha avuto come oggetto di interesse l'energy storage (474 brevetti), seguiti dai veicoli ibridi (351), quelli elettrici (122), stazioni di ricarica (104) e tecnologie a idrogeno (14). Come già osservato a livello globale, anche in Italia si riscontra una certa similitudine nelle tendenze di innovazione. In Italia infatti, recentemente, si è osservato un incremento dell'attività innovativa legata ai veicoli elettrici e alle stazioni di ricarica, mentre quella relativa ai veicoli ibridi sembra diminuire. Infine, l'interesse in ambito brevettuale per le tecnologie a idrogeno è relativamente ancora molto limitato.

Passando all'analisi dei soggetti richiedenti dei brevetti nel contesto italiano, si può notare un chiaro ruolo di guida coperto dalle imprese. Dal 2012, le imprese hanno rappresentato il 72,9% dell'innovazione del settore, mentre gli individui hanno contribuito per il 19,6%. Il ruolo di questi ultimi è diminuito largamente nel tempo e l'innovazione nella mobilità elettrica è sempre più in mano alle imprese private. Quest'ultime attualmente sono infatti in grado di depositare una media di 80 brevetti all'anno. Come osservato nelle edizioni precedenti, inoltre, il contributo di università o di istituzioni pubbliche/no profit continua ad essere marginale.

Alla mobilità sostenibile e alle policies che la caratterizzano è dedicato il **capitolo 3**. La decarbonizzazione dei trasporti stradali nell'Unione Europea, nonostante l'impegno delle case automobilistiche, si sta rivelando una sfida decisamente ostica. Troppo lenta – o meglio troppo lenta in relazione alle troppo ambiziose norme UE - è infatti la diffusione delle autovetture elettriche, tanto che la Commissione stessa ne ha dovuto prendere atto con un emendamento che spalma gli obiettivi da conseguire entro il 2025 fino al 2027. Nonostante le immatricolazioni di autovetture elettriche mediamente nell'UE vadano piuttosto bene con una quota di mercato cresciuta fino al 15,4% (dato aggiornato a maggio), questa è comunque ben lontana da un valore che avrebbe dovuto essere almeno del 22%. Il problema vero però è che fino ad oggi le auto elettriche si sono solo aggiunte a quelle in circolazione, senza di fatto sostituirne nessuna. Del parco auto UE, che al 2024 può essere stimato in quasi 260 milioni di automobili, solo 6 milioni sono vetture elettriche. Nei prossimi anni il numero di auto alimentate da energia elettrica certamente crescerà, ma perché si possano vantare risultati sul piano della decarbonizzazione è necessario che il totale circolante decresca. In Italia, che ha il secondo maggior parco d'Europa dopo la Germania, il numero delle auto targate è cresciuto di oltre 425 mila unità rispetto al 2023 arrivando a superare la fantasmagorica cifra di 41 milioni, ma il totale delle elettriche non arriva a 280mila, meno di 7 su 1000. Una spia rossa sul cruscotto del regolatore UE che dovrebbe lavorare per affiancare altre possibili soluzioni alla strategia della sostituzione delle autovetture attualmente in circolazione, con auto nuove (molto meglio) se elettriche, perché ben un sesto di tutte le vetture che si muovono sulle strade dei 27 Paesi dell'Unione ha targa italiana. Da notare poi – a riprova che non si può agire solo sulla sostituzione – che in Italia ci sono più auto e in generale veicoli che Francia con un'età media inferiore e molta più presenza di mezzi elettrici, eppure

i consumi di carburanti fossili e dunque le emissioni di anidride carbonica (CO_2) sono maggiori in Francia che in Italia.
La parola chiave del cambiamento a cui sono sottoposti i sistemi energetici è "integrazione". Si tende verso un futuro a bassa intensità di carbonio caratterizzato dallo sfruttamento di diverse fonti tramite diversi processi e diverse tecnologie in base alle potenzialità e alle necessità del contesto. Sistemi energetici che abilitano flussi bidirezionali tra diversi impianti di generazione e diversi carichi per garantire stabilità alla rete e flessibilità nell'uso dell'energia, facendo ricorso ad accumuli e a tecnologie di conversione (es. convertendo elettricità in idrogeno o calore). L'implementazione di diverse soluzioni assieme, massimizzando il più possibile l'utilizzo delle rinnovabili e conseguendo alti livelli di efficienza e circolarità, passa per il sistema energetico integrato, in cui carichi, diverse fonti, diversi vettori energetici, diverse reti e diversi tipi di accumulo sono interconnessi. La partecipazione dei carichi, e quindi della domanda, conferisce un nuovo ruolo anche ai consumatori e abilita il cosiddetto *sector coupling*, ovvero l'integrazione tra il settore energetico e altri settori, tra cui le industrie, in cui si consumano importanti quantità di energia e che possono fornire flessibilità.

Ce ne siamo occupati nel **capitolo 4** che approfondisce il *sector coupling* tra il settore energetico e le industrie, dove tutti gli elementi da coinvolgere, gli impianti energetici e gli stabilimenti industriali, sono considerati parte di *smart community* caratterizzate da un uso il più possibile efficiente e circolare delle risorse e dell'energia rinnovabile. Questo approccio include i contributi alla flessibilità del sistema energetico da parte dei processi industriali ma anche l'ottimizzazione dell'utilizzo di energia (e di risorse) negli stabilimenti e tra stabilimenti, abilitando simbiosi industriali. È fondamentale il contributo di diversi tipi di *storage* e delle tecnologie di conversione tra vettori energetici, per rendere possibile, in particolare, ma non solo, l'integrazione tra l'elettricità e il vettore termico (*heating & cooling*). Sono richiamate le principali lacune di ricerca e innovazione (non solo tecnologiche) da colmare nel prossimo futuro, nonché alcuni esempi di progetti e opportunità di finanziamento, come la Clean Energy Transition Partnership.

Una panoramica sull'efficienza energetica degli edifici, in particolare del settore residenziale, è presentata nel **capitolo 5**. L'Italia è un esempio virtuoso di efficienza energetica. Considerando come anno base il 2014, l'intensità energetica complessiva dei 27 paesi europei è scesa del 36,5%. Per l'Italia, che partiva da una base di intensità energetica minore – dunque da una maggiore efficienza - questa riduzione è stata pari al 32%. La Direttiva europea "Case Green" (UE 2024/1275) si inserisce nell'ampio framework del Green Deal. Per gli edifici residenziali, la norma stabilisce una roadmap progressiva che impone agli Stati membri di conseguire una riduzione del consumo medio di energia primaria dell'intero parco abitativo di almeno il 16% entro il 2030 e del 20-22% entro il 2035, rispetto al 2020. Il meccanismo prevede inoltre che almeno il 55% di tale riduzione sia ottenuto mediante interventi di ristrutturazione del 43% degli edifici residenziali dalle prestazioni energetiche più scadenti. Considerando l'obiettivo 2030 anche per gli edifici non residenziali, in Italia questo si traduce in un target di risparmio di -6,3 Mtep. Le stime economiche sul costo di adeguamento sono svariate e presentano intervalli molto ampi. La situazione di partenza italiana vede il nostro settore residenziale fortemente dipendente dai combustibili fossili, in particolare dal gas naturale. Secondo ARERA, il consumo finale energetico residenziale nel 2022 è stato di circa 29,3 Mtep, così suddiviso: 15.112 ktep (52%) gas naturale, 5.607 ktep (19%) elettricità, 6.224 ktep (21%) rinnovabili e bioliquidi (prevalentemente biomasse legnose), 1.625 ktep (5,5%) prodotti petroliferi

liquidi e 737 ktep (2,5%) teleriscaldamento. Il panorama energetico domestico italiano è quindi dominato da due vettori principali: gas naturale e energia elettrica, che insieme rappresentano l'83,8% della spesa energetica familiare. In termini di spesa media familiare (anno 2020), il 40,3% è imputabile all'elettricità e il 43,4% al metano. Vi sono forti differenze territoriali: al Nord prevale il metano (oltre il 50% della spesa) mentre al Sud pesa maggiormente l'elettricità (circa 47–56%) e le biomasse (legna/pellet al 10%). Il riscaldamento degli ambienti è decisamente l'ambito che assorbe più energia nelle abitazioni in Italia. Seguono per importanza l'alimentazione delle apparecchiature elettriche, l'uso di acqua calda sanitaria e la cottura dei cibi. Per il riscaldamento degli ambienti, l'Italia dipende in misura maggiore dal gas naturale rispetto alle media UE. Sempre in confronto alla media europea, vi è un maggiore utilizzo di rinnovabili e biocombustibili, mentre molto meno battute sono le strade del teleriscaldamento e del vettore elettrico, nonché del petrolio e derivati. Il parco immobiliare italiano è particolarmente vetusto: oltre il 60% degli edifici residenziali è stato costruito prima del 1976, anno di entrata in vigore della prima legge italiana sul risparmio energetico. L'istituzione dell'APE (Attestato di Prestazione Energetica) come obbligo ha contribuito ad aumentare la consapevolezza sul tema e orientato il mercato verso edifici più efficienti. I dati SIAPE mostrano una crescente adozione degli APE. Nell'annualità 2024 si è arrivati a certificare 1,2 milioni di edifici, per un totale di circa 7,1 milioni di certificazioni. Nei primi mesi del 2025 si è già raggiunto un numero di APE emessi pari a circa 365mila. Guardando le classi energetiche derivanti degli APE risulta che la maggior parte degli edifici è in classe G, la più bassa. Vi è un chiaro legame inversamente proporzionale tra il grado di prestazioni e l'incidenza della singola classe sul totale, con la sola eccezione della classe A4, la più elevata, che è stata rilevata per il 4% degli edifici sondati. A questo profilo di prestazioni complessive corrisponde un'età degli edifici piuttosto elevata, con la maggior parte degli edifici interessati dagli APE che risulta costruita fra il 1945 e il 1972. Il potenziale dell'innovazione energetica per decarbonizzare il riscaldamento domestico si traduce in queste – non esaustive – soluzioni: pompe di calore elettriche, solare termico, teleriscaldamento rinnovabile ed idrogeno verde. Tuttavia, l'Italia, più che in altri paesi e per varie ragioni, presenta numerosi ostacoli alla diffusione di queste innovazioni energetiche. Le barriere alla transizione verso il riscaldamento green sono molteplici e di tipo economico, tecnico, regolatorio e amministrativo, sociale e culturale. Per il nostro Paese la decarbonizzazione dei consumi domestici dovrà necessariamente passare per strade effettivamente percorribili ed economicamente convenienti per i consumatori.

La transizione verso un futuro energetico più sostenibile, efficiente e resiliente si basa su una trasformazione radicale dei sistemi di produzione, distribuzione e consumo dell'energia. In questo contesto, l'integrazione di *digital twin*, intelligenza artificiale (IA) e tecnologie IoT emerge come una leva strategica, già operativa in settori come edifici intelligenti, impianti industriali, smart grid e pianificazione urbana. Ce ne siamo occupati nel **capitolo 6** perché queste tecnologie non sono più visioni futuristiche, ma strumenti concreti che generano risparmi energetici significativi, ottimizzano i processi e riducono l'impatto ambientale. Ad esempio, il ricorso ai *digital twin* (gemelli digitali) può abbattere i costi operativi fino al 30% negli edifici, mentre le aziende industriali registrano riduzioni delle emissioni tra il 15 e il 25% e miglioramenti dell'efficienza energetica fino al 40%, grazie a sistemi guidati da IA.
I *digital twin*, rappresentazioni dinamiche e predittive di sistemi fisici, consentono simulazioni complesse e interventi mirati, mentre l'IA trasforma enormi volumi di dati in decisioni azionabili, anticipando anoma-

lie e ottimizzando il funzionamento dei sistemi. Tuttavia, l'adozione di queste tecnologie presenta sfide significative. La mancanza di standard condivisi per la modellazione e l'integrazione dei *digital twin* crea un panorama frammentato, ostacolando la scalabilità e l'interoperabilità. Quest'ultima è particolarmente critica in contesti come le *smart grid*, dove la coesistenza di dispositivi eterogenei, dai sensori ambientali ai sistemi di controllo, richiede protocolli compatibili per garantire una replica digitale coerente. La *cybersecurity* rappresenta un ulteriore ostacolo: i *digital twin* gestiscono dati sensibili in tempo reale, esponendosi a rischi di attacchi informatici, specialmente in applicazioni urbane che integrano informazioni geospaziali e infrastrutturali. La protezione di questi dati, che in ambito industriale possono includere segreti commerciali, richiede strategie di sicurezza integrate sin dalla progettazione, con monitoraggio continuo e difese multilivello.

Un'innovazione promettente è la convergenza tra *blockchain*, IA e *digital twin*, che garantisce trasparenza e sicurezza nella gestione dei dati, trovando applicazione in micro-grid, edifici intelligenti e reti idriche. L'adozione di *edge computing* e di un'intelligenza artificiale distribuita consente analisi locali a bassa latenza, mantenendo i dati sensibili vicini alla fonte. In quest'ottica, si propone la creazione di un marketplace federato di *digital twin*, capace di supportare analisi avanzate in un'infrastruttura interoperabile e sicura. Tuttavia, il successo di queste soluzioni dipende anche da politiche pubbliche che promuovano investimenti in ricerca e digitalizzazione, come quelli previsti da Horizon Europe e dal Green Deal Europeo, e da una collaborazione tra enti pubblici, imprese e università.

Un aspetto cruciale è la formazione di professionisti con competenze ibride, in grado di coniugare ingegneria, data science e sostenibilità. I percorsi educativi tradizionali, spesso rigidi, non rispondono a questa esigenza: servono programmi interdisciplinari che preparino figure capaci di gestire tecnologie complesse e valutarne l'impatto ambientale e sociale. Gemelli digitali, IA e IoT non sono solo strumenti tecnici, ma catalizzatori di un nuovo modello energetico, più giusto e flessibile, capace di affrontare le sfide ambientali e sociali del nostro tempo. La loro piena realizzazione richiede un impegno congiunto per superare le barriere tecniche e costruire un ecosistema digitale orientato alla sostenibilità.

Il **capitolo 7** riprende l'analisi sulle competenze ed i lavori verdi, introdotta nella precedente edizione del Rapporto, spostando prima il focus sul quadro internazionale di domanda e offerta di competenze e poi sui lavori verdi in Italia. Secondo dati di LinkedIn, tra il 2021 e il 2024, la domanda di competenze sostenibili è cresciuta in media del 5,9% su base annua a livello globale. In Italia, invece, l'incremento è stato inferiore, pari allo 0,12%. Nel 2024, tuttavia, l'8,27% delle offerte di lavoro su LinkedIn in Italia ha riguardato professioni green, una percentuale superiore al 7,7% registrato a livello mondiale. La richiesta di competenze green non è omogenea. I settori che in Italia hanno assunto la maggior percentuale di lavoratori con competenze verdi sono l'agricoltura e l'allevamento (34,10%), i servizi (32,80%) e l'edilizia (32,03%). Globalmente, in termini di domanda di talenti verdi, i paesi che offrono più posizioni legati alla transizione energetica sono Regno Unito, Irlanda, Arabia Saudita, Norvegia e Svizzera. Tra i primi dieci Paesi per crescita della domanda, nell'UE, Portogallo, Romania e Irlanda sono stati i migliori nell'aumentare la loro domanda di talenti verdi, mentre il primo Paese per velocità della crescita è la Colombia. Per quanto riguarda l'offerta di talenti verdi, gli attuali livelli di istruzione superiore nell'UE consentono alla forza lavoro europea di essere tra i primi nella fornitura di talenti verdi. Ad eccezione della Svizzera, i primi 5 Paesi per offerta di talenti verdi sono Stati membri dell'UE: Germania, Austria, Finlandia e Lussemburgo.

Per quanto riguarda la variazione su base annua, tutti i Paesi considerati mostrano un rallentamento nella domanda di talenti verdi, rendendo il 2024 un anno di decrescita nella richiesta di queste figure.
Dall'indagine "Analisi della Domanda di Competenze legate alla Green Economy nelle Imprese, Indagine 2024" di Unioncamere – ANPAL, Sistema Informativo Excelsior emerge che il 34% delle assunzioni previste nel 2024 ha riguardato lavori verdi, in discesa di un punto percentuale rispetto al 2023. Per ricoprire posizioni associabili a lavori verdi, si assumono candidati con ogni livello di istruzione. Nel 2024, si sono ricercati per lavori verdi ben 699mila forze con diploma professionale o qualifica di formazione, 463mila diplomati, 406mila di chi ha terminato la scuola dell'obbligo e circa 266mila laureati. In continuità con il 2023, nel 2024 le province con la più alta incidenza di lavori verdi sono Caltanissetta, Frosinone, Lodi e Bergamo, a cui si aggiungono, rispetto all'annualità precedente, Rieti e Potenza. Le imprese di tutte le dimensioni, indiscriminatamente, necessitano di risorse per ricoprire lavori verdi. Solamente le piccole imprese, nel 2024, hanno ricercato 637mila lavoratori per ricoprire lavori verdi, il 37% del personale la cui entrata nelle piccole imprese è stata prevista per il 2024. Le medie imprese e parte delle grandi imprese (da 250 a 499 dipendenti) hanno richiesto percentuali più alte di lavoratori verdi rispetto al totale di richieste di forza lavoro (39%). Meno consistente, sia in percentuale che in valore assoluto, l'apporto (in termini di domanda di lavori verdi) di micro imprese e delle multinazionali. Nel complesso, questi dati sono stabili rispetto al 2023.
Guardando nel dettaglio i diversi segmenti industriali, in termini assoluti, la maggior parte delle entrate stimate che riguardano lavori verdi è riconducibile al settore delle costruzioni (44% dei lavori verdi industriali), che domina anche in valore assoluto con 467mila lavori verdi nel 2024. Seguono poi l'industria di macchinari, attrezzature e mezzi di trasporto che presenta il 15% dei lavori verdi industriali e un'incidenza di lavori verdi sul totale delle entrate dell'85%, e l'industria metallurgica (14% dei lavori verdi industriali e 84% di incidenza). Nei comparti dei servizi, il segmento di trasporto, logistica e magazzinaggio domina la richiesta di lavoratori verdi (33%), seguito dai servizi di supporto avanzato alle imprese (16%) e dal commercio all'ingrosso (16%). I comparti con quote più elevate di aziende attive nella formazione dei propri addetti sulle questioni ambientali nel 2024 sono il settore delle costruzioni, i servizi di trasporto, logistica e magazzinaggio e le utilities. In generale, si osserva un'alta percentuale di imprese che investono in queste competenze in tutti gli ambiti.

Il **capitolo 8**, per il secondo anno, si focalizza sulle opportunità che lo spazio può offrire per l'innovazione energetica e la sostenibilità sia per le attività sulla Terra, sia in orbita. Nella parte introduttiva si pone in evidenza il ruolo dell'Italia nel contesto dell'economia spaziale globale. In particolare, si osserva che il settore spaziale italiano è in forte crescita negli ultimi anni, essendo passato da un totale di 120 imprese nel 2019 a 257 nel 2025, complice anche il conteggio delle start-up a partire dal 2020. Larga parte di queste organizzazioni – di cui quasi due terzi PMI – offre servizi collegati all'osservazione della Terra (140), il che conferma un ruolo strategico dell'EO in ambito nazionale.
In un contesto in cui i tentativi di lancio sono aumentati del 17,9% su base annua nel 2024, il mercato della propulsione spaziale è in decisa espansione anche per effetto di una maggiore richiesta di applicazioni spaziali (soprattutto per l'ambiente e il contrasto al cambiamento climatico), nonché per aspetti legati alla sicurezza, alla meteorologia, alla connettività e allo sviluppo di lanciatori riutilizzabili. Parallelamente, negli ultimi anni sta avanzando una maggiore considerazione circa l'impatto ambientale dell'accesso allo spazio, per cui si registra un grande interesse

con riguardo all'attività brevettuale nell'ambito della propulsione sostenibile, dove – secondo i dati WIPO – il sottogruppo più rilevante tra il 2000 e il 2023 si rivede nella propulsione elettrica, che è guidato dalla Cina, seguita dagli Stati Uniti, i quali si posizionano al primo posto per la ricerca sull'idrogeno e sulle celle a combustibile per applicazioni spaziali, come pure sui carburanti sostenibili. Il nostro Paese, pur non figurando tra i top performer in nessuna delle tecnologie considerate, rientra nella Top 20, raggiungendo un miglior posizionamento nell'ambito dell'idrogeno e delle celle a combustibile (10° posto) e dei carburanti sostenibili (8° posto).
Quanto alle innovazioni nel campo energetico, sono riportati gli sviluppi legati alle *space solar cells* e all'energia solare spaziale, la quale può supportare efficacemente l'obiettivo Net Zero 2050, garantendo al contempo sostanziali benefici economici. Accanto a simili opportunità, non vanno tralasciate le sfide relative alla questione dei rifiuti e dei detriti in orbita che, se non adeguatamente affrontate attraverso un effettivo ed efficace sforzo corale, possono causare l'interruzione delle missioni spaziali, danneggiare le infrastrutture spaziali, mettere in pericolo le persone e far aumentare a dismisura il prezzo delle polizze assicurative.
Nonostante vi siano ancora alcune barriere di varia natura da gestire, vi è grande fermento attorno allo *space mining*, ossia l'estrazione di materiali (come elio-3, acqua, ossigeno, oltre a metalli preziosi e minerali) dai corpi celesti, un ambito che può rappresentare un'importante occasione anche per la Terra, in quanto aumenterebbe la disponibilità di materiali preziosi necessari per la duplice transizione verde e digitale (come iridio e platino) e, al contempo, si potrebbero sviluppare nuove applicazioni e filiere industriali per intercettare la crescita della domanda di questi beni.
In ultimo, si sposta il focus sull'importanza dei dati di osservazione della Terra, il cui mercato globale ha raggiunto i €3,3 miliardi nel 2023, che rivede il segmento clima, ambiente e biodiversità occupare una quota pari al 22%. Inoltre, sono riportati esempi di come i dati di EO nell'ambito del programma UE Copernicus facciano comprendere e affrontare con un approccio *data driven* il cambiamento climatico e le criticità legate alla generazione di elettricità da fonti rinnovabili intermittenti.

Il **capitolo 9** affronta il tema delle start-up innovative, imprese giovani con un elevato grado tecnologico, che hanno il potenziale per crescere rapidamente e impattare positivamente sullo sviluppo economico e sociale del contesto in cui operano, offrendo opportunità per l'innovazione e la competitività del settore. Il legislatore definisce le start-up innovative come società di capitali, anche cooperative, che soddisfano determinati requisiti e hanno come oggetto sociale la commercializzazione e la produzione di un prodotto o servizio ad alto valore tecnologico.
Negli ultimi anni, le tensioni internazionali ed economiche hanno avuto ripercussioni su tutti i settori, comprese le start-up innovative. Nel capitolo si intende analizzare la distribuzione geografica, l'andamento generale e il loro contributo al sistema economico ed occupazionale, valutandone la capacità di resilienza e adattamento di fronte ai cambiamenti geopolitici e macroeconomici.
Nel primo trimestre del 2025, secondo dati InfoCamere, in Italia sono registrate 12.277 start-up innovative; di queste, 1.788 operano nel settore energetico. Le regioni del Nord Italia ospitano 6.300 start-up, seguite dal Sud con 3.422 e dal Centro con 2.401. Il tasso di crescita delle nuove start-up innovative è positivo in tutte le aree: rispetto all'anno scorso, si registra una crescita del 6,3% al Nord, 5,9% al centro e 4,5% al Sud.
Dal 2016 al 2021, i tassi di crescita si sono mantenuti fortemente positivi per tutte le aree, con crescita a doppia cifra. In seguito, si è verificata una ripida diminuzione verso lo 0%, che ha coinvolto tutto il territo-

rio nazionale, prima di una piccola ma decisa ripresa che ha permesso a tutte le aree di riaffiorare intorno al 5%. Le start-up energetiche hanno seguito un andamento simile, con una forte crescita iniziale seguita da un rallentamento; il Sud mostra tuttavia, nell'evoluzione storica, tassi di crescita superiori rispetto al Nord e al Centro e, viceversa, una maggiore resistenza al calo che ha invece interessato il resto delle aree.
In termini geografici, il Nord Italia ospita il 52% delle start-up: la Lombardia da sola raggiunge il 27,7% del totale nazionale con 3.405 imprese, mentre il resto dell'insieme -meno della metà- si distribuisce nelle due rimanenti realtà geografiche, con Centro e Sud che si spartiscono rispettivamente il 20% e il 28% del totale nazionale. A livello regionale seguono la Campania, con 1.529 imprese (12,5%), e il Lazio con 1.394 (11,4%). Per quanto concerne le start-up in ambito energetico, sembra riproporsi il medesimo schema: il 50% di queste si localizzano nel Settentrione e quasi il 25% in Lombardia. Una quota importante di start-up è recentemente nata in Campania, portando la percentuale regionale al 17% del totale. Il Sud, accogliendo il 34% del totale nazionale di start-up in ambito energetico, segna un importante risultato positivo, staccando di molto il 18% del Centro.
Per quanto riguarda le attività, il settore dei servizi è il più prolifico per le start-up (82,5%), seguito dall'industria (12,7%). A causa della difficoltà di accesso ai finanziamenti, la maggior parte delle start-up (42% in totale, 45% nel settore energetico) ha un capitale inferiore ai 10.000 euro. In termini di valore della produzione, gran parte delle start-up esistenti (circa il 40%) presenta valori contenuti, generando un valore non superiore ai 100.000 euro.
L'impatto economico complessivo delle start-up innovative in Italia varia da quasi 1,1 miliardo a 3,6 miliardi di euro, con il Nord Italia che contribuisce per più del 50% del valore della produzione, mentre Sud e Centro, per quanto forniscano un contributo significativo, mostrano valori che si aggirano intorno al 35% e 15% rispettivamente. Da notare, tuttavia, è l'incremento positivo nel valore della produzione delle start-up del Sud, sia in valore assoluto che percentuale, rispetto allo scorso anno.
Dal punto di vista occupazionale, l'universo delle start-up è ancora poco permeabile alla presenza femminile: solo il 16,9% è complessivamente a maggioranza femminile, ed è al Sud che si registra la maggiore incidenza di start-up femminili sul totale regionale: il 30% delle imprese molisane sono a maggioranza femminile, mentre seguono Basilicata (20%) e Calabria (18%), e risultati simili sono riscontrati nel sottocampione delle start-up energetiche.
Riguardo la presenza giovanile, solo il 15,4% delle start-up presenta una quota a maggioranza under 35: dal punto di vista regionale, i valori più elevati sono registrati soprattutto nel Centro-Nord (con un'incidenza del 20-28% sul totale regionale). Per quanto riguarda le start-up innovative in ambito energetico, in prima posizione si colloca il Trentino-Alto Adige (32%), ma gli altri primi posti della classifica sono occupati da regioni del Sud.

icom 20 05 25
istituto per la competitività

CAPITOLO 1

BREVETTI ENERGETICI: ELETTRICITÀ E RIDUZIONE DELLE EMISSIONI

1.1. METODOLOGIA

In continuità con l'approccio adottato nell'edizione 2024, la sezione dedicata all'analisi dei principali indicatori dell'attività brevettuale prosegue con l'implementazione della metodologia introdotta nel rapporto del 2019. L'impostazione metodologica della prima parte dell'analisi si basa sull'elaborazione di dati estratti dal WIPO IP Statistics Data Center, il centro di raccolta e distribuzione di dati statistici sulla proprietà intellettuale gestito dall'Organizzazione Mondiale per la Proprietà Intellettuale. Questo *repository* rappresenta una fonte autorevole a livello internazionale, offrendo un accesso sistematizzato alle statistiche relative all'attività brevettuale globale con un elevato grado di dettaglio e stratificazione temporale[1].

Le informazioni raccolte ed analizzate si concentrano principalmente sui brevetti depositati e successivamente concessi in ciascun Paese, con una classificazione che si basa sulla residenza del primo richiedente (*applicant*), seguendo dunque un criterio geografico di attribuzione dell'innovazione. È importante sottolineare che, in questa metodologia, la presenza di eventuali co-richiedenti non viene presa in considerazione ai fini dell'analisi statistica, privilegiando così una visione semplificata ma al contempo rappresentativa del fenomeno brevettuale a livello territoriale.

La sezione è dedicata prima alla totalità dei brevetti emessi e poi al settore energetico in senso ampio, identificato nel database WIPO attraverso la categoria "*Electric machinery, apparatus, energy*", che comprende tutte le innovazioni relative ai dispositivi, alle apparecchiature e alle tecnologie per la generazione, la trasmissione e l'utilizzo dell'energia elettrica. Un elemento di novità nell'edizione corrente è rappresentato dall'inclusione di un'analisi del campo tecnologico "*Environmental technology*", rispondendo all'esigenza di monitorare l'evoluzione delle innovazioni legate alla sostenibilità ambientale, un settore in rapida espansione e di crescente rilevanza strategica nel panorama tecnologico contemporaneo.

Nella seconda e terza parte del capitolo, l'approccio metodologico conferma l'utilizzo del database PatStat (Worldwide Patent Statistical Database), sviluppato e mantenuto dall'European Patent Office (EPO)[2]. Anche in questo ambito di analisi, coerentemente con l'approccio precedente, l'unità fondamentale di rilevazione rimane la singola domanda di brevetto, permettendo così una continuità metodologica tra le diverse sezioni del rapporto.

Le sezioni basate sui dati PatStat si focalizzano specificatamente sui brevetti richiesti per innovazioni che rientrano nel dominio delle tecnologie elettriche, con una particolare attenzione alle sottocategorie più dinamiche e strategicamente rilevanti. Gli indicatori elaborati in queste sezioni si basano su un criterio metodologico semplice: il conteggio del numero di brevetti effettivamente concessi, escludendo quindi le semplici domande non ancora approvate. Questa scelta metodologica è sostenuta da due motivazioni principali.

In primo luogo, lo status di concessione, differenziandosi dalla mera richiesta, introduce un importante elemento qualitativo nella valutazione dell'invenzione brevettata. La concessione del brevetto, infatti, riflette automaticamente un'attività brevettuale "di valore", testimoniando il superamento del vaglio di novità, attività inventiva e applicabilità industriale, e rappresentando quindi una maggiore probabilità di successo nel delicato passaggio dall'idea astratta all'innovazione concretamente implementata nel mercato. Di conseguenza, gli indicatori costruiti a livello nazionale possono essere considerati parzialmente depurati dagli effetti distorsivi di sovradimensionamento che deriverebbero dalla facilità e dalla

1 https://www.wipo.int/ipstats/en/help.html#:~:text=The%20WIPO%20IP%20Statistics%20Data%20Center%20is%20an%20on%2Dline,data%20according%20to%20their%20needs.
2 https://www.epo.org/en/searching-for-patents/business/patstat.

scarsa onerosità delle richieste presentate presso alcuni uffici brevetti nazionali, dove i criteri di valutazione possono essere meno stringenti.

In secondo luogo, l'adozione della data di pubblicazione come parametro temporale di riferimento nell'analisi rappresenta una soluzione metodologica efficace per risolvere un problema intrinseco di sfasamento temporale nella completezza dei dati presenti nel database PatStat, particolarmente evidente per quanto riguarda le richieste di brevetto relative agli anni più prossimi a quello corrente (come già evidenziato nel rapporto I-Com a partire dal 2019).

Tab. 1.1: Famiglie di brevetti per la generazione, trasmissione o distribuzione elettrica, descrizione e codice CPC

Fonte: elaborazioni I-Com su dati della Cooperative Patent Classification (CPC)
Note: la dicitura "Low" implica l'inclusione di tutte le sottocategorie di una determinata famiglia brevettuale

Famiglia di brevetti	Descrizione	Codice CPC
Geotermia		Y02E 10/10
Idroelettrico		Y02E 10/20
Energia del mare		Y02E 10/30
Solare Termodinamico		Y02E 10/40 Low
Solare Fotovoltaico		Y02E 10/50 Low
	Ibrido Fotovoltaico-Solare termico	Y02E 10/60
Eolico		Y02E 10/70 Low
Termoelettrico (ciclo combinato e cogenerazione)	Cogenerazione	Y02E 20/14
	Impianti a Ciclo Combinato (CCPP e CCGT)	Y02E 20/16
	Impianti a Ciclo Combinato con CCS	Y02E 20/18
Nucleare	Reattori per fusione nucleare	Y02E 30/10
	Reattori per fissione nucleare	Y02E 30/30
Trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica	Tecnologie varie per l'efficienza del sistema elettrico	Y02E 40/00
	Sistema di trasmissione flessibile in corrente alternata (FACTS)	Y02E 40/10
	Filtri di potenza attiva (APF)	Y02E 40/20
	Compensazione reattivo di elettricità	Y02E 40/30
	Tecnologie di riduzione delle armoniche	Y02E 40/40
	Tecnologie per liminare o ridurre asimmetrie nelle reti polifase	Y02E 40/50
	Tecnologie che integrano superconduttori	Y02E 40/60
Smart grids	Smart grids come tecnologia per la mitigazione del cambiamento climatico	Y02E 40/70
Accumulo	Batterie	Y02E 60/10
	Supercapacitori	Y02E 60/13
	Sistemi di accumulo meccanico	Y02E 60/16
	Stoccaggio dell'idrogeno	Y02E 60/32
	Produzione di idrogeno da elettrolisi dell'acqua	Y02E 60/36
	Fuel Cells	Y02E 60/50
Cattura, stoccaggio, sequestro o smaltimento dei gas serra (GHG)		Y02C 20/00 Low

Questo accorgimento tecnico permette di ottenere una rappresentazione più accurata delle tendenze in atto, minimizzando le distorsioni derivanti dai ritardi amministrativi nella registrazione e nell'elaborazione delle domande brevettuali più recenti.

L'uso del sistema di classificazione CPC permette di identificare i brevetti associati alle singole tecnologie energetiche. Il codice di famiglia "Y" richiama le taggatura generale che interessa nuovi sviluppi tecnologici e di tecnologie intersezionali che si rivolgono a diverse sezioni dell'IPC. Con il codice "Y02" si possono poi isolare i brevetti che appartengono alle "tecnologie e applicazioni per la mitigazione e l'adattamento al cambiamento climatico"[3]. Questa categoria comprende, fra le altre, tecnologie in ambito energetico, nel settore dei trasporti, nella gestione delle acque o nella manifattura dei beni che concorrono alla mitigazione e all'adattamento al cambiamento climatico. L'oggetto dell'indagine sono i brevetti con il codice "Y02E", che la CPC definisce come tecnologie atte alla "riduzione delle emissioni di gas a effetto serra legate alla generazione, alla trasmissione o alla distribuzione di energia", definita per identificare unicamente le tecnologie di generazione elettrica o di generazione ibrida di elettricità e calore. Questo insieme di famiglie brevettuali è stato coerente con la precedente edizione del Rapporto ed è presentato in Tavola 1.1.

Nella Tavola sono riportate le descrizioni delle famiglie brevettuali prese in considerazione, con eventuali descrizioni delle sottocategorie – presenti solo qualora non si sia considerata l'intera famiglia brevettuale – e i codici CPC delle classi di riferimento.

È importante notare alcuni aspetti fisiologici che caratterizzano i dati considerati. L'European Patent Office revisiona regolarmente i codici CPC attribuiti ai brevetti. La natura del progresso tecnologico implica che alcune categorie di invenzioni possano perdere la loro rilevanza innovativa nel tempo a causa dell'emergere di nuove concezioni e traiettorie tecnologiche. Di conseguenza, per ogni anno di indagine, viene effettuata una revisione dell'intera serie storica considerata. Questa caratteristica può comportare delle lievi differenze nella numerosità dei brevetti riportata nelle precedenti edizioni.

Si evidenzia altresì la mancanza di molte delle caratteristiche delle domande di brevetto che sono fondamentali per la costruzione degli indicatori (come la natura e i riferimenti geografici dell'*applicant*, l'anno della richiesta, ecc.). Questo deficit è dovuto all'impossibilità di attribuire ad ogni osservazione i dati mancanti appropriati o di correggere eventuali errori nei dati grezzi. Tale situazione riguarda tanto le distribuzioni per area tecnologica quanto, in misura maggiore, le distribuzioni per Paese e/o regione. Si cita in particolare il caso dei richiedenti classificati come 'individui', per i quali non è sempre disponibile il dato relativo al Paese di provenienza. Inoltre, si precisa che gli indicatori presenti in ciascuna sezione del capitolo sono ottenuti tramite il conteggio assoluto dei brevetti presenti nella banca dati. A differenza del conteggio frazionario, questo approccio non tiene conto della presenza di brevetti depositati da più soggetti provenienti da Paesi diversi, il che può portare a una sovrastima del numero di brevetti depositati singolarmente dai vari Paesi.

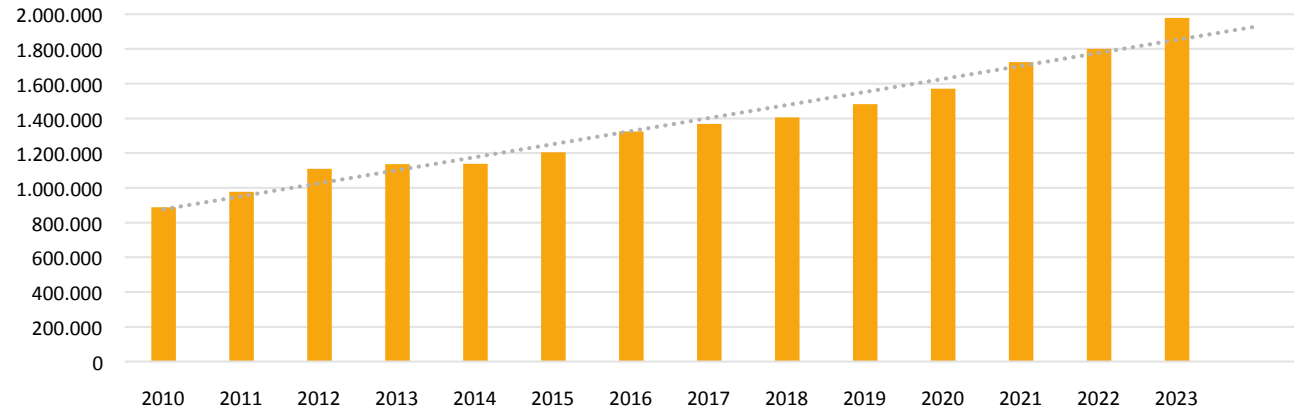
1.2. L'ATTIVITÀ BREVETTUALE MONDIALE

Dall'analisi dei dati più recenti messi a disposizione da WIPO, aggiornati a marzo 2025, i brevetti concessi a livello mondiale appaiono in decisa crescita. Il 2023 si rivela un anno di intensa attività brevettuale con quasi il 10% in più di brevetti concessi rispetto al 2022.

3 Verranno indagati i brevetti che hanno come oggetto tecnologie o applicazioni per la mitigazione o l'adattamento ai cambiamenti climatici, ovvero i brevetti che presentano sezione 'Y', classe '02' e sottoclasse "E". Per ulteriori informazioni si veda la classificazione sul sito della EPO: https://www.uspto.gov/web/patents/classification/cpc/html/cpc-Y02E.html.

Fig. 1.1: Numero di brevetti concessi a livello mondiale (2010-2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati WIPO, aggiornati a Marzo 2025

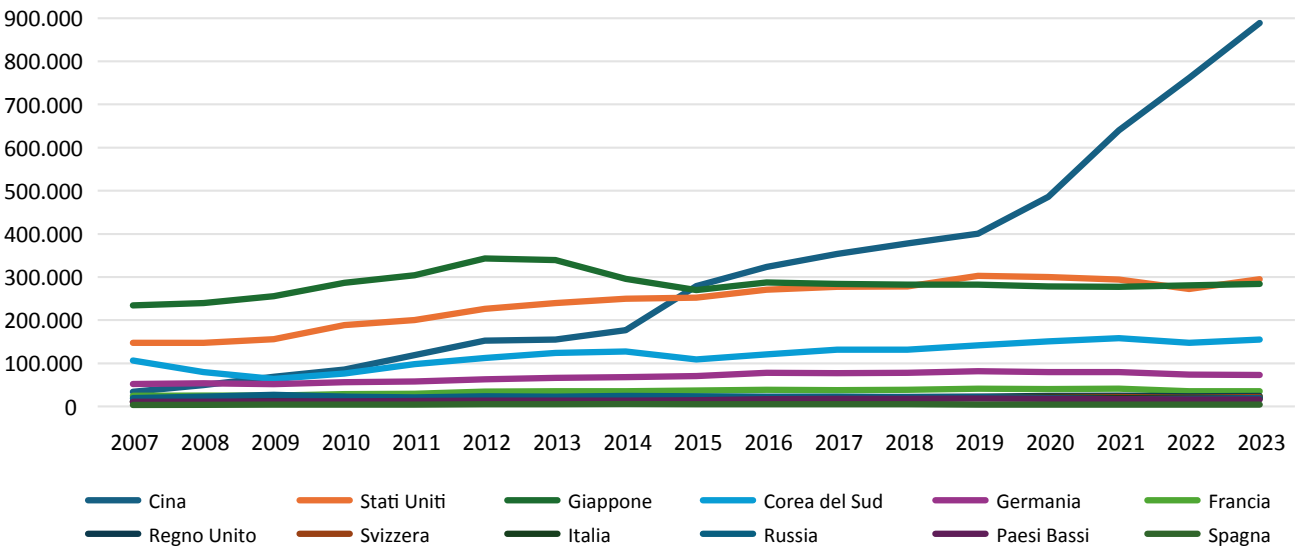


Dall'assestamento della serie storica emerge una chiara tendenza di crescita delle attività innovative, che si rileva anche per gli anni futuri dalla tendenza lineare predittiva. Il CAGR per l'intero periodo che va dal 2010 al 2023 è del 6,4%, in aumento rispetto al periodo 2010-2022 di 0,3 p.p. grazie al 2023.

Dall'intera serie storica è evidente come la pandemia non sia riuscita a scalfire l'attività brevettuale mondiale, che di fatto non ha fatto registrare rallentamenti degni di nota, mentre è piuttosto incisiva l'accelerazione fra il 2022 e il 2023.

Fig. 1.2: Numero di brevetti concessi a livello mondiale, per paesi selezionati (2007-2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati WIPO, aggiornati a Marzo 2025



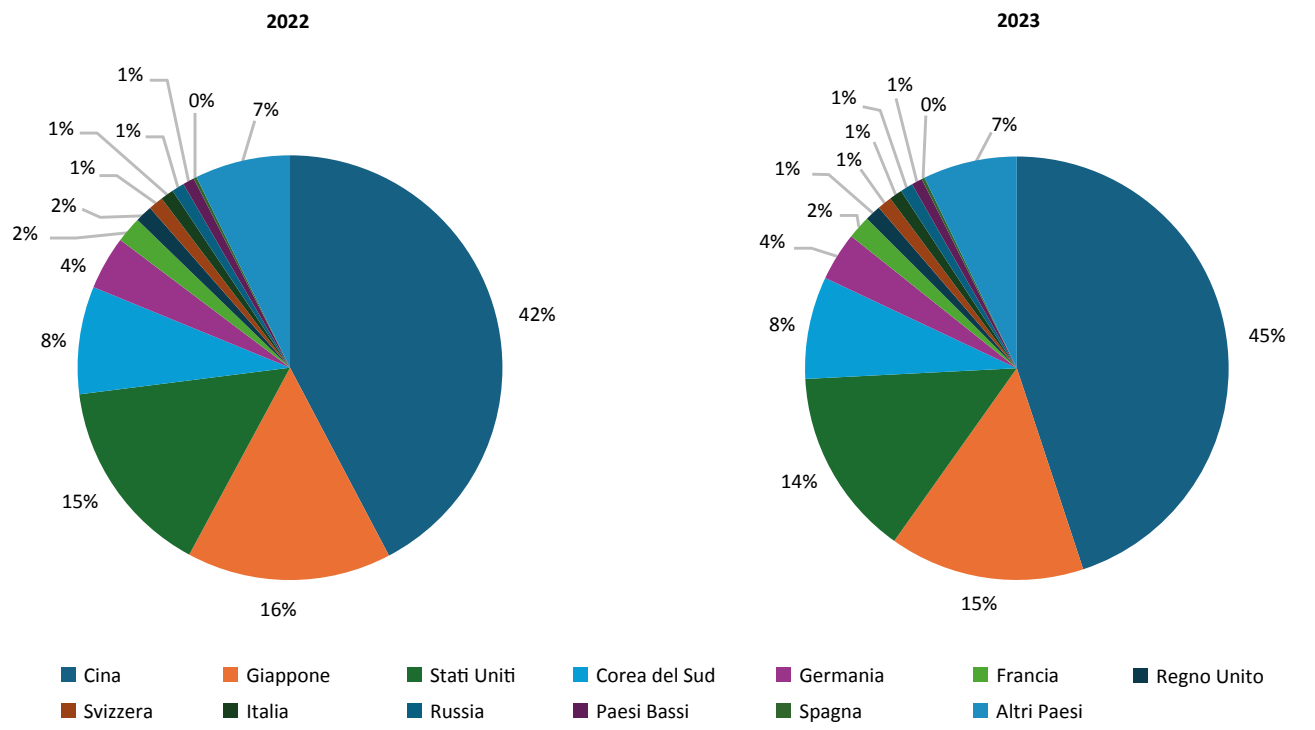
Per quanto riguarda la distribuzione dei brevetti concessi per Paese di origine in ogni ambito tecnologico, la Cina rimane al primo posto e distacca di molto Stati Uniti e Giappone, che esibiscono un numero quasi identico di brevetti concessi. Rispetto al 2022, tutti i paesi considerati eccetto Francia e Germania, per le quali si rileva un lieve declino, rispettivamente dell'1,4 e dello 0,26%, fanno registrare un incremento nell'attività brevettuale. In media vi è stato un aumento del 6% nel biennio nei paesi considerati dall'analisi. In primo piano è ancora una volta la Cina, che, insieme alla Russia, sono gli unici paesi a mostrare un incremento a doppia cifra: +17% di brevetti concessi rispetto al 2022 per la Cina e un +11% russo. Anche l'Italia con 19667 brevetti nel 2023 mostra un aumento superiore alla media, con un +8,5%. Notevole anche il dato spagnolo, +9,2%.

Quest'evoluzione comporta leggere modifiche alla composizione percentuale dei brevetti totali concessi a seconda del Paese considerato. La Cina guadagna 3 punti percentuali rispetto al 2022, facendo arrivare la sua leadership al 45% dei brevetti concessi totali, dal 42% del 2022. L'incidenza scende di 1 p.p. per Giappone e Stati Uniti, mentre, a causa delle approssimazioni, le restanti percentuali rimangono invariate.

I brevetti in ambito energetico[4] crescono del 3,3% nel 2023 in confronto al 2022, una variazione decisamente inferiore a quella dei brevetti mondiali, ma sostanzialmente in linea con l'andamento degli ultimi tredici anni.

Fig. 1.3: Incidenza dei paesi selezionati sul totale dei brevetti concessi, 2022 e 2023

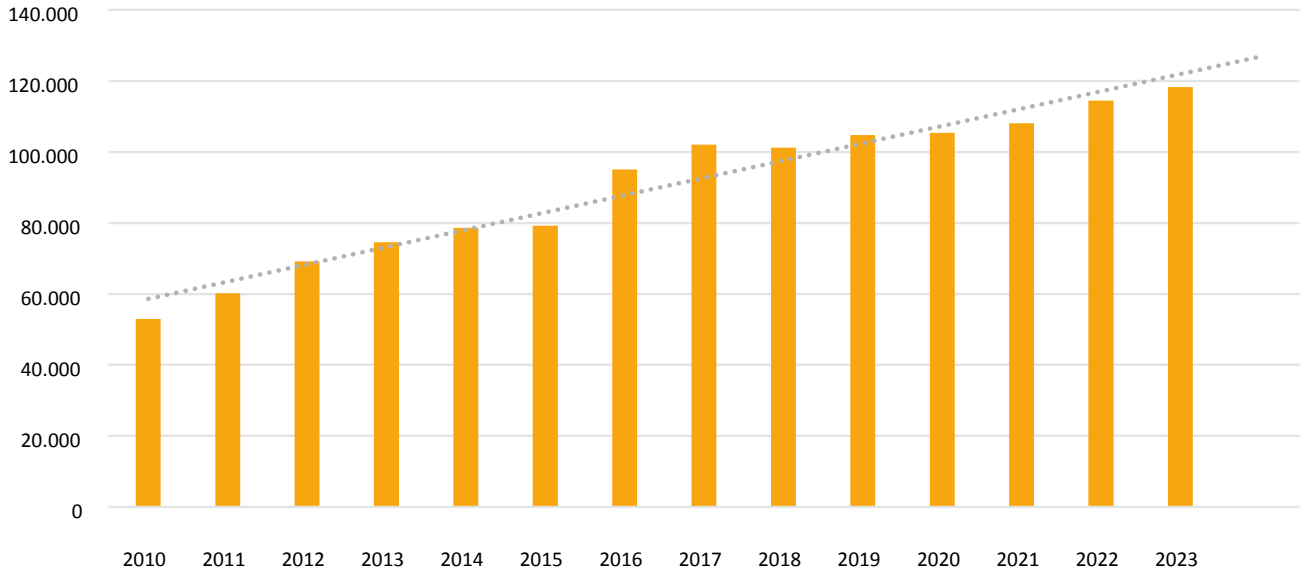
Fonte: elaborazioni I-Com su dati WIPO, aggiornati a Marzo 2025



4 Nel database WIPO identificabili come i brevetti concessi nel campo Electrical machinery, apparatus, energy.

Fig. 1.4: Brevetti mondiali in ambito energetico

Fonte: elaborazioni I-Com su dati WIPO, aggiornati a Marzo 2025



La bassa crescita non è dovuta tanto all'attività della Cina, dove la crescita di brevetti concessi prosegue a ritmi vertiginosi, ma alla diminuzione dei brevetti in ambito energetico concessi da tutti gli altri paesi.

La distribuzione geografica delle domande di brevetti nel settore energetico mostra una concentrazione significativa nel continente asiatico, con particolare enfasi su Cina e Giappone. Tale aspetto si riconferma. Questi due Paesi dominano il panorama globale dei brevetti nel settore energetico, sebbene con tendenze divergenti. Storicamente, il Giappone è stato leader nel settore, ma a partire dal 2017 ha mostrato segni di rallentamento, con un tasso di crescita annuale medio del -2,8% dal 2017 al 2023. D'altra parte, la Cina ha iniziato a guadagnare terreno a partire dal 2014, scalando rapidamente il mercato e superando il Giappone nel 2020. Nel 2023, la Cina è l'unico Paese tra quelli analizzati a registrare una crescita positiva a doppia cifra (+12,1%) rispetto all'anno precedente, con quasi 51 mila brevetti concessi. La Corea del Sud supera definitivamente gli Stati Uniti, facendo registrare un +6% rispetto al 2022, ed è l'unico altro Paese rilevante che mostra un dato positivo. I restanti Paesi nello stesso intervallo temporale di riferimento hanno invece mostrato una variazione annuale negativa. Il dato peggiore è attribuibile alla Russia che ha segnato un -89%. L'Italia segna invece un -12%, dato peggiore della media del -10% osservata fra i paesi considerati.

Le tendenze osservate nell'ultimo decennio influenzano significativamente anche l'analisi dell'incidenza relativa di ciascun Paese nel mercato globale: nel confronto 2022-2023, come già evidenziato nel grafico complessivo, si osservano ridimensionamenti modesti nel peso di ciascun Paese. Le uniche tendenze degne di nota sono l'aumento dell'incidenza della Cina, che sale di 3 punti percentuali, e la quasi speculare diminuzione nell'incidenza del Giappone. Per le altre economie non si registrano cambiamenti significativi nell'incidenza. L'Italia continua ad avere una posizione marginale.

Fig. 1.5: Brevetti mondiali in ambito energetico, per Paese (2010-2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati WIPO, aggiornati a Marzo 2025

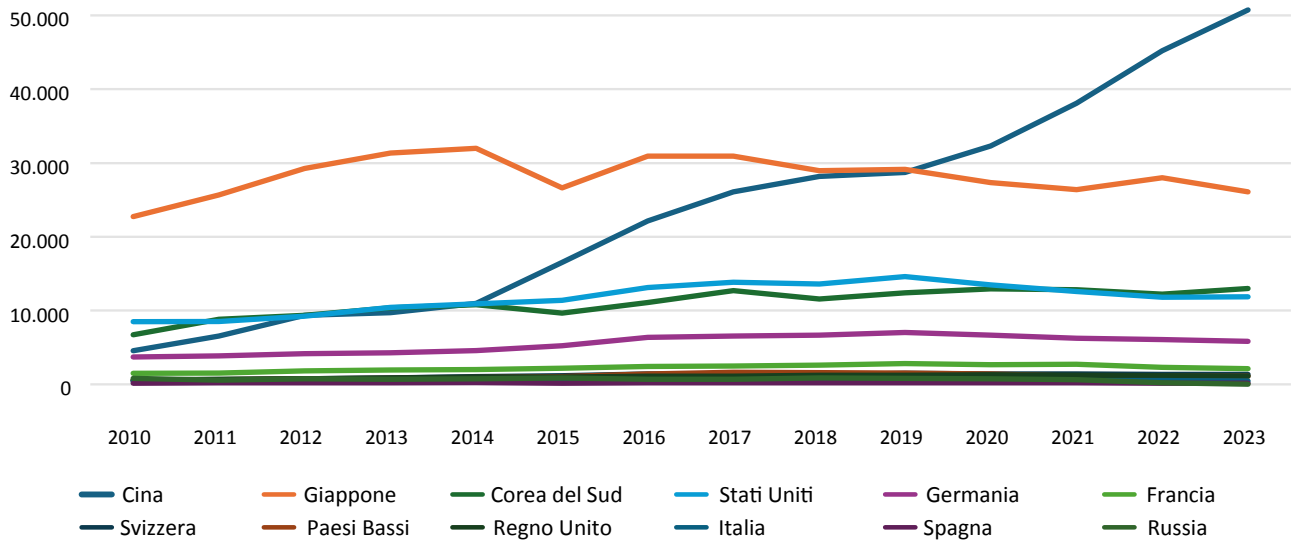


Fig. 1.6: Brevetti mondiali in ambito energetico, incidenza per Paese (2022, 2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati WIPO, aggiornati a Marzo 2025

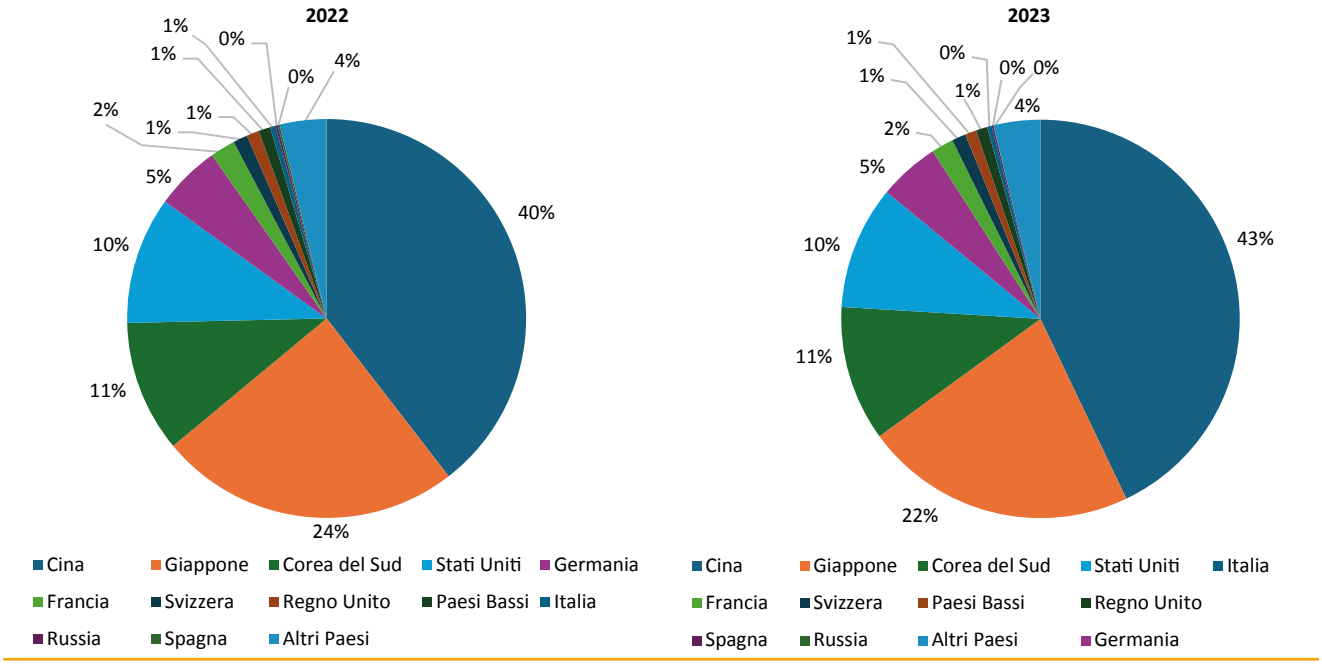
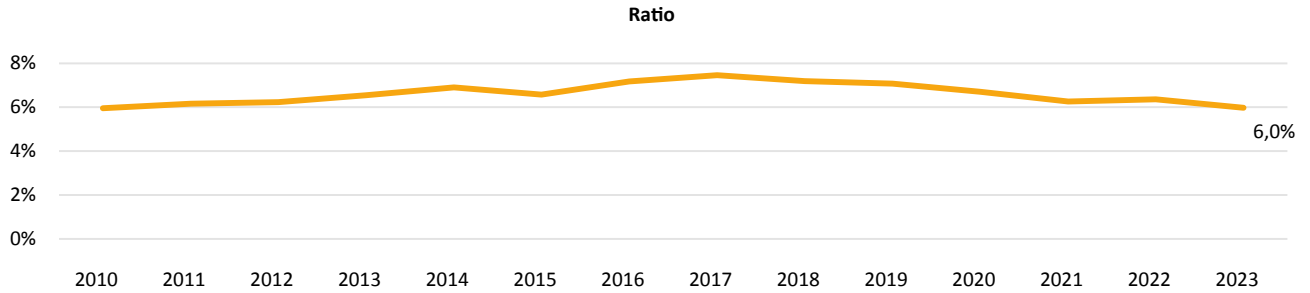


Fig. 1.7: Incidenza dei brevetti energetici sul totale dei brevetti (2010-2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati WIPO, aggiornati a Marzo 2025



Dopo il 2017, i brevetti energetici hanno diminuito la loro importanza relativa sul totale dei brevetti concessi. Nel 2023, la percentuale di brevetti sul totale associabili al campo energetico è pari al 6%, mentre nel picco si era toccato il valore del 7,5%. La tendenza dal 2017 è di una decrescita dell'importanza relativa dei brevetti energetici, che, pur crescendo, non guadagnano spazio come categoria tecnologica preponderante.

Un'altra famiglia brevettuale esplorata per la prima volta in questa sede è quella delle tecnologie ambientali[5]. I brevetti concessi in questa categoria vedono un tasso medio di crescita nel periodo 2010-2023 del 7,3%, maggiore dei brevetti energetici. Sebbene la numerosità rispetto a questi ultimi sia pari a un rapporto di 4:1, è comunque una categoria interessante per la riduzione delle emissioni e la mitigazione e l'adattamento al cambiamento climatico. Senza entrare nel dettaglio della distribuzione fra paesi di origine dei richiedenti brevetto, si riporta unicamente che la Cina, con 19.400 brevetti nel 2023, domina la scena innovativa con il 63% dei brevetti concessi, incidenza di molto superiore a quella osservata per i soli brevetti energetici. I brevetti concessi in questa famiglia brevettuale hanno subìto una decisa accelerazione negli anni 2021-2023, ed è probabile che crescano di importanza nei prossimi anni, vista la necessità impellente di preservare ecosistemi e strutture antropiche da eventi meteorologici estremi a fronte dell'innalzamento medio delle temperature e del livello del mare.

Le categorie brevettuali considerate in questa sezione dell'analisi, quindi la categoria energetica e delle tecnologie ambientali, sono fra le più importanti dal punto di vista degli obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite, gli SDG, che riguardano la transizione verde. Infatti, la WIPO categorizza le categorie tecnologiche brevettuali a seconda della porzione di famiglie di brevetti contenute nelle categorie stesse che possono essere relazionate agli obiettivi SDG (Fig. 1.8). Le macrocategorie dei brevetti energetici e delle tecnologie ambientali contengono elevate percentuali di famiglie di brevetti che contribuiscono all'SDG 9 e 13: imprese, innovazione e infrastrutture e lotta contro il cambiamento climatico. Più contenuta la percentuale di famiglie brevettuali riconducibile all'SDG 7 – Energia pulita e accessibile, con un 13% per entrambe le categorie. Nel complesso, è possibile affermare che la categoria delle tecnologie ambientali sia più ricca di famiglie brevettuali per lo sviluppo sostenibile, sebbene i brevetti concessi siano di molto inferiore a quelli energetici.

5 Sul database WIPO sono sotto la dicitura di Environmental Technology.

Fig. 1.8: Brevetti nel campo delle tecnologie ambientali (2010-2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati WIPO, aggiornati a Marzo 2025

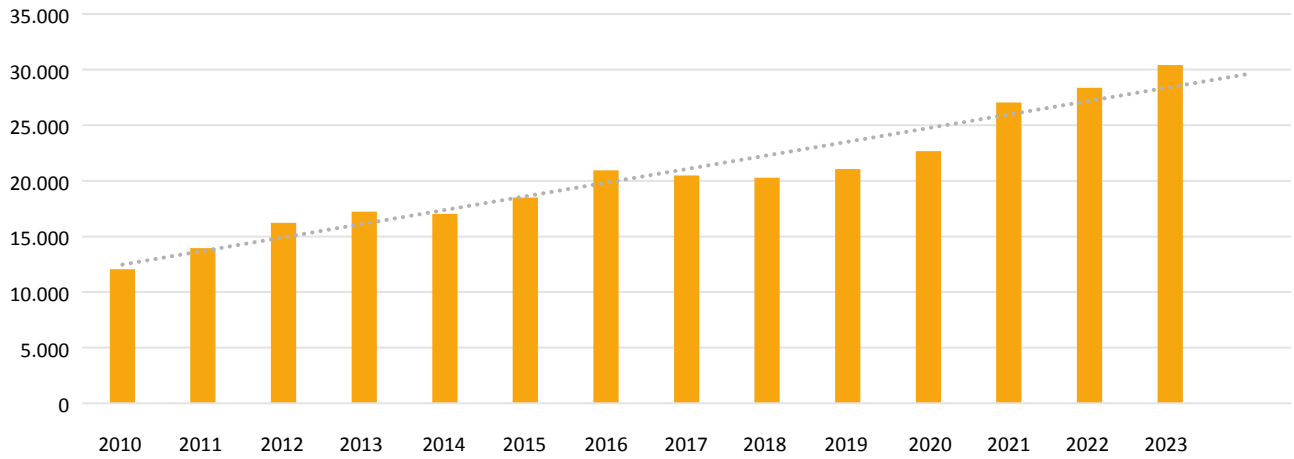
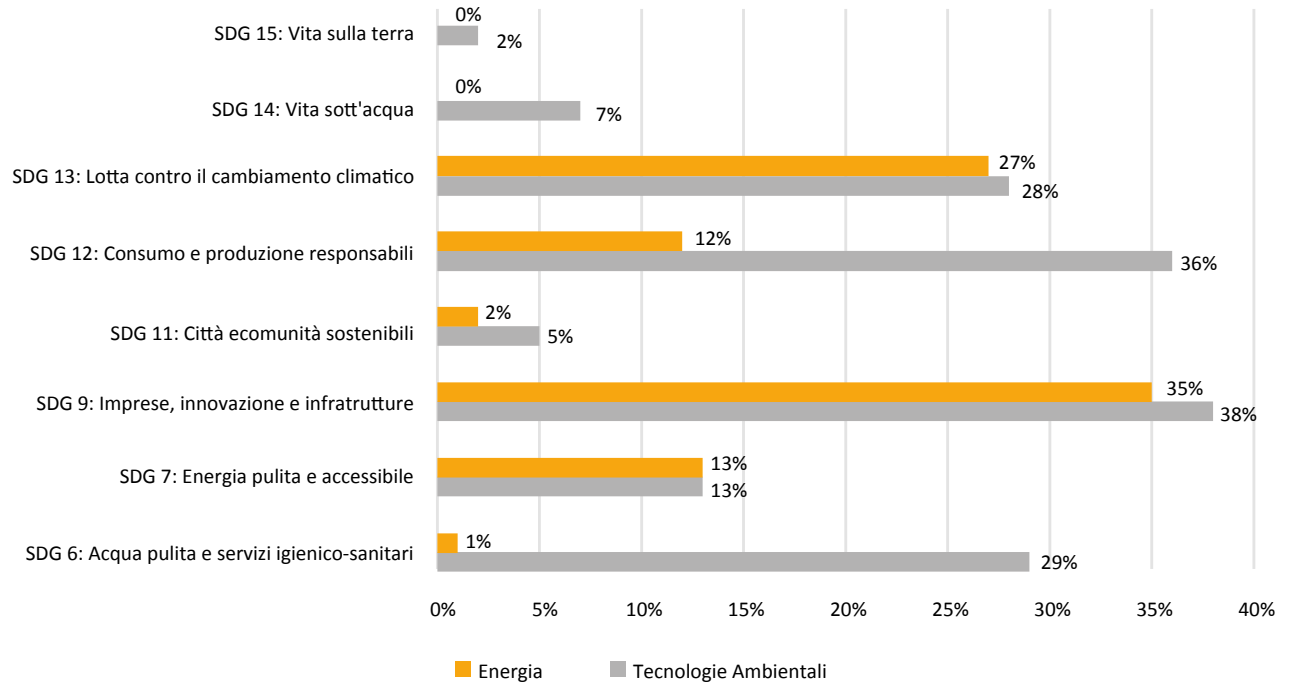


Fig. 1.9: Relazione ad alcuni SDG selezionati delle famiglie brevettuali appartenenti alle categorie delle tecnologie ambientali e dell'energia

Fonte: elaborazioni I-Com su dati WIPO, aggiornati a Marzo 2025



1.3. I BREVETTI IN CAMPO ELETTRICO PER LA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI

Questa sezione è dedicata alla disamina dell'attività brevettuale avvenuta nell'ambito delle diverse tecnologie di generazione, trasmissione, distribuzione e accumulo di energia elettrica che concorrono alla riduzione delle emissioni di gas serra. Gli ultimi dati disponibili con un'accuratezza sufficiente, rilevati dal database PatStat di EPO dell'edizione autunno 2024, fanno riferimento al 2023[6].

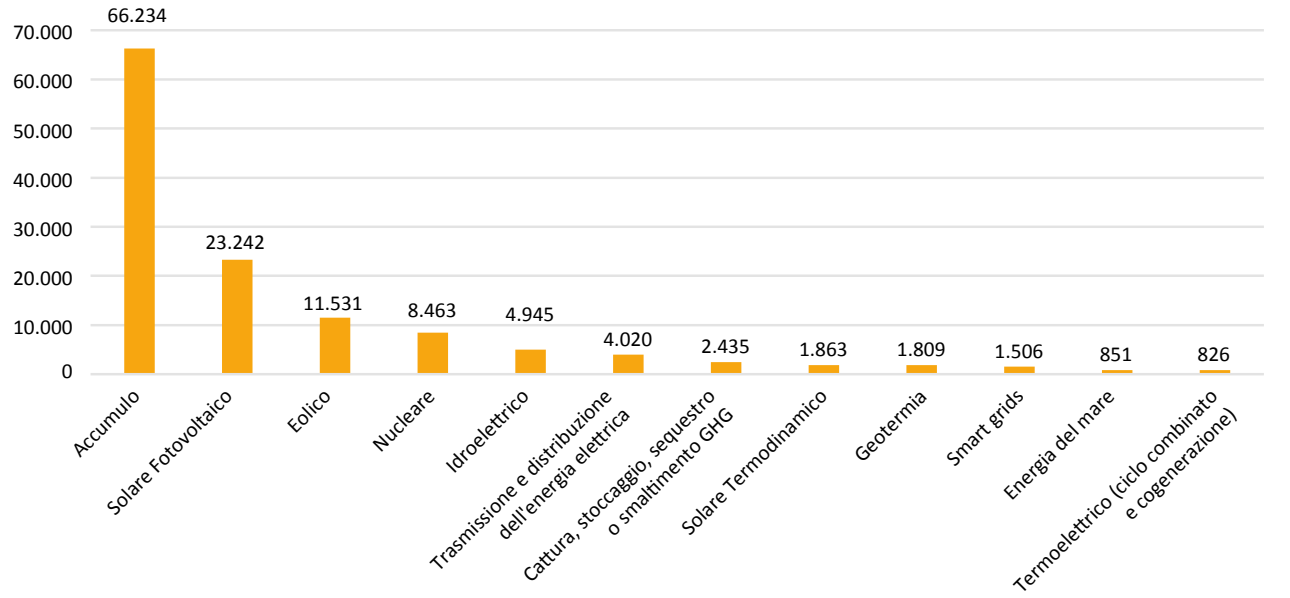
Con la chiusura della crisi pandemica del 2022 e una stagione inflazionistica che stentava a decelerare, quest'ultima già iniziata nel 2021, l'economia globale ha mostrato resilienza ed ha continuato a crescere ad un tasso intorno al 3%, leggermente inferiore al 2022. Uno dei temi dominanti del 2023 è stato il persistere dell'inflazione elevata, sebbene con tendenza al ribasso nella seconda parte dell'anno. L'inflazione complessiva nei paesi del G20 è scesa dal 7,8% del 2022 al 6,0% nel 2023. Nell'Eurozona, l'inflazione è diminuita dall'8,4% del 2022 al 5,5% nel 2023. In risposta, le banche centrali hanno mantenuto politiche monetarie restrittive per gran parte dell'anno, con la BCE che ha continuato ad aumentare i tassi d'interesse fino a settembre 2023.

Il commercio mondiale ha mostrato segni di debolezza nel 2023, influenzato da diversi fattori:

- La persistente guerra in Ucraina ha continuato a creare incertezze nei mercati globali
- L'escalation del conflitto in Medio Oriente ha aumentato ulteriormente le tensioni geopolitiche

Fig. 1.10: Brevetti in campo elettrico per la riduzione delle emissioni – Y02E (2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024



6 I dati al 2023 sono da considerarsi come provvisori. La banca dati PatStat viene aggiornata due volte all'anno, una in primavera e l'altra in autunno e vi è un ritardo di circa 4 anni nella disponibilità definitiva dei dati, a causa del processo di richiesta e delle lunghe tempistiche di integrazione di dati delle autorità nazionali (Fiorini, A.,Georgakaki, A., Pasimeni, F. and Tzimas, E., Monitoring RandI in Low-Carbon Energy Technologies, EUR 28446 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-65591-3 (print),978-92-79-65592-0 (PDF), doi:10.2760/434051 (print),10.2760/447418 (online), JRC105642).

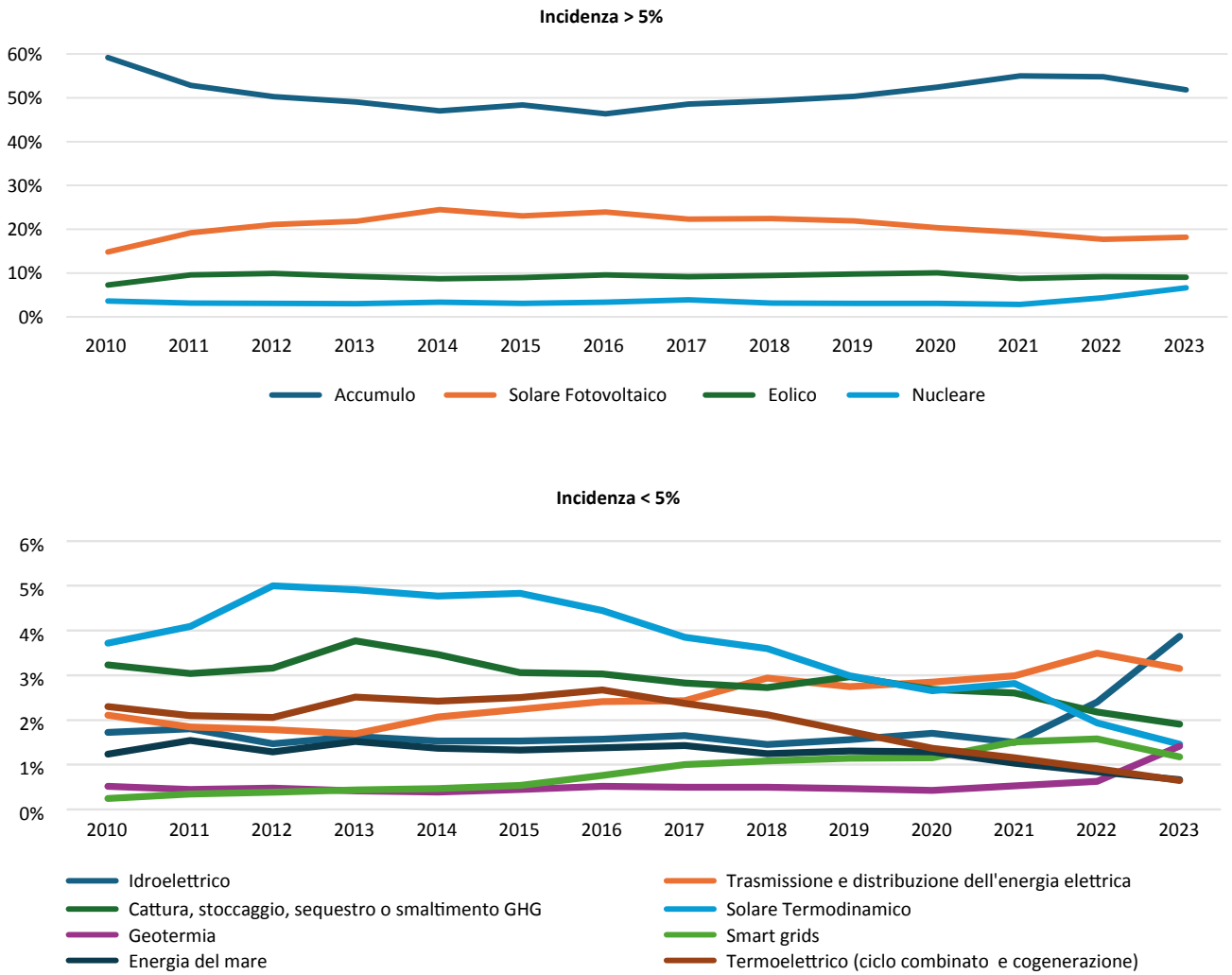
- Le tensioni commerciali tra Stati Uniti e Cina sono rimaste elevate, con impatti significativi sulle catene di approvvigionamento globali.

A dispetto di un quadro economico non solidissimo, come visto, l'attività brevettuale sia totale che nell'ambito energetico non ha subìto rallentamenti. Lo stesso vale per il sottogruppo considerato dalla nostra analisi: le diverse classi della famiglia Y02E.

Nel 2023, sono stati concessi 127.727 brevetti fra quelli considerati nella nostra analisi, rispetto a un totale del 2022 che si fermava a circa 95.000. La principale destinazione delle innovazioni rimangono le tecnologie di accumulo, seguite dal solare fotovoltaico, eolico e nucleare. Di non trascurabile importanza anche le tecnologie idroelettriche e di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica, che superano le 4.000 unità di brevetti.

Fig. 1.11: Incidenza delle famiglie brevettuali sul totale dei brevetti considerati (2010-2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024



Gli aumenti percentuali più consistenti rispetto al 2022, superiori al 100%, si osservano per le tecnologie di geotermia, idroelettrico e nucleare. Aumentano di più del 30% anche i brevetti concessi in ambito fotovoltaico ed eolico, che esibiscono una crescita percentuale significativa, con un +39% ed un +32% rispettivamente. L'unica categoria a diminuire è quella del termoelettrico, con una contrazione del 5%.

Guardando all'evoluzione del peso delle singole categorie brevettuali sul totale, si può osservare come l'insieme delle tecnologie di accumulo prevalga per tutto il periodo considerato (2010-2023).

L'ordine di importanza delle altre categorie brevettuali rimane immutato.

Per quanto riguarda l'evoluzione delle tecnologie meno brevettate, si evincono andamenti interessanti. Il primo è il declino dell'incidenza del solare termodinamico, che dal 5% del 2012 è arrivato all'1,5% nel 2023. La categoria delle smart grids fatica a decollare in termini di incidenza sul totale, così come la cattura, lo stoccaggio, il sequestro o lo smaltimento delle emissioni di gas serra, che hanno diminuito la propria incidenza nel corso del tempo. In netta ripresa, invece, la categoria dell'idroelettrico, che è passata da meno del 2 al 4%.

La distribuzione dei brevetti concessi per Paese, come nelle ultime edizioni del presente Rapporto, vede in testa la Cina. Il distacco con i Paesi che seguono per unità di brevetti concessi è sempre più ampio: la Corea del Sud, seconda con 11.463 brevetti concessi, ha un distacco dalla Cina di più di 33.000 brevetti. Stessa cosa per gli Stati Uniti, terzo Paese per unità brevettuali, che si fermano a 8.557 brevetti concessi, meno delle unità concesse nel 2010. Seguono il Giappone e la Germania, con, rispetti-

Fig. 1.12: Incidenza delle famiglie brevettuali sul totale dei brevetti considerati (2010, 2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024

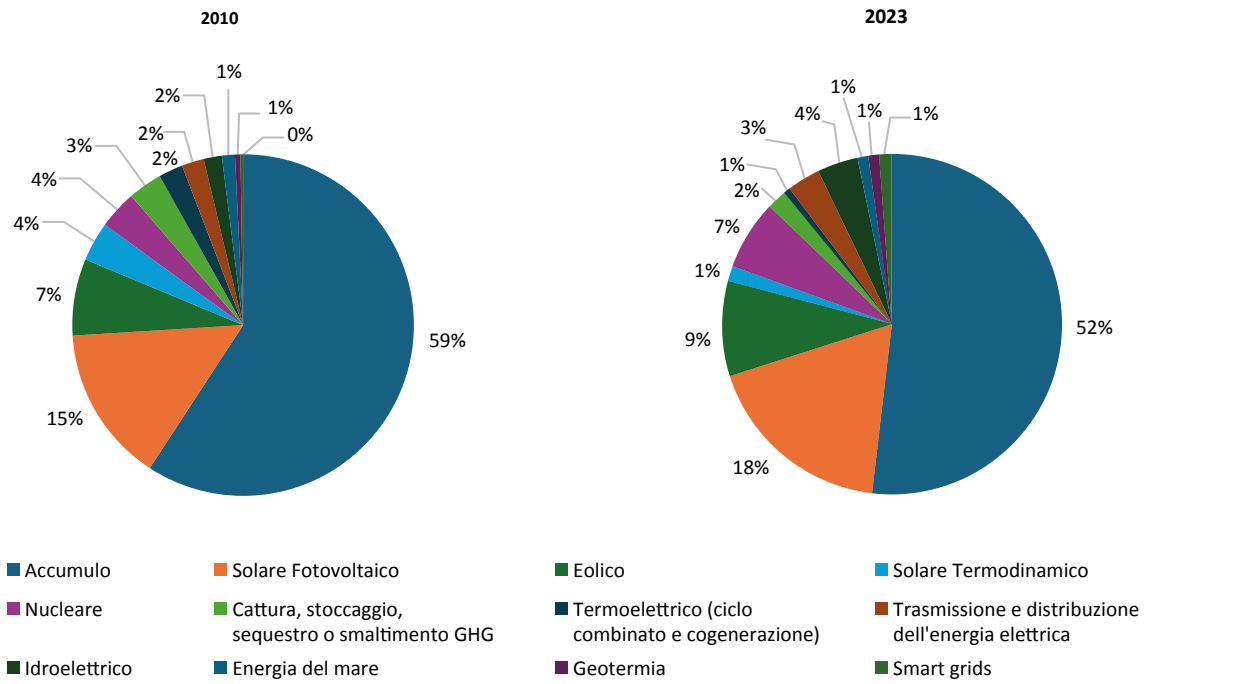
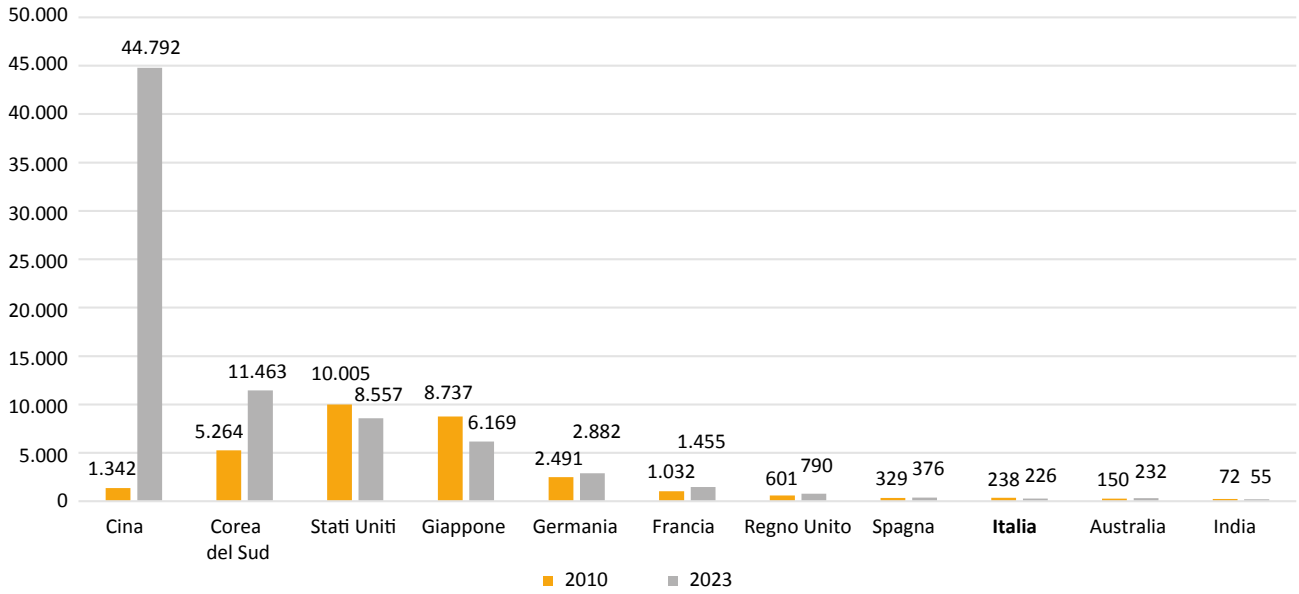


Fig. 1.13: Brevetti in campo elettrico per Paese, (2010, 2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024



vamente, 6.169 e 2.882 brevetti concessi nel 2023. La Cina possiede un tale numero di innovazioni nel campo elettrico, con specificità di tecnologie per la riduzione delle emissioni, per varie ragioni. In primis, l'aumento delle risorse dedicate alla ricerca e sviluppo, che non sono comparabili a quelle europea. In secondo luogo, l'incremento nei brevetti è un obiettivo esplicito posto dal governo cinese, ed implementato tramite:

- Sussidi significativi per le domande di brevetto
- Agevolazioni fiscali per le aziende che ottengono brevetti
- Premi in denaro per i dipendenti che registrano brevetti
- Promozioni di carriera legate al numero di brevetti ottenuti
- Obiettivi espliciti nei piani quinquennali per aumentare i brevetti

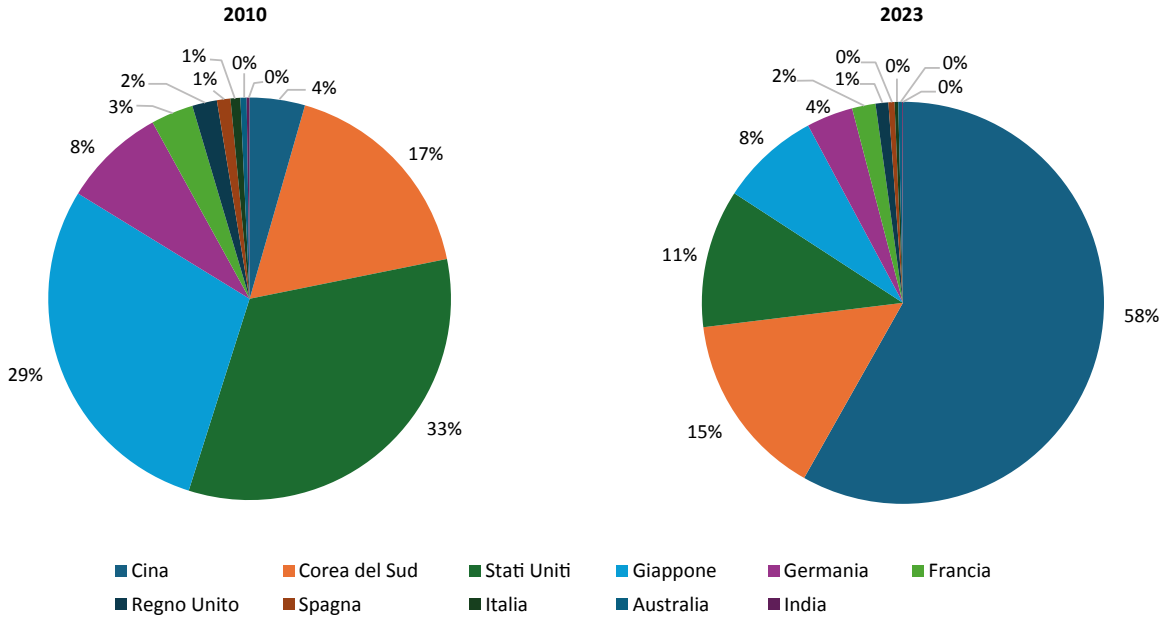
Queste politiche hanno sempre suscitato dubbi sulla qualità dei brevetti concessi, ma dato l'ambito della nostra analisi sembra più probabile che quelle cinesi siano effettivamente vere innovazioni, supportate dall'abbondanza di materiali critici per costruire ed operare tecnologie elettriche.

Il Giappone, che, con gli Stati Uniti, un tempo dominava il panorama brevettuale, si ferma nel 2023 a 6.169 brevetti, anch'esso un numero inferiore rispetto al 2010. L'attività brevettuale statunitense in campo elettrico mostra una variazione percentuale negativa del 17%, quella giapponese un -29%.

Nettamente positiva è l'evoluzione brevettuale della Repubblica di Corea, che ha più che raddoppiato i brevetti concessi ai suoi connazionali e alle imprese domestiche. Insieme a Stati Uniti e Giappone, anche Italia e India hanno diminuito il numero di brevetti a loro concessi. Nel blocco europeo, complessivamente, i brevetti in campo elettrico sono cresciuti nel periodo considerato. Trainati da un +16% dei brevetti tedeschi, un +41% dei brevetti francesi e +31% del Regno Unito e un +14% della Spagna, l'unico Paese con meno bre-

Fig. 1.14: Brevetti in campo elettrico, incidenza per Paese sul totale (2010, 2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024



vetti concessi nel 2023 rispetto al 2010 è l'Italia[7]. Secondo i dati attuali, il nostro Paese non raggiunge i 226 brevetti nel 2023, mentre nel 2010 avevamo raggiunto quota 238. L'Australia, raggiungendo quota 232 brevetti, supera l'Italia, che invece nel 2010 aveva concesso più brevetti del Paese Oltreoceano. Rispetto all'Italia, l'India vede una contrazione maggiore dei brevetti concessi, un -22% contro un -5% italiano.

L'incidenza percentuale di ciascun Paese sul totale dei brevetti concessi è cambiato drasticamente dal 2010 ad oggi. Se prima il panorama dei brevetti elettrici era dominato da imprese o individui provenienti da sole tre nazioni (Stati Uniti, Giappone e Corea del Sud), ora il dominio cinese ha sbaragliato la competizione, raggiungendo il 58% del totale dei brevetti concessi nella categoria.

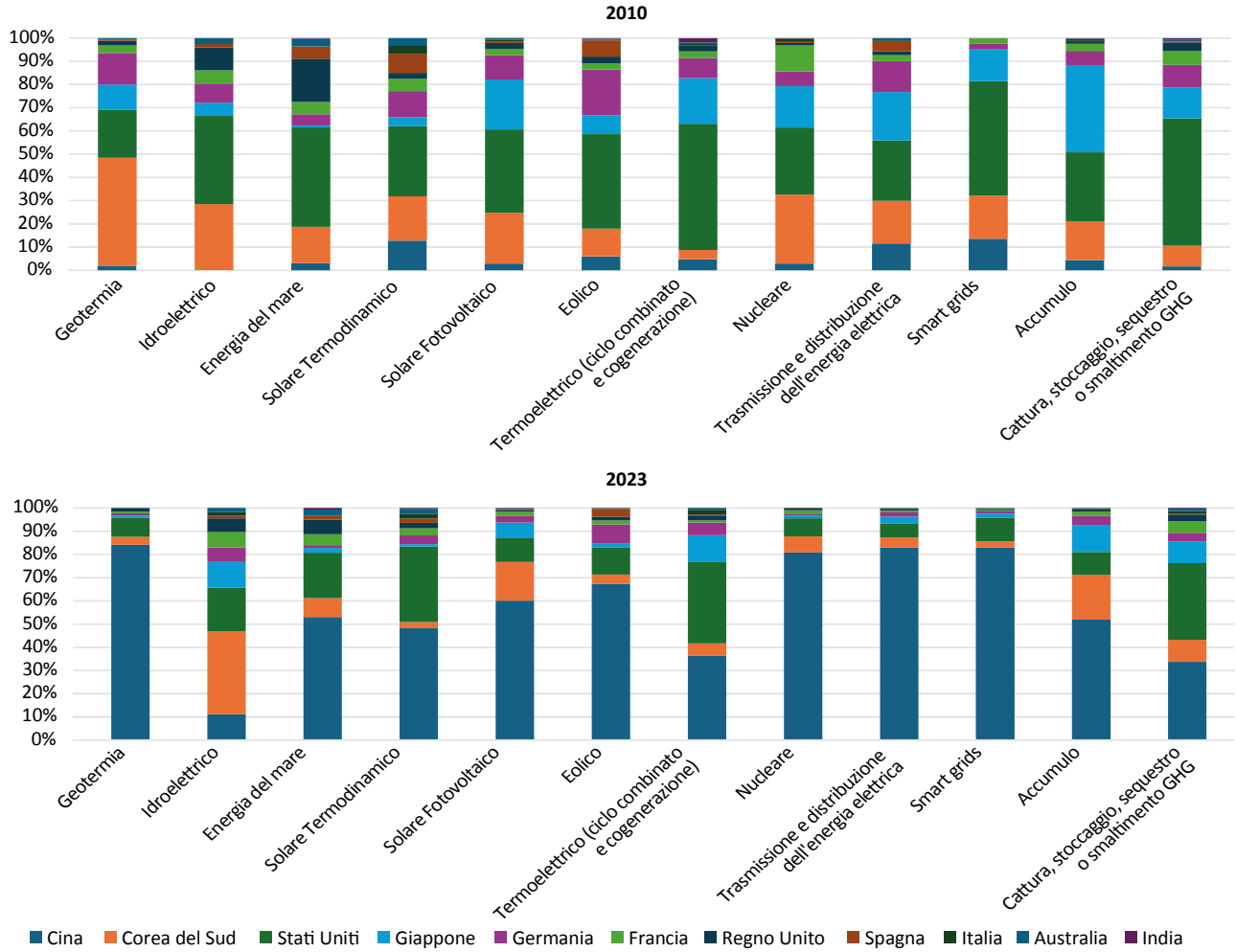
Questo cambiamento è ancor più evidente se si guarda alle specializzazioni di ciascuna nazione all'interno dei gruppi tecnologici. Nel 2010 la Cina non aveva alcuna specializzazione e i brevetti concessi costituivano il 4% del totale. Sempre nell'anno base, erano gli Stati Uniti ad essere il Paese specializzato in tutte le categorie tecnologiche. L'Italia non assumeva comunque un ruolo di prim'ordine, ma il blocco europeo era ben rappresentato dall'insieme di Regno Unito, Germania, Francia e Spagna, che insieme avevano un peso notevole nella concessione di brevetti nel campo dell'eolico, dell'energia del mare e del solare termodinamico. Nel 2023, la Cina domina su tutte le categorie brevettuali prese in considerazione ad eccezione dell'idroelettrico, dove la Corea del Sud detiene il primato per brevetti concessi nel 2023. Anche categorie che storicamente ricadevano sotto una specializzazione statunitense come il

7 Si ricorda che il fatto che il numero di brevetti concessi in Italia rispetto al 2010 sia minore potrebbe essere smentito con il consolidamento dei dati; si veda nota 6.

termoelettrico o la cattura, lo stoccaggio, il sequestro o smaltimento delle emissioni sono ora, anche se di poco, prerogativa del dragone asiatico. Questo non accadeva nella precedente edizione del Rapporto, dove perlomeno una manciata di campi tecnologici non vedevano la Cina come Paese maggiormente specializzato. Nel 2023, ogni tipo di specializzazione europea è andata perduta. I paesi UE rimangono minimamente rilevanti solo nei campi dell'idroelettrico, del solare termodinamico, dell'eolico, e nella cattura, stoccaggio, sequestro e smaltimento delle emissioni di gas serra, con specializzazioni contenute e che toccano rispettivamente il 16%, 11%, 13% e 10%. Per tutte le altre tecnologie, l'apporto dei brevetti UE è sotto il 10%. Il nostro Paese trova poco spazio anche in questi campi tecnologici sopra descritti. L'Italia, infatti, fa capo solamente al 2% dei brevetti sia per il solare termodinamico che per il termoelettrico, mentre concede l'1% dei brevetti totali nell'ambito della cattura e stoccaggio delle emissioni e dell'idroelettrico.

Fig. 1.15: Specializzazione per famiglia brevettuale in campo elettrico (2010, 2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024



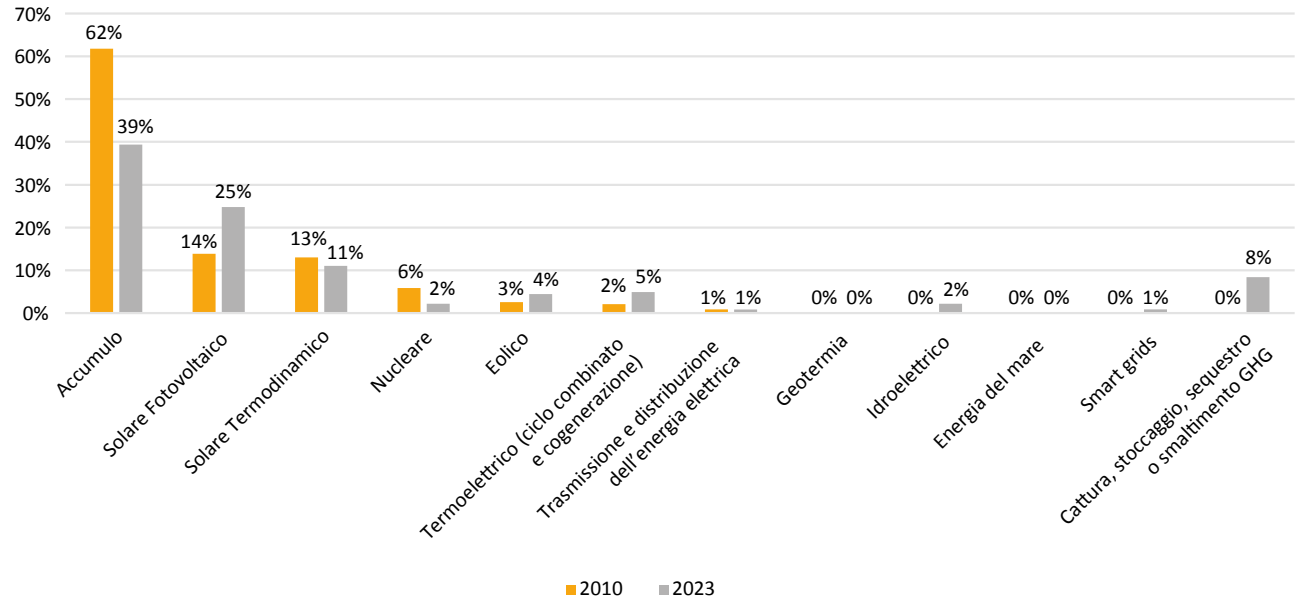
1.4. LA SITUAZIONE ITALIANA

Se nel 2010 l'attività brevettuale italiana in ambito elettrico convergeva su poche aree tecnologiche, prevalentemente accumulo, solare (sia fotovoltaico che termodinamico) e nucleare, nel 2023 l'incidenza dei brevetti è leggermente più eterogenea. Prevalgono sempre gli accumuli, ma con un'incidenza del 39% contro il 62% del 2010. In continuità con l'inizio del monitoraggio, seguono per importanza il fotovoltaico (25% dei brevetti del 2023) e il solare termodinamico (11% dei brevetti). Una nota negativa è sicuramente la diminuzione dei brevetti in ambito nucleare, che fanno registrare una discesa di 4 punti percentuali nel periodo. Una nota positiva è invece la presenza di brevetti in ambito cattura, stoccaggio, sequestro o smaltimento delle emissioni ed idroelettrico, che fanno registrare valori diversi da zero, mostrando quindi almeno una minima attività innovativa in questi campi.

I soggetti richiedenti brevetto sono storicamente di due principali tipologie: imprese e individui. Questa dualità di soggetti che innovano si è mantenuta, anche nel nostro Paese, fino al 2016. Nei primi sei anni della serie storica, infatti, per ogni brevetto in ambito elettrico, vi era approssimativamente un 50% di probabilità che questo fosse stato depositato da individui e un altro 50% di probabilità che questo fosse stato concesso a imprese. Dal 2017, la situazione nel nostro Paese è radicalmente cambiata, con una graduale riduzione dell'innovazione da parte degli individui. In anni recenti, l'incidenza di brevetti concessi a imprese si aggira intorno al 60%, mentre l'apporto degli individui si è addirittura ridotto al 7% nel 2022-2023. Al contempo, le Università hanno leggermente incrementato il loro apporto all'innovazione del Paese, che in 13 anni è cresciuto di 5 punti percentuali. Rimane sostanzialmente costante la capacità innovativa degli enti governativi e no profit. Un appunto da fare è sicuramente sui soggetti brevettanti la cui

Fig. 1.16: Composizione percentuale dei brevetti in campo elettrico italiani (2010, 2023)

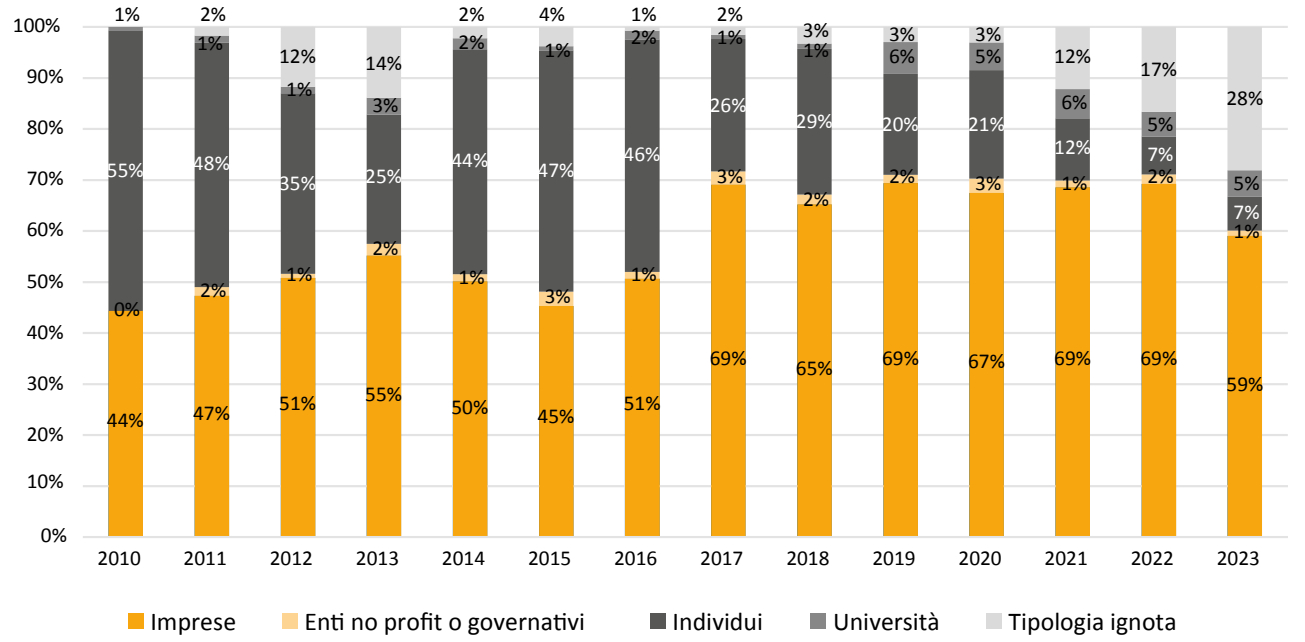
Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024



entità è ignota. La loro incidenza non è trascurabile per gli anni 2012, 2013, 2021, 2022. 2023. Per gli anni 2021-23, la consistenza di questa categoria è giustificata dalla parziale incompletezza del dato PatStat. Invece, da un'analisi spannometrica per gli anni 2012 e 2013, larga parte dei soggetti richiedenti sarebbe riconducibile alla categoria degli individui. Per gli anni 2012-2013 aumenterebbe dunque l'attività brevettuale degli individui, coerentemente con la tendenza di quegli anni.

Fig. 1.17: Distribuzione dei brevetti richiesti in ambito elettrico in Italia, per soggetto brevettante (2010-2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024



icom 2005 25
istituto per la competitività

CAPITOLO 2

I BREVETTI PER LA MOBILITÀ ELETTRIFICATA

2.1. INTRODUZIONE E APPROCCIO METODOLOGICO

Affrontare il cambiamento climatico è ormai una priorità assoluta e oggetto di crescente attenzione da parte della comunità internazionale. Il settore dei trasporti figura tra i principali responsabili delle emissioni climalteranti e necessita di una trasformazione profonda per limitare i danni ambientali. Secondo i dati diffusi dalla Commissione Europea[8], nel 2023 l'Unione Europea ha ridotto in modo significativo le proprie emissioni, raggiungendo uno dei decrementi annuali più rilevanti mai osservati, pari all'8,3%. Una diminuzione che ha ridotto le emissioni del 37% rispetto ai livelli del 1990, mentre il PIL dell'UE è cresciuto del 68% nello stesso periodo, dimostrando il continuo disaccoppiamento tra emissioni e crescita economica.

Il settore dei trasporti ha un ruolo cruciale nel raggiungimento della neutralità climatica poiché rappresenta circa un quarto delle emissioni europee. Tuttavia, i progressi è ancora troppo limitati e il livello delle emissioni di questo settore sono ancora al di sopra quelli registrati nel 1990. All'interno dello stesso settore, va posta particolare attenzione al trasporto stradale, che da solo rappresenta più del 70% delle emissioni del comparto. Dalle stime della EEA[9] (European Environment Agency) emerge che il trasporto stradale ha ridotto le proprie emissioni soltanto dello 0,8% tra il 2022 e il 2023. Tramite le politiche correnti, il livello delle emissioni che verrà raggiunto entro il 2030 sarà ancora superiore a quello del 1990 del 4%. Per questo, è importante implementare maggiori misure che promuovano tecnologie pulite. L'elettrificazione dei trasporti e l'introduzione di carburanti a basse emissioni potrebbe dare un significativo apporto positivo al conseguimento degli obiettivi. L'innovazione gioca un ruolo chiave in questo contesto, consentendo di sviluppare soluzioni efficienti e meno impattanti sull'ambiente. Il progresso innovativo in questo campo si riflette nella propensione brevettuale nel settore dei trasporti, segnalando non solo un avanzamento in termini di politiche, ma anche nelle tecnologie a disposizione.

In questa sezione del rapporto si propone un'analisi complessiva della capacità di innovazione tecnologica di alcuni Paesi nella mobilità sostenibile, ponendo l'attenzione sulla produzione brevettuale. L'obiettivo è quello di offrire una lettura di confronto dell'attività innovativa tramite l'esame del numero dei brevetti concessi, che può essere considerato come un indicatore indiretto ma significativo della propensione allo sviluppo di tecnologie sostenibili nei trasporti. L'approccio adottato a questa finalità è di tipo descrittivo[10] e si basa sul conteggio dei brevetti per ciascun Paese con cadenza annuale. I dati sono ricavati dalla consultazione del database dell'Ufficio Europeo dei Brevetti (EPO), nello specifico la banca dati PatStat, che viene considerata una delle più complete a livello internazionale nell'ambito brevettuale.

L'utilizzo di questa banca dati ha però delle limitazioni strutturali. Infatti, PatStat viene aggiornato con cadenza semestrale, tramite due edizioni pubblicate rispettivamente in primavera e in autunno. Da segnalare anche che il processo di registrazione dei brevetti richiede spesso tempistiche molto lunghe, da sommare in aggiunta a quelle necessarie per l'integrazione dei dati provenienti dalle varie autorità nazionali. Questi tempi tecnici comportano un ritardo nella disponibilità dei dati consolidati di circa quattro anni. Questo sta a significare che i dati relativi alle annualità successive al 2021 sono ancora da considerare provvisori.

8 European Commission. EU Climate Action Progress Report 2024.
9 https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emissions-from-transport.
10 Sono stati selezionati i brevetti appartenenti alla sezione "Y02" con classe "T" i quali fanno riferimento alle tecnologie o applicazioni finalizzate alla mitigazione o all'adattamento contro i cambiamenti climatici.

In questo rapporto sono state incluse anche le informazioni relative agli anni più recenti, fino al 2023, in modo da fornire una prima stima, anche se non definitiva, della situazione attuale nella brevettazione relativa alla mobilità sostenibile. I dati più recenti, che sono stati ricavati dall'edizione autunnale del 2024 di PatStat, sono quindi importanti per fornire spunti alla comprensione delle tendenze emergenti e gli ultimi orientamenti dell'attività di ricerca e sviluppo a livello globale e di singolo Paese.

All'interno del database, ogni sezione è strutturata con una rappresentazione ad albero, in modo da organizzare gerarchicamente le diverse informazioni relative ai brevetti. Questa struttura consente di accedere a dati molto dettagliati, permettendo di individuare e analizzare brevetti appartenenti a numerosi ambiti tecnologici, con un grado di specificità che spazia da grandi categorie fino a singoli componenti. Dopo un'analisi più ampia a livello globale, un ulteriore elemento considerato è la nazionalità del richiedente del brevetto, che viene utilizzata per l'attribuzione del brevetto a un determinato Paese. Con questo criterio è stato possibile selezionare un campione di Stati ritenuti particolarmente significativi per l'analisi, data la rilevanza nell'ambito indagato. Questi Paesi sono: Cina, Stati Uniti, Giappone, Corea del Sud, Germania, Regno Unito, Francia, Italia e India. Nella parte conclusiva del capitolo, lo spazio è dedicato all'approfondimento del contesto italiano, in modo da evidenziarne le peculiarità, i punti di forza e le criticità all'interno del panorama internazionale.

Tab. 2.1: I brevetti tecnologici selezionati per delineare l'eco-innovazione nella mobilità elettrificata

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024

Descrizione	Codice CPC
Veicoli ibridi	Y02T 10/62
Veicoli elettrici	Y02T 90/14
Energy Storage	Y02T 10/70
Stazioni di ricarica	Y02T 90/17
Tecnologie ad idrogeno (incluse fuel cell)	Y02T 90/40

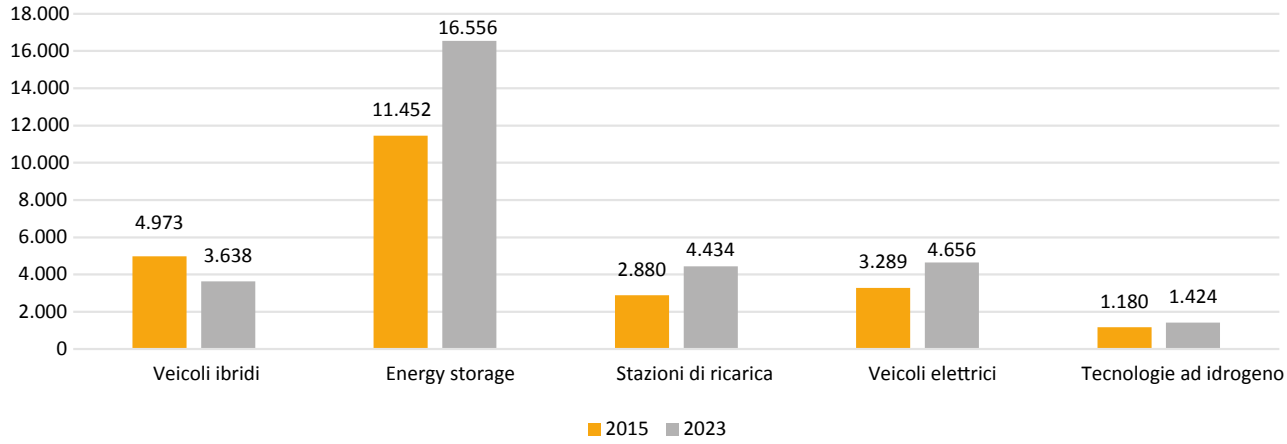
2.2. LA MOBILITÀ SOSTENIBILE NEL CONTESTO GLOBALE: TECNOLOGIE E BREVETTI

Tra le tecnologie legate alla mobilità sostenibile, come rilevato anche nelle ultime edizioni di questo rapporto, la categoria degli energy storage comprende il maggior numero di brevetti concessi. Questi nel 2023 hanno superato i 16.000 brevetti, ma già nel 2015 rappresentavano la tecnologia trainante con 11.452 brevetti concessi. La categoria è aumentata quindi di circa 5.000 unità segnando un +44,6%. Nessuna delle altre tecnologie considerate supera i 5.000 brevetti nel 2023, anche se le stazioni di ricarica e i veicoli elettrici raggiungono quasi questa soglia, con una crescita rispetto al 2015 rispettivamente del 54% e del 41,6%. Rimangono relativamente indietro le tecnologie a idrogeno che con circa 1.420 brevetti nel 2023 sono aumentate rispetto al 2015 del 20,7%. I brevetti concessi in materia di veicoli ibridi sono gli unici per i quali si registra una diminuzione sul periodo considerato e segnano un -26,8% (Fig. 2.1).

L'evoluzione delle tecnologie relative all'energy storage mostra una tendenza quasi sempre in aumento dal 2012 al 2023, escludendo soltanto il biennio 2016-2018. I veicoli elettrici e le stazioni di ricarica mostrano anch'essi una tendenza crescente, in media, su tutto il periodo, anche se con tassi molto minori rispetto all'energy storage. Dall'altro lato, le concessioni di brevetti relativi alle tecnologie a idrogeno sembrano essere stazionarie sotto alle 2.000 unità annue; mentre, i veicoli ibridi, nonostante fossero la seconda tecnologia per numero di brevetti al 2012,

Fig. 2.1: Numero di brevetti di brevetti per tecnologia

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024



mostrano una diminuzione continua dal 2014 al 2021 sull'anno precedente, anche se dal 2022 sono tornati leggermente ad aumentare (Fig. 2.2).

Le tecnologie legate all'energy storage rappresentano la quota maggiore sul totale relativamente al numero di brevetti concessi per tutto il periodo considerato. Rispetto al 2015, il loro peso percentuale è aumentato di 5,7 punti percentuali, raggiungendo il 53,9% e quindi coprendo da sole più della metà dei brevetti concessi. Seguono i veicoli elettrici con una quota del 15,2% in aumento rispetto al 2015 di 1,4 punti. I veicoli ibridi, che rappresentavano la seconda maggior quota nel 2015 (20,9%), perdono terreno e si fermano nel 2023 all'11,8%. Passano infatti al terzo

Fig. 2.2: Evoluzione temporale del numero di brevetti per tecnologia

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024

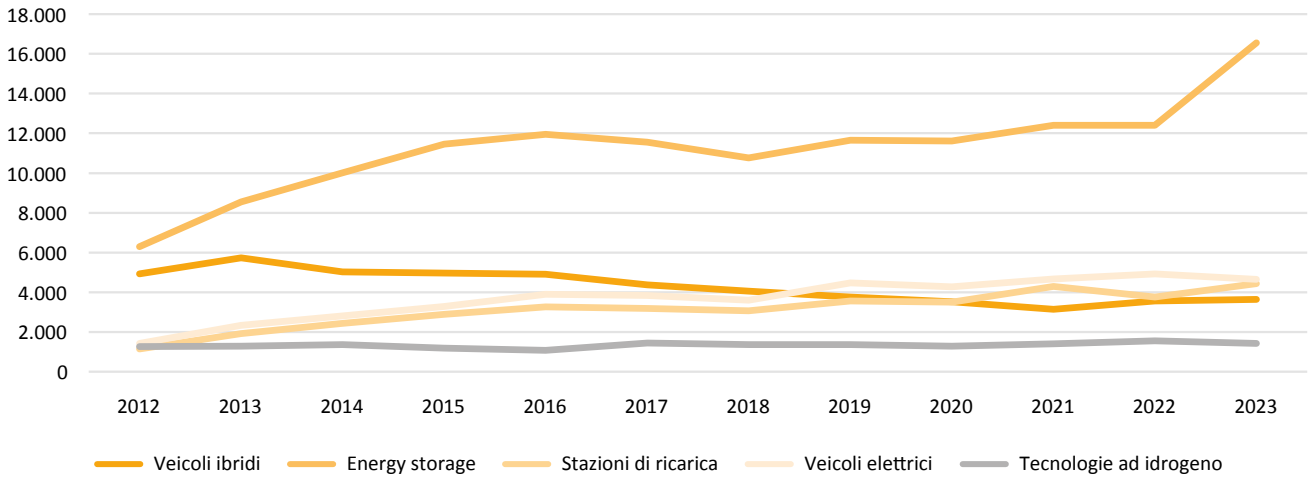
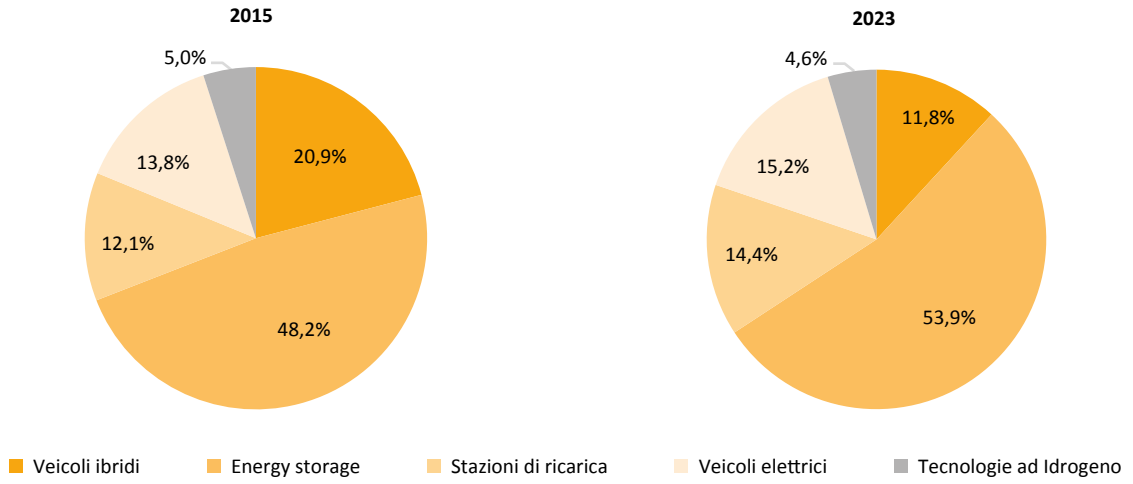


Fig. 2.3: Frequenza percentuale dei brevetti per tecnologia

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024



posto le tecnologie legate alle stazioni di ricarica con una quota del 14,4%. Le tecnologie a idrogeno restano invece le più marginali, con una quota del 4,6% (addirittura in calo rispetto al 2015) (Fig. 2.3).

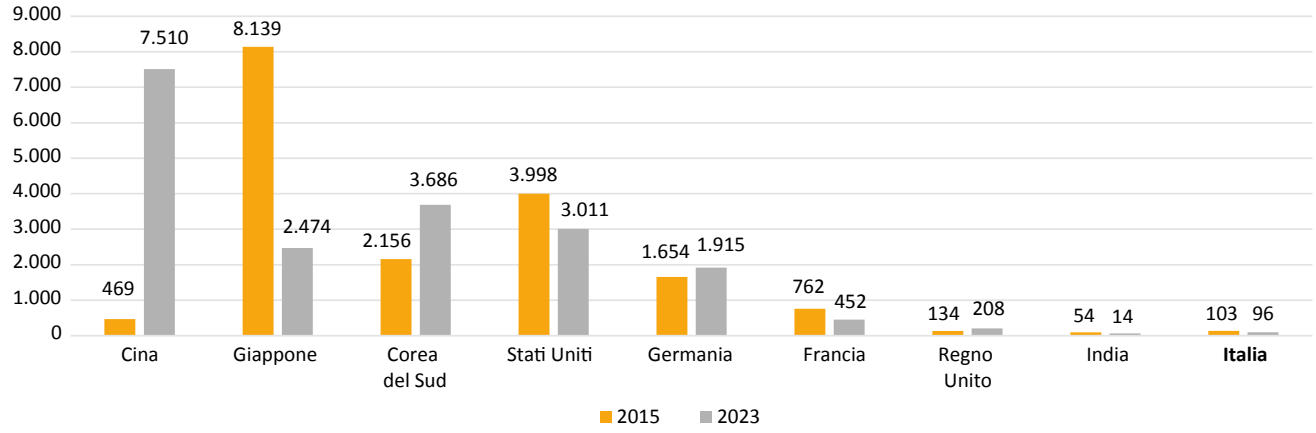
La distribuzione delle concessioni relative ai brevetti nell'ambito della mobilità sostenibile, non si limita solo alle diverse tecnologie, ma presenta caratteristiche interessanti anche sul piano dello sviluppo geografico.

Nel 2015, ad esempio, il Giappone primeggiava in termini di numero di concessioni per le tecnologie considerate, con circa 8.100 brevetti. Al 2023, la situazione è invece nettamente cambiata, con il Giappone che conta poco meno di 2.500 brevetti, registrando quindi un -69,6%. All'opposto, la Cina che nel 2015 contava appena 469 brevetti relativi alla mobilità sostenibile, al 2023 segna un aumento del 1.501% sugli otto anni, e un +59,6% sul 2022, raggiungendo quota 7.510 brevetti. Come per il 2022, al secondo posto per numero di brevetti troviamo la Corea del sud (3.686 brevetti), che sta sviluppando sempre di più questo tipo di tecnologie, come dimostra la crescita del 71% rispetto al 2015. Rispetto, al 2022, al terzo posto, troviamo gli Stati Uniti, che quindi superano il Giappone per numero di brevetti, nonostante la flessione complessiva rispetto al 2015 del 24,7%. I paesi europei si dimostrano decisamente arretrati rispetto alle controparti. Tra questi spicca la Germania che riesce a superare i 1.000 brevetti anche nel 2023 e a mantenere una tendenza positiva rispetto al 2015. Il Regno Unito segna nel 2023 un +55,2% sul 2015, ma rimane ad un livello nettamente più basso se comparato agli altri paesi; mentre Francia e Italia segnano addirittura una variazione in negativo. Situazione sostanzialmente invariata anche per l'India che come per il 2022 registra una diminuzione nel numero di brevetti rispetto al 2015 intorno al -74,1% (Fig. 2.4).

Analizzando il peso di ciascun Paese selezionato sul totale dei brevetti relativi al gruppo di paesi in analisi, considerando tutte le tecnologie, è possibile vedere come la Cina abbia conquistato una fetta sempre più grande relativa all'innovazione nel settore. Nel 2023, infatti la quota cinese copriva il 38,8%, segnando una crescita pari a 36,1 punti percentuali rispetto al 2015. Anche la Corea del Sud ha guadagnato terreno negli ultimi otto anni incrementando la propria quota di 6,7 punti percentuali (raggiungendo il 19% nel 2023).

Fig. 2.4: Confronto del numero di brevetti concessi tra il 2015 e il 2023 per Paese

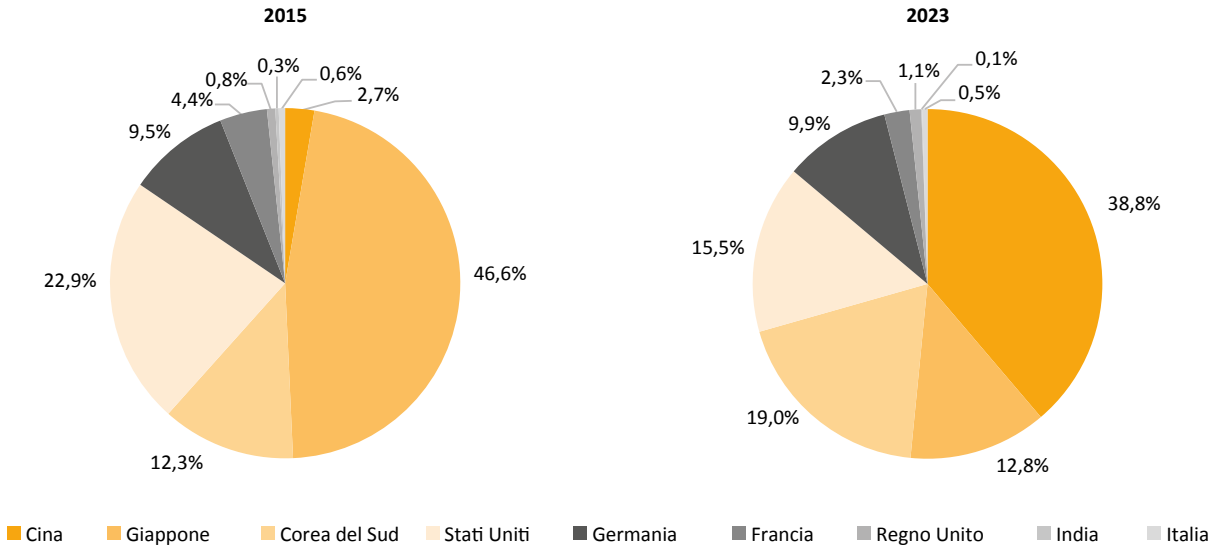
Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024



Al contrario, mentre nel 2015, era il Giappone a dominare in quest'ambito, con una quota pari al 46,6%, nel 2023 perde nettamente terreno rispetto ai concorrenti, raggiungendo solamente il 12,8% del totale. Diminuisce, anche se in maniera molto più contenuta, anche la quota degli Stati Uniti (dal 22,9% del 2015 al 15,5% del 2023), mentre resta pressoché stabile la posizione della Germania (dal 9,5% del 2015 al 9,9% del 2023). Non si osservano invece cambiamenti sostanziali per gli altri paesi considerati che detengono quote marginali se comparate con gli altri paesi (Fig. 2.5). Rispetto a quanto mostrato nello scorso

Fig. 2.5: Brevetti depositati nel mondo in ambito mobilità elettrificata, per Paese (2015, 2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024

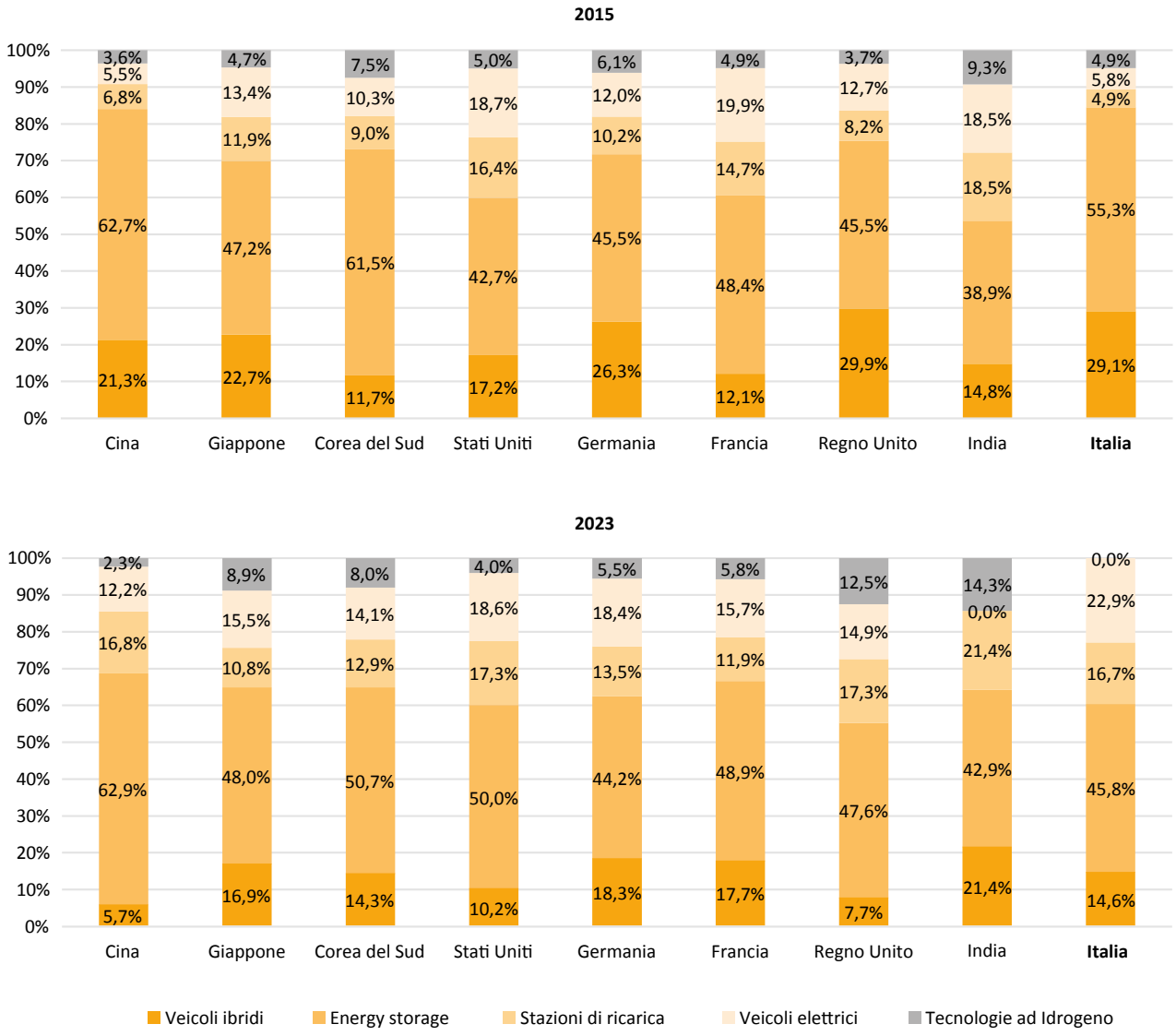


rapporto per il 2022, soltanto Corea del Sud e Stati uniti riescono, al contempo, ad aumentare la quantità di brevetti e a configurarsi come competitors rispetto alla Cina, che comunque continua a detenere un notevole vantaggio. Dall'altro lato, pur riportando un numero di brevetti per il 2023 sopra la media del campione, il Giappone mostra un trend di lungo periodo fortemente in calo.

Come già emerso negli ultimi anni, esaminando l'attività dei singoli Paesi in termini di specializzazione sui vari settori, anche nel 2023, per tutto il campione, predomina l'energy storage. Il peso percentuale

Fig. 2.6: Distribuzione percentuale dei brevetti relativi a ciascun Paese, per tecnologia (2015,2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024



nella composizione di ciascun Paese si distribuisce infatti tra un minimo del 43% e un massimo del 63%, attribuibili rispettivamente a India e Cina. Per quanto riguarda la tipologia di veicoli oggetto dei nuovi brevetti al 2023, nel campione notiamo come Cina (12,2%), Stati Uniti (18,6%), Regno Unito (14,9%) e Italia (22,9%) siano avanzati maggiormente nel campo dei veicoli elettrici, rispetto agli ibridi. Corea del Sud e Germania detengono entrambe una quota di brevetti molto simile per le due tipologie, rispettivamente intorno al 14% e al 18%. Mentre Giappone, Francia e India mostrano una maggior incidenza dei veicoli ibridi. Proprio quest'ultimo Paese presenta la composizione percentuale più peculiare. Detiene infatti la quota più piccola, rispetto agli altri paesi nel campione, relativa all'energy storage, mentre non è stato registrato alcun brevetto relativo ai veicoli elettrici per il 2023. Tuttavia, sembra invece molto più concentrato nel settore delle stazioni di ricarica (21%) e delle tecnologie ad idrogeno (14%), rispetto agli altri Stati. Le tecnologie a idrogeno, nel 2023, per l'Italia rappresentano invece lo 0% dei brevetti concessi (Fig. 2.6).

Nel 2015, il Giappone, all'interno del campione di paesi selezionati, deteneva all'incirca la metà dei brevetti concessi per ogni tecnologia. Per fare un esempio, possedeva il 53% dei brevetti nell'ambito dei veicoli ibridi, mentre la quota più piccola era quella relativa alle tecnologie ad idrogeno, dove comunque si attribuivano al Giappone il 41,8% di queste tecnologie. Ad oggi, come evidenziato in più punti di questo capitolo, questa economia ha perso largamente terreno in termini di propensione brevettuale e riesce a superare la soglia del 20% soltanto per le tecnologie ad idrogeno. Tecnologia quest'ultima dove, come per i veicoli ibridi e quelli elettrici, si è verificata una discreta tendenza verso una distribuzione più omogenea. Nel campo dell'Energy Storage e delle Stazioni di ricarica, si è verificato invece un cambiamento nella posizione di comando, con la Cina che ha sostanzialmente sostituito il Giappone.

Dall'analisi della variazione della quota percentuale per tecnologia relativa ai paesi considerati, emerge che la Cina ha incrementato massicciamente la sua presenza in ogni settore, con una variazione relativamente più piccola (+16 punti percentuali) per le tecnologie ad idrogeno e una più importante per le stazioni di ricarica (+42 punti percentuali). All'opposto, il Giappone registra per il 2023 ampie flessioni per tutte le tecnologie (con un range di variazione che spazia tra -36 e -19 punti percentuali). Lo stesso accade per gli Stati Uniti, anche se con variazioni molto più contenute (comprese tra -12,41 e -5,41 punti percentuali). La Corea del Sud aumenta la propria presenza nel processo di innovazione, in particolare per i veicoli ibridi (con un aumento di 17,33 punti percentuali) ma in generale su tutte le tecnologie.

Per quanto riguarda il gruppo europeo, la Germania si conferma l'economia di riferimento anche per il 2023. Infatti, è l'unica che riesce a superare la quota del 10% per tre delle tecnologie considerate e che mostra un incremento discretamente positivo rispetto al 2015 per almeno due tecnologie (Fig. 2.7).

La situazione al 2023 per alcuni aspetti non sembra essere troppo diversa da quella evidenziata lo scorso anno in riferimento al periodo 2022. Tuttavia, guardando proprio alla distribuzione dell'incidenza di ciascuno Stato nello sviluppo delle singole tecnologie, nel 2022 si evidenziava un'omogeneità molto più marcata. Dai dati per il 2023, invece è facile vedere come la quota cinese ha acquisito sempre più peso in almeno tre delle tecnologie considerate (ovvero energy storage, stazioni di ricarica e veicoli elettrici).

Come già riportato all'inizio del capitolo, il database PatStat viene aggiornato due volte l'anno, una volta in primavera e l'altra in autunno. Inoltre, a causa delle tempistiche nel processo di richiesta e del tempo tecnico necessario all'EPO per integrare i set di dati delle autorità nazionali, il ritardo nella disponibilità dei dati è di circa quattro anni.

Fig. 2.7: Incidenza relativa della provenienza geografica per tecnologia

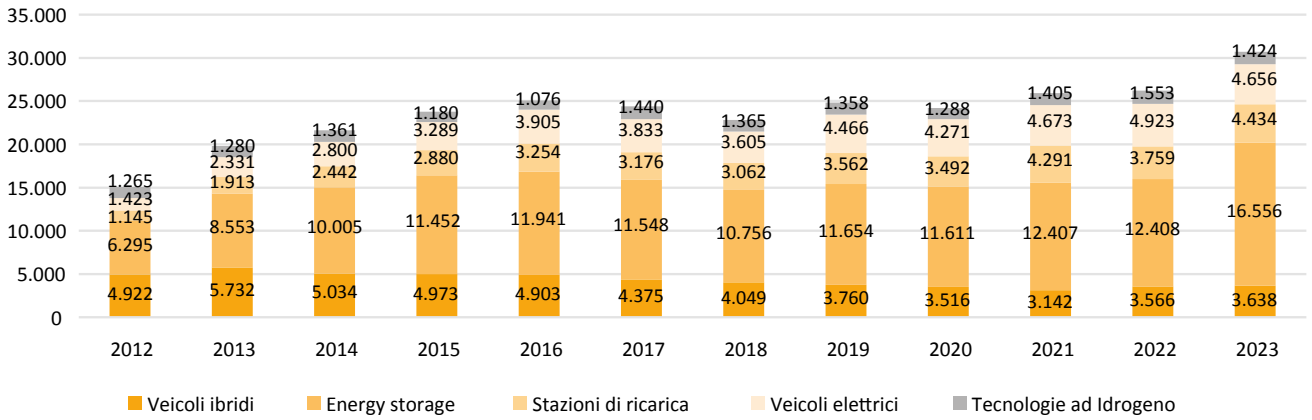
Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024

Secondo le stime di Fiorini et al. (2017), l'edizione primaverile 2016 di PatStat offriva dati completi per l'anno 2012, una copertura parziale circa al 75% per il 2013 e una soltanto iniziale al 30% per il 2014. Utilizzando questa stessa logica temporale all'edizione autunnale 2024, ovvero quello utilizzata nell'analisi, si può affermare che una certa sicurezza che i dati al 2021 siano ormai completi, quelli relativi al 2022 hanno raggiunto un buon consolidamento, mentre quelli del 2023 sono ancora in una fase iniziale e più provvisori. Nonostante questo fatto, l'inclusione dei dati più recenti, relativi al 2023, può comunque consentire di cogliere alcune tendenze emergenti e tracciare delle prime ipotesi sull'evoluzione brevettuale. Tramite le future edizioni del rapporto, sarà interessante verificare se queste prime osservazioni saranno confermante dalla progressiva consolidazione dei dati.

Nonostante si tratti di dati ancora parziali, nell'ultimo periodo in esame, ovvero tra il 2022 e il 2023, si è registrato un discreto aumento nella concessio-

Fig. 2.8: Distribuzione dei brevetti per tecnologia (2012-2023)

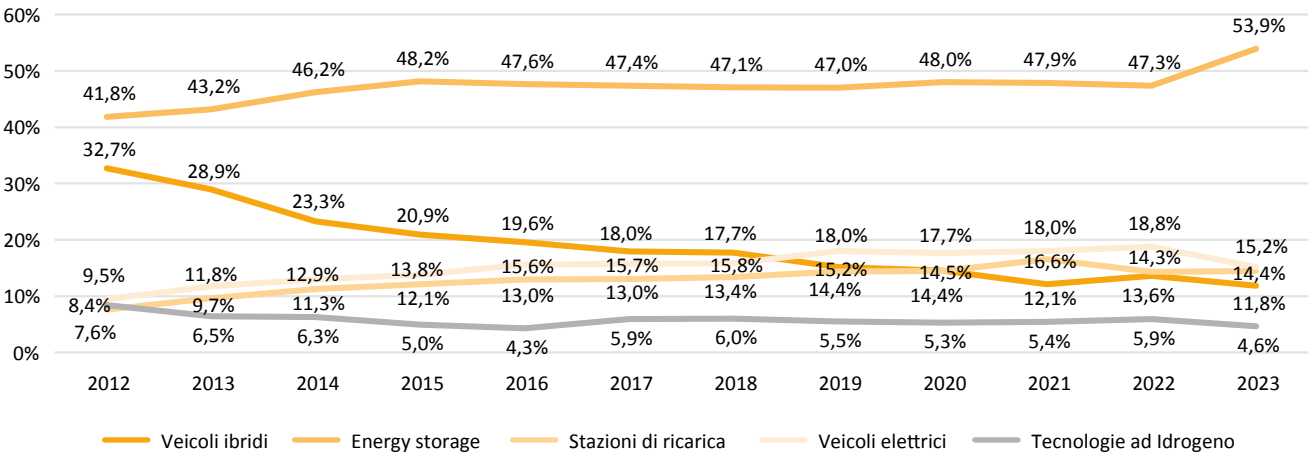
Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024



ne di brevetti a livello mondiale, ad oggi pari ad un +17,2% e principalmente dovuto all'incremento riferito all'energy storage e alle stazioni di ricarica (+33% e +18%, rispettivamente). Nel periodo 2012-2023, si tratterebbe del secondo dato in ordine di grandezza, in quanto l'incremento maggiore si era registrato nel 2013, sull'anno precedente (+31,6%). L'incremento medio annuale, sull'intero periodo, è stato pari al 7,2%, determinando un aumento dell'attività che ha portato dai 15.050 brevetti del 2012 a superare i 30.000 nel 2023 (Fig. 2.8). Tra le tecnologie considerate, l'energy storage si conferma la predominante in termini di brevettazione dal 2012. Circa il 54% dei brevetti concessi nel 2023 fa riferimento a questa tecnologia. Si continua invece a segnalare una tendenza decrescente nell'incidenza relativa dei veicoli ibridi, mentre le quote delle altre tecnologie sono generalmente stabili (Fig. 2.9).

Fig. 2.9: Andamento temporale dell'incidenza relativa delle varie tecnologie sul totale campionario (2012-2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024



2.3. IL PROGRESSO DEI BREVETTI IN ITALIA

Nonostante, come riportato in precedenza, gli ultimi dati disponibili siano ancora provvisori possiamo verificare come l'attività brevettuale italiana sia tendenzialmente stabile nel tempo. L'Italia ha depositato complessivamente, dal 2012 al 2023, per le tecnologie considerate, un totale di 1.065 brevetti di cui 96 nel 2023, con una media di circa 89 brevetti emessi all'anno.

Dopo il punto di minimo nel 2017 e la rapida ripresa nel 2018, l'Italia ha mantenuto un andamento pressoché stabile dell'attività brevettuale. Il dato al 2023 evidenzia una crescita rispetto all'anno precedente del numero di brevetti dell'8%, che va quasi completamente a compensare la riduzione registrata nel 2022 sul 2021 (-9%) e una crescita media su base annuale pari all'8,2% (Fig. 2.10).

In linea con quanto già osservato nell'analisi globale, la principale tecnologia interessata dall'innovazione è nuovamente l'energy storage. Per questa tecnologia, tra il 2012 e il 2023 sono stati depositati ben 474 brevetti, complessivamente. Il secondo settore è quello dei veicoli ibridi, con 351 titoli. Questi due settori, presi assieme, sono i destinatari del 77,5% dell'attività brevettuale per le categorie considerate (rispettivamente 44,5% per l'energy storage e 33% per i veicoli ibridi). Le posizioni intermedie sono invece occupate dai veicoli elettrici (122 titoli) e dalle stazioni di ricarica (104 titoli) che rappresentano l'11,8% e il 9,8%, rispettivamente. Meno rilevanti risultano le tecnologie ad idrogeno, che al 2023 ammontano complessivamente a 14 e rappresentano una quota minoritaria dell'1,3% (Fig. 2.11 e 2.12).

Analizzando la composizione percentuale dei brevetti italiani riguardanti la mobilità elettrificata al 2015 e al 2023, possiamo esaminare i cambiamenti avvenuti in questo arco temporale. La categoria dell'energy storage è sempre quella predominante, anche se la relativa quota è calata, passando dal 55% al 46%. Rispetto al 2015, ma anche a quanto evidenziato negli ultimi due rapporti relativi ai dati 2021 e 2022, è possibile riscontrare una differenza sostanziale. I veicoli ibridi, in termini di incidenza percentuale, occupavano stabilmente il secondo posto dal 2012. Nel 2023, per la prima volta, questa tecnologia viene sorpassata sia dai veicoli elettrici (23%), che dalle stazioni di ricarica (17%), raggiungendo una quota pari al 15%. Questo dato conferma sia quanto osservato nell'ana-

Fig. 2.10: Andamento dei brevetti depositati in Italia in ambito mobilità elettrificata (2012-2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024

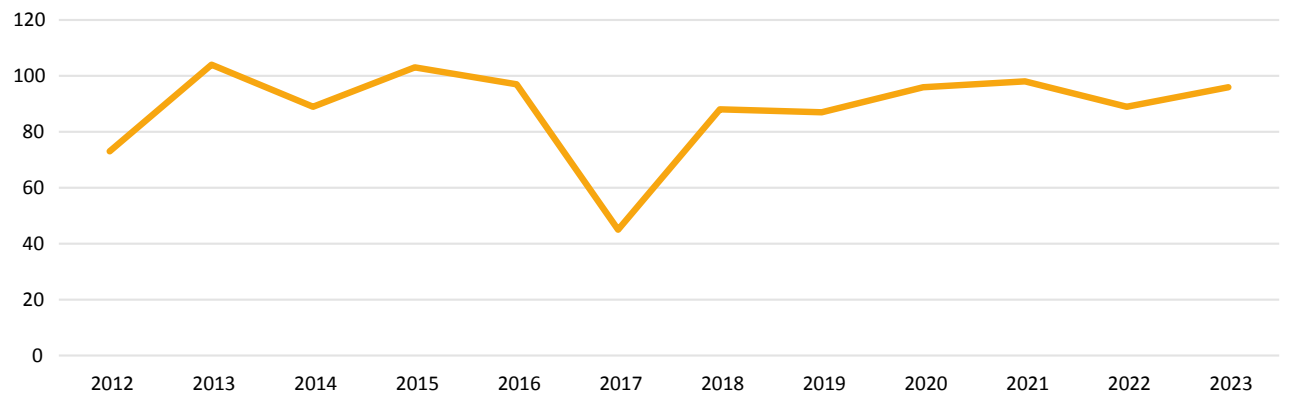


Fig. 2.11: Brevetti depositati in Italia in ambito mobilità elettrificata, per tecnologia (2012-2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024

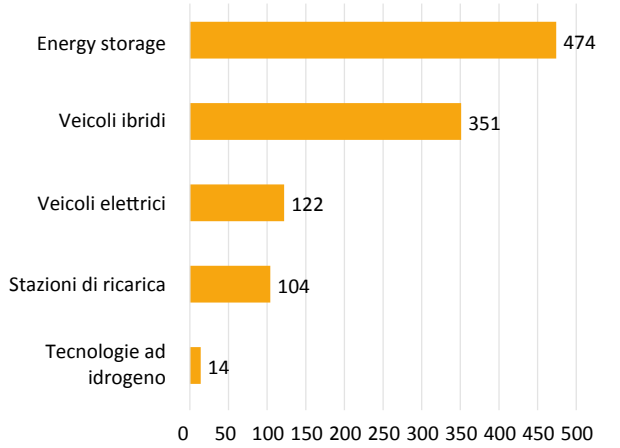
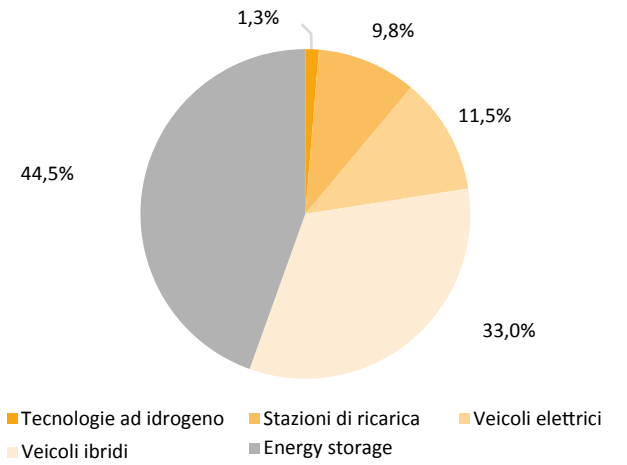


Fig. 2.12: Brevetti depositati in Italia in ambito mobilità elettrificata, incidenza per tecnologia (2012-2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024



lisi a livello globale, ma anche quanto già riportato nella precedente edizione riguardante la sempre più evidente diminuzione dell'incidenza dei veicoli ibridi sulla composizione annuale dei titoli emessi (Fig. 2.13). In sintesi, tra il 2015 e il 2023, i veicoli ibridi perdono 14,5 punti sull'incidenza percentuale, al contempo guadagnano 17,1 punti i veicoli elettrici e 11,8 punti le stazioni di ricarica. Nessuna variazione rispetto alla tendenza storica per le tecnologie a idrogeno che rimangono in ultima posizione.

Fig. 2.13: Variazione nel tempo della composizione percentuale dei brevetti italiani, per tecnologia

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024

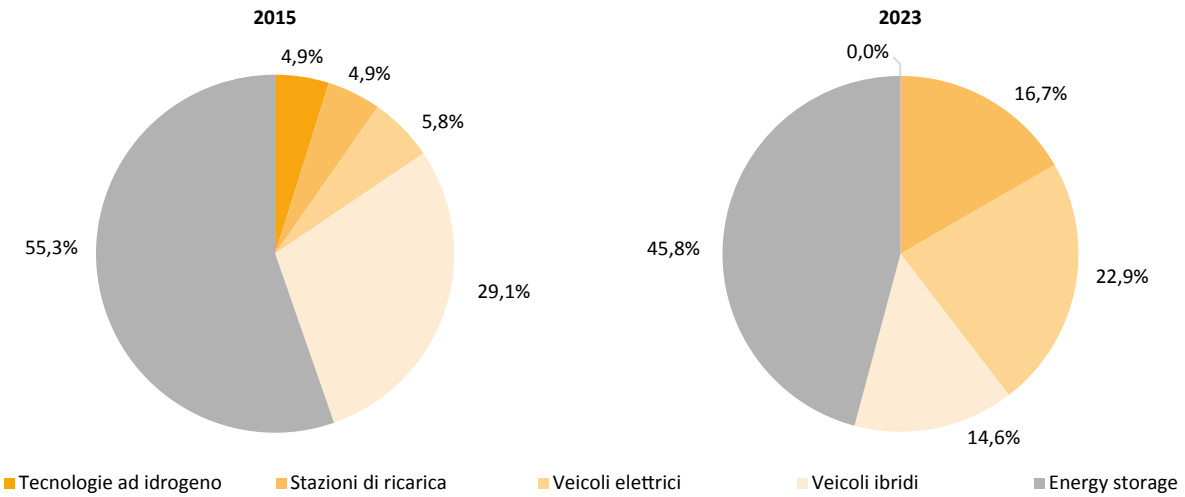
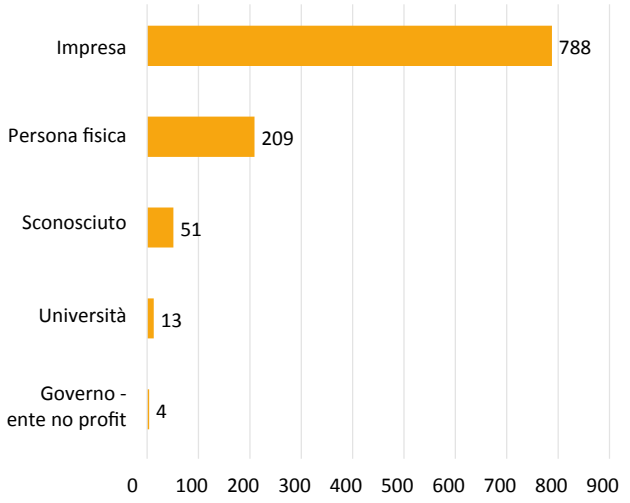


Fig. 2.14: Brevetti depositati in Italia in ambito mobilità elettrificata, per tipologia di richiedente (2012-2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024

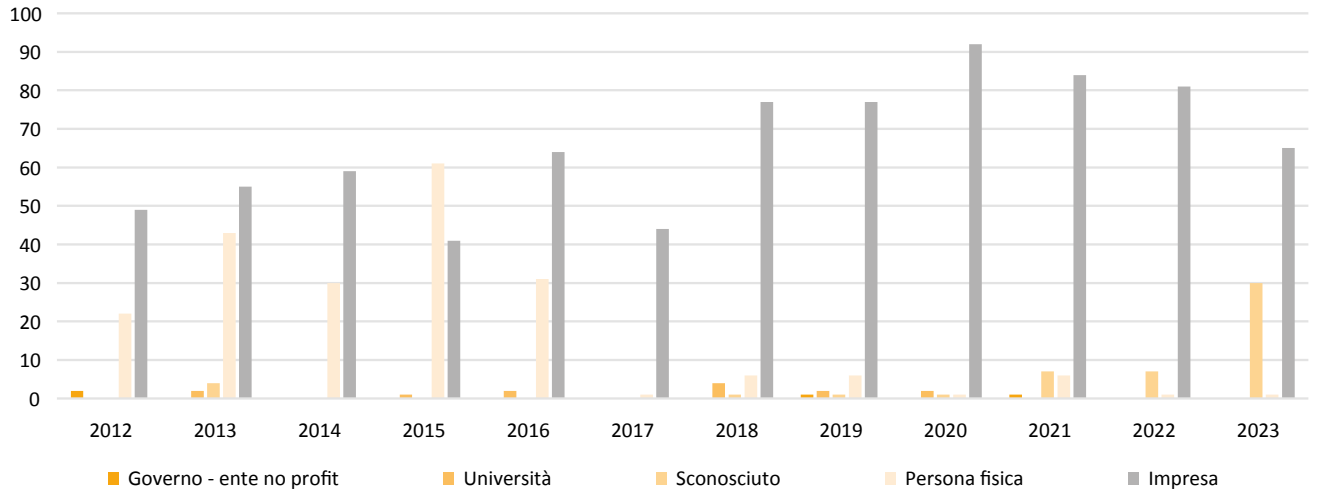


L'innovazione nell'ambito della mobilità elettrificata in Italia è quasi completamente riconducibile alle imprese e alle persone fisiche. Tra il 2012 e il 2023, le imprese hanno depositato un totale di 788 brevetti, le persone fisiche hanno invece depositato 209 brevetti, determinando assieme il 94% del totale. I brevetti riconducibili a Università sono invece soltanto 13, quelli provenienti da enti pubblici o no profit si fermano a 4. I brevetti depositati da richiedenti non riconducibili alle categorie presentate sono 51 e rappresentano il 5% del totale (Fig. 2.14).

Analizzando l'evoluzione storica delle richieste di brevetti per tipologia di richiedente, notiamo come fino al 2016 le persone fisiche avevano un ruolo più rilevante nell'attività di brevettazione. A conferma di ciò, è interessante osservare come nel 2015 i brevetti depositati da persone fisiche avevano addirittura superato quelli riconducibili alle imprese. A partire dal 2017 però l'attività certificata delle persone fisiche è calata drasticamente, ad esempio, tra il 2012 e il 2016, le persone fisiche depositavano una media di 37 brevetti all'anno, mentre dal 2017, questo valore è sceso a soli 3 brevetti annui. Dall'altro lato, le imprese dominano il settore stabilmente, con una media di circa 80 brevetti all'anno dal 2018 in poi. Rimane invece residuale e saltuario l'apporto derivante dalle università, enti pubblici o no profit (Fig. 2.15).

Fig. 2.15: Brevetti depositati in Italia in ambito mobilità elettrificata, per tipologia di richiedente (2012-2023)

Fonte: elaborazioni I-Com su dati PatStat, edizione autunno 2024



icom 20 05 25
istituto per la competitività

CAPITOLO 3

LA DIFFICILE CORSA VERSO UNA MOBILITÀ CLIMATICAMENTE NEUTRALE

3.1. INTRODUZIONE

L'Unione Europea (UE), come ormai noto ai più, è impegnata (ben) più di altri a raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. Un traguardo ambizioso che richiede il contributo di tutti i paesi e di tutti settori. Tra questi ultimi quello dei trasporti è l'unico che continua a generare un impatto climatico superiore a quello registrato nel 1990, mostrando una modesta flessione del 6% rispetto al 2005 e contribuendo per più del 25% del totale delle emissioni di gas a effetto serra.

Oltre il 70% delle emissioni dei trasporti UE è ascrivibile alla mobilità su gomma, ancora largamente alimentata da carburanti di origine fossile (più del 92% a fronte di una media mondiale che a seconda delle fonti varia tra il 95 e 97%). Più del 60% di queste emissioni, ovvero circa il 15-17% delle emissioni totali di gas a effetto serra nell'Unione, possono essere attribuite alle automobili.

La strategia prioritaria scelta dai *policy-maker* europei per la decarbonizzazione del parco circolante è la sostituzione delle auto in circolazione con vetture nuove, meglio ancora se elettriche, ma non sta portando i frutti sperati. Anzi, l'industria dell'automobile si trova in grande affanno, e nell'Unione Europea le cose vanno anche peggio che altrove. Le immatricolazioni del 2025 stanno procedendo a ritmi inferiori, anche se di poco, al 2024, e si è ancora molto lontani dai volumi precedenti al dilagare della pandemia da COVID-19. Volumi che non sono stati affatto recuperati, nonostante le immatricolazioni di autovetture elettriche mediamente nell'UE vadano piuttosto bene, con una crescita superiore al 28% nel primo quadrimestre di quest'anno rispetto al 2024. Una crescita che però resta insufficiente rispetto a quanto (era) mediamente previsto dalle norme UE. La quota di mercato è cresciuta infatti fino al 15,4% (dato aggiornato a maggio), ma avrebbe dovuto essere almeno intorno al 22%; un divario talmente ampio da rendere necessaria una correzione del regolamento 2023/851 (v. *infra*).

I tempi peraltro paiono maturi per vagliare (e, invero, adottare piuttosto in fretta) altre strategie da affiancare alla sostituzione delle autovetture in circolazione con auto nuove, in particolare elettriche. Ad oggi, infatti, le automobili a combustione interna in circolazione, anche non tutte (totalmente) alimentate da combustibili di origine fossile, sono oltre 1,4 miliardi e continua crescita, mentre le emissioni di anidride carbonica (CO_2), il cui ultimo dato disponibile è quello del 2023, sono superiori a quelle del 2018.

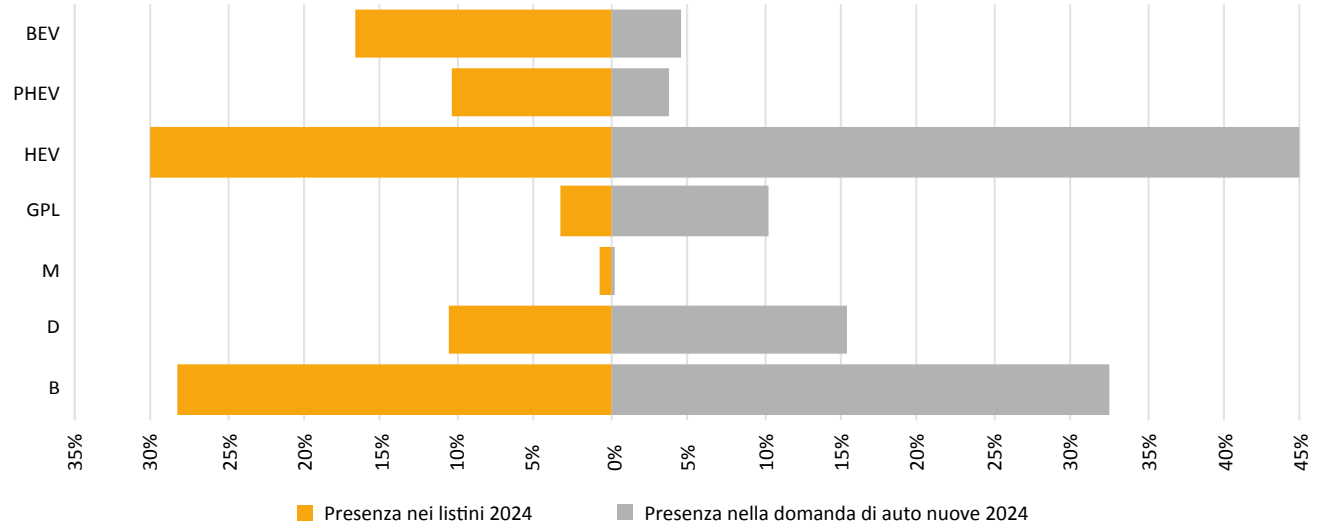
3.2. OFFERTA E DOMANDA DISALLINEATE

Nelle edizioni precedenti del presente rapporto abbiamo appurato come i regolamenti varati sin dalla fine degli anni duemila, dunque dal 443/2009, hanno avuto un crescente impatto innanzitutto sul lato dell'offerta; in particolare sulla gamma dei modelli proposti che ha visto crescere il numero di modelli ibridi, ibridi plug-in ed elettrici. Con le ultime due tipologie, considerate a basse e zero emissioni, specificatamente spinte dai regolamenti UE (I-Com, 2024). Anche se l'approvazione del Regolamento 2023/851 è stata subordinata ad una significa apertura verso i carburanti climaticamente neutri, ancorché di origine non biologica (in particolare gli elettrocarburanti, più noti come *e-fuel*), la scelta dell'UE di introdurre obiettivi specifici per le emissioni di CO_2 calcolate allo scarico in fase di omologazione e di modularle tali obiettivi in base alla massa del veicolo ha avuto un notevole impatto sulle decisioni di produzione delle case automobilistiche e sui modelli di auto presenti nei listini europei.

Le norme negli ultimi anni hanno, infatti, inciso significativamente sul lato dell'offerta; tuttavia, non ci sono affatto stati cambiamenti simmetrici sul lato della domanda, in Italia anche più che altrove.

Fig. 3.1: Presenza nei listini e immatricolazioni in Italia per motorizzazione e alimentazione: elettriche, plug-in, ibride, GPL, metano, diesel, benzina. Anno 2024

Fonte: elaborazioni su dati di listino, ACI, Eurostat e Unrae. Ultimo accesso febbraio 2025



L'insufficiente domanda di vetture elettriche – nel 2024 la quota tra le immatricolazioni è stata del 13,6%, troppo bassa per evitare sanzioni alla gran parte delle case automobilistiche stimate in oltre 13 miliardi di euro – ha costretto la Commissione a intervenire con un emendamento[11] che spalma gli obiettivi da conseguire entro il 2025 fino al 2027.

Per avere un'idea di massima del divario medio, si possono citare i dati relativi al nostro Paese (terzo mercato nazionale dell'Unione, dopo Germania e Francia): le emissioni italiane delle auto immatricolate nel primo quadrimestre del 2025 si attestano a 121,3 grammi di CO_2 per km percorso[12], peraltro in aumento rispetto al 2024, a fronte di un target medio di 93,6 gCO_2/km.

Il disallineamento tra domanda e offerta, nonostante i numerosi incentivi – diretti e indiretti, economici e non – a favore delle autovetture elettriche, è stato ormai interiorizzato: tutte le case automobilistiche hanno rivisto e posticipato piani e obiettivi di elettrificazione (ri)focalizzandosi, all'insegna della flessibilità, su modelli ibridi. Citiamo solo l'ultima notizia disponibile al momento della chiusura di questo rapporto: il prosieguo dello sviluppo dei motori endotermici anche dopo il 2033 da parte di Audi, che aveva ambiziosi e rapidi piani di totale elettrificazione.

11 In attesa del passaggio in Consiglio dell'Unione Europea, l'8 maggio è stato approvato dal Parlamento, con procedura d'urgenza, quindi senza passaggi nelle Commissioni competenti.

12 I gCO_2/km sono solo un altro modo per esprimere i litri di carburante consumati per km percorso: più km si percorrono con un litro, minori sono le emissioni. Nel calcolo vengono considerate le sole emissioni allo scarico, da qui il vantaggio e lo status di vetture ad emissioni zero per le auto elettriche, a prescindere da mix di generazione utilizzato per produrre e ricaricare la vettura.

3.3. LE AUTO INCREMENTALI NON ACCELERANO LA DECARBONIZZAZIONE

Anche se l'attenzione mediatica (per disponibilità di dati e ovvio interesse delle case automobilistiche) è in gran parte concentrata sulle immatricolazioni delle nuove auto per capire come stiamo andando sul piano della decarbonizzazione e sugli effettivi cambiamenti nel muoversi di noi tutti, è più utile concentrarsi sul totale delle autovetture in circolazione, anche perché qui le cose si complicano, e di parecchio. Il parco automobilistico UE al 2024 può essere stimato in quasi 260 milioni di vetture, di queste poco più di 6 milioni sono elettriche (da notare che lo scorso anno sono arrivate su strada 10,6 milioni di auto nuove, di cui solo il 13,6% elettriche).

Un indicatore dell'effettiva diffusione delle vetture mosse soltanto ad energia elettrica a discapito delle altre alimentazioni è data dal saldo, vale a dire dal numero di vetture che si aggiungono (o si sottraggono) a quelle già in strada. Va innanzi tutto ricordato che finora il saldo è sempre stato positivo, tant'è che il parco circolante continua inesorabilmente a crescere (Bonacina e Sileo, 2025).

Se si confrontano i saldi, calcolato come differenza tra immatricolazioni e radiazioni (auto che entrano meno auto che escono dal parco), si nota come negli ultimi anni il saldo delle sole vetture elettriche sia cresciuto, anche se tra 2024 e 2023 c'è stata una flessione, mentre quello delle vetture non elettriche abbia avuto un andamento altalenante (Sileo, 2025a).

Nei prossimi anni il saldo elettrico, innanzi tutto per via delle norme, dovrebbe crescere; tuttavia, perché si possano vantare risultati sul piano della decarbonizzazione, è necessario che contestualmente il totale circolante decresca. Altrimenti le vetture elettriche non staranno sostituendo le endotermiche, ma solo aggiungendosi (Bonacina e Sileo, 2024).

Cosa che, in verità, nell'Unione Europea (e anche nel resto mondo) sta puntualmente avvenendo. Negli ultimi anni, purtroppo proprio in concomitanza con

Fig. 3.2 Incrementi netti annuali nel parco automobilistico UE (2015-2026)

Fonte: elaborazioni su dati ACEA ed Eurostat, 2025
* 2024 dati provvisori

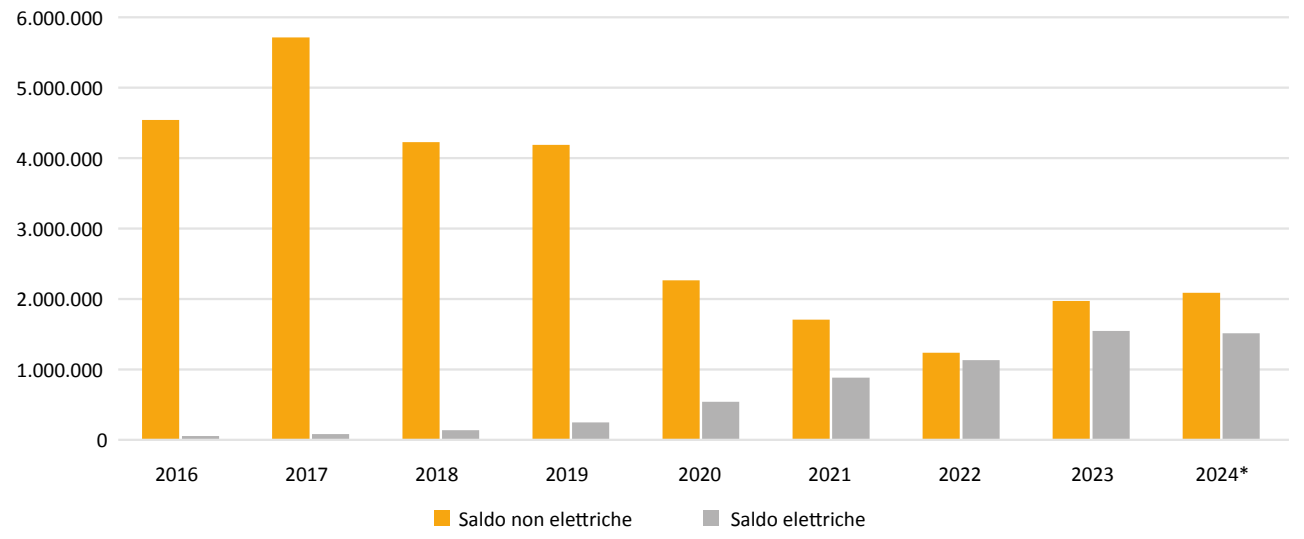
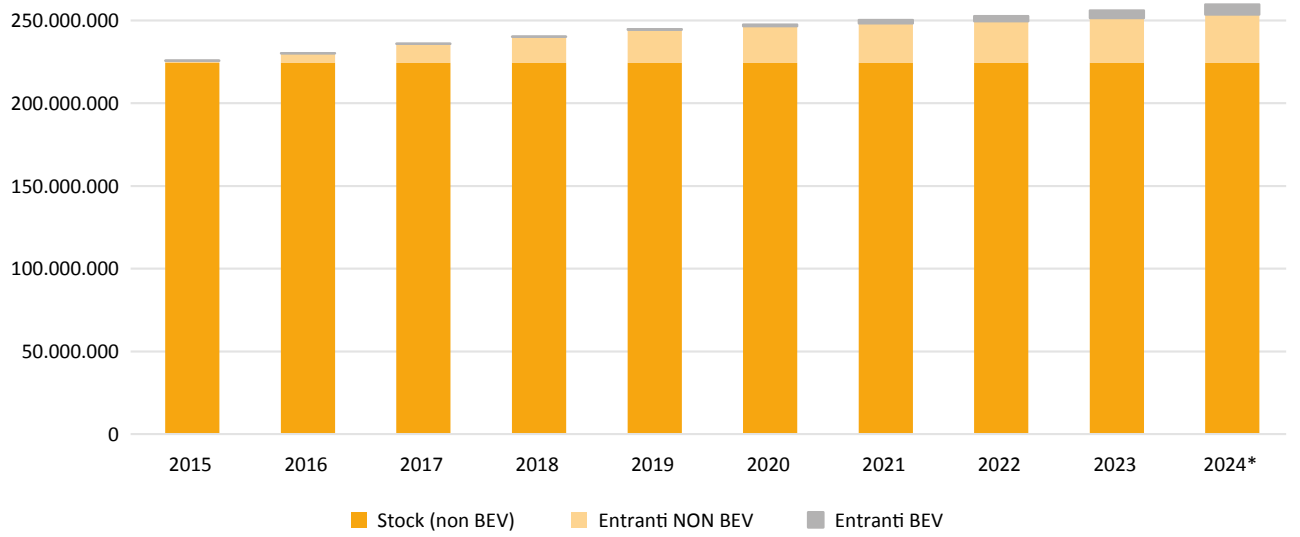


Fig. 3.3: Andamento del parco circolante e del saldo (elettrico e non) nell'Unione Europea (2015-2024*)

Fonte: elaborazioni su dati ACEA ed Eurostat, 2025
* 2024 dati provvisori



i cambiamenti sul lato dell'offerta avvenuti molto più *ex lege* che per spinta del mercato, vi è stata una significativa riduzione del peso percentuale delle immatricolazioni sul circolante attestatasi al 3,5% degli anni più recenti (negli anni '80 del secolo scorso era dell'8%).
Una contrazione che ha reso sempre più marginale l'effetto dei cambiamenti nelle nuove immatricolazioni sullo stock in circolazione e ha allungato i tempi di sostituzione delle vetture in uso con le nuove.

3.4. IL PARCO ITALIANO, PUR CAMBIANDO, CONTINUA A CRESCERE

Un contesto e un futuro che paiono dunque particolarmente complessi con un percorso tutto in salita. Come dimostra il parco italiano di cui disponiamo dei più recenti dati pubblicati dall'ACI.
Nel nostro Paese nel 2024 il numero delle auto targate è cresciuto di oltre 425 mila unità rispetto al 2023 arrivando a superare la fantasmagorica cifra di 41 milioni, 41.340.516 unità per essere precisi. In questo enorme insieme, le automobili mosse da sola energia elettrica non sono neanche 280 mila, meno di 7 su 1000.
Dati questi numeri, a cui possiamo tranquillamente sottrarre alcuni milioni di auto iscritte al Pubblico Registro Automobilistico (PRA) ma di fatto non circolanti, è semplicemente impossibile che si possano sostituire tutte le auto con targa italiana in 25 anni. Anche considerando che nei prossimi anni si ridurrà di parecchio il numero degli Italiani o ipotizzando una riduzione forzata del parco di una certa efficacia. E poiché le auto con registrate in nel Bel Paese rappresentano un sesto di tutto quelle circolanti nell'intera Unione, anche la neutralità climatica di quest'ultima pare incrinarsi.
Questi basilari argomenti dovrebbero essere tra i migliori per decidersi ad affiancare altro, come la decarbonizzazione dei carburanti, alla strategia di totale elettrificazione. E chissà che non vengano chiamati

efficacemente nella discussione sulla revisione del regolamento 2023/851 anticipata a fine 2025 proprio perché i conti non tornano.

Interessante comunque vedere l'evoluzione del parco auto italiano a partire dal 2015, primo anno in cui hanno iniziato a manifestarsi, anche se più sul lato dell'offerta che della domanda, gli effetti della spinta imposta del Regolamento (CE) 443/2009, e appuntare qualche dato del tutto nuovo.

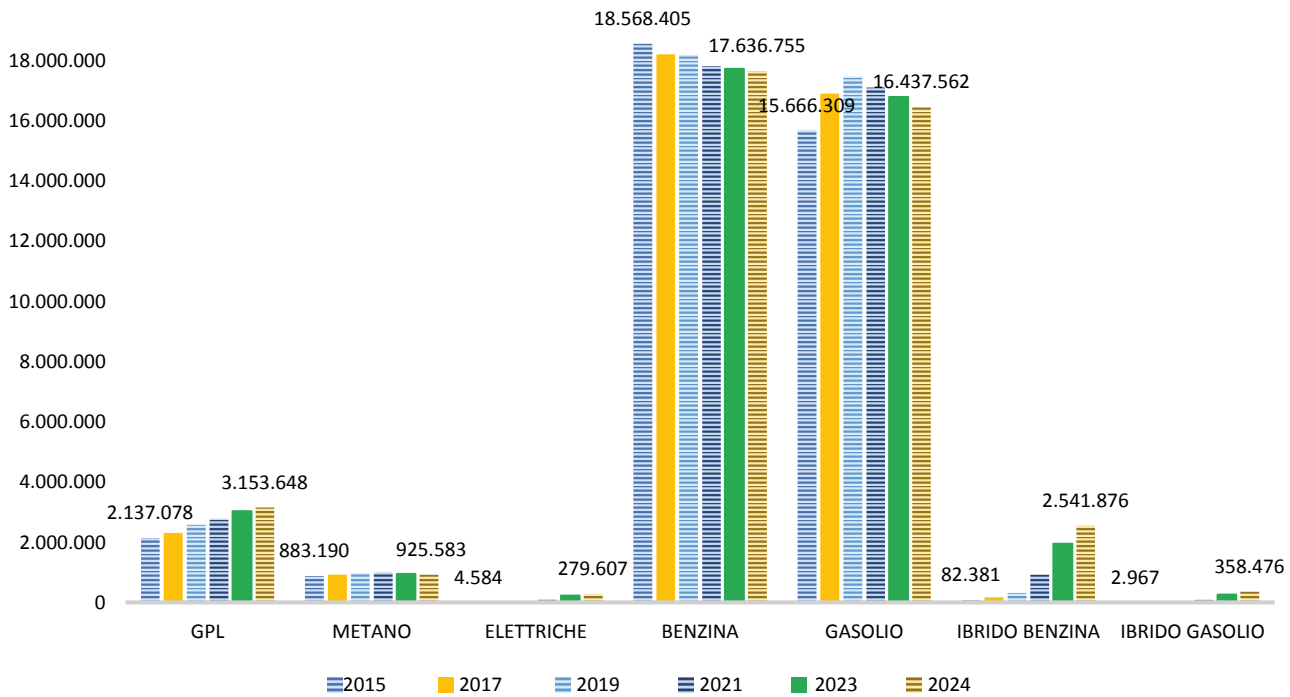
Confermate le tendenze degli anni scorsi con le automobili alimentate a benzina e gasolio in flessione, ma comunque del tutto irraggiungibili, prosegue la corsa sostenuta delle ibride a benzina, trainata dalla Panda ancora una volta la più immatricolata in Italia (da sola 6,3% del totale), inesorabile la crescita del GPL, che in dieci anni ha guadagnato un milione di unità, preoccupante la situazione del metano. Dopo il picco raggiunto nel 2021, con poco meno di 985 mila unità, le auto a gas naturale hanno imboccato una parabola discendente la cui pendenza va aumentando: 925 mila le auto circolanti a fine 2024 (mille in più del 2017). La scomparsa di modelli dai listini del nuovo inizia a farsi sentire, un vero peccato se si pensa alle crescenti quote di biometano specificatamente destinate ai trasporti stradali.

Non vanno male, e ben meglio delle elettriche, le ibride a gasolio, tra cui vanno annoverate anche le *plug-in*. Registriamo, peraltro, che mancando specificatamente sulla carta di circolazione la dicitura "ibrida ricaricabile," manca il numero ufficiale di auto *plug-in* circolanti in Italia.

Tra le curiosità vanno annotate 152 vetture alimentate a gasolio e gas (ci pare di capire da dividere tra GPL, la gran parte, e metano) e l'iniziare a combinar-

Fig. 3.4: Andamento parco circolante automobilistico italiano, suddiviso per alimentazioni, nel 2015, 2017, 2019, 2021, 2023 e 2024

Fonte: elaborazioni su dati ACI 2025



si delle storiche alimentazioni alternative con l'aiuto elettrico: 5 le auto ibride (elettriche) benzina metano e 600 le ibride (elettriche) benzina GPL. Siamo certi che queste ultime nel 2025 continueranno a crescere. Come temiamo il resto dello stock circolante.

3.5. GLI AUTO-DAZI EUROPEI

La questione dazi, per l'Unione Europea in particolare, impatta su un contesto ben difficile, tanto che si potrebbe parlare di un pettine a denti stretti che sta portando in evidenza sempre più nodi generati dalla regolamentazione che pare troppo disallineata da preferenze e bisogni dei consumatori[13].

Una ulteriore riprova, autorevole e interessante, la si è avuta nella lunga intervista congiunta rilasciata a Le Figaro dal presidente e AD pro tempore di Stellantis, John Elkann, e dall'allora amministratore delegato di Renault, Luca De Meo, dal titolo piuttosto eloquente: "Quest'anno si decide il destino dell'industria automobilistica europea"[14], che pure riporta l'attenzione sulla crucialità del 2025 (Sileo, 2025b).

Nel sottolineare la perdita di volumi (v. *supra*) – per un settore che genera 400 miliardi di euro l'anno di sole entrate fiscali – si suggerisce di ripartire dal lato della domanda, offrendo automobili a prezzi accessibili. Questione che per bocca stessa degli intervistati porta subito in evidenza lo scontro tra due visioni dell'auto europea, con una critica, abbastanza esplicita, all'industria tedesca, più o meno premium, preoccupata un po' più di esportare, che del mercato interno (Sileo, 2025c).

Le auto da cui ripartire per de Meo e Elkann sono quelle piccole, segmenti B e A, di cui Francia e "Italia" (Renault è francese, Stellantis non proprio) sono storicamente grandi acquirenti (la Clio è stata l'auto più venduta in Francia nel 2024, la Panda in Italia). Nella battaglia per l'auto popolare viene inclusa anche la Spagna, quarto mercato UE, vettura più venduta Dacia Sandero (sempre di casa Renault).

Proprio queste vetture però sono quelle più penalizzate dalle numerose regole europee, che sono state perpetuate negli ultimi vent'anni portando sul mercato auto sempre più complesse, più pesanti e, inevitabilmente, più costose.

Di questo passo il prezzo di una Clio, tra il 2015 e il 2030, sarà cresciuto del 40%, di cui oltre il 90 da attribuire alle norme.

De Meo addirittura cita le norme sulla sicurezza obbligatorie e identiche per tutti, con un evidente maggiore aggravio di costi per le vetture più piccole: se l'aggravio di costo è identico per una piccola auto e per una grande berlina è evidente che il margine eroso per la piccola sarà molto maggiore.

Pur non chiedendo aiuti, anzi sfiduciando di fatto la cieca politica di incentivi alle elettriche, insieme citano lo storico esempio delle *kei cars*, le vetturette ultra compatte giapponesi, che da oltre 70 anni beneficiano di una serie di vantaggi fiscali.

Da notare l'esplicita critica alla mancanza di neutralità tecnologica, che a nostro avviso rappresenta il principale degli auto-dazi evocati da Mario Draghi. "Il mercato non compra quello che l'Europa vuole che noi vendiamo. In queste condizioni non riusciremo a sostituire la totalità dei volumi attuali con l'elettrico" e "non siamo nostalgici del XX secolo. Siamo industriali del XXI secolo, capaci di offrire al maggior numero di persone una gamma di prodotti completa, dal tutto elettrico all'ibrido e al termico di nuova generazione" le parole dette rispettivamente da de Meo ed Elkann.

13 Da notare tra i numerosi effetti collaterali, non previsti e non necessariamente negativi, la discesa dei prezzi del petrolio (di cui traggono diretto beneficio i paesi consumatori e, non certo ultima, la Federazione Russa).

14 *"John Elkann et Luca de Meo: «Le sort de l'industrie automobile européenne se joue cette année", Le Figaro 5 maggio 2025.*

Al contempo, viene manifestamente rimproverata la poca e lenta capacità di reazione della Commissione presieduta da Ursula von der Leyen, a cui si chiedono le stesse "politiche industriali forti" messe in campo da Cina, Stati Uniti e anche dalle regioni emergenti (India e Sud America).

3.6. PIÙ ATTENZIONE AI CONSUMI

In questo contesto tanto difficile quanto magmatico, crediamo sarebbe utile, anzi opportuno, lavorare a ulteriori strategie da affiancare alla sostituzione del circolante con il nuovo alimentato con energia elettrica. Se infatti la decarbonizzazione del vettore elettrico procede relativamente spedita (con la crescente diffusione di impianti di produzioni di fonti rinnovabili e, di recente, anche di sistemi di accumulo per valorizzarne la produzione di eolico e fotovoltaico), la diffusione e l'uso delle autovetture e più in generale dei mezzi alimentati da energia elettrica è – e ci azzardiamo a dire sarà – ben più lenta.

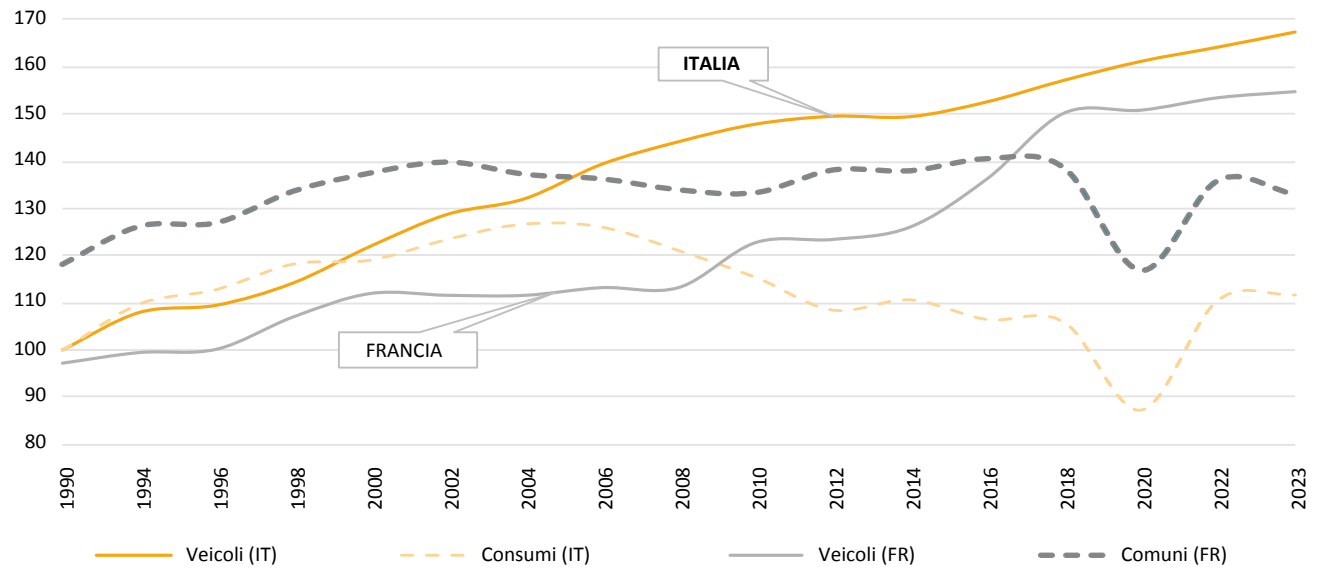
Sotto questo sempre più rilevante profilo, maggiore attenzione andrebbe prestata – semplicemente – ai consumi di carburanti fossili e dunque alle emissioni climalteranti.

Emissioni che sono diretta conseguenza dell'uso dei veicoli. E infatti basterebbe usare (molto) meno e (molto) meglio i mezzi in circolazione per abbattere le emissioni. Cosa, sia chiaro, facile solo a dirsi.

Un esempio illuminate a tal proposito viene dal confronto tra i parchi veicolari francese e italiano. Il secondo è più numeroso (di oltre 1,8 milioni se si considerano le sole autovetture) ed ha un'età media significatamene più alta (sia per auto e fugoni che per mezzi pesanti a bus), eppure i veicoli con targa francese consumano e dunque emettono (ben) di più di quelli con targa italiana. Nonostante le età medie in tutte le categorie di autoveicoli siano maggiori in Italia che in Francia e che i mezzi alimentati da energia elettrici siano molti di più in Francia che in Italia: 2,2%

Fig. 3.5: Consumi e parco veicoli normalizzato in Italia e Francia (Italia 1990=100) 1990-2023

Fonte: elaborazioni su dati Eurostat. Ultimo accesso febbraio 2025



del totale circolante contro 0,5% per le auto, 1,6% contro 0,4% per i veicoli commerciali leggeri, 2,4% contro 1,3% per i bus[15] (ACEA, 2025).

3.7. ANCHE IL MOTORSPORT CORRE VERSO LA DECARBONIZZAZIONE*

Un ambito dove alacremente si lavora per neutralizzare le emissioni dei carburanti utilizzati nei motori a combustione interna è quello degli sport motoristici. La Federazione Internazionale dell'Automobile (FIA), che raggruppa oltre 240 club automobilistici di 144 Paesi, insieme a tutti partner europei, sta velocemente percorrendo la strada che porta a un futuro più pulito e accessibile per il Motorsport.

La Formula 1 è in pole position per realizzare un obiettivo ambizioso: diventare totalmente *carbon neutral* entro il 2030. Un traguardo che vuole raggiungere attraverso infrastrutture resilienti, innovazione e un approccio basato sulla neutralità tecnologica. La Formula 1 ha intrapreso la via della sostenibilità da diversi anni. Nel 2022 è stato introdotto il carburante E10 (composto per il 90% da carburante fossile e per il 10% da etanolo rinnovabile). Un primo ma importante passo nella roadmap verso la neutralità (FIA, 2023). Nel 2025 è stato raggiunto un altro traguardo: in F1 sono stati introdotti una nuova generazione di *powertrain* alimentati al 100% da bio-carburanti ricavati da fonti rinnovabili. Entro il 2026 la F1 ammetterà solamente vetture alimentate a *e-fuel* (FIA, 2024).

La nuova generazione di motori F1 avrà un apporto di potenza 50/50 tra motore a combustione interna e motore elettrico. Il mix di carburanti sostenibili e lubrificanti specifici assicurerà prestazioni e durata simili a quelle a cui il pubblico è abituato. Da notare che poi che entrerà in gioco un nuovo importante fattore: le prestazioni dei carburanti. Infatti, il Regolamento F1 2026 lascia libertà ai fornitori e ai motoristi di sviluppare diverse molecole di carburante. Gli unici limiti sono i parametri di ecosostenibilità e le curve di distillazione. Un'apertura che favorisce una stretta collaborazione tra fornitori di carburante e motoristi per ottimizzare prestazioni, affidabilità e potenza. Allo stesso tempo, le differenze di prestazione tra carburanti potrebbero raggiungere i 30-50 cavalli. La scelta della FIA di lasciare ai costruttori la possibilità di sviluppare liberamente le proprie formulazioni promette anche di favorire l'innovazione e la diffusione di carburanti sintetici per la mobilità di massa, abbassando anche i prezzi per produrre i combustibili green. Infatti, la realizzazione di *e-fuel* rimane costosa, benché Saudi Aramco e Porsche prevedono un notevole taglio dei costi entro il 2050[16].

Nella lista dei principali partner nello sviluppo di carburanti sintetici troviamo nomi illustri ma anche illustri sconosciuti come Zero Petroleum, startup fondata dall'ex ingegnere F1 Paddy Lowe, che produce carburanti sintetici con il processo Fischer-Tropsch.

Il motorsport si conferma così un laboratorio per la transizione sostenibile della mobilità a quattro ruote: la "neutralità tecnologica" è ancora la parola d'ordine del cammino verso la decarbonizzazione. Infatti, nel futuro di tutte le vetture da corsa non ci sono solo *e-fuel* ma anche biocarburanti (prodotti da biomassa di scarto/vino, che riduce le emissioni del 65 % rispetto al fossile come nel campionato del mondo FIA WEC) e l'idrogeno. I motori a combustione alimentati da questo vettore stanno guadagnando quota come soluzione rapida per la decar-

15 Dati aggiornati al 2023, quasi irrilevante la presenza di mezzi pesanti alimentati da energia elettrica.

16 Reuters, "Aramco still pursuing deals while keeping Renault-Geely engine jv stake at 10%, executive says", settembre 2024.

Edoardo Lisi

bonizzazione. In particolare, nell'ultimo anno hanno attirato l'interesse di off-road e endurance. Nell'ultimo Consiglio Mondiale del Motorsport la FIA si è impegnata nello sviluppo e nella sperimentazione di *power unit* alimentate a idrogeno. Dal 2026, il campionato Extreme H, la prima serie automobilistica a far competere dei buggy alimentati totalmente a idrogeno, entrerà di diritto nel circuito del campionato mondiale FIA[17]. Inoltre, a partire dall'anno successivo, la 24 Ore di Le Mans introdurrà una classe dedicata all'idrogeno nel Campionato del Mondo Endurance.

Non mancano poi anche in Italia competizioni come il Campionato Energie Alternative (Green Endurance, Solar, Rally) e la Roma Eco Race, che specificatamente promuovono veicoli a zero o basse emissioni e carburanti alternativi.

La transizione sostenibile del motosport è appena all'inizio. Infatti, la FIA sta già discutendo delle novità dopo il 2030[18]. Semplificazione delle *power unit*, possibili motori V10 aspirati e una quota maggiore di vetture *e-fuel-only* sono solo alcune delle proposte sul tavolo.

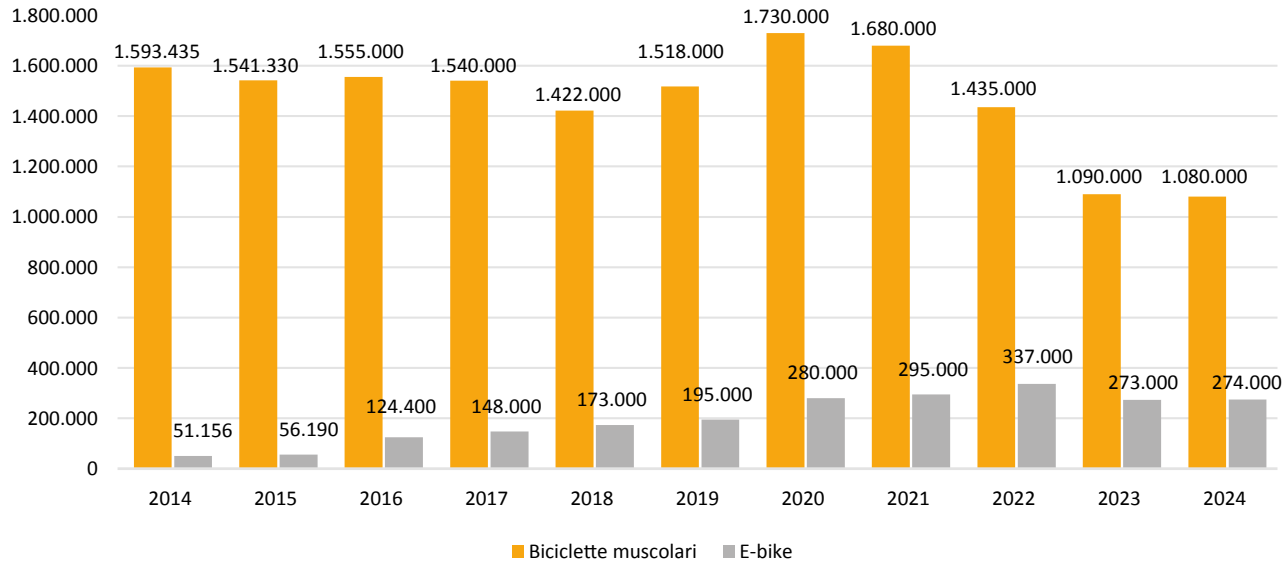
3.8. LE BICICLETTE CONTINUANO A FRENARE

Anche nel 2024 c'è stata una nuova flessione nel mercato italiano delle biciclette. Il calo rispetto al 2023 è modesto, 0,7% (-0,9 per le bici muscolari, + 0,3% per quelle a pedalata assistita); ma con 1.354.000 bici consegnate si è tornati indietro di oltre 10 anni, nel 2014, infatti, furono vendute più di 1,6 milioni di biciclette (Fig. 3.6).

Come lo scorso anno, e a differenza del 2022, nel 2024

Fig. 3.6: Vendite di biciclette tradizionali e a pedalata assistita dal 2014 al 2024

Fonte: ANCMA, 2025



17 FIA, "Roadmap FIA, Extreme H, Le Mans 2027", 2025.

18 "FIA holds constructive discussions with stakeholders on future direction of Formula 1 technology at key meeting in Bahrain", aprile 2025.

le vendite di bici a pedalata assistita non sono riuscite a contenere di molto la flessione delle tradizionali. Le *e-bike* si sono infatti fermate a 274 mila unità, mille in più rispetto al 2023, mentre le bici tradizionali non sono andate oltre i 1.080.000 pezzi venduti. Va notato tuttavia che ormai le bici a pedalata assistita rappresentano un quinto delle vendite totali con un +40% rispetto al 2019 e ben oltre 5 volte i valori di 10 anni fa.

Nel perimetro della pedalata assistita, il 43% è costituita da cosiddette e-city, il 51% e-mtb (in aumento rispetto al 2023), il 5% e-corsa/gravel, mentre le e-cargo rimangono attorno alla soglia dell'1%; per quanto riguarda le muscolari invece il 29% è dato da mountain-bike, 33% city-trekking, 17% bici da ragazzo/a, 14% corsa-gravel (in aumento) e 2% pieghevoli.

Dati e tendenze che si ripercuotono positivamente anche sul volume d'affari totale che, al pari del 2023, non va oltre i 2,6 miliardi di euro (erano 3,2 miliardi nel 2022), segna invece un solido +24% rispetto al 2019. Il confronto con il periodo pre-Covid inquadra compiutamente anche l'affanno della bici tradizionale, che perde sì il 29%, ma con una discesa più moderata che in altri Paesi con cultura ciclistica ben superiore alla nostra, come Germania.

Positivi, rispetto al 2023, gli indicatori industriali del comparto di nuovo sopra ai 2 milioni di pezzi la produzione italiana, 1.705.000 le biciclette muscolari (+1,2%) e 340.000 le *e-bike* (+23%).

Molto positiva la bilancia commerciale del settore, ovvero il conto che registra la differenza tra esportazioni e importazioni, che segna un valore di + 175 milioni di euro, erano + 21 nel 2023. La lettura di questo dato conferma l'inversione di tendenza vista nel 2023 dopo tre anni contraddistinti da valori negativi e, soprattutto, offre un quadro di buona salute del tessuto produttivo nazionale, che si conferma trainante (oltre 19.000 addetti tra diretti e indiretti) e costituito da non poche eccellenze (circa 230 imprese, per lo più PMI).

3.9. SPUNTI FINALI

Anche quest'anno registriamo una flessione nelle vendite di biciclette, vista non solo nel nostro Paese, ma in tutt'Europa, anche per le biciclette a pedalata assistita, con l'eccezione italiana, che in fondo sono l'unico mezzo elettrico di successo degli ultimi anni o meglio che possiamo annoverare tra i mezzi variamente ibridi (o elettrificati) di successo.

I conti dell'elettrificazione totale, invece, come ormai noto non tornano. Per capire quanto la matassa va più complicandosi che dispiegarsi crediamo sia particolarmente significativo il confronto tra Francia e Italia, che abbiamo visto vede il nostro Paese vincente per minori emissioni pur in presenza di un parco auto più grande e obsoleto (e meno totalmente elettrificato), ma anche mettere a segno almeno nei primi cinque mesi del 2025 un sorpasso storico.

Benché le immatricolazioni in Italia continuino a stentare – da gennaio a maggio la flessione rispetto al 2024 la flessione è di poco superiore allo 0,5%, ma ci si rapporta ai volumi del 2019 il crollo va oltre il 20% – sono superiori a quelle francesi. Da inizio anno infatti si sono immatricolate più auto in Italia che in Francia, più 722 mila contro poco meno di 673 mila. Un distacco – intorno al 7% – che andrà monitorato nei prossimi mesi, ma che trova una prima probabile spiegazione nelle stringenti regole francesi che premiano le auto a zero emissioni di anidride carbonica (CO_2), di fatto le elettriche ma non tutte, e penalizzano le altre.

Il *bonus-malus écologique* introdotto sin dal 2008, con il fine di essere neutrale per le finanze pubbliche e indirizzare l'industria automobilistica, si è evoluto negli anni con una riduzione dell'importo dei premi e della platea di auto beneficiarie e un notevole aumento del valore delle penalità e del numero di auto colpite.

L'effetto è stato un'offerta ancor più stravolta che nel resto dell'Unione (le regole francesi si sommano

alle già severe norme valide in tutta l'UE) che pare incontrare sempre meno la domanda, e dunque preferenze e bisogni dei consumatori. Da inizio 2025 è del 8,2% la flessione del totale delle immatricolazioni e del 7,1% se si considerano le sole vetture elettriche. Una dinamica a cui prestare attenzione, perché se si vendono meno auto rallenta il rinnovo del parco circolante, che nel frattempo non va diminuendo, ed è anche più difficile ridurre le emissioni.
La certificazione delle difficoltà è data anche dall'anticipo di un anno della presentazione della relazione che la Commissione UE dovrà presentare al Parlamento e al Consiglio sugli sviluppi tecnologici anche per quanto riguarda le ibride ricaricabili e sull'importanza di una transizione economicamente sostenibile ed equa dal punto di vista sociale. A modesto avviso di chi scrive un'ottima e utile occasione per correggere il tiro e lavorare su uno spettro più ampio di interventi, superando la strategia di (mera) sostituzione, ad oggi purtroppo (del tutto) inefficace.

icom 2025
istituto per la competitività

CAPITOLO 4

IL RUOLO DELLE INDUSTRIE NEL SISTEMA ENERGETICO INTEGRATO

4.1. LA LUCE IN FONDO AL BLACKOUT

Il blackout verificatosi in Spagna e Portogallo ha riportato nuovamente l'energia sulle prime pagine dei giornali e dei siti di notizie. Spesso le questioni energetiche vengono banalizzate e strumentalizzate per fare "click", vendere copie e per tirare l'acqua a un mulino piuttosto che a un altro. In particolare, le rinnovabili sono state oggetto di critiche e attacchi senza fondamento a seguito del blackout iberico. Al momento in cui scrivo ancora non se ne conoscono le cause ma è necessario contrastare le voci che tendono, per ignoranza o militanza, a dipingere l'avvenimento come un Hindenburg delle rinnovabili (Ferrari 2025).

La domanda da porsi non è, infatti, se le rinnovabili facciano "bene" o "male", dato che è ormai assodato che senza di loro non si realizza la transizione energetica e non si può sperare di azzerare le emissioni e contrastare il cambiamento climatico. Fra le manifestazioni più evidenti e drammatiche della crisi climatica vi sono gli eventi atmosferici estremi, e sono proprio gli eventi meteorologici la principale causa di blackout e di problemi alla rete elettrica, come avvenne in Texas a seguito dell'ondata di gelo del 2021 e a Catania e Siracusa nell'estate del 2023 a seguito di un'ondata di calore (Cianciullo 2023).

Le rinnovabili sono indispensabili per il nostro futuro e la loro intermittenza e non programmabilità sono sempre meno un problema dato che le previsioni metereologiche, anche nel brevissimo periodo, sono via via più efficaci e si è quindi sempre più capaci di prevedere quanto sole e vento ci saranno e quanto gli impianti solari ed eolici saranno in grado di produrre. La cronaca quotidiana dei sistemi energetici, in cui solo occasionalmente si registrano problemi rilevanti, è sufficiente a smontare gli allarmismi. Vi sono giornate in cui la rete di grossi Paesi fa affidamento, senza problemi, sulle rinnovabili per elevate quote di energia immessa in rete (Ruggieri 2021). La stessa Spagna, il 16 aprile, due settimane prima del blackout, un giorno feriale, ha consumato elettricità generata al 100% da rinnovabili, oltre il 70% da fonti non programmabili, senza problemi (Molina 2025).

Ciò non toglie che le fonti rinnovabili e le tecnologie che ne permettono lo sfruttamento siano diverse dalle fonti fossili e dagli impianti che le utilizzano. I sistemi energetici sono stati costruiti sulla base delle seconde e necessariamente stanno cambiando per accogliere crescenti quote di rinnovabili. I cambiamenti, soprattutto quando si parla di infrastrutture complesse e capillari come le reti, richiedono tempo, e nello spostamento da un sistema ad un altro si possono verificare imprevisti. Inoltre, l'attenzione non viene mai posta abbastanza sulle reti elettriche e sugli adeguamenti di cui hanno bisogno, la vera precondizione per la transizione energetica, come spiega la IEA (Kvarnstrom et al., 2025). Il vettore principale per trasportare e consumare energia sarà sempre più l'elettricità per via della diffusione delle rinnovabili, dell'elettrificazione di industrie e trasporti e dell'aumento di consumi quali il raffrescamento, a causa delle ondate di calore, e i *data center*.

Grid baby grid.

La parola chiave del cambiamento a cui sono sottoposti i sistemi energetici è "integrazione". Si tende verso un futuro a bassa intensità di carbonio caratterizzato dallo sfruttamento di diverse fonti tramite diversi processi e diverse tecnologie in base alle potenzialità e alle necessità del contesto. Sistemi energetici che abilitano flussi bidirezionali tra diversi impianti di generazione e diversi carichi per garantire stabilità alla rete e flessibilità nell'uso dell'energia, facendo ricorso ad accumuli e a tecnologie di conversione (es. convertendo elettricità in idrogeno o altri gas e e-fuel) e adottando nuove configurazioni orizzontali (es. comunità energetiche). Le potenzialità e le necessità del contesto riguardano le fonti sfruttabili *in loco* per motivi metereologici e geogra-

fici (es. irradiamento, ventosità, presenza di corsi d'acqua, sbocco sul mare), la tipologia e la dimensione dei consumi da soddisfare e la possibilità o meno di abilitare i carichi a svolgere un ruolo attivo nel sistema energetico, a contribuire alla flessibilità del sistema.

Ho già avuto il piacere di descrivere il sistema energetico integrato che l'Europa vuole costruire per il 2050 (ETIP SNET 2017) nelle precedenti edizioni del rapporto Innov-E (Palazzo 2024). In breve, si tratta di un sistema energetico:

- basato sulla rete elettrica, essendo l'elettricità il vettore principale per l'energia rinnovabile;
- in cui si integrano diverse reti e diversi vettori energetici (elettrico, gas, *e-fuel*, idrogeno, calore) grazie a sistemi di accumulo e conversione dell'energia;
- in cui si massimizza, con l'impostazione di servizi di flessibilità lungo tutta la catena del valore, il consumo di energia rinnovabile;
- pervaso da tecnologie digitali che consentono una gestione efficiente e sicura di tutto il sistema.

Sfruttare diverse fonti e diversi vettori significa produrre e consumare energia in modalità diverse in base alle possibilità e alle esigenze, sia quelle della domanda sia quelle del sistema energetico nel complesso. Fra le esigenze del sistema vi sono le esigenze di rete (es. equilibrio della rete elettrica, gestione delle congestioni), che riguardano l'efficienza, la stabilità e la sicurezza del servizio di fornitura. A queste si aggiungono l'obiettivo della neutralità climatica al 2050 e di realizzare la transizione energetica. L'integrazione consente di produrre il più possibile dalle fonti rinnovabili non programmabili, ricorrendo ad altre fonti in caso di necessità, dirigendo l'energia prodotta verso i carichi, convertendola da un vettore a un altro se occorre (es. *power-to-X*), o verso sistemi di accumulo. Più le parti del sistema sono interconnesse tra loro e più vi è la possibilità che un'area caratterizzata da condizioni metereologiche non favorevoli a solare ed eolico, in presenza di accumuli scarichi, possa reperire energia rinnovabile da altre zone geografiche più o meno vicine. È chiaro il ruolo giocato dalle infrastrutture digitali, indispensabili per pianificare e gestire un sistema che diventa via via più complesso, dinanzi all'aumento e alla diffusione sul territorio di impianti rinnovabili non programmabili e di diversi *asset* tecnologici (es. batterie, elettrolizzatori, celle a combustibile, sistemi *power-to-X*): sempre più punti di prelievo e di immissione di energia in rete, di natura diversa, in grado, in certi casi, sia di dare sia di prendere energia (es. gli accumuli, i veicoli elettrici), e capaci di fornire servizi diversi alla rete. Nonché punti di prelievo e immissione di proprietà di soggetti di tipologie diverse, dai domicili alle aziende, che richiedono diversi schemi di mercato per accedere al sistema energetico, per pagare l'energia consumata e per essere remunerati per l'energia e per i servizi di rete che forniscono. Se nei sistemi energetici tradizionali, basati sulle fonti fossili, l'energia procede lungo le reti dell'elettricità e del gas da impianti di produzione ed erogazione centralizzati verso i consumatori, in maniera verticale e monodirezionale, nei nuovi sistemi basati sulle fonti rinnovabili non programmabili distribuite l'energia "fluisce" tra punti di immissione e di prelievo decentralizzati e la rete in maniera orizzontale e bidirezionale, come l'acqua tra vasi comunicanti, in base alle esigenze di consumo e di equilibrio di sistema. Ci si sta spostando da un sistema in cui è solo la generazione a dover variare per venire incontro ai livelli di consumo, aumentando o riducendo l'immissione di energia in rete, a un sistema in cui anche i carichi modulano le proprie immissioni e i propri prelievi in base alla disponibilità di energia. Più la produzione di energia si distribuisce sul territorio e più i servizi di flessibilità (ovvero la variazione del prelievo o dell'immissione di energia per esigenze di equilibrio della rete)

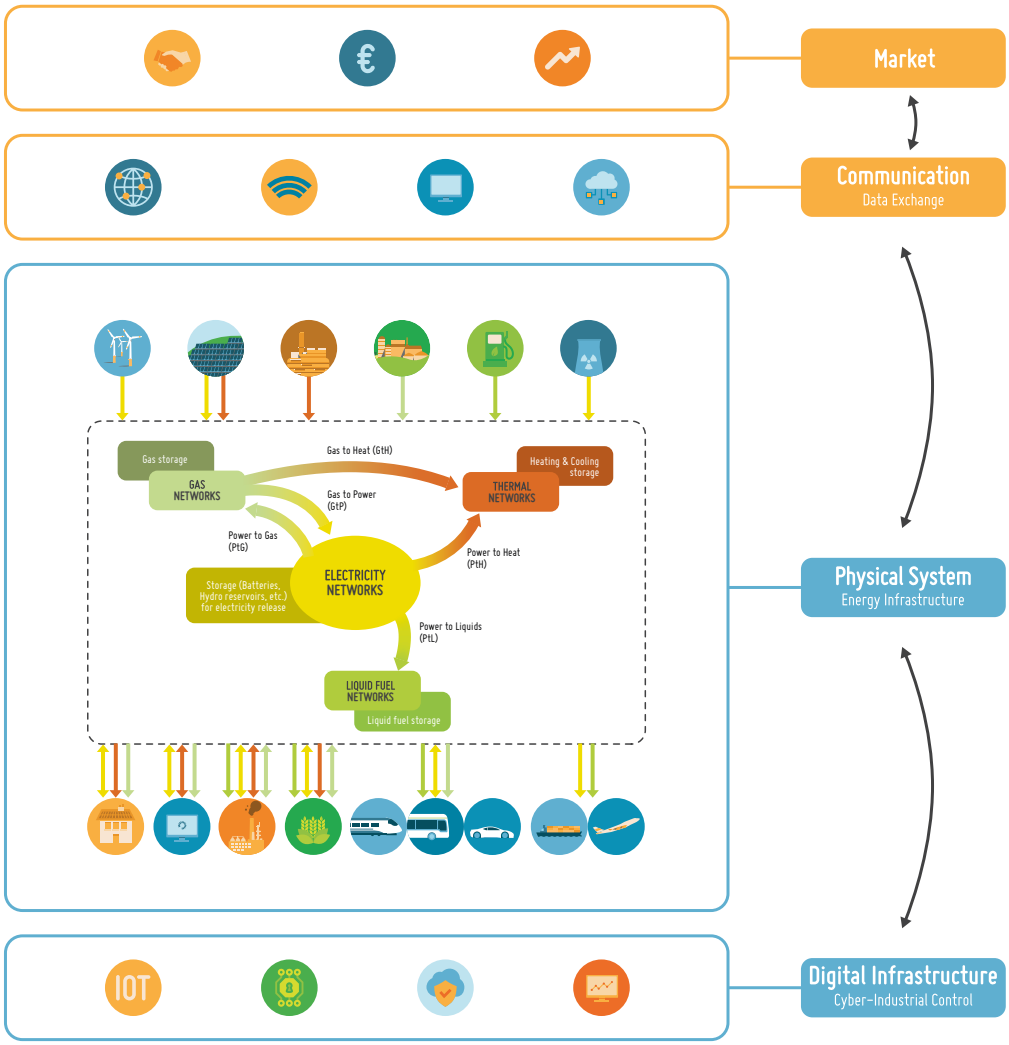
vengono forniti e gestiti lungo tutta la filiera. Tutti i soggetti e gli *asset* connessi al sistema energetico avranno sempre più un ruolo attivo, anche grazie a configurazioni che consentono di aggregare piccoli punti di immissione e prelievo (es. piccoli *prosumer*), come le comunità energetiche.
È un cambiamento importante sotto diversi aspetti, riguarda l'integrazione tra diversi processi energetici (produzione, trasporto, distribuzione, consumo, accumulo e conversione), l'interoperabilità tra diversi impianti e dispositivi, l'elaborazione e lo scambio di dati per pianificare e gestire i flussi di energia, l'organizzazione di nuove modalità di partecipazione al sistema energetico, abilitate da nuovi schemi di regolazione e mercato, con le conseguenti esigenze di tutelare la privacy dei dati e la sicurezza del sistema.
Vi è ancora strada da fare, sia nel campo della ricerca sia "sul campo", per realizzare in modo compiuto sistemi energetici integrati come descritto nelle righe precedenti, ma la direzione è presa, considerando le tendenze che vedono le rinnovabili diffondersi sempre più e l'attenzione per altre tecnologie crescere, dal nucleare all'idrogeno, dagli elettrodomestici *smart* all'auto elettrica, fino all'utilizzo dell'intelligenza artificiale in ambito energetico. Per alcune applicazioni sono stati raggiunti livelli di maturità tecnologica maggiori e in altri è ancora necessario innovare. Non è chiaro quanto ogni fonte e ogni tecnologia contribuirà al sistema energetico del futuro ma è chiaro che, al momento, non esistono un'unica fonte e un'unica tecnologia che rispondano a tutte le esigenze di consumo, di stabilità della rete e di sostenibilità ambientale ed economica.
Non esiste una soluzione, ne esistono diverse da integrare, in base a esigenze e potenzialità del contesto. Contrapporre per partito preso fonti energetiche e tecnologie, elevandone alcune a panacea e sminuendone altre, è un approccio miope.

4.2. L'ENERGIA OLTRE IL SETTORE ENERGETICO

Con la partecipazione dei carichi alla flessibilità del sistema energetico e con la possibilità di convertire l'energia da un vettore a un altro, viene meno la gestione dell'energia in comparti distinti in base alla fonte o al vettore, ma viene meno anche la netta distinzione tra il settore energetico e altri settori. Infatti, una delle più importanti applicazioni del sistema energetico integrato è il *sector coupling*, ovvero l'integrazione tra il settore energetico e altri settori quali i trasporti, le industrie e il cosiddetto "costruito" (il "*built environment*", che include edifici e infrastrutture). Tutti ambiti nei quali si consumano importanti quantità di energia e che, grazie alla diffusione di tecnologie digitali in grado di abilitare comunicazioni tra sistema energetico e utenze, possono fornire flessibilità (Fig. 4.1).
Il ruolo delle auto elettriche e delle loro batterie nel costituire un polmone per la rete è l'esempio più evidente e chiaro di queste interazioni cross settoriali, in questo caso tra energia e trasporti.
Come le abitazioni possono partecipare al sistema energetico modulando il prelievo e l'immissione di energia nella rete, in base ai dispositivi a disposizione (es. fotovoltaico, batteria, auto elettrica, elettrodomestici *smart*, *demand response*), così anche gli impianti industriali. I servizi di flessibilità da parte delle industrie saranno sempre più un'opportunità anche per via dell'elettrificazione dei consumi industriali (es. riscaldamento e raffrescamento tramite pompe) e del crescere di nuovi consumi elettrici (es. i *data center*, tra gli impianti industriali più energivori e più in crescita al momento). Grazie alle tecnologie per convertire l'energia elettrica in altre forme, come idrogeno, altri gas e e-fuel, è anche possibile mettere in relazione con il sistema energetico ambiti dove l'elettricità è più difficilmente utilizzabile, almeno per ora.

Fig. 4.1: Il sistema energetico integrato

Fonte: ETIP SNET 2017



Come scritto poco sopra, si tratta di un sistema complesso in via di costruzione ed è fondamentale procedere con attività di ricerca e sperimentazione. La ricerca e innovazione (R&I) europea in ambito energetico è guidata dallo *Strategic Energy Technology Plan*, il SET Plan, che, puntando alla neutralità climatica al 2050, distingue dieci *Action* e tra queste vi sono la *Action* 4 "*Resilience and security of energy systems*" e la *Action* 6 "*Energy efficiency for the industry*". L'avanzamento nella R&I delle diverse *Action* viene coordinato e promosso da gruppi di lavoro *ad hoc*, in particolare le *European Technology and Innovation Platform* (ETIP), che si interfacciano con la Commissione Europea, e gli *Implementation Working Group* (IWG), che si occupano soprattutto di allineare i programmi di ricerca degli Stati Membri, in modo

che tutti i Paesi camminino insieme (Palazzo 2023). I rapporti e i *paper* di queste organizzazioni sono importanti per conoscere lo stato dell'arte e quali *gap* tecnologici vadano colmati e con quanta urgenza, man mano che ci avviciniamo al 2050. In merito al sistema energetico integrato e le interazioni che può avere con le industrie, è di interesse soprattutto il lavoro delle ETIP *on Smart Networks for Energy Transition* (ETIP SNET) e *on Renewable Heating and Cooling* (RHC ETIP), dell'IWG4 *on Energy systems* e dell'IWG6 *on Sustainable and Efficient Energy Use in Industry*.

L'ultima roadmap di ETIP SNET, relativa al periodo 2022-2031, distingue nove macro-temi di ricerca su cui lavorare, chiamati *High Level Use Case* (ETIP SNET 2023). L'*High Level Use Case* 9 include tutte le attività che nel corso di dieci anni devono contribuire a integrare nel sistema energetico i servizi di flessibilità dal "costruito" e dalle industrie, concependo tutti gli elementi da coinvolgere, i singoli edifici e stabilimenti, come parte di *smart community* caratterizzate da un uso il più possibile efficiente e circolare delle risorse e dell'energia rinnovabile. Adottando questo approccio l'obiettivo è abilitare, dunque, scambi di energia, sotto forma di diversi vettori, tra cui gas (es. idrogeno), calore e e-fuel, tra diversi elementi del "costruito" e le industrie. Il calore fornito a interi quartieri da parte di impianti industriali grazie a queste connessioni e che, altrimenti, andrebbe disperso, è un chiaro esempio di questo approccio, come anche la concentrazione di attività industriali nelle fasce orarie con maggiore produzione di energia solare o eolica nell'area. Nelle *smart community* vi sono da considerare aspetti tecnologici, ad esempio garantire alti livelli di efficienza nei singoli processi e la possibilità di fare affidamento su accumuli opportuni, ma anche aspetti, come già spiegato, di mercato, per remunerare chi, coi propri *asset* energetici e modificando i propri profili di consumo, fornisce la flessibilità. Pertanto, ETIP SNET identifica sfide quali l'efficientamento dell'*heating and cooling* per edifici e industrie, la gestione di diversi servizi di flessibilità su una sola piattaforma e il miglioramento delle previsioni di consumo di energia. I progetti di R&I devono, in particolare, sviluppare e testare metodi e soluzioni per pianificare, gestire e controllare la produzione e gli scambi di energia tramite diversi vettori tra diversi soggetti, adottando tecniche multi-obiettivo, che tengano conto dell'equilibrio tra l'uso efficiente delle risorse, le esigenze della *smart community* e quelle dei suoi componenti. Di non minore importanza sono anche i progetti che contribuiscono a sviluppare standard e design regolatorio per le comunicazioni e il coordinamento con gli operatori di rete.

Non è solo necessario abilitare l'integrazione e i servizi di flessibilità tra sistema energetico e i componenti delle *smart community*, tra cui le industrie. È fondamentale anche conseguire alti livelli di efficienza, circolarità e integrazione tra diverse fonti e vettori di energia all'interno degli impianti industriali e tra impianti. L'ultimo *Implementation Plan* dell'IWG6 *on Sustainable and Efficient Energy Use in Industry* approfondisce le principali esigenze di R&I su questi aspetti.

Fra le priorità di ricerca trasversali ai diversi settori industriali, l'IWG6 sottolinea la necessità di continuare a innovare per rendere possibile la formazione di simbiosi industriali, ovvero l'introduzione di scambi di energia e materiali tra diversi impianti, anche di diversi settori, con conseguente riduzione dei consumi e dello scarto. Per realizzare queste simbiosi servono accorgimenti non solo tecnologici, per far sì che gli impianti industriali possano usare l'energia e i materiali derivanti dai processi di altri impianti, ma anche adeguamenti sul lato organizzativo, ad esempio in merito alle tempistiche dei cicli produttivi, e logistico. Una simbiosi che genera un nuovo tipo di mercato per il quale servono *business model* e metodologie per la determinazione dei prezzi delle risorse scambiate.

Altri obiettivi di ricerca riguardano lo sviluppo e la

sperimentazione di processi e tecnologie alternativi che facciano maggiore, se non esclusivo, utilizzo di energia *low carbon* e risorse recuperate o riciclate (es. CO_2 dalla *Carbon Capture and Sequestration*, plastica). L'applicazione di tecnologie digitali renderà sempre più pervasivo ed efficace il monitoraggio delle attività degli impianti, individuandone margini di miglioramento in termini di efficienza e riduzione delle emissioni e automatizzandone diverse attività (IWG6 2021).

Infine, l'IWG4 *on Energy systems* rammenta che vanno considerate anche le motivazioni e le diffidenze che possono favorire o ostacolare la decisione delle imprese, come anche delle abitazioni, a far partecipare i propri carichi alla flessibilità. Non si tratta solo di fattibilità tecnica e forme di incentivi economici, ma anche di un approccio ai temi energetici che può essere diverso rispetto a quello degli addetti ai lavori. Chi gestisce un impianto industriale è addetto ad altri "lavori" e vuole portarli avanti facendo affidamento su una fornitura di energia stabile, sufficiente e sicura. Per far comprendere l'importanza del *demand response*, ad esempio, e dei suoi benefici sia per il sistema sia per il consumatore, occorre non dare nulla per scontato e non sminuire il ruolo del dialogo, del coinvolgimento degli stakeholder e quanto possono offrire anche le scienze sociali (IWG4 2021).

4.3. IL VETTORE TERMICO

Emerge il ruolo imprescindibile dell'*heating and cooling* (H&C), il riscaldamento e il raffrescamento, la produzione, la gestione e il consumo di energia sotto forma di calore e di freddo.

Come spiega anche RHC ETIP, la decarbonizzazione dell'H&C e l'integrazione del vettore termico nel sistema energetico sono centrali sia per la decarbonizzazione in generale sia per abilitare il *sector coupling* energia-industria. Infatti, si attribuisce metà dei consumi europei di energia all'H&C (di cui il 75% soddisfatto con fonti fossili e il 19% con rinnovabili) e molte attività industriali richiedono e/o rilasciano calore e freddo. Ecco perché è fondamentale che le tecnologie per la produzione, lo stoccaggio, il trasporto e il riciclo di calore e freddo:

- siano sempre più efficienti (es. riutilizzo del calore di scarto di processi industriali all'interno di reti di teleriscaldamento);
- possano ricorrere sempre più a fonti rinnovabili;
- possano interfacciarsi con la rete elettrica tramite tecnologie per conversioni *power-to-heat* (es. pompe di calore), *power-to-cold* e *heat-to-power*.

La penetrazione delle rinnovabili in ambito H&C avviene grazie all'elettrificazione, all'utilizzo di bioenergie, solare termico, pompe di calore e geotermico, ed è importante che queste tecnologie siano integrate e testate affinché possano rispondere alle esigenze di diversi processi industriali in diversi settori (RHC ETIP 2023). Uno dei fronti di ricerca su cui RHC ETIP e IWG6 consigliano di concentrarsi è, infatti, l'integrazione a livello industriale tra l'uso di rinnovabili non programmabili (es. solare termico), di calore di scarto e di rinnovabili programmabili (es. geotermico) per il *base load*. Quando un impianto industriale non solo consuma diverse forme di energia ma ne rilascia sotto diverse forme (es. calore, freddo, elettricità), per rispondere a diverse esigenze, si parla di poligenerazione. A tal proposito l'IWG6 ricorda che è importante sviluppare ulteriormente gli impianti CHP (*combined heat and power*) "compatti" per produrre elettricità, vapore e calore per applicazioni industriali.

La conversione di calore o freddo di scarto in altre forme di energia ne consentono l'utilizzo in un altro processo, anziché disperderlo, dentro lo stesso impianto ("*intra-plant optimisation*") o in un altro impianto, anche attinente a un'altra impresa e a un settore industriale diverso ("*inter-plant integration*", nell'ambito di simbiosi industriali) (IWG6 2021).

A supporto delle integrazioni tra fonti e vettori vi sono gli accumuli di diverso tipo, dalle batterie ad altre forme di energia stoccabile, come l'idrogeno, l'ammoniaca e le diverse tecnologie per conservare calore e freddo, il *thermal storage*. L'RHC ETIP invita a innovare in tutte le tecnologie del *thermal storage* in quanto diversi processi industriali richiedono accumuli termici con diversi requisiti relativi alla temperatura erogata, alla trasportabilità del calore, al tasso di dispersione e alla compattezza dello *storage* stesso. Le attività di R&I sull'ibridazione di diversi tipi di *thermal storage* possono aprire la strada a nuove applicazioni più flessibili (RHC ETIP).

La conversione da un vettore a un altro e l'accumulo sono quindi utili per la gestione dell'energia sia all'interno di un impianto industriale, sia tra impianti diversi (*inter-plant integration* e simbiosi industriali) sia a livello di sistema energetico integrato, adottando l'approccio delle *smart community* (*sector coupling*).

In merito all'integrazione delle industrie a livello di sistema energetico RHC ETIP, in un rapporto specifico sul *sector coupling*, approfondisce le tecnologie più rilevanti e le necessità di R&I (RHC ETIP 2022).

Le pompe di calore possono giocare un ruolo fondamentale, dato che sono capaci di contribuire a diversi obiettivi, ovvero l'aumento dell'efficienza e dell'utilizzo di rinnovabili nella produzione di calore e la fornitura di servizi di flessibilità alla rete elettrica, in particolare *peak shaving* e *load balancing*, soprattutto se abbinate a uno *storage*. Inoltre, essendo basate unicamente sull'elettricità, non implicano emissioni *in loco*. La loro efficienza consiste anche nel fatto che possono sia riscaldare sia raffrescare in funzione del tipo di sito di consumo. Infine, le pompe di calore sono utilizzabili in ambiti diversi, non solo quello industriale, dal residenziale fino al *district heating*, sia tramite grandi impianti centralizzati sia per applicazioni più piccole e distribuite, usando come input, in base al tipo di pompa, l'elettricità e il calore geotermico.

Si tratta di una tecnologia affermata ma vi sono alcuni aspetti su cui è importante continuare a innovare, per conseguire una riduzione dei costi con un aumento delle prestazioni e per sviluppare nuovi *business model* che ne consentano una maggiore diffusione.

Per una maggiore applicazione in ambito industriale è importante sviluppare pompe di calore capaci di produrre calore a temperature elevate, almeno di 250°C, e di soddisfare domande di calore nell'ordine dei MW. Per aumentare la temperatura in output i progetti di ricerca si concentrano sulla tecnologia dei compressori mentre per coprire esigenze di calore particolarmente energivore servono tecnologie di pompe più modulari così da aumentarne la scalabilità a costi contenuti.

Affinché le pompe di calore possano contribuire maggiormente al *sector coupling* è invece importante concentrarsi su altri fronti come il loro utilizzo con la corrente continua e le loro interfacce con la rete elettrica.

Un'altra tecnologia per il *sector coupling* è il solare termico per processi industriali (*solar heat for industrial process*). È necessario aumentarne la compatibilità con *thermal storage* ibridi (ovvero in grado di accogliere calore prodotto da diverse fonti a diverse temperature) e *storage ad hoc* per grandi impianti, così da migliorarne le prestazioni in grosse installazioni industriali.

Altri argomenti di ricerca riguardano lo sviluppo e la dimostrazione di soluzioni per convertire il calore di scarto in raffrescamento o in elettricità, lo sviluppo di sistemi ibridi che utilizzino diverse fonti rinnovabili di calore per una produzione flessibile combinata di calore e elettricità e lo sviluppo di carichi industriali "*grid-friendly*", che forniscano inerzia e servizi per la frequenza.

Infine, in merito all'idrogeno, è necessario sviluppare, il prima possibile, sistemi che producano energia con solo idrogeno, senza il bisogno di miscelarlo con il gas, riducendo le emissioni e garantendo la sicurezza dell'operazione.

4.4. ESEMPI DI PROGETTI

Le raccomandazioni espresse dagli organismi del SET Plan, come ETIP e IWG, sono rivolte alle istituzioni, rispettivamente, europee e nazionali, per indirizzarne i programmi di finanziamento della R&I verso gli aspetti tecnologici che più necessitano di ulteriori sviluppi per arrivare preparati al 2050.

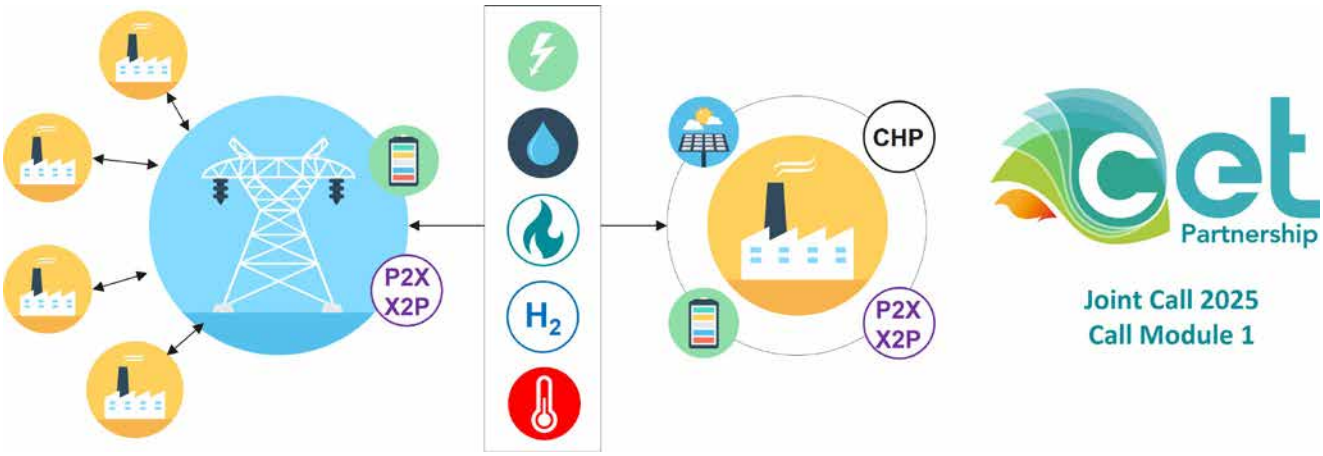
Fra le iniziative di questo tipo l'Italia partecipa alla Clean Energy Transition Partnership (CETPartnership), un partenariato pubblico privato promosso da Horizon Europe. I partner da diversi Paesi mettono insieme risorse per progetti transnazionali di ricerca di interesse comune, con un contributo economico aggiuntivo della Commissione Europea.

Ogni anno la partnership pubblica un bando di gara, *Joint Call*, per selezionare e finanziare progetti per la transizione energetica. Le organizzazioni dei diversi Paesi collaborano per la preparazione della *call* e per il monitoraggio e il supporto ai progetti selezionati, che sono anche coinvolti in attività per lo scambio delle conoscenze e per la massimizzazione del loro impatto, guardando alla dimostrazione di tecnologie, alla loro applicazione e commercializzazione. RSE, in particolare, coordina le attività della CETPartnership relative al sistema energetico integrato, mentre il Ministero dell'Università e della Ricerca guida quelle sulle tecnologie per la produzione di elettricità da rinnovabili.

La *Joint Call 2025* (CETPartnership 2025), aperta alle candidature fino al 9 ottobre[19], è finanziata da oltre 40 partner provenienti da 30 Paesi, tra cui Canada, Corea del Sud e India. Tra i *Call Module* contenuti nella *Joint Call ve* n'è uno, preparato da RSE e dai suoi partner (in particolare la Swedish Energy Agency e la finlandese CLIC Innovation), sul *sector coupling* energia-industria, dal titolo *"Multi-vector interactions between the integrated energy system and industrial frameworks"*. Con questo *Call Module* si intende finanziare progetti che, adottando il punto di vista dei sistemi energetici, sviluppino soluzioni per abilitare servizi di flessibilità da parte degli impianti industriali

Fig. 4.2: Le interazioni multi-vettore tra sistema energetico e industrie

Fonte: elaborazione RSE



19 Tutte le info sul bando e per candidarsi al sito: https://www.cetpartnership.eu/calls/joint-call-2025.

con un approccio multi-vettore, guardando all'utilizzo efficiente di più vettori (Fig. 4.2). Dai progetti selezionati ci si attende lo sviluppo di strumenti e metodologie per simulare, pianificare, controllare e gestire le interazioni tra industrie e sistema energetico basate sui diversi vettori, con uno sguardo anche alla sostenibilità di queste interazioni e agli aspetti di mercato della flessibilità.

Nell'ambito delle precedenti *Joint Call* sono stati già selezionati e avviati progetti CETPartnership che si occupano di flessibilità e integrazioni tra fonti e vettori energetici in ambito industriale[20].

Tra questi, ad esempio, il progetto RESILIENT, coordinato da Fraunhofer ISI con la partecipazione dell'Università di Pisa. Il consorzio sta sviluppando un *tool* software per la pianificazione di un sistema energetico integrato includendovi nuove capacità di ottimizzazione stocastica, per superare i limiti dei *planning tool*, spesso deterministici, e una rappresentazione della transizione in ambito industriale basata sull'adozione di rinnovabili, biomasse, carburanti alternativi e *Carbon Capture and Utilisation*. Fra le variabili considerate vi sono i costi dei carburanti e delle tecnologie, la disponibilità di idrogeno, quanto le reti elettriche si espanderanno, i cambiamenti nelle filiere industriali, la penetrazione delle rinnovabili e il consenso sociale. Stando ai risultati conseguiti finora dal progetto, una delle soluzioni per la flessibilità energetica in ambito industriale con maggiori potenzialità è la combinazione di riscaldamento generato dall'elettricità (es. pompe di calore, riscaldamento a resistenza) e CHP, guardando alla possibilità di utilizzare l'idrogeno per alimentare quest'ultimo. Si tratterebbe della soluzione economicamente più vantaggiosa e non richiederebbe cambiamenti nella programmazione dei processi dell'impianto.

Un'applicazione interessante è invece studiata dal progetto CoPress, coordinato dallo CSEM (*Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique*). Al centro del progetto vi è lo sviluppo di strumenti software per gestire la cooperazione di diversi dispositivi legati alla produzione, al consumo e all'accumulo di energia nell'ambito di cosiddette "*energy cell*", aggregazioni per facilitare le interazioni tra tutti i dispositivi da una parte e gli operatori di rete dall'altra. Fra i casi d'uso vi è lo sfruttamento della flessibilità fornita da un sistema per la prevenzione degli incendi. Uno dei siti pilota del progetto è un'azienda di logistica in Svizzera dove è utilizzato un sistema che riduce la concentrazione di ossigeno negli ambienti per prevenire il verificarsi di incendi nei magazzini. Fin tanto che la concentrazione di ossigeno è mantenuta nell'ambito di un intervallo che consente sia di scongiurare possibili incendi sia di non compromettere la salute dei dipendenti che accedono ai magazzini, l'attività del sistema può essere modulata in modo automatizzato. Da tale modulazione dell'attività è possibile gestire i consumi di energia dell'azienda in modo più efficiente e fornire servizi di flessibilità.

Un altro esempio legato alla CETPartnership è il progetto ISSDemo, coordinato da Fraunhofer UMSICHT. Il consorzio simula l'utilizzo combinato di una soluzione *power-to-heat* e di un *thermal storage* in tre diversi casi d'uso legati ai settori della carta, della chimica e dell'alimentare, puntando a uno schema di sistema energetico industriale che possa essere utilizzato in diversi ambiti. L'elettricità per il sistema *power-to-heat* proviene dalla rete o da pannelli fotovoltaici e, nella simulazione, viene utilizzata per caricare il *thermal storage*. L'energia viene erogata dallo storage sotto forma di vapore che viene poi utilizzato nei processi industriali. In questo modo si incrementa l'utilizzo di rinnovabili, portandolo anche in processi basati sul vapore, e non sull'elettricità, e, tramite lo *storage*, si fornisce flessibilità e si aumenta l'efficienza.

20 Alcuni di questi sono stati i protagonisti di un'iniziativa di *knowledge exchange* la cui registrazione e materiali sono disponibili al sito: https://www.cetpartnership.eu/index.php/knowledge-sharing-workshop-cetp-tri-1-6-flexibility-industry.

Di grande attualità sono i progetti relativi all'uso efficiente dell'energia dei *data center* e al loro contributo alla flessibilità del sistema energetico (Takcı et al. 2025; Zhang et al. 2025): il digitale sia in quanto abilitatore dell'integrazione sia in quanto oggetto dell'integrazione nell'ambito del *sector coupling*. Ad esempio, vi sono diversi progetti di ricerca in corso relativi alla gestione delle tempistiche di svolgimento di attività energivore, così da venire incontro anche alle esigenze della rete (*load shifting*) (Radovanovic et al., 2022; Cao and Zhang, 2023).

Infine, RSE ha direttamente partecipato al progetto MAGNITUDE, relativo allo sviluppo di *business model* e strumenti per la fornitura di flessibilità alla rete elettrica europea grazie a sinergie tra i vettori elettrico, gas e termico. In particolare, uno dei casi d'uso ha coinvolto un impianto austriaco del settore della carta, dove si è studiato il contributo di un accumulatore di vapore all'efficienza del processo industriale, a vantaggio dello stabilimento, e al controllo della frequenza, a vantaggio della rete[21].

4.5. CONSIDERAZIONI FINALI

Riepilogando, le tecnologie e le attività di ricerca descritte in questo articolo sono finalizzate a un utilizzo dell'energia in ambito industriale coerente con i piani di decarbonizzazione, ovvero a:

1. aumentare l'utilizzo di rinnovabili (es. tramite pompe di calore, solare termico, geotermico);
2. aumentare l'efficienza dell'uso dell'energia (es. recupero del calore di scarto, utilizzo di CHP);
3. aumentare la flessibilità del sistema energetico interno agli impianti (es. tramite *storage* e tecnologie di conversione);
4. abilitare scambi di energia in forme diverse tra impianti diversi (es. recupero del calore di scarto di un impianto in un altro);
5. abilitare scambi di energia e di servizi di flessibilità tra gli impianti industriali e il sistema energetico, ovvero l'integrazione tra energia e industria nell'ambito delle cosiddette *smart community*.

Fino al punto 3 si può parlare di *intra-plant optimisation*, mentre il punto 4 e il punto 5 ampliano il livello di integrazione, realizzando rispettivamente *inter-plant integration* e *sector coupling*.

Tutti i punti hanno a che vedere con l'utilizzo di tecnologie per l'accumulo di energia in diverse forme (es. batterie, stoccaggio di ammoniaca o idrogeno, *thermal storage*), la conversione di energia da un vettore a un altro e l'utilizzo e la produzione di energia sotto diverse forme in maniera ibrida (es. CHP, poligenerazione). La gestione cross-vettoriale dell'energia è al centro di queste relazioni per via dell'elettrificazione crescente dei consumi da una parte e del consumo e del rilascio di energia sotto forma di H&C in ambito industriale dall'altra.

I rapporti tra elettricità e H&C sono schematizzati in questa elaborazione grafica di RHC ETIP (Fig. 4.3).

Passando dal livello delle singole tecnologie richiamate finora (pompe di calore, solare termico, *thermal storage*, ecc.) al livello di integrazione elettricità-vettore termico, RHC ETIP porta l'attenzione su ulteriori fronti di innovazione (non solo scientifica) trasversali:

- lo sviluppo di soluzioni basate su tecnologie digitali per attività di pianificazione, simulazione, controllo e gestione delle interazioni tra dispositivi e vettori energetici, facendo ricorso alle novità che ampliano costantemente l'ambito di possibili applicazioni, dal *digital twin* al *machine learning*;
- premiare soluzioni il più possibile scalabili e replicabili, che possano fornire supporto all'integrazione di risorse e vettori sia a livello di

21 Si rimanda al sito del progetto: https://www.magnitude-project.eu/case-studies/.

singoli impianti industriali, piccoli e grandi, sia a livello di sistema energetico;

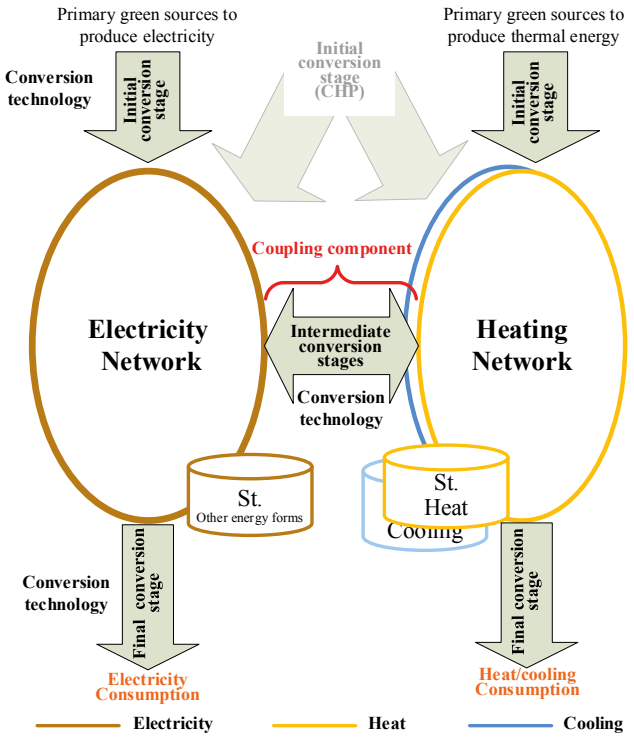
- lo sviluppo di *business model* e di un quadro regolatorio che rendano queste interazioni cross-vettore e cross-settore profittevoli e quindi di interesse per gli operatori, al netto dei guadagni insiti in qualsiasi processo reso più efficiente (es. misure per internalizzare il costo delle emissioni, remunerare adeguatamente i servizi di flessibilità, introdurre incentivi mirati per sostenere l'adozione su vasta scala delle tecnologie, rimuovere gli ostacoli procedurali);
- l'adozione di standard comuni per l'installazione e l'accoppiamento di dispositivi;
- l'adozione di un approccio europeo, che superi le diversità di condizioni e regolazioni tra Paesi Membri e che dia la sufficiente stabilità alle industrie per prendere le decisioni di pianificazione e investimento necessarie;
- implementare programmi di formazione dedicati, puntando a lavoratori in grado di occuparsi di progetti e installazioni di diverse tecnologie, anche in combinazione, nonché dotati di certificazioni modulari che facilitino l'accumulo di competenze per coprire più tecnologie.

Ogni volta che si parla o si scrive di "sistemi" e "integrazione" si corre il rischio di sembrare appassionati di qualcosa di distante o di visionario. Ebbene, per innovare e per farlo come Paesi e società, è necessario avere una visione comune.

Il sistema energetico integrato costituisce una visione per una nuova gestione dell'energia che non è solo tecnologia, regolazione e mercato. Si tratta di territori e persone che, in un sistema energetico sempre più rinnovabile e sempre più distribuito possono svolgere un nuovo ruolo e approfittare di nuove occasioni in termini di guadagni e di progettualità, pensando a *prosumer* e comunità energetiche, iniziative che mettono assieme innovazione sociale e tecnologica, convogliando l'impegno di cittadini, imprese, ricerca e terzo settore. Anche i grandi impianti industriali energivori possono farne parte, contribuendo a, e beneficiando da, un sistema energetico che può offrire vantaggi e opportunità a tutti, al contrario del modello centralizzato tradizionale, che invece conferisce un ruolo attivo e una gestione della tecnologia solo a chi fornisce l'energia. Inoltre, la gestione più efficiente dell'energia legata alla partecipazione dei carichi alla flessibilità consente di venire incontro alla domanda delle industrie, soprattutto di elettricità, con meno interventi infrastrutturali, riducendo la necessità di costruire nuovi impianti di produzione dell'energia, ad esempio. Un sistema energetico non solo integrato al suo interno ma anche nel territorio e nel tessuto economico-imprenditoriale, con minore impatto e più opportunità.

Fig. 4.3: Integrazione tra vettore elettrico e termico

Fonte: RHC ETIP 2022



icom 20 05 25
istituto per la competitività

CAPITOLO 5

INNOVAZIONE ED EFFICIENZA PER IL SETTORE RESIDENZIALE

5.1. L'EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI EDIFICI NEL GREEN DEAL

L'efficienza energetica è un punto cardine del Green Deal europeo. La riduzione dei consumi a parità di Pil è infatti una sfida che i Paesi dell'UE stanno affrontando già da diversi anni, fin da quando, nel 2012, fu adottata la prima Direttiva sull'Efficienza Energetica.

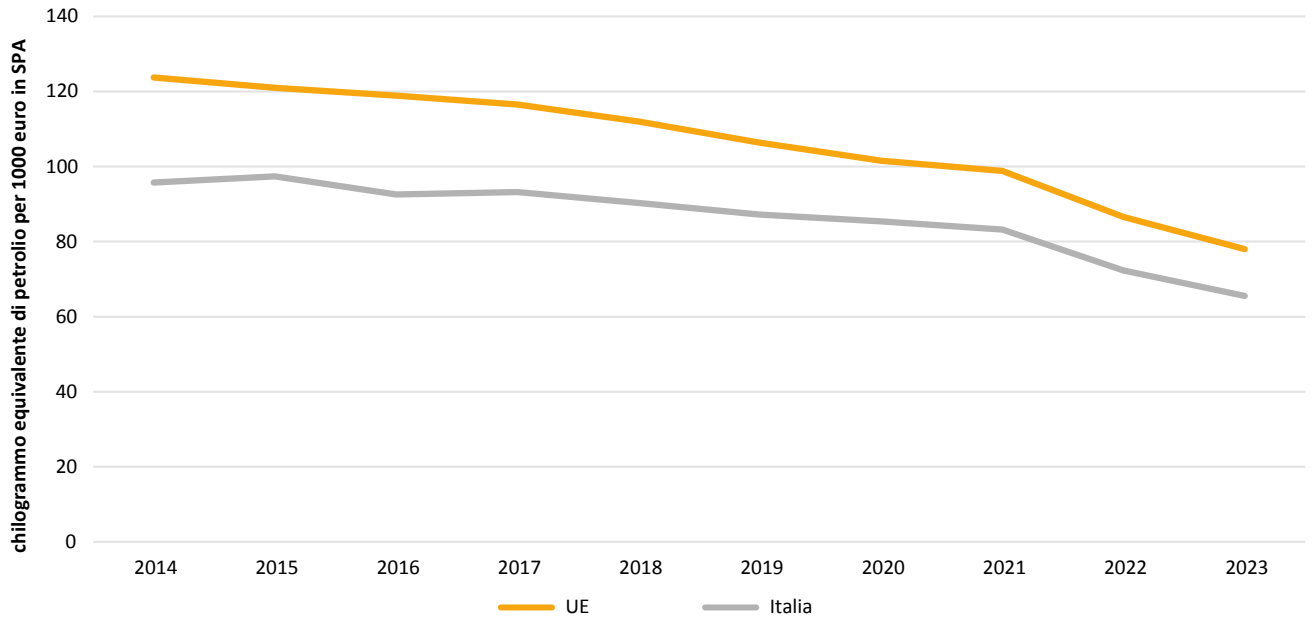
Dai dati Eurostat fino al 2023 possiamo constatare i progressi fatti nell'efficientamento delle economie comunitarie: considerando come anno base il 2014, l'intensità energetica complessiva dei 27 Stati europei è scesa del 36,5%. Per l'Italia, che partiva da una base di intensità energetica minore – dunque da una maggiore efficienza – questa riduzione è stata pari al 32%.

La Direttiva europea "Case Green" (UE 2024/1275) si inserisce nell'ampio framework normativo comunitario orientato alla decarbonizzazione, il Green Deal, che persegue obiettivi climatici ambiziosi puntando ad ottenere la neutralità climatica entro il 2050 e la riduzione intermedia del 55% delle emissioni di gas serra entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990. Questo strumento legislativo, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea l'8 maggio 2024 ed entrato in vigore il 29 maggio successivo, costituisce un pilastro delle politiche energetiche europee, mirando alla riqualificazione del patrimonio edilizio degli Stati membri attraverso il miglioramento sistematico dell'efficienza energetica degli immobili.

Il nucleo operativo della Direttiva è rappresentato dall'articolo 9, che delinea una strategia differenziata per il settore residenziale e non residenziale. Per gli edifici residenziali, la norma stabilisce una roadmap progressiva che impone agli Stati membri di conseguire una riduzione del consumo medio di energia primaria dell'intero parco abitativo di almeno il 16%

Fig. 5.1: Intensità energetica Italia ed UE (2014-2023)

Fonte: Eurostat, 2025



entro il 2030 e del 20-22% entro il 2035, utilizzando il 2020 come anno di riferimento. Il meccanismo prevede inoltre che almeno il 55% di tale riduzione sia ottenuto mediante interventi di ristrutturazione del 43% degli edifici residenziali caratterizzati dalle prestazioni energetiche più scadenti. Per il comparto non residenziale, l'articolo introduce un sistema basato su soglie massime di prestazione energetica, stabilendo che almeno il 16% degli edifici non residenziali dovrà rispettare standard minimi entro il 2030, percentuale che sale al 26% entro il 2033. Considerando l'obiettivo 2030, in Italia questo si traduce in un target di risparmio di -6,3 Mtep.

La Direttiva riconosce tuttavia la necessità di flessibilità interpretativa, attribuendo agli Stati membri la facoltà di esentare dall'applicazione degli obblighi di ristrutturazione specifiche categorie immobiliari, includendo gli edifici storici e vincolati, quelli destinati al culto religioso e le strutture delle forze dell'ordine. L'implementazione operativa di questi programmi di riqualificazione è disciplinata dall'articolo 3, che affida agli Stati membri la redazione di un piano nazionale di ristrutturazione comprensivo del patrimonio edilizio residenziale e non residenziale, sia pubblico che privato, con scadenze particolarmente stringenti che prevedono la presentazione della prima proposta alla Commissione Europea entro il 31 dicembre 2025.

Le disposizioni complementari della Direttiva abbracciano ulteriori aspetti strategici della transizione energetica. L'articolo 7 stabilisce che tutti i nuovi edifici dovranno raggiungere l'obiettivo di emissioni zero secondo una tempistica differenziata: gli edifici pubblici dal 1° gennaio 2028 e tutti gli altri dal 1° gennaio 2030. L'articolo 10 regolamenta l'installazione obbligatoria di impianti solari, subordinandola alla fattibilità tecnica, economica e funzionale, con particolare priorità per gli edifici pubblici e non residenziali. Significativa è anche l'introduzione, tramite l'articolo 17 comma 15, del divieto per gli Stati membri di erogare incentivi finanziari per caldaie a combustibile fossile a partire dal 1° gennaio 2025, sebbene la Direttiva non preveda nuovi stanziamenti specifici per la riqualificazione, demandando agli Stati l'utilizzo di strumenti finanziari nazionali ed europei già esistenti.

Dal punto di vista procedurale, è fondamentale ricordare che le direttive europee non producono effetti diretti sui cittadini, ma vincolano formalmente gli Stati membri che, attraverso il processo di recepimento, adottano la normativa nazionale necessaria per l'attuazione degli obiettivi comunitari. In Italia, questo processo avviene tradizionalmente mediante la legge di delegazione europea, strumento attraverso il quale il Governo presenta annualmente alle Camere, entro il 28 febbraio, un disegno di legge per il recepimento delle direttive UE, sulla base del quale viene successivamente emanato il decreto legislativo di adeguamento.

Per la Direttiva "Case Green", l'articolo 35 stabilisce il termine perentorio del 29 maggio 2026 per il recepimento da parte degli Stati membri. Sebbene l'Italia non abbia ancora presentato il disegno di legge per il recepimento integrale, ha dimostrato tempestività nell'implementazione di specifiche disposizioni: la Legge di Bilancio 2025 (n. 207/2024) ha infatti già recepito il divieto di agevolazioni fiscali per caldaie a combustibile fossile, escludendo dalle detrazioni per efficienza energetica (Ecobonus) e ristrutturazione edilizia le spese per sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con caldaie alimentate unicamente a combustibili fossili.

L'esperienza italiana evidenzia la relativa facilità nell'implementazione di misure di carattere proibitivo, mentre rimane da definire l'approccio nazionale per le disposizioni più complesse della Direttiva, che richiedono interventi strutturali significativi e investimenti considerevoli, particolarmente sfidanti considerando le specificità del patrimonio edilizio italiano caratterizzato da elevata stratificazione storica e variabilità tipologica.

Le stime economiche elaborate dall'Energy & Strategy della School of Management del Politecnico di

Milano indicano che l'Italia necessiterà di almeno risorse comprese fra i 169 e i 187 miliardi di euro per recepire adeguatamente la Direttiva EPBD. Questa cifra equivale all'ammontare complessivo degli investimenti realizzati attraverso superbonus, ecobonus e bonus casa, evidenziando la portata degli interventi richiesti. Il calcolo si basa sulle esigenze di riqualificazione sia del comparto residenziale che non residenziale, considerando l'obiettivo di riduzione del 16% del consumo di energia primaria entro il 2030. Altre stime effettuate da Deloitte affermano che per recepire l'EPBD nella sua interezza fino al 2050 saranno necessari tra gli 800 ed i 1.000 miliardi di euro per l'Italia. Lo studio Symbola-Cresme stima che, a seconda dello scenario applicato, l'investimento necessario sia tra i 285 e i 320 miliardi di euro. Infine, lo studio "Decarbonizzazione dei consumi termici residenziali" di BIP Consulting propone una stima dei costi fra i 160 ed i 480 miliardi di euro.

5.2. UNA DISAMINA DEI CONSUMI RESIDENZIALI ITALIANI

Dal 2014, i consumi del settore residenziale gravitano intorno ai 1.300 petajoule e, nel 2022, l'ultimo dato disponibile, hanno toccato i 1.258 PJ. Nel periodo considerato, i consumi del settore dei servizi sono aumentati del 16% in undici anni. Invece, i consumi degli altri settori sono complessivamente diminuiti del 10%.
Per quanto riguarda le emissioni settoriali (sempre considerate nella tripartizione: residenziale, servizi e altri settori), la diminuzione più evidente dal 2005 si avverte per gli altri settori, mentre il settore dei servizi ha mantenuto costante le proprie emissioni. L'oggetto della nostra analisi, il settore residenziale, mostra comunque una riduzione delle emissioni del 22,3%, più lento degli altri settori, che hanno ridotto le proprie emissioni dal 2005 del 36%, ma comunque con una velocità consistente. Dati questi andamenti,

Fig. 5.2: Consumi energetici per settore in Italia (2011-2022)

Fonte: EU Building Stock Observatory, 2025

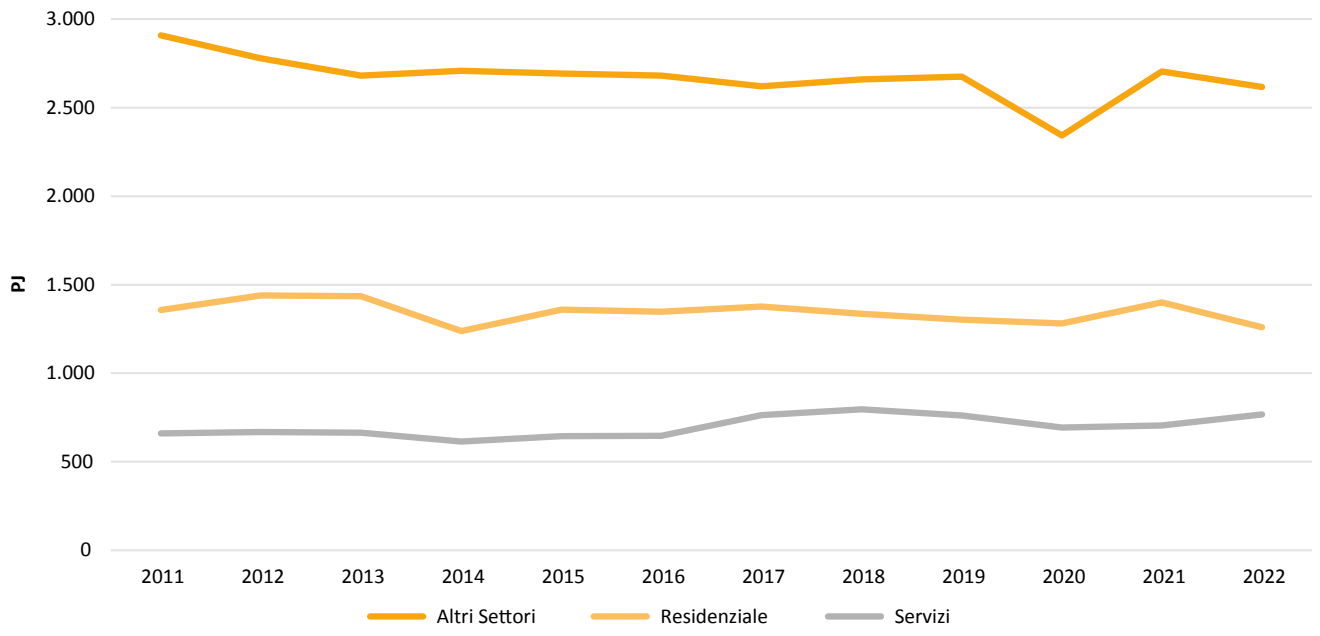


Fig. 5.3: Emissioni di gas serra in Italia per settore e incidenza del settore residenziale (2005-2022)

Fonte: EU Building Stock Observatory, 2025

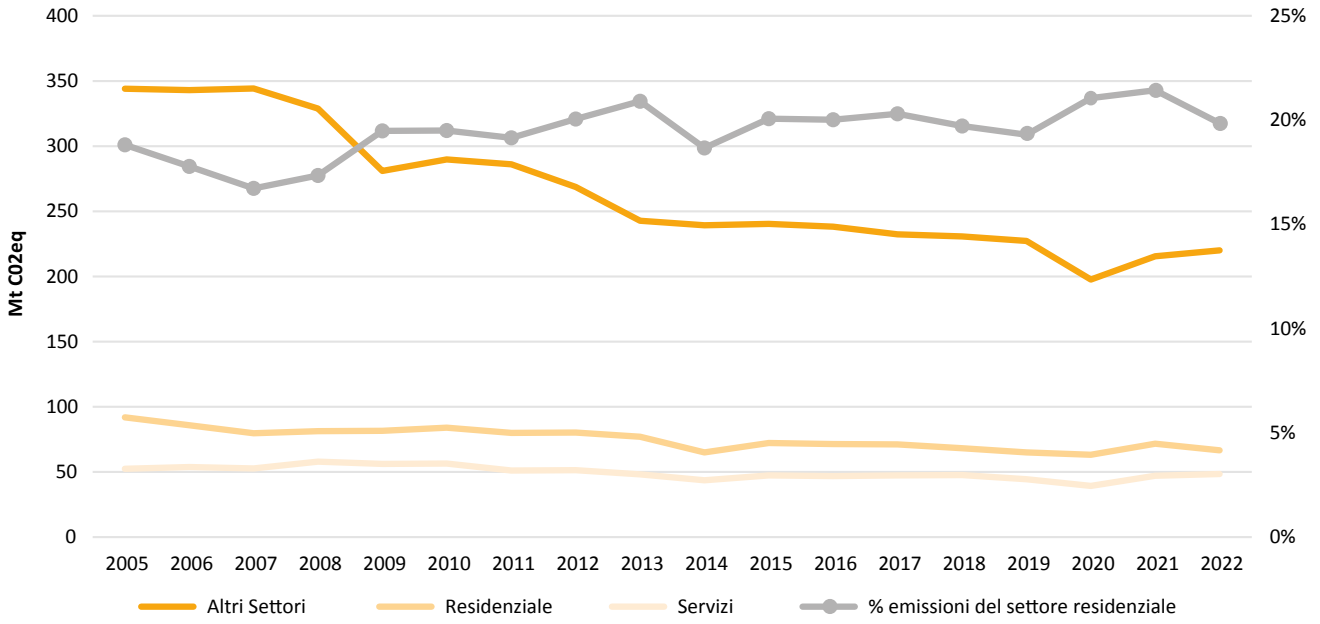
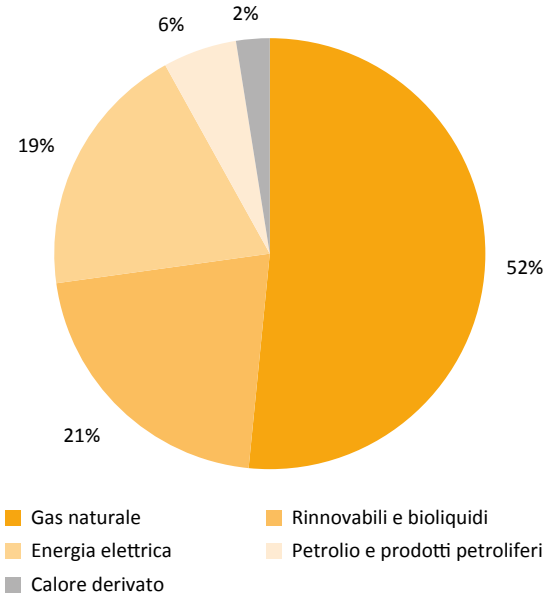


Fig. 5.4: Consumi residenziali per fonte energetica, 2022

Fonte: ARERA, 2025



l'incidenza delle emissioni associate al settore residenziale sul totale delle emissioni è aumentata dal 2005 al 2022, sebbene di un solo punto percentuale. Il settore residenziale italiano è fortemente dipendente dai combustibili fossili, in particolare dal gas naturale. Secondo ARERA il consumo finale energetico residenziale nel 2022 è stato di circa 29,3 Mtep, così suddiviso: 15.112 ktep (52%) gas naturale, 5.607 ktep (19%) elettricità, 6.224 ktep (21%) rinnovabili e bioliquidi (prevalentemente biomasse legnose), 1.625 ktep (5,5%) prodotti petroliferi liquidi e 737 ktep (2,5%) teleriscaldamento.

I consumi energetici delle famiglie italiane presentano caratteristiche distintive che riflettono sia le specificità climatiche del territorio che le abitudini consolidate nel tempo. Nel 2020, la spesa media annuale delle famiglie per i consumi energetici si attestava a 1.411 euro, con significative differenze territoriali: 1.542 euro al Nord e 1.220 euro nel Mezzogiorno.

Questa disparità geografica evidenzia l'influenza delle condizioni climatiche sui fabbisogni energetici, con il Nord che registra maggiori consumi per il riscaldamento invernale e il Sud che presenta una quota più elevata di consumi elettrici.
La spesa energetica dell'abitazione comprende diverse componenti essenziali: riscaldamento degli ambienti, produzione di acqua calda sanitaria, raffrescamento estivo, cottura dei cibi e funzionamento degli elettrodomestici. Queste funzioni sono alimentate da una varietà di fonti energetiche che includono energia elettrica, gas naturale, biomasse, gasolio, GPL e, in misura crescente, energie rinnovabili. L'evoluzione dei consumi domestici ha inoltre registrato l'emergere di nuove applicazioni, come la ricarica domestica di veicoli elettrici, che rappresentano andamenti significativi verso la transizione energetica.
Sempre secondo dati Istat, in termini di spesa media familiare (anno 2020), il 40,3% è imputabile all'elettricità e il 43,4% al metano. Vi sono forti differenze territoriali: al Nord prevale il metano (oltre il 50% della spesa) mentre al Sud pesa maggiormente l'elettricità (circa 47–56%) e le biomasse (legna/pellet al 10%). Ad esempio, nel Nord-Ovest il metano copre il 52% della spesa familiare, nel Mezzogiorno solo il 30% (lì l'elettricità raggiunge il 49,5% ed è particolarmente alta la spesa per GPL e pellet). In generale, il Nord consuma più gas, il Centro e Sud più elettricità e una quota superiore di risorse rinnovabili termiche (es. il Sud/Nord-Est usano più spesso legna o pellet per riscaldamento, 10–11% in spesa).
Dunque, il panorama energetico domestico italiano è dominato da due vettori principali: il gas naturale (metano) e l'energia elettrica, che insieme rappresentano l'83,8% della spesa energetica familiare. Il metano costituisce la fonte prevalente con una quota del 43,4% della spesa totale, corrispondente a 15.636 milioni di euro, mentre l'energia elettrica contribuisce per il 40,3%, pari a 14.511 milioni di euro. Questa configurazione riflette l'utilizzo consolidato del metano per il riscaldamento degli ambienti e dell'acqua sanitaria, oltre che per la cottura dei cibi, mentre l'e-

Fig. 5.5: Usi finali di energia nelle abitazioni, per attività (2015-2022)

Fonte: EU Building Stock Observatory, 2025

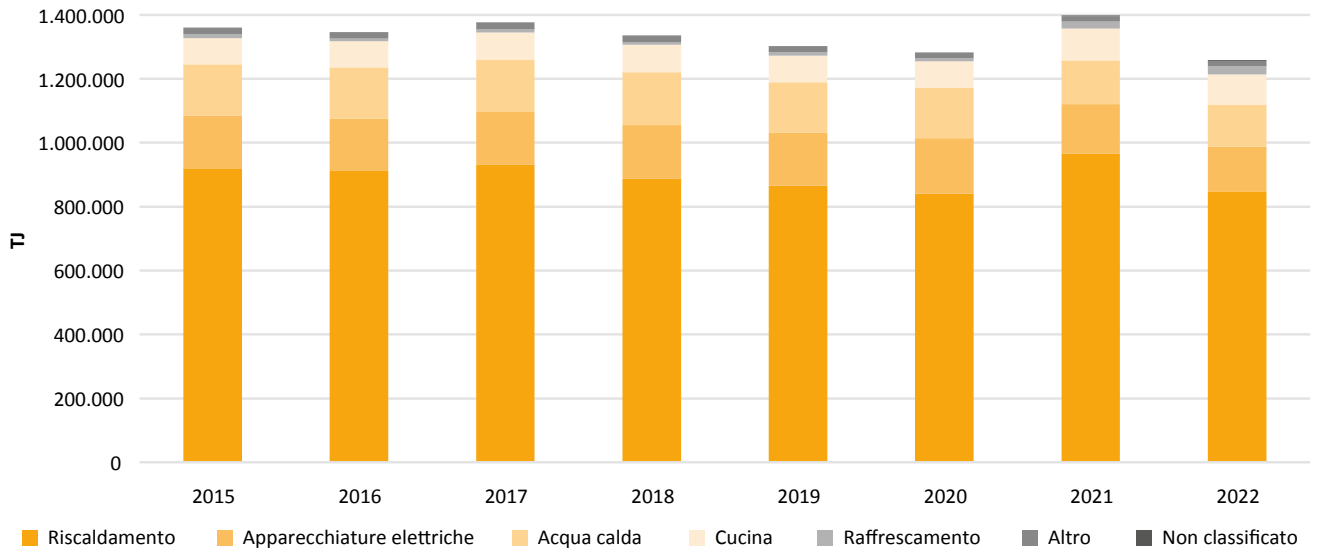
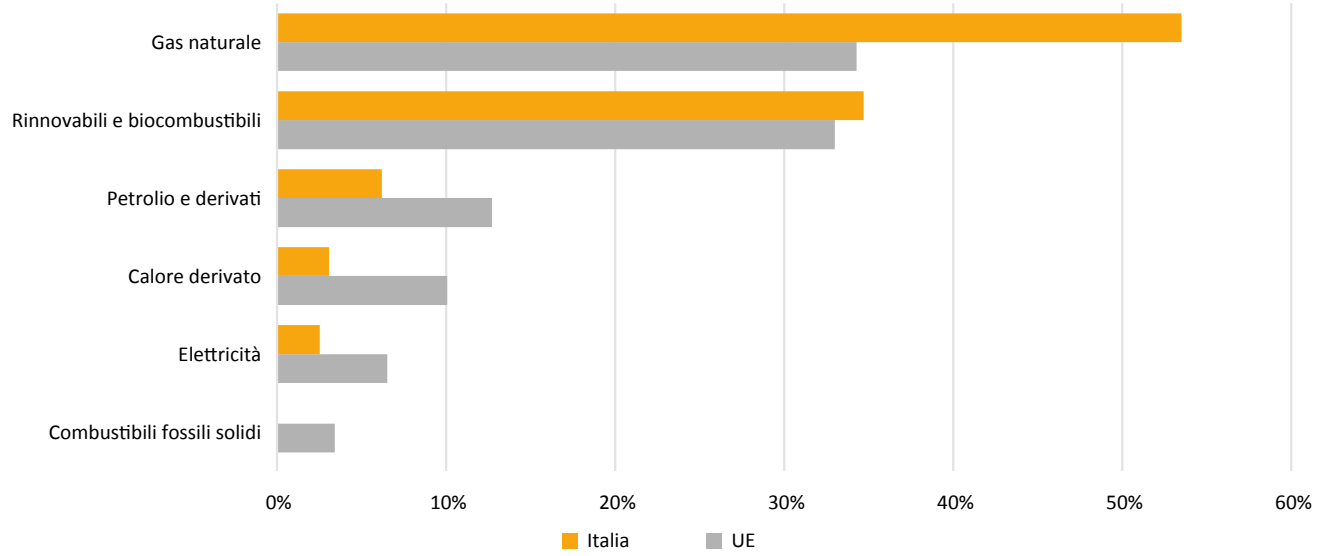


Fig. 5.6: Consumi per il riscaldamento degli ambienti, per fonte (2023)

Fonte: Eurostat, 2025



nergia elettrica alimenta l'ampia gamma di elettrodomestici e sistemi di climatizzazione[22].

Il riscaldamento degli ambienti è decisamente l'ambito che assorbe più energia nelle abitazioni in Italia. Seguono per importanza l'alimentazione delle apparecchiature elettriche, l'uso di acqua calda sanitaria e la cottura dei cibi.

Per il riscaldamento degli ambienti, l'Italia dipende in misura maggiore dal gas naturale rispetto alle media UE. Sempre in confronto alla media europea, vi è un maggiore utilizzo di rinnovabili e biocombustibili, mentre molto meno battute sono le strade del teleriscaldamento e del vettore elettrico, nonché del petrolio e derivati.

5.3. UN PARCO IMMOBILIARE MOLTO DATATO

Il patrimonio immobiliare italiano presenta dimensioni e caratteristiche che ne fanno uno dei più estesi d'Europa, ma anche uno dei più energivori a causa dell'età avanzata degli edifici. Il territorio nazionale ospita 12,4 milioni di edifici residenziali, ai quali si aggiungono 1,7 milioni di edifici non residenziali, per un totale di 14 milioni di unità immobiliari. La composizione funzionale degli edifici non residenziali evidenzia una prevalenza di strutture destinate alla produzione (19%), al commercio (16%) e ai servizi (12%), configurando un tessuto edilizio diversificato che richiede strategie di intervento differenziate.

Il dato più critico riguarda l'età del patrimonio edilizio: oltre il 60% degli edifici residenziali è stato costruito prima del 1976, anno di entrata in vigore della prima legge italiana sul risparmio energetico. Questa

22 https://www.istat.it/it/files/2022/12/Consumi-energetici-famiglie-2020-2021-.pdf

caratteristica strutturale rappresenta una sfida significativa per gli obiettivi di decarbonizzazione, poiché tali edifici sono stati realizzati senza criteri di efficienza energetica e presentano elevati fabbisogni per il riscaldamento e il raffrescamento. La vetustà del parco immobiliare si traduce in prestazioni energetiche inadeguate agli standard contemporanei, con conseguenti sprechi energetici e maggiori emissioni di CO_2.
L'istituzione dell'APE (Attestato di Prestazione Energetica) come obbligo ha contribuito ad aumentare la consapevolezza sul tema e orientato il mercato verso edifici più efficienti. L'APE è infatti richiesto per accedere alle detrazioni fiscali per la riqualificazione energetica (Ecobonus, Superbonus), permettendo di verificare l'effettivo miglioramento della classe energetica dopo gli interventi. I dati SIAPE mostrano una crescente adozione degli APE. Nell'annualità 2024 si è arrivati a certificare 1,2 milioni di edifici, per un totale di circa 7,1 milioni di certificazioni. Nei primi mesi del 2025 si è già raggiunto un numero di APE emessi pari a circa 365mila. Dal 2015 al 2025, l'attestazione ha interessato per l'87,4% edifici residenziali e per la restante porzione edifici non residenziali.
Guardando le classi energetiche derivanti degli APE risulta che la maggior parte degli edifici è in classe G, la più bassa. Vi è un chiaro legame inversamente proporzionale tra il grado di prestazioni e l'incidenza sul totale, con la sola eccezione della classe A4, la più elevata, che è stata rilevata per il 4% degli edifici sondati. A questo profilo di prestazioni complessive corrisponde un'età degli edifici piuttosto elevata, con la maggior parte degli edifici interessati dagli APE che risulta costruita fra il 1945 e il 1972.
Secondo indagini di mercato, che comprendono una platea più ampia degli immobili soggetti ad APE, oltre il 70–80% degli immobili esistenti si colloca nelle classi energetiche G–D (le più basse), con la classe G ancora dominante tra le vendite di immobili usati. Solo di recente si riscontra un lieve miglioramento: la quota di edifici certificati in classe F–G è diminuita di circa il 4% negli ultimi anni (grazie soprattutto agli incentivi al retrofit).

Fig. 5.7: Anno di costruzione per superficie utile, Italia (2020)

Fonte: EU Building Stock Observatory, 2025

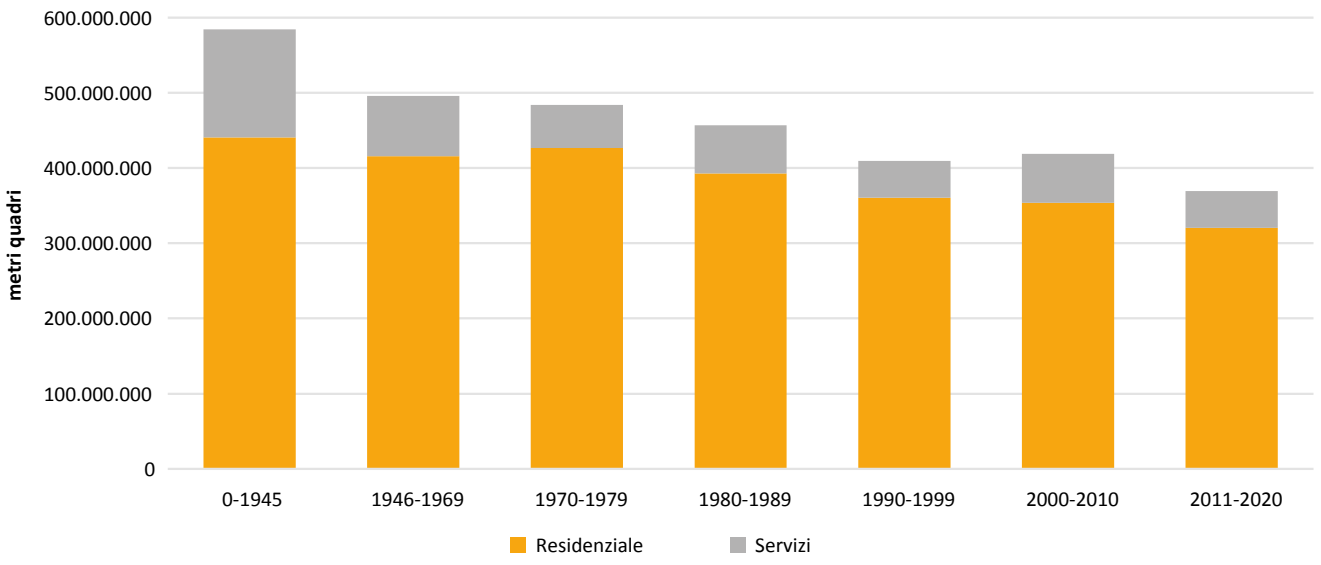
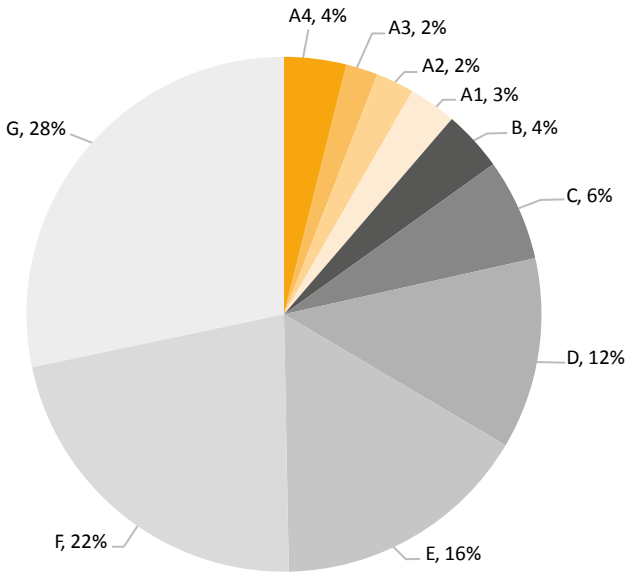


Fig. 5.8: APE per classe energetica (2015-2025)

Fonte: SIAPE, dati consultati ad aprile 2025



Oltre al patrimonio privato, l'identificazione delle proprietà pubbliche offre opportunità specifiche per interventi pilota di riqualificazione energetica. Il rapporto ENEA sulla consistenza del parco immobiliare nazionale[23] individua circa 770.000 unità immobiliari di proprietà pubblica, di cui 670.000 non vincolate e quindi potenzialmente soggette agli obblighi di riqualificazione energetica. Questa quota significativa del patrimonio immobiliare pubblico rappresenta un'opportunità strategica per dimostrare l'efficacia delle tecnologie di decarbonizzazione e per stimolare il mercato privato attraverso esempi virtuosi.

La presenza di edifici pubblici non vincolati costituisce un terreno ideale per sperimentare soluzioni innovative di riscaldamento decarbonizzato, potendo beneficiare di procedure semplificate e di finanziamenti pubblici dedicati. Gli interventi sul patrimonio pubblico possono inoltre svolgere una funzione di traino per il mercato privato, dimostrando la fattibilità tecnica ed economica delle soluzioni proposte e contribuendo alla riduzione dei costi attraverso economie di scala. La strategia di intervento sul patrimonio pubblico deve pertanto essere concepita come un catalizzatore per la trasformazione dell'intero settore edilizio nazionale.

5.4. SOLUZIONI SPECIFICHE E OSTACOLI STRUTTURALI

In Italia la stragrande maggioranza delle abitazioni è dotata di caldaie a metano convenzionali (spesso vecchie) o a GPL/gasolio in zone non metanizzate. Il 17,0% delle famiglie usano legna, il 7,3% il pellet, con incidenza maggiore in aree montane e rurali. Le pompe di calore (aria–acqua o aria–aria) stanno crescendo ma sono ancora minoritarie: nel 2023 hanno generato circa 2.855 ktep di calore termico (incluse acqua calda sanitaria e raffrescamento), ovvero meno del 10% dei fabbisogni termici residenziali. Il teleriscaldamento è presente soprattutto in alcune città del Nord (ad es. zone industriali e urbane), ma complessivamente copre solo 2–3% del riscaldamento residenziale. Impianti alternativi (pompe di calore geotermiche, sistemi solari termici, caldaie a idrogeno) sono ancora marginali. Va inoltre notato che molti impianti italiani sono obsoleti: secondo l'Istat, più della metà delle famiglie ha un sistema di riscaldamento che ha più di 10 anni e oltre il 40% degli impianti centralizzati ha più di 20 anni, con riflessi negativi sull'efficienza termica complessiva degli edifici. Il potenziale dell'innovazione energetica per decarbonizzare il riscaldamento domestico si traduce in queste – non esaustive – soluzioni:

- Pompe di calore elettriche (aria–acqua, geotermiche) – Tecnologicamente mature,

23 https://www.pubblicazioni.enea.it/download.html?task=download.send&id=698:la-consistenza-del-parco-immobiliare-nazionale&catid=3

consentono elevate efficienze stagionali (COP medi 3–4) e possono ridurre le emissioni di CO_2 del circa 70–75% rispetto a un riscaldamento a gas, se alimentate da elettricità rinnovabile. Nel 2023 l'energia termica estratta dall'ambiente (calore utile) tramite pompe di calore residenziali ha superato 2.855 ktep (in crescita del 3,6% sul 2022). L'installazione richiede spazio per unità esterna o sonde geotermiche (per quelle geotermiche) e adeguamenti impiantistici. I costi iniziali sono elevati (5–15 k€/kW termico). L'accessibilità dipende dal prezzo dell'elettricità rispetto al gas: con le attuali politiche di decarbonizzazione, il risparmio operativo è interessante. L'impatto ambientale è molto positivo in termini di riduzione CO_2 per kWh termico prodotto.

- Teleriscaldamento rinnovabile – Sistemi a rete che distribuiscono calore prodotto centralmente (da biomasse, solare termico di grande scala, geotermia profonda, cogenerazione a fonti pulite). In Italia rappresenta oggi solo una piccola quota del riscaldamento (ca. 737 ktep di calore reso al residenziale, circa 2,5% del settore termico), ma alcune città nordiche hanno reti più sviluppate. L'infrastruttura richiede ingenti investimenti in reti interrate e impianti centrali. Il costo per utente dipende dalle economie di scala, ma può risultare più basso del riscaldamento individuale. Gli incentivi pubblici (ad es. programmi RePowerEU/PNRR) incentivano la conversione di reti esistenti a fonti rinnovabili. L'impatto ambientale è buono: permette l'impiego efficiente di biomasse legnose o di grandi campi solari termici, abbattendo molti combustibili fossili e aumentando la quota di rinnovabili nel termico.
- Solare termico – Pannelli solari sui tetti per acqua calda sanitaria e integrazione al riscaldamento. In Italia il parco installato produce diverse centinaia di ktep all'anno (ad es. circa 277 ktep nel 2021). I costi dei sistemi (circa 3–5 k€/kW_th) sono competitivi, con incentivi. Il principale limite è la stagionalità (inverno poco contributo) e lo spazio richiesto. L'installazione è tecnica semplice sui tetti, con bassi costi di manutenzione. L'impatto è positivo: ogni impianto contribuisce a ridurre l'uso di gas, ma il potenziale aggiuntivo su larga scala è limitato dalla disponibilità di superfici e dall'efficienza modesta.
- Idrogeno verde – Tecnologicamente si possono usare caldaie a miscela metano-idrogeno o dedicate all'idrogeno. Recenti sperimentazioni (es. blending al 5% a Castelfranco Emilia) ne testano la compatibilità. Tuttavia, l'idrogeno per riscaldamento è estremamente costoso: una meta-analisi mostra costi finali mediamente 86% più alti rispetto a pompe di calore o teleriscaldamento elettrico. L'efficienza complessiva di un sistema a idrogeno verde è "solo" circa 70% (contro un valore più che quadruplo di un impianto basato su pompa di calore). Occorrerebbero ingenti capacità di produzione rinnovabile per l'elettrolisi e adeguamenti infrastrutturali (gasdotti resistenti all'H_2). Attualmente il suo impatto concreto è limitato e rimane più adatto ad applicazioni industriali o di mobilità. In futuro, se si riuscirà a ridurre drasticamente il costo dell'idrogeno verde, potrà integrare soluzioni miste, ma oggi è da considerarsi tecnicamente possibile ma non competitivo rispetto alle soluzioni elettriche.

  Non va dimenticato tuttavia che l'H_2 in piccole percentuali può essere senza problemi essere vittoriato miscelato con il gas naturale e/o anche il biometano, il cui contributo pure è destinato a crescere.

Nel complesso, le pompe di calore rappresentano la tecnologia più promettente per la decarbonizzazione

del riscaldamento domestico, offrendo elevata efficienza energetica e compatibilità con l'elettrificazione del sistema energetico. Questi sistemi utilizzano l'energia elettrica per trasferire calore dall'ambiente esterno (aria, acqua o terreno) agli ambienti interni, raggiungendo coefficienti di prestazione (COP) significativamente superiori rispetto ai sistemi di riscaldamento tradizionali. La crescente diffusione di apparecchi per la climatizzazione elettrica, già evidenziata nei consumi domestici, costituisce una base tecnologica su cui sviluppare soluzioni integrate per riscaldamento e raffrescamento.

L'efficacia delle pompe di calore è particolarmente elevata negli edifici di nuova costruzione o sottoposti a riqualificazione energetica approfondita, dove l'isolamento termico ottimizzato consente di operare con temperature di mandata ridotte. Con il clima italiano, le pompe di calore aria-acqua possono in molti casi, ma non certo in tutti, garantire prestazioni elevate anche durante i periodi invernali, mentre le soluzioni geotermiche offrono maggiore stabilità nelle regioni con inverni più rigidi. L'integrazione con sistemi di accumulo termico e la gestione intelligente dei carichi elettrici possono inoltre ottimizzare l'utilizzo dell'energia rinnovabile prodotta da impianti fotovoltaici domestici.

I sistemi ibridi rappresentano una soluzione di transizione particolarmente adatta al contesto italiano, combinando pompe di calore elettriche con caldaie a condensazione esistenti per ottimizzare efficienza e costi operativi. Questa configurazione consente di sfruttare le pompe di calore durante i periodi di funzionamento più favorevoli e di ricorrere alla caldaia tradizionale nelle condizioni climatiche più severe o quando i costi dell'energia elettrica sono elevati. L'approccio ibrido facilita la transizione graduale verso la decarbonizzazione, consentendo di mantenere la sicurezza energetica mentre si sviluppa l'infrastruttura elettrica e si acquisisce esperienza operativa.

L'implementazione di sistemi ibridi può essere particolarmente vantaggiosa negli edifici esistenti dove interventi di isolamento termico approfondito risultano economicamente o tecnicamente complessi. La presenza di impianti di distribuzione a radiatori tradizionali non costituisce necessariamente un ostacolo, purché sia prevista un'accurata progettazione termica e idraulica. I sistemi di controllo avanzati possono ottimizzare automaticamente la commutazione tra le diverse fonti energetiche, massimizzando l'efficienza complessiva e minimizzando i costi operativi e le emissioni di CO_2.

Le biomasse costituiscono già una componente significativa del mix energetico domestico italiano, rappresentando il 7% della spesa energetica totale attraverso legna da ardere e pellet. Questa risorsa rinnovabile offre opportunità di decarbonizzazione particolarmente interessanti nelle aree rurali e montane, dove la disponibilità locale di biomassa forestale può garantire vantaggi economici e ambientali. L'evoluzione tecnologica degli apparecchi a biomassa, con sistemi di combustione ad alta efficienza e controllo automatico delle emissioni, consente di conciliare sostenibilità ambientale e comfort domestico.

L'utilizzo sostenibile delle biomasse richiede tuttavia una gestione responsabile delle risorse forestali e il rispetto di criteri di qualità dei combustibili per minimizzare le emissioni locali. Gli apparecchi di ultima generazione, certificati secondo gli standard europei più rigorosi, possono raggiungere efficienze superiori al 90% e ridurre significativamente le emissioni di particolato e composti organici, a patto però – cosa che va sottolineata – di essere correttamente alimentati. L'integrazione con sistemi di accumulo termico e la connessione a reti di teleriscaldamento locali possono inoltre ottimizzare l'utilizzo delle biomasse in contesti territoriali specifici, creando filiere energetiche locali sostenibili.

UNO SGUARDO ALL'EUROPA

- Danimarca: uno dei Paesi leader nella decarbonizzazione del riscaldamento. Oltre il 65% delle abitazioni è connesso a reti di teleriscaldamento alimentate da fonti rinnovabili (biomasse, solare termico di grande scala, geotermia). Il governo ha vietato l'installazione di nuove caldaie a gas nei nuovi edifici fin dal 2013 e prevede di eliminare gradualmente l'uso domestico del gas entro il 2035. Le amministrazioni locali sono protagoniste della pianificazione energetica, con supporto finanziario statale e forte consenso pubblico.

- Paesi Bassi: avviamento nel 2018 di un ambizioso programma per diventare "gas-free" nel settore residenziale. Dal 2018 è vietato collegare nuove abitazioni alla rete del gas, e si promuove l'uso di pompe di calore e reti di calore rinnovabili. Sono stati creati fondi pubblici (es. "Natural Gas-Free Neighborhoods Program") per finanziare progetti pilota su scala comunale. L'obiettivo nazionale è disconnettere 1,5 milioni di abitazioni dal gas entro il 2030 (su un totale di 8 milioni).

- Germania: ampio programma di incentivi per la sostituzione delle caldaie fossili con pompe di calore e per la riqualificazione energetica. Il programma BEG (Bundesförderung für effiziente Gebäude) eroga sovvenzioni fino al 40–50% dei costi di ristrutturazione, con attenzione specifica alle famiglie a basso reddito. Dal 2024, è obbligatorio installare almeno il 65% di fonti rinnovabili nei nuovi impianti di riscaldamento.

- Francia: la Francia ha lanciato il programma MaPrimeRénov', un incentivo diretto alle famiglie per la ristrutturazione energetica. L'obiettivo è riqualificare oltre 700.000 abitazioni all'anno. Dal 2022 è vietato installare nuove caldaie a gas nei nuovi edifici residenziali. Sono inoltre previsti divieti di affitto per gli edifici più energivori (classe G), a partire dal 2025, spingendo i proprietari a intervenire.

5.5. TIPICITÀ E OSTACOLI STRUTTURALI ITALIANI

L'Italia, più che in altri Paesi e per varie ragioni, presenta tuttavia numerosi ostacoli alla diffusione di queste innovazioni energetiche succitate.
Le barriere alla transizione verso il riscaldamento green sono, infatti, molteplici.

- Economiche: La realizzazione degli investimenti necessari per la decarbonizzazione del riscaldamento domestico deve confrontarsi con significative barriere economiche e sociali. La spesa energetica media delle famiglie italiane, pari a 1.411 euro annui, rappresenta una quota rilevante del bilancio domestico, particolarmente per le famiglie a basso reddito. L'investimento iniziale richiesto per la sostituzione degli impianti di riscaldamento e per gli interventi di riqualificazione energetica può risultare proibitivo senza adeguati meccanismi di supporto finanziario. Oltre al CAPEX, anche i costi d'installazione degli impianti verdi (pompe di calore, teleriscaldamento, ristrutturazioni) sono elevati e spesso non sostenibili dalle

famiglie (anche se ammortizzati nel tempo). L'incertezza sui prezzi dell'energia e la scarsa capacità di finanziamento rallentano gli investimenti privati.

- Regolatorie e amministrative: la lentezza nel recepire le nuove direttive UE, le procedure edilizie complesse e la carenza di standard uniformi (ad es. per l'idrogeno in rete) frenano gli interventi. Spesso mancano incentivi mirati o esenzioni per vecchi edifici, mentre alcune normative locali possono ostacolare l'installazione di pannelli o pompe di calore in centri storici. L'indebitamento pubblico italiano, nonché il costo e lo scrutinio pubblico a cui sono stati sottoposti gli incentivi pubblici per l'efficientamento energetico sono un limite a nuove incentivazioni da parte dello Stato.
- Sociali e culturali: scarsa consapevolezza dei cittadini sui benefici, resistenza al cambiamento delle abitudini di riscaldamento (es. preferenza storica per la legna), e il problema del "split incentive" (chi paga le bollette non sempre investe in efficienza). Vi è anche una carenza di tecnici specializzati nella progettazione e installazione di nuove tecnologie.
- Tecniche: La transizione verso sistemi di riscaldamento elettrificati richiede un significativo potenziamento delle infrastrutture di distribuzione elettrica, sia a livello nazionale che locale. Sono necessarie, inoltre, competenze specialistiche degli installatori, che attualmente non sono diffuse nelle piccole imprese della filiera italiana che si occupano di installazione di soluzioni di riscaldamento. L'incremento dei consumi elettrici domestici derivante dalla sostituzione degli impianti a gas con pompe di calore comporta sfide tecniche per la gestione dei picchi di domanda invernali e per la stabilità delle reti di distribuzione. L'elettrificazione del riscaldamento domestico richiede inoltre lo sviluppo di sistemi di gestione intelligente della domanda per ottimizzare l'utilizzo delle risorse elettriche disponibili. L'integrazione con sistemi di accumulo elettrico domestico e la modulazione dei carichi termici possono contribuire a ridurre i picchi di domanda e a facilitare l'integrazione dell'energia rinnovabile variabile. La digitalizzazione dei sistemi energetici domestici, attraverso contatori intelligenti e sistemi di home energy management, costituisce un elemento essenziale per massimizzare l'efficienza della transizione energetica.

In particolare, nello studio "Decarbonizzazione dei consumi termici residenziali" di BIP Consulting, si riportano degli scenari di valutazione di diverse tecnologie di riscaldamento sostenibile. Nel dettaglio, si sono valutate più soluzioni tecnologiche per il riscaldamento decarbonizzato e sono emerse alcune interessanti evidenze. Partendo dalla conformazione delle abitazioni, dall'analisi di un campione rappresentativo della popolazione di abitazioni emerge che solo il 41% delle abitazioni analizzate dispone di uno spazio esterno dedicabile a pompe di calore. Inoltre, circa il 70% delle abitazioni è alimentata da metano con sistemi autonomi, che rappresentano la maggioranza dei sistemi di distribuzione del calore, e quasi la totalità delle abitazioni è dotata di radiatori per trasferire il calore. Negli ultimi 5 anni, solo il 38% delle famiglie ha investito in efficienza energetica con una spesa media di 10.000 euro, ma è previsto un aumento della propensione in futuro fino al 59%.

Le pompe di calore si caratterizzano per rendimenti energetici elevati, compresi tra il 250% e il 400% in relazione alla specifica tecnologia adottata, superando significativamente l'efficienza dei sistemi di riscaldamento convenzionali, sebbene le loro prestazioni siano condizionate dalle condizioni climatiche locali e dalle temperature operative della zona di installazione. Quest'ultimo è un punto tutt'altro che trascurabile, anche in località del Centro e Sud (v. *infra*).

L'implementazione di sistemi basati su pompe di calore può inoltre presentare criticità in termini di spazio richiesto e compatibilità con gli impianti di distribuzione termica preesistenti, particolarmente nel caso di radiatori tradizionali che necessitano di temperature di mandata elevate, incompatibili con le caratteristiche operative ottimali di tali tecnologie.
Il solare termico assume prevalentemente una funzione ausiliaria nell'ambito del riscaldamento degli edifici, richiedendo frequentemente l'integrazione con sistemi di generazione termica aggiuntivi per garantire la continuità e l'adeguatezza dell'apporto energetico. Il mercato tecnologico propone attualmente soluzioni ibride innovative che integrano i benefici delle pompe di calore con quelli delle caldaie a condensazione, realizzando un equilibrio ottimale tra efficienza energetica e versatilità operativa.
L'impiego di combustibili rinnovabili nelle caldaie alimentate a gas naturale consente una riduzione delle emissioni di anidride carbonica mantenendo sostanzialmente invariate le tecnologie impiantistiche e le infrastrutture esistenti, rappresentando una strategia di transizione energetica caratterizzata da limitati interventi di adeguamento tecnico.
Un aspetto cruciale dell'analisi di BIP riguarda il profilo socio-economico e demografico dei nuclei familiari italiani. Il 70% delle famiglie presenta un reddito medio inadeguato per sostenere investimenti di entità significativa in tecnologie quali le Pompe di Calore (PdC). Parallelamente, gli immobili di proprietà privi di vincoli ipotecari appartengono prevalentemente a soggetti con età superiore ai 55 anni, caratterizzati da una minore propensione verso investimenti a lungo termine.
In questo contesto, emerge l'interrogativo sulla fattibilità di una completa elettrificazione del parco immobiliare. Lo studio "Decarbonizzazione dei consumi termici residenziali" ha consentito di quantificare il potenziale effettivo per l'installazione di pompe di calore nell'attuale stock residenziale. Partendo dal totale di 31 milioni di abitazioni, il numero si riduce a circa 10,3 milioni di unità, escludendo le abitazioni non soggette alla normativa EPBD, quelle gravate da vincoli architettonici, non occupate o caratterizzate da prestazioni energetiche già adeguate, si vanno a raggiungere infine i 10 milioni di abitazioni classificate in classe F-G. Di questi, solamente 5,9 milioni risultano tecnicamente idonei all'installazione di PdC (escludendo abitazioni in zone climatiche rigide e quelle prive di spazi adeguati all'installazione). Applicando ulteriori vincoli economici e reddituali, il numero si contrae drasticamente a 1,76 milioni di unità, evidenziando come un approccio esclusivamente basato sulle PdC risulti irrealistico e insostenibile.
Per valutare la convenienza economica delle soluzioni di decarbonizzazione, è stata elaborata un'analisi del *Total Cost of Ownership* (TCO), metodologia che consente il confronto della competitività economica tra le alternative tecnologiche identificate. L'analisi integra costi di installazione, gestione operativa e impatto energetico, considerando le configurazioni impiantistiche più diffuse nel contesto italiano.
I risultati dell'analisi di competitività evidenziano che:

- Le PdC rappresentano soluzioni tecnologicamente efficienti in contesti climatici temperati e consentono la riduzione dell'uso di energia primaria esclusivamente se alimentate da energia elettrica di origine rinnovabile, tuttavia mostrano scarsa competitività economica a causa degli elevati costi di investimento iniziale (Capex) e del costo elevato dell'energia elettrica.
- Le caldaie a condensazione alimentate a metano o GPL costituiscono la soluzione economicamente più vantaggiosa in tutti i contesti analizzati. Grazie ai contenuti costi di investimento e ai ridotti costi operativi, consentono una significativa riduzione del consumo di energia primaria rispetto ai generatori tradizionali. Tuttavia, l'utilizzo di metano fossile non assicura un'effettiva riduzione delle emissioni climalteranti.

- L'impiego crescente di gas rinnovabili (biometano, bio-GPL) consente di conseguire riduzioni emissive sostanziali mantenendo costi contenuti e tecnologie consolidate, favorendo così una transizione energetica graduale e socialmente inclusiva.

Per definire la traiettoria di conseguimento dell'obiettivo stabilito dalla Direttiva EPBD relativo alla riduzione del 16% del consumo di energia primaria nel settore residenziale entro il 2030, la ricerca presenta un'analisi multi-scenariale che assume come punto di partenza la necessità di sostituire approssimativamente 12 milioni di generatori termici obsoleti attualmente in esercizio nel patrimonio edilizio nazionale.

Gli scenari elaborati contemplano un approccio incrementale che combina progressivamente interventi tecnologici sui sistemi impiantistici con miglioramenti prestazionali dell'involucro edilizio, quali la sostituzione dei serramenti e l'implementazione di sistemi di isolamento termico, al fine di quantificarne l'efficacia energetica e la sostenibilità dal punto di vista economico-finanziario.

Le valutazioni condotte evidenziano che la strategia di intervento economicamente più vantaggiosa in relazione ai costi di investimento risulta essere la sostituzione dei generatori termici tradizionali con caldaie a condensazione combinata con il rinnovo degli infissi, comportando un investimento medio stimato di 10.500 euro per unità abitativa, di cui l'81% imputabile alla componente serramentistica.

Tali risultati sottolineano come il raggiungimento degli obiettivi prefissati dalla Direttiva EPBD richieda necessariamente l'adozione di una strategia integrata e multidisciplinare, che coordini soluzioni tecnologiche impiantistiche, interventi di riqualificazione dell'involucro edilizio e strumenti di sostegno politico-normativo, permettendo così di affrontare efficacemente le complessità tecniche ed economiche caratteristiche (precipue) del patrimonio residenziale italiano.

icom 2025
istituto per la competitività

CAPITOLO 6

GESTIONE DELL'ENERGIA, DIGITAL TWIN E INTELLIGENZA ARTIFICIALE

6.1. INTRODUZIONE

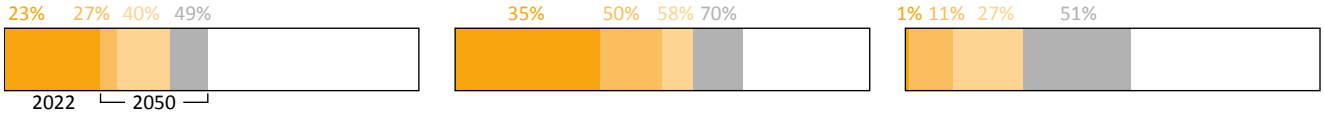
La gestione dell'energia è oggi una priorità strategica per affrontare le sfide globali del cambiamento climatico, della sicurezza energetica e della transizione verso modelli di sviluppo sostenibili. Secondo il World Energy Outlook 2023 dell'International Energy Agency (IEA), la domanda globale di energia rappresentava nel 2022 circa il 20% della Total Final Consumption (TFC)[24]; si stima che questa fetta crescerà fino al 41%, considerando lo scenario Announced Pledges Scenario (APS)[25], e di oltre il 50% considerando lo scenario Net Zero Emissions (NZE)[26], entro il 2050. Questa crescita sarà trainata principalmente dall'elettrificazione dei trasporti, dal fabbisogno energetico del mondo industriale, e dal crescente consumo energetico degli edifici. La Figura 6.1 mostra l'evoluzione della quota di elettricità nei consumi finali di energia nei tre principali settori: industria, edifici e trasporti. Nel 2022, l'elettricità rappresentava rispettivamente il 23%, 35% e appena l'1% del consumo finale nei tre settori (zona grigia della figura). Entro il 2050, secondo gli scenari dell'IEA (STEPS[27] in blu, APS in arancione e NZE in verde), questa quota è destinata a crescere significativamente, trainata dai processi di elettrificazione, evidenziando quindi il ruolo crescente dell'elettricità nella transizione energetica.

Contestualmente, è necessario ridurre drasticamente le emissioni di gas serra per raggiungere la neutralità climatica entro metà secolo. In tale contesto, l'adozione di tecnologie digitali avanzate come i *digital twin* (gemelli digitali) e l'intelligenza artificiale (IA) si configura come una leva fondamentale per trasformare i sistemi energetici in infrastrutture intelligenti, resilienti e ottimizzate.

I digital twin sono rappresentazioni virtuali dinamiche di oggetti, sistemi o processi reali, che permettono di simulare, monitorare e ottimizzare le loro controparti fisiche grazie all'integrazione di dati in tempo reale, modelli matematici e tecnologie avanzate come l'Internet of Things (IoT), l'IA e l'analisi predittiva. Ad esempio, Botín-Sanabria et al. (2021) descrivono l'impiego di un digital twin applicato a un autobus elettrico, in grado di monitorare in tempo reale i parametri operativi tramite sensori di bordo

Fig. 6.1: Fabbisogno energetico vs Total Final Consumption (TFC) di Industria, Edifici, Trasporti

Fonte: IEA, 2023



24 TFC: quantità totale di energia consumata dagli utenti finali in tutti i settori dell'economia. Include elettricità, carburanti per i trasporti, gas per riscaldamento, biomassa, ecc., ma esclude le perdite di trasformazione e il consumo energetico del settore energetico stesso.

25 APS: termine utilizzato dall'IEA nei suoi rapporti previsionali per rappresentare un possibile futuro basato sugli impegni climatici ed energetici attualmente annunciati dai governi.

26 NZE: scenario sviluppato dall'IEA che descrive un percorso possibile e coerente per raggiungere le emissioni nette zero di CO_2 a livello globale entro il 2050, in linea con l'obiettivo di limitare il riscaldamento globale a 1,5 °C sopra i livelli preindustriali.

27 Lo Stated Policies Scenario riflette le politiche e le misure energetiche già in atto o annunciate dai governi, includendo solo quelle che sono accompagnate da dettagli credibili su tempi e strumenti di attuazione. Serve come scenario di riferimento per comprendere l'impatto delle politiche già esistenti sull'evoluzione del sistema energetico.

e di simulare dinamicamente il comportamento del veicolo in diverse condizioni, migliorando l'efficienza complessiva dei consumi.

L'IA può essere definita come l'insieme di tecniche, algoritmi e sistemi informatici progettati per replicare o simulare capacità tipiche dell'intelligenza umana, come apprendere dall'esperienza, ragionare e prendere decisioni, comprendere il linguaggio naturale, riconoscere immagini, suoni o pattern, interagire con l'ambiente. Riferendosi alla definizione fornita da John McCarthy, che ha coniato il termine Artificial Intelligence nel 1955, essa "è la scienza e l'ingegneria della creazione di macchine intelligenti, in particolare programmi informatici intelligenti". Nel contesto energetico, mediante l'utilizzo di queste tecniche, è quindi possibile interpretare e anticipare comportamenti complessi, ottimizzando produzione, consumo, accumulo e distribuzione di energia.

Digital twin e IA sono due strumenti molto potenti e stabilmente utilizzati in molti contesti dell'informatica, con un enorme numero di applicazioni pratiche in svariati contesti della società, e in particolare nel settore energetico. L'approccio sistemico e integrato reso possibile da queste tecnologie consente di superare la frammentazione tradizionale nella gestione dell'energia, abilitando un controllo in tempo reale e una pianificazione predittiva a scala micro (smart building, impianti industriali) e macro (smart grid, comunità energetiche, città intelligenti), aumentando l'efficienza e la sostenibilità nel settore energetico, e consentendo la simulazione in tempo reale, il monitoraggio predittivo e l'ottimizzazione operativa.

Già nel 2018 il tema dei digital twin era al centro dell'attenzione strategica in numerosi settori industriali, come documentato da un'analisi pubblicata da Deloitte, che descrive come le repliche digitali dinamiche di oggetti fisici o processi reali – abilitate da sensori IoT, simulazione e intelligenza artificiale – stanno trasformando la progettazione, la gestione e la manutenzione di asset complessi. Inizialmente sviluppati per contesti ad alta intensità tecnologica come l'automotive e l'aerospaziale, i digital twin si stanno rapidamente estendendo a nuovi domini, tra cui sanità, logistica, retail e città intelligenti.

Diversi studi più recenti hanno continuato ad evidenziare questi benefici, dimostrando risparmi energetici fino al 30% nei contesti industriali, smart building e infrastrutture urbane. Le *AI-driven* energy operations permettono una riduzione dei costi operativi tra il 10–20%, incrementano la manutenzione predittiva (+20–25%) e migliorano l'affidabilità delle reti. Nell'edilizia, un articolo del TIME (2018) mostra un sistema HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) controllato da IA che ha ridotto il consumo del 15,8%. Inoltre, le reti intelligenti potenziate dall'AI hanno dimostrato di ridurre le perdite di trasmissione fino al 15%, e fino al 30% in alcuni casi. A livello avanzato, nuove soluzioni (ad es., modelli di Reinforcement Learning integrati con digital twin) riducono il consumo energetico fino al 35% e aumentano l'utilizzo delle rinnovabili fino al 40%, con straordinarie performance predittive, come mostrato da Naeini et al.(2025).

Questi risultati si traducono naturalmente in un impatto economico di rilievo non affatto trascurabile. Hexagon (2024) ha rilevato che le aziende che utilizzano digital twin registrano in media un risparmio sui costi del 19% e una riduzione delle emissioni del 15%. Inoltre, il ritorno medio sull'investimento (ROI) annuale è del 22%. Tali soluzioni consentono inoltre di migliorare la manutenzione predittiva, riducendo i tempi di inattività e abbattendo i costi operativi fino al 20% (Ba et al. (2025)). Secondo un'analisi di Grand View Research, il mercato globale dei *digital twin* è stato valutato a 16,75 miliardi di dollari nel 2023 e si prevede una crescita con un tasso annuo composto (CAGR) del 35,7% dal 2024 al 2030[28].

28 Bisogna precisare che le stime sul valore del mercato globale dei digital twin variano a seconda della fonte, riflettendo differenze metodologiche, temporali e di ambito. Queste divergenze derivano da differenti perimetri di analisi, settori inclusi e definizioni operative del concetto di "digital twin".

Nel contesto della transizione verso un'economia verde in Europa, i digital twin stanno dunque emergendo come strumenti chiave per supportare la realizzazione del Green Deal europeo. Già nel 2022 un report di Capgemini indicava che il 50% delle aziende nel settore energetico e dei servizi pubblici in Europa utilizza i digital twin per monitorare e prevedere il consumo energetico e le emissioni, con un miglioramento medio del 16% negli indicatori di sostenibilità. Queste repliche digitali dinamiche di sistemi fisici possano contribuire in modo significativo a migliorare l'efficienza energetica e a ridurre l'impronta ambientale in settori strategici quali l'energia, la mobilità, l'industria, l'agricoltura e le città intelligenti. Inoltre, i digital twin introducono un valore aggiunto spesso trascurato: la possibilità di ottenere benefici ambientali misurabili.

Il crescente impatto dei digital twin nel settore energetico è dimostrato dalla diffusione di soluzioni commerciali avanzate già adottate su scala industriale, a conferma sia della loro maturità tecnologica che delle previsioni di crescita a doppia cifra. Ciò rafforza le stime di mercato che indicano un'espansione significativa nel prossimo decennio.

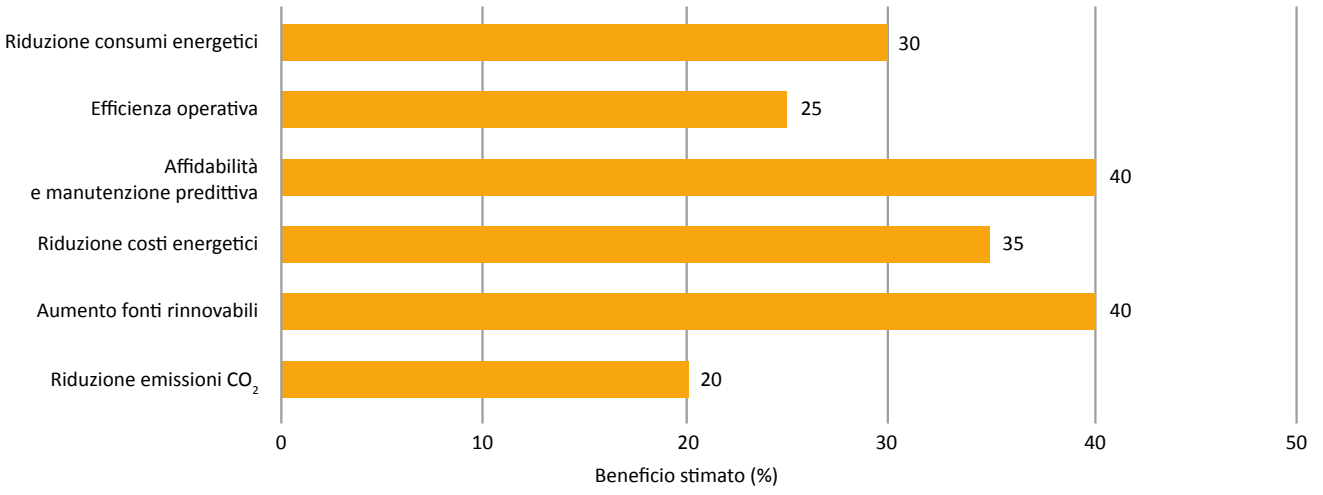
Digital twin e IA non sono quindi soltanto strumenti tecnologici, ma rappresentano i pilastri abilitanti di una nuova governance energetica data-driven, capace di coniugare efficienza, sostenibilità e resilienza. Questo capitolo esplora in dettaglio tali tecnologie, i loro impieghi nei diversi settori energetici, e le prospettive future per una transizione energetica intelligente e sostenibile.

6.2. COS'È LA GESTIONE DELL'ENERGIA?

La gestione dell'energia rappresenta un processo strategico fondamentale per affrontare le sfide contemporanee legate all'efficienza, alla sostenibilità e alla resilienza dei sistemi energetici. Essa comprende una serie articolata di attività, tra cui il monitoraggio dei consumi, l'analisi dei flussi energetici, la previsione della domanda e l'ottimizzazione delle risorse, volte a ottimizzare a migliorare l'efficienza e a favorire la transizione verso fonti a basse emissioni di carbonio. Non

Fig. 6.2: Benefici stimati della gestione energetica avanzata tramite IA e digital twin

Fonte: Ba et al. (2025), World Economic Forum (2024), Zupan et al. (2024), Naeini et al. (2025)



si tratta più solo di ridurre i costi, ma di abilitare una trasformazione digitale e sostenibile dell'intero sistema energetico, dalla produzione alla immissione sul mercato fino alla distribuzione al consumatore finale.
L'industria è uno dei maggiori consumatori di energia, specialmente nei comparti ad alta intensità energetica (come acciaio, cemento, chimica). L'introduzione di tecnologie come i sensori IoT per il monitoraggio in tempo reale, e i digital twin per la simulazione e l'ottimizzazione dei processi, ha permesso una significativa riduzione dei consumi e delle emissioni. In aggiunta, l'IA consente oggi di anticipare i picchi di domanda, prevedere guasti e ottimizzare i cicli produttivi in funzione della disponibilità energetica.
La figura 6.3 sintetizza i benefici stimati della gestione energetica avanzata tramite IA e digital twin, includendo riduzioni nei consumi, costi ed emissioni, e miglioramenti in efficienza, affidabilità e uso di fonti rinnovabili.
La gestione dell'energia è oggi supportata da numerosi strumenti basati su differenti tecnologie digitali: i dispositivi IoT, che consentono una raccolta continua e dettagliata di dati energetici da edifici, impianti e reti di distribuzione, mentre l'IA permette di interpretare questi dati per ottimizzare dinamicamente i processi coinvolti. Essa si configura quindi sempre più come un ambito multidisciplinare e trasformativo, in cui l'integrazione di IA e digital twin consente non solo di migliorare le performance tecniche ed economiche dei sistemi, ma anche di avanzare verso una governance energetica più sostenibile, trasparente e resiliente.
Tuttavia, l'adozione diffusa di questi strumenti richiede il superamento di diverse criticità. Tra queste si annoverano i costi di implementazione, la necessità di standard interoperabili, la sicurezza nella gestione dei dati sensibili e la carenza di competenze professionali specifiche. Il successo della digitalizzazione energetica dipenderà infatti fortemente dalla capacità di costruire un ecosistema integrato, sicuro e orientato ai dati.

6.3. DIGITAL TWIN

Il concetto di digital twin, o *gemello digitale*, ha assunto un ruolo sempre più centrale nella trasformazione digitale dei sistemi energetici. Nella sostanza, un digital twin è un modello digitale, che rappresenta fedelmente un asset fisico (che può essere un edificio, una macchina, una rete elettrica o un'intera infrastruttura urbana), riceve dati dal suo gemello fisico tramite sensori e connettività, e consente simulazioni, analisi predittive e ottimizzazione delle performance. A differenza di un semplice modello statico, il digital twin è costantemente aggiornato con flussi di dati in tempo reale provenienti da sensori IoT, sistemi SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)[29], modelli numerici e algoritmi predittivi, consentendo un'interazione bidirezionale tra ambiente fisico e digitale. Il motivo principale che spinge alla costruzione di un digital twin di un sistema fisico reale risiede in una riduzione dei costi operativi e di manutenzione, in una migliore comprensione del sistema reale grazie alla presenza delle simulazioni accurate, in un aumento dell'efficienza e dell'affidabilità del sistema reale fornendo un valido supporto alle decisioni strategiche (basate sui dati raccolti e sulle previsioni fornite dal modello digitale).

29 Un sistema SCADA è composto da una rete di dispositivi di campo (come sensori, attuatori e PLC – Programmable Logic Controllers) che raccolgono dati da impianti o macchinari, e da componenti software che visualizzano i dati in tempo reale, permettono l'intervento manuale o automatico da remoto, archiviano lo storico per analisi successive. Viene impiegato in tutti quei contesti in cui è necessario controllare e ottimizzare processi distribuiti o complessi, come impianti industriali, reti elettriche, edifici intelligenti, sistemi ferroviari, ecc.

Secondo Fuller et al. (2020), uno dei vantaggi principali del digital twin risiede nella sua capacità di integrare la dimensione temporale e la complessità operativa degli asset fisici in una rappresentazione coerente e navigabile. Questo approccio consente, ad esempio, di anticipare il degrado degli impianti, pianificare interventi di manutenzione predittiva, e simulare l'impatto di modifiche strutturali o operative prima della loro implementazione nel mondo reale. Il digital twin si configura così come un vero e proprio "sistema cognitivo" in grado di apprendere e adattarsi, migliorando l'efficienza operativa e la resilienza degli impianti.

L'applicazione dei digital twin alla gestione dell'energia ha visto un'accelerazione significativa negli ultimi anni, anche grazie alla maggiore disponibilità di dati, all'aumento della potenza computazionale e all'integrazione con l'intelligenza artificiale. Come evidenziato da Do Amaral et al. (2023), i digital twin stanno diventando un'infrastruttura fondamentale per il monitoraggio delle performance energetiche, la simulazione del comportamento degli edifici, e la gestione ottimale dei flussi energetici in tempo reale.

Un esempio rilevante è rappresentato dai progetti di digital twin urbani, come quelli sviluppati a Singapore e Helsinki, che modellano interi quartieri per simulare il consumo energetico, l'impatto ambientale delle nuove costruzioni e la gestione intelligente delle infrastrutture. Questi modelli integrano dati su traffico, reti elettriche, edifici, condizioni climatiche e comportamento degli utenti, diventando strumenti essenziali per la pianificazione urbana sostenibile.

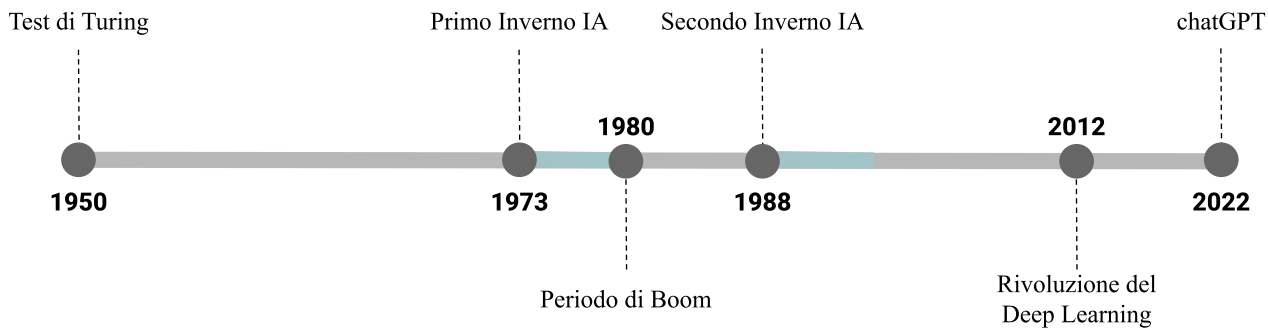
Al di là delle applicazioni operative, il digital twin sta anche assumendo un ruolo centrale nei processi decisionali e nella governance energetica. La sua capacità di produrre rappresentazioni visuali, quantitative e predittive degli scenari futuri lo rende uno strumento ideale per supportare decisioni politiche, investimenti infrastrutturali e strategie aziendali data-driven.

6.4. INTELLIGENZA ARTIFICIALE E MACHINE LEARNING

L'*AI act* approvato dalla Commissione Europea definisce l'intelligenza artificiale come segue: «Sistema di intelligenza artificiale» indica un sistema basato su macchine, progettato per operare con diversi livelli di autonomia e che può mostrare capacità di adattamento dopo la messa in servizio, e che, per obiettivi

Fig. 6.3: Le epoche della IA

Fonte: elaborazione degli autori



espliciti o impliciti, deduce, a partire dagli input ricevuti, come generare output quali previsioni, contenuti, raccomandazioni o decisioni in grado di influenzare ambienti fisici o virtuali».

Questa definizione rispecchia in pieno le potenzialità di questa tecnologia che sta vivendo la sua nuova epoca d'oro. La Figura 6. rappresenta l'evoluzione storica dell'intelligenza artificiale, evidenziando momenti chiave come l'introduzione del test di Turing nel 1950, i periodi di entusiasmo tecnologico, e i due inverni dell'IA (1973 e 1988) in cui le aspettative disattese portarono a una significativa riduzione degli investimenti e dell'interesse scientifico. Dopo una lunga fase di stagnazione, il 2012 segna la cosiddetta rivoluzione del *deep learning*, che ha rilanciato l'IA grazie a nuove architetture neurali e alla disponibilità di grandi quantità di dati e potenza computazionale. Da allora, e in particolare a partire dal 2022, l'intelligenza artificiale sta vivendo una nuova epoca d'oro, caratterizzata da un'accelerazione senza precedenti nello sviluppo di modelli sempre più potenti, dalla diffusione capillare nelle applicazioni industriali e quotidiane, e da una crescente centralità nei processi di innovazione e trasformazione digitale.

L'IA sta rivoluzionando il modo in cui i dati energetici vengono raccolti, analizzati e utilizzati per prendere decisioni operative. In un contesto caratterizzato da una crescente complessità delle reti energetiche, da una maggiore penetrazione di fonti rinnovabili variabili e da una domanda di efficienza e sostenibilità sempre più pressante, l'adozione di tecniche di IA si rivela essenziale per ottimizzare la gestione dell'energia in modo intelligente, adattivo e predittivo.

Le tecnologie basate su IA consentono di elaborare enormi volumi di dati eterogenei provenienti da sensori IoT, contatori intelligenti e modelli di simulazione, trasformandoli in conoscenza utile per la previsione della domanda, il rilevamento di anomalie, la diagnosi di guasti e l'ottimizzazione dei flussi energetici. Questi modelli trovano applicazione in molteplici ambiti: dalle reti neurali per la previsione dei carichi, agli algoritmi di classificazione per la rilevazione di malfunzionamenti o per la previsione del degrado di componenti critici, per l'ottimizzazione dei cicli operativi in funzione di parametri esterni come la temperatura, l'umidità o i prezzi dell'energia, fino ai modelli di clustering per la segmentazione degli utenti o dei profili di consumo.

L'integrazione dell'IA con i digital twin amplifica ulteriormente il potenziale di ottimizzazione. I digital twin, alimentati da modelli IA, non si limitano a replicare il comportamento di un sistema energetico, ma sono in grado di simularne l'evoluzione futura, testare scenari di intervento e fornire raccomandazioni operative in tempo reale. Questo approccio cognitivo permette, ad esempio, di anticipare picchi di domanda, adattare dinamicamente le strategie di carico e identificare situazioni a rischio con largo anticipo. Ad esempio, una revisione sistematica pubblicata su *Sustainability* nel 2025 ha analizzato 50 studi, evidenziando che l'implementazione dei digital twin può portare a risparmi energetici fino al 30%, riduzione dei costi operativi e miglioramento delle strategie di manutenzione predittiva. L'intelligenza artificiale si rivela quindi un alleato fondamentale nella transizione verso impianti produttivi più sostenibili, flessibili e intelligenti.

Tuttavia, l'adozione di queste tecnologie non è priva di ostacoli. La qualità e la disponibilità dei dati restano elementi critici, così come l'interoperabilità tra sistemi legacy e soluzioni intelligenti. Inoltre, l'"opacità" dei modelli AI, in particolare delle reti neurali profonde, solleva questioni di interpretabilità e trasparenza che devono essere affrontate attraverso approcci *explainable AI* (XAI). La sicurezza informatica e la protezione dei dati sono ulteriori aree che richiedono attenzione specifica, specialmente quando le soluzioni vengono implementate in infrastrutture critiche.

6.5. EDIFICI INTELLIGENTI

Secondo l'IEA, gli edifici assorbono circa il 30-40% del consumo energetico globale. Gli *edifici intelligenti* (*smart buildings*) rappresentano dunque uno dei campi di applicazione più maturi e promettenti delle tecnologie digitali avanzate per la gestione dell'energia, consentendo di trasformare gli edifici da semplici consumatori passivi di energia in nodi intelligenti, capaci di adattarsi dinamicamente alle condizioni ambientali, alle abitudini degli utenti e alla variabilità del sistema energetico. Tecnologie smart come sistemi di domotica, termostati intelligenti, building automation, e algoritmi di machine learning per la previsione dei fabbisogni termici, hanno trasformato la gestione energetica, rendendola più reattiva, efficiente e personalizzata. I digital twin edilizi, uniti a dati climatici e comportamentali, consentono simulazioni complesse e strategie dinamiche di gestione, permettendo di monitorare in tempo reale lo stato degli impianti HVAC, dell'illuminazione, della ventilazione e di altri sottosistemi, fornendo una rappresentazione virtuale dettagliata del comportamento energetico della struttura.
Ottimizzare le prestazioni energetiche degli edifici è diventato quindi un obiettivo prioritario per la sostenibilità ambientale e l'efficienza economica delle città. Attraverso sensori ambientali e sensori di occupazione distribuiti, è possibile raccogliere informazioni granulari su temperatura, umidità, qualità dell'aria e presenza degli utenti. Questi dati, analizzati da modelli di IA, vengono utilizzati per regolare automaticamente i parametri di comfort e ridurre i consumi in modo proattivo, senza compromettere il benessere degli occupanti. In questo contesto, la manutenzione predittiva gioca un ruolo cruciale: grazie all'analisi dei dati storici e delle condizioni operative in tempo reale, è possibile individuare segnali precoci di malfunzionamento e pianificare interventi prima che si verifichino guasti critici.

Oltre agli aspetti energetici, gli edifici intelligenti contribuiscono alla sicurezza e alla resilienza urbana. I digital twin, ad esempio, possono simulare scenari di evacuazione in caso di emergenza, testare protocolli di sicurezza antincendio e valutare l'impatto di interventi strutturali o funzionali. Inoltre, l'integrazione con i sistemi di smart grid permette agli edifici di partecipare attivamente all'equilibrio della rete elettrica, fornendo servizi di demand response o gestendo in autonomia sistemi di accumulo e produzione locale, come pannelli fotovoltaici e batterie.
L'edificio intelligente si configura come un laboratorio vivente per la sostenibilità, in cui convergono tecnologie digitali, pratiche architettoniche e strategie energetiche. Il suo sviluppo è destinato a giocare un ruolo determinante nella costruzione di ambienti urbani più efficienti, resilienti e centrati sulla qualità della vita.

6.6. IMPIANTI INDUSTRIALI

L'industria rappresenta uno dei settori a maggiore intensità energetica, con un impatto significativo sia in termini di consumo che di emissioni. La crescente attenzione alla sostenibilità, unita alla necessità di ottimizzare i costi operativi e migliorare la resilienza dei processi produttivi, ha stimolato l'adozione di tecnologie digitali avanzate come i digital twin e l'intelligenza artificiale anche in ambito industriale.
Nel contesto degli impianti manifatturieri, i digital twin offrono la possibilità di modellare digitalmente l'intero ciclo produttivo, inclusi macchinari, linee di produzione, sistemi di refrigerazione e circuiti energetici. Grazie all'integrazione con sensori intelligenti, è possibile raccogliere in tempo reale dati operativi, energetici e ambientali, che vengono poi utilizzati da algoritmi di IA per ottimizzare la gestione dei processi e anticipare potenziali guasti. Si immagini ad esempio un sistema industriale per il controllo dei forni o degli

impianti di refrigerazione, dove il digital twin permette di simulare scenari di carico termico, prevedere il consumo energetico atteso e valutare l'impatto di variazioni nei parametri operativi. Queste simulazioni aiutano non solo a ridurre i consumi energetici, ma anche a migliorare la stabilità del processo e la qualità del prodotto finito.

Uno studio del Capgemini Research Institute del 2022 conferma che l'adozione dei digital twin nelle industrie manifatturiere può ridurre i tempi di fermo macchina fino al 50% e migliorare l'efficienza energetica del 10–15%, con ritorni economici consistenti anche nel breve termine. Questo risultato si ottiene con una riduzione dei tempi di inattività grazie alla manutenzione predittiva e al miglioramento della visibilità operativa tramite digital twin, portando a un aumento della produttività e una riduzione dei costi, in un settore dove i principali KPI sono proprio la riduzione del downtime non pianificato e il miglioramento della qualità. Lo studio, svolto su diversi casi d'uso, riporta inoltre che in generale le organizzazioni coinvolte dall'indagine hanno osservato un aumento medio del 15% dell'efficienza operativa e una riduzione dei costi del 13%. Infine, per quanto riguarda l'efficienza energetica, il documento evidenzia miglioramenti medi del 16% in metriche di sostenibilità per le organizzazioni che hanno già implementato i digital twin. L'analisi predittiva, abilitata dall'AI, consente infatti di identificare comportamenti anomali nelle attrezzature, segnalare condizioni operative subottimali e suggerire azioni correttive prima che il problema si manifesti in modo critico.

Parallelamente, i modelli di machine learning trovano applicazione nell'ottimizzazione del consumo energetico in funzione della variabilità produttiva. Attraverso tecniche di regressione, classificazione e apprendimento non supervisionato, è possibile analizzare in modo *fine-grained* l'efficienza dei cicli termici, dei motori elettrici, dei compressori e di altri sistemi energivori, come ad esempio mostrato in Kamble et al (2022).

Nonostante il potenziale, la trasformazione digitale dell'industria presenta alcune barriere da superare, tra cui la complessità dell'integrazione con sistemi *legacy*, la necessità di investimenti iniziali importanti e la resistenza al cambiamento organizzativo. Tuttavia, l'evidenza empirica dimostra che le imprese che adottano un approccio *data-driven* e investono in digitalizzazione ottengono benefici rilevanti non solo in termini di sostenibilità, ma anche di competitività e innovazione.

6.7. SMART GRIDS

La crescente complessità dei sistemi energetici contemporanei, dovuta alla diffusione delle fonti rinnovabili, alla mobilità elettrica e alla decentralizzazione della produzione, ha reso evidente la necessità di trasformare le reti elettriche tradizionali in infrastrutture intelligenti e adattive. In questo contesto, le smart grids, o reti elettriche intelligenti, emergono come soluzioni chiave per garantire l'affidabilità, la flessibilità e la sostenibilità della distribuzione e gestione dell'energia.

Le smart grids sono reti elettriche digitalizzate, dotate di capacità di monitoraggio, comunicazione e controllo distribuito in tempo reale. Esse integrano tecnologie come IoT, AI e i digital twin per gestire dinamicamente la domanda, ottimizzare l'utilizzo delle risorse e rispondere in modo efficace a eventi imprevisti o perturbazioni del sistema. Questo approccio rappresenta un cambiamento paradigmatico rispetto alla gestione centralizzata e unidirezionale delle reti del passato.

Con questi strumenti è possibile modellare e simulare digitalmente il comportamento della rete elettrica in tempo reale, tenendo conto di molteplici variabili operative: flussi di potenza, congestioni, generazione distribuita, condizioni meteorologiche e comportamenti degli utenti. Attraverso una replica virtuale

del sistema fisico, è possibile prevedere situazioni di stress della rete, identificare i nodi più vulnerabili e testare scenari alternativi per il bilanciamento della domanda e dell'offerta.
Esistono numerosi esempi concreti in questo settore, come il progetto DIRAC che ha sviluppato una piattaforma edge-cloud che integra digital twin, algoritmi di manutenzione predittiva e intelligenza artificiale per ottimizzare la produzione e il consumo energetico. Il progetto europeo InterFlex ha invece evidenziato come l'adozione di tecniche avanzate di automazione, previsione e gestione della flessibilità nelle reti locali consenta di aumentare l'integrazione delle energie rinnovabili senza ricorrere a investimenti infrastrutturali tradizionali. Più recentemente, lo studio di Mylonas et al. ha proposto un'architettura innovativa per la previsione a breve termine del carico elettrico, combinando intelligenza artificiale, digital twin e tecniche di apprendimento attivo. In questo contesto, l'introduzione di un framework di *Active Learning* guidato da un operatore umano (*human-in-the-loop*) permette di affinare progressivamente la capacità predittiva del sistema, migliorando così la sinergia tra IA e gestione operativa.
Questi esempi evidenziano che le smart grids abilitano un livello di consapevolezza e adattività senza precedenti, rendendo le reti elettriche non solo più efficienti, ma anche capaci di affrontare le sfide poste dal cambiamento climatico e dalla crescente domanda globale di energia.

6.8. INTEGRAZIONE DELLE FONTI RINNOVABILI

L'integrazione efficace delle fonti rinnovabili rappresenta una delle sfide più complesse e strategiche della transizione energetica. La variabilità intrinseca dell'energia solare ed eolica, unite alla crescente penetrazione di impianti distribuiti nella rete, impone un radicale ripensamento dei meccanismi di gestione, previsione e bilanciamento del sistema elettrico. In questo contesto, le tecnologie digitali stanno dimostrando un potenziale straordinario per migliorare l'affidabilità, l'efficienza e la programmabilità di queste fonti di energia.
Tradizionalmente, l'intermittenza delle rinnovabili costituiva un ostacolo all'integrazione su larga scala, poiché complicava l'equilibrio in tempo reale tra domanda e offerta. Oggi, grazie alla modellazione digitale dei parchi solari ed eolici e alla previsione avanzata della produzione tramite l'IA, è possibile anticipare le fluttuazioni di generazione e adattare di conseguenza le strategie operative. I digital twin, in particolare, permettono di simulare il comportamento dinamico degli impianti rinnovabili, tenendo conto delle condizioni meteorologiche, dell'ombreggiamento, della polvere, dell'invecchiamento dei moduli e di altri fattori che influenzano il rendimento energetico.
Diversi lavori in letteratura dimostrano come l'utilizzo di modelli predittivi basati su reti neurali e dati meteorologici consenta di migliorare notevolmente la precisione nella previsione della produzione fotovoltaica rispetto ai metodi statistici tradizionali. Questi modelli, addestrati su grandi dataset multisorgente, riescono a cogliere correlazioni non lineari tra variabili atmosferiche e output energetico, ottimizzando la gestione delle risorse e riducendo i costi legati agli sbilanciamenti di rete.
I digital twin non si limitano alla previsione, ma permettono anche il controllo intelligente degli inverter, dei sistemi di accumulo e dei meccanismi di tracking nei campi solari, massimizzando la resa e allungando la vita utile degli impianti. In ambito eolico, i digital twin vengono utilizzati per la manutenzione predittiva delle turbine, l'ottimizzazione delle curve di potenza e la gestione del wake effect (effetto scia), fenomeno che riduce l'efficienza degli aerogeneratori a valle.
Un ulteriore ambito di applicazione è rappresentato dai sistemi ibridi, in cui fonti rinnovabili, batterie e

microreti interagiscono per garantire un approvvigionamento energetico continuo e stabile: l'IA svolge un ruolo critico nell'ottimizzare l'allocazione delle risorse, decidere quando caricare o scaricare le batterie, e pianificare la distribuzione dell'energia in funzione della domanda prevista e della generazione stimata. Studi come quello di Abdessadak et al. (2025) evidenziano che la combinazione tra digital twin e IA nei sistemi ibridi può migliorare significativamente l'efficienza operativa e ridurre la dipendenza da fonti fossili.

Tuttavia, per sfruttare pienamente il potenziale di queste tecnologie nell'integrazione delle rinnovabili, è fondamentale disporre di dati accurati, modelli robusti e piattaforme interoperabili. Inoltre, è necessario rafforzare la capacità di calcolo distribuita (*edge computing*), per garantire una risposta tempestiva anche in assenza di connessioni cloud affidabili.

6.9. PIANIFICAZIONE URBANA SOSTENIBILE

La crescente urbanizzazione, il cambiamento climatico e l'urgente necessità di ridurre le emissioni di gas serra stanno trasformando radicalmente il modo in cui le città sono progettate, gestite e vissute. Le *smart city* sono un esempio emblematico di gestione integrata dell'energia nelle città: illuminazione intelligente, edifici pubblici automatizzati, e reti energetiche urbane digitalizzate rappresentano strumenti fondamentali per ridurre la spesa pubblica e migliorare la sostenibilità ambientale.

In questo scenario, la pianificazione urbana sostenibile non può più prescindere dall'integrazione di strumenti digitali avanzati, in grado di supportare decisioni basate su dati, simulazioni e analisi predittive. Un digital twin urbano è una replica digitale tridimensionale e dinamica di una città, che integra dati geospaziali, infrastrutturali, energetici, ambientali e comportamentali, aggiornati in tempo reale. Questa rappresentazione virtuale consente di simulare scenari futuri, valutare l'impatto di interventi urbanistici, ottimizzare l'uso delle risorse e pianificare infrastrutture resilienti. Il valore aggiunto rispetto ai modelli statici tradizionali risiede nella possibilità di osservare e prevedere l'evoluzione delle interazioni tra i diversi sottosistemi urbani – energia, mobilità, edilizia, rifiuti, clima – in modo integrato e continuo. L'intelligenza artificiale, integrata nei digital twin urbani, consente di analizzare pattern comportamentali, prevedere i flussi di traffico, anticipare i picchi di domanda energetica o idrica e ottimizzare l'erogazione dei servizi pubblici.

Oltre alla dimensione operativa, i digital twin stanno cambiando anche la governance urbana, favorendo un processo decisionale più trasparente, partecipativo e orientato alla resilienza. Le piattaforme di gemello digitale possono essere aperte a cittadini, imprese e amministrazioni, abilitando nuovi modelli di co-creazione, monitoraggio civico e pianificazione collaborativa. Questo approccio è già stato sperimentato in diverse città europee, dove i cittadini possono esplorare scenari urbanistici attraverso interfacce 3D e fornire feedback in tempo reale.

Esempi emblematici di applicazione sono i progetti *Virtual Singapore* e *Helsinki 3D+*, che hanno adottato digital twin per simulare gli effetti di politiche energetiche, nuove costruzioni, cambiamenti climatici e mobilità urbana. Nel caso di Singapore, il gemello digitale ha permesso di valutare in modo dettagliato l'impatto dell'ombreggiamento urbano sulla temperatura e sul consumo energetico degli edifici, nonché di ottimizzare l'allocazione delle risorse pubbliche in base alla densità abitativa e alla domanda energetica. Il progetto relativo alla città di Helsinki ha generato due modelli 3D distinti: un reality mesh fotorealistico ad alta risoluzione, e un modello CityGML semantico, con informazioni strutturate su edifici, terreno, altezze, destinazioni d'uso,

Fig. 6.4: Helsinki 3D+ reality mesh model

Fonte: Geo week news (2017), City Model of the Future: Helsinky 3D+

ecc. Altro aspetto interessante dell'iniziativa è che i modelli 3D sono distribuiti come open data, scaricabili in formato mesh (OBJ) e dati semantici CityGML tramite la piattaforma HRI.

La pianificazione urbana sostenibile del XXI secolo si fonda dunque sulla capacità di raccogliere, analizzare e utilizzare dati in modo integrato e predittivo. La diffusione dei digital twin urbani, tuttavia, richiede la disponibilità di dati interoperabili, infrastrutture digitali robuste, adeguate misure di cybersecurity e politiche di protezione della privacy. È inoltre fondamentale superare la frammentazione tra i diversi settori della pubblica amministrazione e promuovere competenze tecniche trasversali.

6.10. IL CONTESTO ITALIANO: DIGITALIZZAZIONE E TRANSIZIONE ECOLOGICA

L'Italia si trova al centro di una trasformazione energetica che coniuga la decarbonizzazione con la digitalizzazione delle infrastrutture e dei servizi. La crescente diffusione delle tecnologie discusse finora sta ridefinendo il panorama energetico nazionale, con iniziative che spaziano dalla gestione delle reti alla pianificazione urbana sostenibile.

Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) ha destinato 3,6 miliardi di euro a 22 progetti per lo sviluppo delle smart grid, con l'obiettivo di aumentare la capacità di rete per la distribuzione di energia rinnovabile di almeno 4.000 MW. Questi investimenti mirano a potenziare le infrastrutture esistenti, migliorare l'efficienza energetica e facilitare l'integrazione delle fonti rinnovabili nel sistema elettrico nazionale.

Sebbene i dati specifici sull'adozione dei digital twin nel settore energetico italiano siano limitati, l'Italia ha mostrato un forte interesse per l'innovazione digitale nel settore energetico. Nel seguito, ne citiamo alcuni.

Il progetto Telegestore di Enel, completato nel 2005, è stato uno dei primi esempi di smart grid su scala commerciale, con un investimento di 2,1 miliardi di euro e risparmi annuali stimati in 500 milioni di euro.

L'ENEA ha sviluppato strumenti come SIMUL e CRUISE, che consentono di modellare il comportamento delle comunità energetiche attraverso digital twin. Questi strumenti permettono di simulare scenari di consumo e produzione energetica, facilitando la progettazione e la gestione ottimale delle comunità. Il progetto UrbanPhotoTwin, finanziato da ENEA, mira a creare un gemello digitale spaziale fotovoltaico delle città italiane, fornendo un servizio online per la mappatura e la valutazione del potenziale fotovoltaico urbano.

L'Italia sta quindi consolidando la propria posizione nel panorama europeo della digitalizzazione energetica. L'adozione di tecnologie avanzate, supportata da investimenti strategici e iniziative di ricerca, sta trasformando il sistema energetico nazionale verso un modello più efficiente, sostenibile e resiliente. La collaborazione tra istituzioni, imprese e comunità locali sarà fondamentale per affrontare le sfide future e sfruttare appieno le opportunità offerte dalla transizione digitale ed energetica.

6.11. L'IA È DUNQUE LA SOLUZIONE DEFINITIVA?

Nonostante sia chiaro l'apporto positivo dell'IA e dei digital twin per affrontare proattivamente le problematiche legate alla gestione dell'energia, non è possibile evitare di sottolineare come al tempo stesso l'IA diventi parte del problema. Infatti, l'adozione accelerata dell'intelligenza artificiale emerge come uno dei principali fattori di crescita della domanda elettrica globale nel New Energy Outlook 2025 di BloombergNEF. In particolare, l'espansione dei data center, spinta dall'uso crescente di AI, comporta un incremento considerevole dei consumi energetici.

Si consideri che i data center consumavano circa 194 TWh/anno nel 2010, ovvero circa l'1 % del fabbisogno elettrico globale. Nel 2018 il consumo è salito a circa 205 TWh/anno (+6 %), e si prevede che entro il 2035 il settore consumerà 1.200 TWh, arrivando a 3.700 TWh entro il 2050, pari all'8,7% della domanda elettrica finale. Per rispondere a questa domanda, sarà necessaria una capacità addizionale di 362 GW entro il 2035, costituita per il 47% da fonti rinnovabili, per il 9% da sistemi di accumulo e per il 44% da fonti fossili, con un significativo ricorso a impianti esistenti di carbone e gas che verrebbero mantenuti in esercizio più a lungo. Questo incremento rappresenta una sfida strutturale per i sistemi elettrici, ma anche un'opportunità per consolidare l'integrazione di energie rinnovabili e tecnologie di flessibilità. Nonostante ciò, le simulazioni evidenziano che, in termini di generazione effettiva, il 64% dell'elettricità aggiuntiva per i data center nel 2035 proverrà da fonti fossili, contro il 36% da rinnovabili, mettendo in discussione l'idea diffusa di una totale decarbonizzazione dell'infrastruttura digitale. Questo scenario riflette anche i ritardi nella disponibilità di turbine a gas e le incertezze nella capacità delle reti di assorbire tutta l'energia prodotta da fonti variabili.

Di fronte alla rapida espansione dei data center, la soluzione più efficace risiede nella massiccia espansione delle fonti rinnovabili e dei sistemi di accumulo, che rappresentano più della metà della nuova

Fig. 6.5: Modelli di IA/ML rispetto ai datapoints di training

Fonte: JLL Research, 2024, OurWorldInData, EpochAI

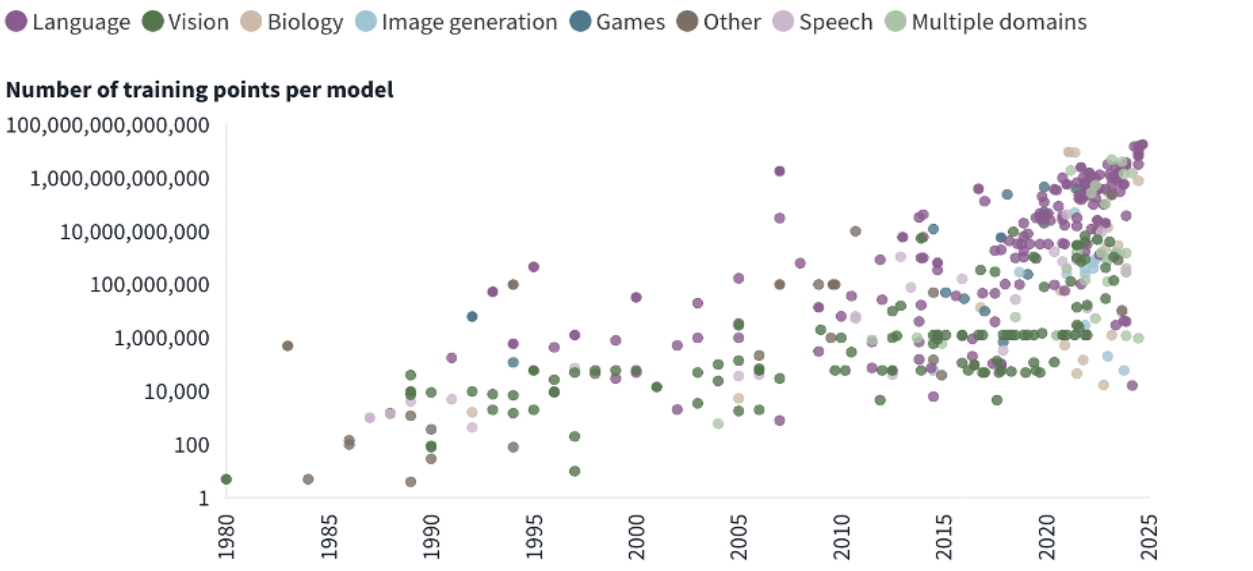
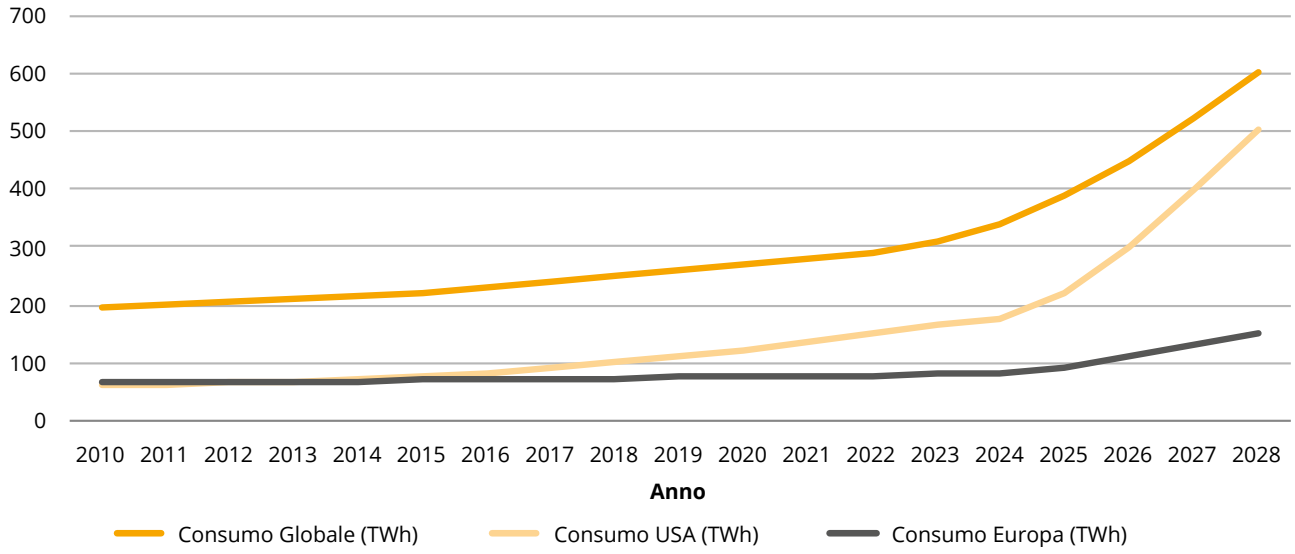


Fig. 6.6: Crescita dei consumi dei data center

Fonte: JLL Research, 2024, OurWorldInData, EpochAI



capacità necessaria entro il 2035. Questo processo di decarbonizzazione della generazione elettrica è ritenuto economicamente conveniente, nonostante le resistenze legate ai costi di capitale, alle barriere normative e alle difficoltà infrastrutturali.

In parallelo, un ruolo di rilievo lo assumeranno le centrali a gas e a carbone esistenti, molte delle quali vedranno prolungata la propria operatività per rispondere alla nuova domanda elettrica legata all'IA. Tale scelta, sebbene transitoria, è interpretata come un compromesso realistico nell'attuale contesto di capacità installata insufficiente e tempi lunghi di realizzazione per nuove fonti pulite. L'adozione di fonti fossili non viene quindi esclusa, ma subordinata a un disegno di transizione che punta comunque a una progressiva riduzione del loro peso nel mix energetico.

Un altro asse strategico è rappresentato anche dall'aumento della flessibilità del sistema elettrico, che diventa condizione essenziale per sostenere l'integrazione su larga scala delle fonti rinnovabili e l'evoluzione della domanda. Secondo lo scenario modellato, entro il 2050 si renderanno disponibili oltre 10.000 TWh di flessibilità, derivanti da tecnologie intelligenti per la gestione della domanda, da sistemi di accumulo e da fonti dispacciabili. La capacità di adattare i carichi, ad esempio attraverso la ricarica intelligente dei veicoli elettrici o il demand-response in ambito industriale, giocherà un ruolo cruciale nel bilanciare i flussi energetici in tempo reale. In altre parole, l'uso dell'IA non deve essere visto solo come fattore di stress per il sistema energetico, ma anche come parte della soluzione, capace di ottimizzare la pianificazione, migliorare la previsione dei carichi e sostenere un utilizzo più efficiente delle risorse disponibili.

Guardando al futuro quindi, da un lato si prospetta la possibilità concreta di gestire l'aumento della domanda in modo sostenibile, grazie a un sistema elettrico più pulito, flessibile e intelligente. Dall'altro, tale esito non sarà il frutto automatico delle sole dinamiche di mercato. Senza un'azione politica decisa, coordinata e strutturale, il sistema rischia di rimanere ancorato a soluzioni fossili e di allontanarsi dagli obiettivi climatici globali. Secondo l'analisi

condotta nel New Energy Outlook 2025 di BloombergNEF, anche nello scenario economico più ottimistico, le emissioni globali si ridurrebbero solo del 22% entro il 2050, con una traiettoria compatibile con un riscaldamento di +2,6 °C, ben al di sopra dei target dell'Accordo di Parigi[30]. Per colmare questo divario, sarà necessario affiancare agli investimenti nelle tecnologie più mature anche politiche pubbliche che incentivino l'adozione di soluzioni a più lungo termine, come la decarbonizzazione dell'industria, il riscaldamento low-carbon, i combustibili puliti e la cattura della CO_2. Solo così l'evoluzione del sistema energetico potrà allinearsi a un percorso compatibile con la neutralità climatica.

6.12. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

La crescente complessità dei sistemi energetici, unita all'urgenza della transizione ecologica, richiede una profonda trasformazione nel modo in cui l'energia viene prodotta, distribuita, consumata e governata. In questo scenario, l'integrazione tra digital twin, intelligenza artificiale e tecnologie IoT si configura come una leva abilitante essenziale per costruire un futuro energetico più efficiente, sostenibile e resiliente.

Come mostrato nei diversi ambiti applicativi esaminati in questo capitolo – dagli edifici intelligenti agli impianti industriali, dalle smart grid all'integrazione delle fonti rinnovabili, fino alla pianificazione urbana – queste tecnologie non sono più visioni futuristiche, ma strumenti già operativi, in grado di generare valore tangibile. I digital twin offrono una rappresentazione dinamica e predittiva dei sistemi fisici, abilitando simulazioni complesse e interventi ottimizzati. L'intelligenza artificiale, a sua volta, consente di trasformare enormi quantità di dati in conoscenza azionabile, migliorando il processo decisionale e anticipando anomalie o inefficienze. La tabella seguente riassume i principali benefici derivanti dall'applicazione di IA e digital twin in diversi contesti.

Tab. 6.1 Principali benefici derivanti dall'applicazione di IA e digital twin

Fonte: elaborazione degli autori.

Settore	Benefici principali
Edifici	Ottimizzazione HVAC, illuminazione, comfort
Industria	Manutenzione predittiva, riduzione tempi morti
Smart Grid	Previsione domanda, gestione dinamica carico
Rinnovabili	Previsione produzione, stabilizzazione rete
Pianificazione Urbana	Simulazione impatti, pianificazione efficiente

Il World Economic Forum evidenzia come l'uso combinato di digital twin e IA negli edifici possa generare significativi risparmi energetici, favorire la manutenzione predittiva, e migliorare l'efficienza operativa. Un rapporto dello scorso febbraio di Alan Mössinger, Presidente & CEO della VEX Holding, mostra che l'implementazione di digital twin può contribuire ad ottenere fino al 30 % di risparmio energetico, abbattendo i costi operativi. Altri esempi indicano che aziende industriali hanno ottenuto riduzioni di 15–25 % delle emissioni e miglioramenti di efficienza energetica del 20–40 %, grazie a digital twin ottimizzati e sistemi *AI-driven*[31].

Tuttavia, non mancano sfide critiche. La standardizzazione dei modelli di digital twin, l'interoperabilità tra sistemi eterogenei, la cybersecurity e la protezione dei dati sensibili sono aspetti cruciali da affrontare per garantire una diffusione sicura e scalabile.

30 https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20191115STO66603/.
31 https://hexagon.com/resources/insights/digital-twin/statistics.

La standardizzazione rappresenta un prerequisito fondamentale per garantire la scalabilità, la portabilità e l'interoperabilità dei digital twin nei diversi settori applicativi. Tuttavia, allo stato attuale, il panorama è frammentato: non esistono ancora framework condivisi universalmente per la rappresentazione semantica, la sincronizzazione dei dati, la modellazione dei comportamenti o l'integrazione con sistemi esterni.
L'interoperabilità rappresenta una sfida trasversale e cruciale per l'adozione diffusa dei digital twin nei diversi settori. La coesistenza di dispositivi e sistemi eterogenei – come impianti HVAC, sensori ambientali, sistemi di controllo accessi, reti di videosorveglianza – richiede l'integrazione tra protocolli differenti, spesso proprietari, rendendo complessa la realizzazione di una replica digitale coerente e aggiornata. Nelle smart grid, il problema si amplifica ulteriormente a causa della varietà di attori coinvolti – produttori, distributori, prosumer, operatori di rete – e della molteplicità di standard utilizzati per il monitoraggio e il controllo dei flussi energetici.
La cybersecurity è un ulteriore aspetto critico nell'adozione dei digital twin: questi sistemi raccolgono, elaborano e trasmettono grandi volumi di dati sensibili, spesso in tempo reale, esponendosi a rischi significativi di attacchi informatici. Nel caso della pianificazione urbana sostenibile, ad esempio, l'utilizzo di digital twin che integrano dati geospaziali, comportamentali e infrastrutturali impone la necessità di proteggere l'intero ciclo di vita dell'informazione, soprattutto in scenari in cui i modelli sono esposti pubblicamente o condivisi tra più attori, aumentando le superfici d'attacco. La sicurezza informatica non può essere trattata come un elemento accessorio, ma deve essere integrata nativamente nella progettazione, implementazione e gestione dei digital twin, adottando strategie di difesa multilivello, monitoraggio continuo e aggiornamento dinamico dei sistemi di protezione.

Nel panorama delle infrastrutture energetiche avanzate, si sta delineando una convergenza tra blockchain, intelligenza artificiale e digital twin, che promette di rivoluzionare la gestione dei sistemi energetici in termini di sicurezza, trasparenza e ottimizzazione operativa. L'integrazione di blockchain con digital twin consente di registrare in modo immutabile e verificabile i dati provenienti da reti intelligenti, garantendo che le simulazioni dei *gemelli* riflettano fedelmente lo stato reale di impianti e infrastrutture. Questa triade tecnologica sta già trovando applicazione in sperimentazioni su reti di edifici intelligenti, micro-grid e reti idriche intelligenti, dove sicurezza, tracciabilità e adattabilità dinamica diventano requisiti indispensabili per un sistema energetico resiliente, efficiente e sostenibile.
Altro aspetto delicato da ricordare è legato alla protezione dei dati sensibili. Citando il caso degli impianti industriali, i digital twin elaborano parametri operativi di macchinari, dati di produzione e manutenzione, log di qualità e accessi ai sistemi di controllo industriale. Tali informazioni non solo sono critiche per il funzionamento degli impianti, ma rappresentano anche un patrimonio tecnologico da proteggere, in quanto possono contenere segreti industriali e vulnerabilità operative.
Dal punto di vista delle politiche pubbliche, sarà fondamentale promuovere investimenti in ricerca, innovazione e digitalizzazione delle infrastrutture energetiche, così come definire quadri regolatori in grado di incentivare la collaborazione tra enti pubblici, imprese, università e cittadini. In quest'ottica, iniziative come quelle supportate da Horizon Europe, il Green Deal Europeo[32] e le missioni nazionali per la transizione digitale offrono un'occasione strategica per costruire un ecosistema energetico intelligente e partecipativo, e per promuovere attivamente l'adozione di digital twin e IA nel settore energetico. Affinché questo potenziale si realizzi pienamente, è dunque

32 https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it.

necessaria un'infrastruttura digitale che consenta elaborazioni locali a bassa latenza — come nel caso dell'*edge computing* — supportata da data center interconnessi in grado di rispettare gli standard energetici e normativi europei. In quest'ottica, si propone la creazione di un marketplace federato di digital twin, alimentato da intelligenza artificiale distribuita (*Federated AI*), che consenta analisi avanzate mantenendo i dati sensibili vicino alla fonte, senza esportarli verso cloud esterni. Questi sistemi digitali, se integrati correttamente in un'infrastruttura sicura e interoperabile, si configurano quindi non solo come strumenti di ottimizzazione tecnica, ma come veri e propri catalizzatori di un ecosistema industriale europeo orientato alla sostenibilità.

Infine, il successo dell'adozione su larga scala dei digital twin e dell'intelligenza artificiale nel settore dell'energia non dipenderà solo dall'evoluzione tecnologica, ma anche – e forse soprattutto – dalla disponibilità di professionalità in grado di governare questa complessità. Servono figure con competenze ibride, capaci di comprendere i linguaggi e le logiche dell'ingegneria dei sistemi, della modellazione computazionale, della gestione energetica e della sostenibilità ambientale. Questi professionisti devono saper interpretare dati in tempo reale, validare modelli predittivi, integrare tecnologie eterogenee e, allo stesso tempo, valutare l'impatto ambientale e sociale delle scelte progettuali. La formazione tradizionale, spesso frammentata in percorsi disciplinari rigidi, risulta inadeguata a preparare tali profili. È quindi necessario promuovere programmi educativi interdisciplinari, che uniscano informatica, automazione industriale, data science e transizione ecologica, anche attraverso il coinvolgimento attivo di aziende e centri di ricerca nei percorsi formativi. Solo così sarà possibile colmare il divario tra il potenziale delle tecnologie emergenti e la loro concreta applicazione nei contesti industriali e territoriali.

La convergenza tra digital twin, IA e tecnologie connesse rappresenta un cambio di paradigma nella gestione dell'energia. Non si tratta solo di incrementare l'efficienza operativa, ma di abilitare un nuovo modello di sviluppo basato su dati, conoscenza e sostenibilità. Le tecnologie digitali non sono un fine, ma uno strumento per progettare un sistema energetico più giusto, flessibile e resiliente, all'altezza delle sfide ambientali e sociali del nostro tempo.

icom 2005 25
istituto per la competitività

CAPITOLO 7

TALENTI E LAVORI PER LA TRANSIZIONE ENERGETICA

7.1. INTRODUZIONE

Gli shock economici hanno caratterizzato indiscutibilmente l'inizio degli anni '20 del secondo millennio. Il percorso che sembrava sempre meno ostico per una inglobante globalizzazione, ha visto la rivoluzione digitale ma anche la Grande recessione iniziata nel 2006 negli USA e progressivamente diffusasi fino al 2013 e il dilagare della pandemia da Covid-19, che ha portato interruzioni nelle catene di approvvigionamento, iper prezzi energetici e inflazione e, infine, una crescente instabilità geopolitica. A questo, non da ultimo, si aggiunge una crescita economica globale che continua ad aumentare le emissioni di gas a effetto serra.

Nonostante l'allerta scientifica fosse stata lanciata in precedenza, solo recentemente il cambiamento climatico è diventato prioritario per opinione pubblica e decisori politici. Le istituzioni hanno risposto con programmi significativi come PNRR, Green Deal europeo e Inflation Reduction Act americano. La direzione odierna delle politiche globali rispetto alla transizione verde potrebbe radicalmente cambiare visti gli sviluppi di politica internazionale. Tuttavia, alcune tendenze di fondo sono state innescate e difficilmente si compirà un completo dietrofront rispetto agli impegni presi, almeno per alcuni blocchi di Paesi. Vale dunque la pena di monitorare il fenomeno delle competenze verdi e dei lavori verdi, per comprenderne le dinamiche.

La transizione energetica richiede il coinvolgimento di tutti gli attori sociali. Le aziende energetiche devono guidare il cambiamento, ma anche i consumatori hanno un ruolo cruciale.

Come cittadini partecipiamo alla transizione in due modi:

1. In qualità di consumatori, riducendo e rendendo sostenibili i nostri consumi energetici quotidiani, favorendo riuso, riciclo e minimizzando gli sprechi;
2. Come lavoratori, adottando comportamenti sostenibili nei luoghi di lavoro e contribuendo a ridurre l'impatto ambientale delle attività produttive.

Analogamente a quanto accaduto con internet e globalizzazione, la transizione energetica sta trasformando il mercato del lavoro, creando nuove esigenze per le aziende che cercano capitale umano in grado di affrontare le sfide climatiche.

Secondo il Centro europeo per lo sviluppo della formazione professionale (CEDEFPOP), la definizione di competenze verdi è duplice. In generale, le competenze per la transizione verde comprendono abilità e competenze, nonché conoscenze, capacità, valori e atteggiamenti necessari per vivere, lavorare e agire in economie e società efficienti dal punto di vista delle risorse e sostenibili. Queste possono essere:

- tecniche: necessarie per adattare o implementare standard, processi, servizi, prodotti e tecnologie per proteggere gli ecosistemi e la biodiversità e per ridurre il consumo di energia, materiali e acqua.
- trasversali: legate al pensiero e all'agire sostenibile, rilevanti per il lavoro (in tutti i settori economici e le occupazioni) e per la vita.

7.2. IL QUADRO INTERNAZIONALE

A livello mondiale, il Rapporto di LinkedIn "Global Green Skills Report 2024" riporta che tra il 2021 e il 2024 la domanda di competenze sostenibili è cresciuta in media del 5,9% su base annua. In Italia, invece, l'incremento è stato inferiore, pari allo 0,12%. Nel 2024, tuttavia, l'8,27% delle offerte di lavoro su LinkedIn in Italia ha riguardato professioni green, una percentuale superiore al 7,7% registrato a livello mondiale. La richiesta di competenze green non è omogenea. I settori che in Italia hanno assunto la maggior percentuale di lavoratori con competenze

verdi sono l'agricoltura e l'allevamento (34,10%), i servizi (32,80%) e l'edilizia (32,03%)[33].

Di grande rilevanza per la misurazione delle competenze verdi è l'OECD Skills Outlook, pubblicazione dell'OCSE, che, fra le altre cose, ha misurato le competenze associate alla sostenibilità ambientale dei giovanissimi. Per costruire questa misurazione, l'OCSE si è servita dei dati PISA (Programme for International Student Assessment) raccolti nel 2018. L'obiettivo è stato quello di misurare quanti studenti con 15 anni di età, in percentuale sul totale, possedessero competenze basilari in materia di sostenibilità ambientale[34].

I dati OCSE non sono confortanti: solo 1 studente italiano su 4 possiede livelli basilari di competenze sulla sostenibilità ambientale, contro una media UE del 31,2% ed una media OCSE del 33%. In proporzione, i giovani delle principali economie europee che possiedono queste caratteristiche sono più numerosi (Francia 35% e Germania e Spagna 34%), come pure in altri Paesi industrializzati come Sud Corea e Canada. Fra i monitorati performano peggio dell'Italia solo Slovacchia e Romania. Si rilevano competenze più elevate anche fra i giovani abitanti della fascia equatoriale. Ad esempio, nei Paesi del Sud e Centro America interessati dal sondaggio, la media di giovani con competenze basilari si aggira intorno al 31%.

Se consideriamo il mercato del lavoro, il livello di competenza cambia, passando dalla pura comprensione dei concetti e dall'azione di base su di essi a un insieme di competenze specifiche. Esistono molte combinazioni di competenze che potrebbero potenzialmente diventare il *pool* di competenze verdi necessarie al mercato del lavoro. A livello globale, il lavoro di LinkedIn "Global Green Skills Report 2024" ha stabilito un buon punto di riferimento basato sulle competenze effettive visualizzate negli annunci di lavoro della sua piattaforma. Il lavoro è stato aggiornato ed è ora coerente per gli anni 2021-2024. Le competenze incluse sono[35]:

- Prevenzione dell'inquinamento;
- Prevenzione dei rifiuti;
- Gestione dell'energia;
- Generazione di energia rinnovabile;
- Bonifica ambientale (compresa la gestione dei rifiuti, la gestione della qualità dell'acqua, il ripristino ambientale, il ripristino degli habitat, la riqualificazione urbana);
- Gestione degli ecosistemi (compresa la gestione delle risorse naturali, il controllo dell'erosione, la conservazione della biodiversità, la gestione delle risorse idriche, la mitigazione dei cambiamenti climatici, l'adattamento ai cambiamenti climatici);
- Educazione alla sostenibilità o ricerca sulla sostenibilità o audit ambientale (compresa la valutazione dell'impatto ambientale, la contabilità del carbonio);
- Politica ambientale (compreso il diritto dell'energia, il diritto dell'ambiente);
- Approvvigionamento sostenibile;
- Finanza ambientale.

33 LinkedIn, 2024.

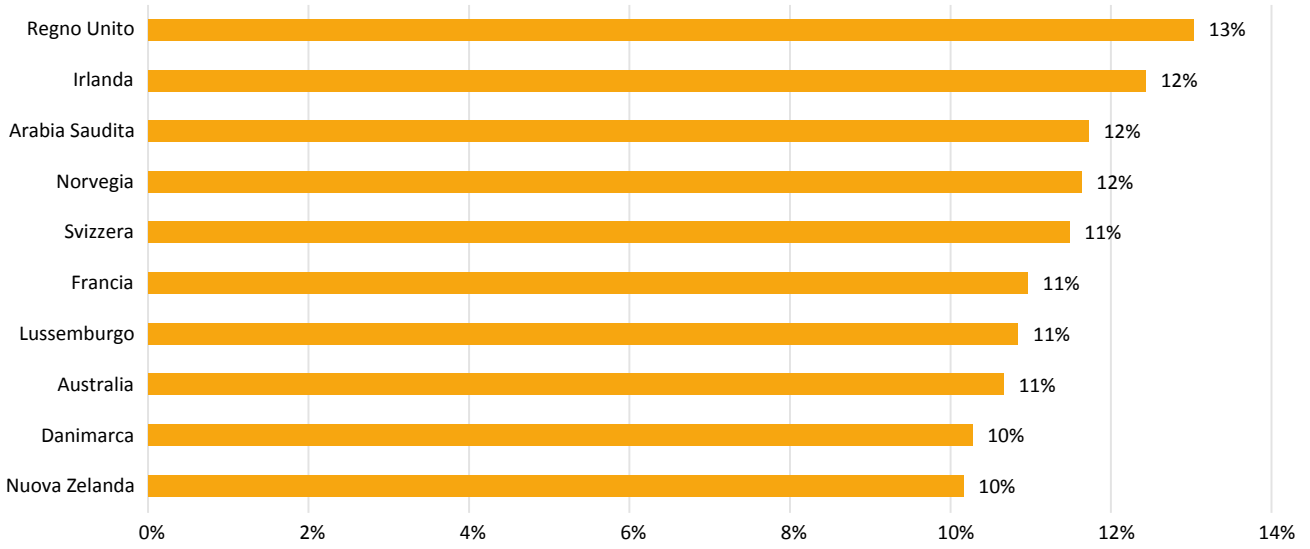
34 Un livello basilare di competenze viene assegnato a studentesse e studenti in base a diverse condizioni:
- L'aver ottenuto un livello di competenza di base almeno pari a 2 nella valutazione sulle materie scientifiche PISA;
- Aver dichiarato che prendersi cura dell'ambiente è importante per loro;
- Aver affermato di essere consapevoli del cambiamento climatico e del riscaldamento globale;
- Aver riportato alti livelli di *self-efficacy* ambientale, caratteristica che riguarda l'abilità di spiegare, comunicare e fare collegamenti; Si veda Borgonovi e altri (2022) per una descrizione esaustiva;
- Aver dichiarato di aver ridotto il consumo di energia per motivi ambientali o di aver partecipato ad attività a favore della tutela dell'ambiente;

35 Questo elenco è stato curato dalla tassonomista verde di LinkedIn Janice Tsai.

A livello globale, per confrontare la domanda e l'offerta di competenze verdi nel mercato del lavoro, LinkedIn ha creato un indice: "Sulla base degli approfondimenti del Report, sappiamo che la quota di talenti green è aumentata di una media annua del 3,2% a partire dal 2021, mentre la domanda di questi talenti è aumentata del 5,9%. In base alla crescita registrata in questo periodo, l'indice della domanda è già superiore dell'1,2% a quello dell'offerta nel 2024". Pertanto, già nel 2024 esisteva un gap di competenze che, secondo le proiezioni, raddoppierà entro il 2050[36].
Per avere una visione più approfondita, precisamente concentrandosi sulla domanda di talenti verdi (Fig. 7.1), sulla crescita di questa domanda e la relativa offerta, il riferimento è l'indagine "Understanding the Green Transition Supply and Demand Dynamics", fornita da LinkedIn e curata da Akash Kaura, Staff Data Scientist dell'Economic Graph Research Institute. L'Italia non è presente nei primi 10 paesi per percentuale di offerte di lavoro verdi nel 2024.
Un'altra variabile importante è la velocità di crescita della domanda di talenti verdi. Tra i primi dieci Paesi per crescita della domanda, nell'UE, Portogallo, Romania e Irlanda sono stati i migliori nell'aumentare la loro domanda di talenti verdi.
Per quanto riguarda l'offerta di talenti verdi, gli attuali livelli di istruzione superiore nell'UE consentono alla forza lavoro europea di essere tra i primi nella fornitura di talenti verdi. Ad eccezione della Svizzera, i primi 5 Paesi per offerta di talenti verdi sono Stati membri dell'UE: Germania, Austria, Finlandia e Lussemburgo. L'Arabia Saudita e il Canada ottengono ottimi risultati, superando di due punti percentuali altri due Paesi dell'UE: Grecia e Danimarca.

Fig. 7.1: Domanda di talenti verdi (primi 10 paesi per percentuale di offerte di lavoro verdi, 2024)

Fonte: Understanding the Green Transition Supply and Demand Dynamics, 2024



36 I dati provengono da 43 Paesi, di cui solo 17 appartengono all'Unione Europea. Inoltre, "i dati provengono dalle informazioni anonime e aggregate dei profili di 1 miliardo di membri di LinkedIn in tutto il mondo. In quanto tali, sono influenzati dal modo in cui i membri scelgono di utilizzare la piattaforma, che può variare in base alla cultura professionale, sociale e regionale, nonché alla disponibilità e all'accessibilità generale del sito".

Fig. 7.2: Crescita della domanda di talenti verdi (primi 10 paesi per variazione in % degli annunci di lavoro, 2021-2024)

Fonte: Understanding the Green Transition Supply and Demand Dynamics, 2024

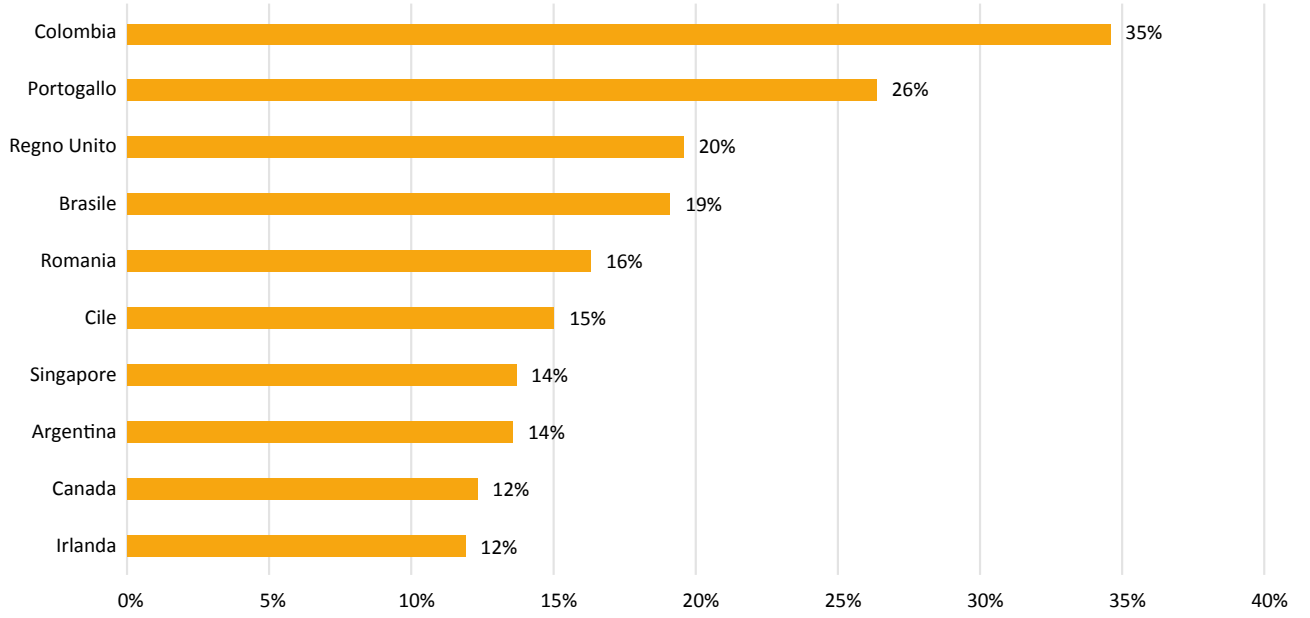
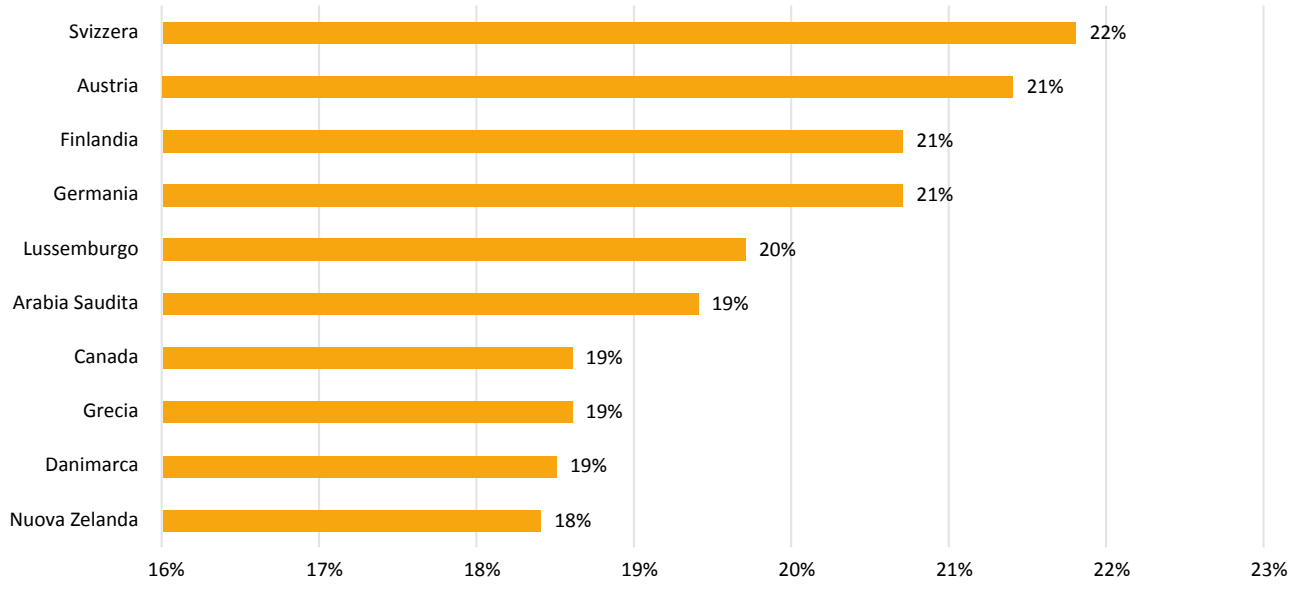


Fig. 7.3: Offerta di talenti verdi (primi 10 Paesi per % di talenti verdi, 2024)

Fonte: Understanding the Green Transition Supply and Demand Dynamics, 2024



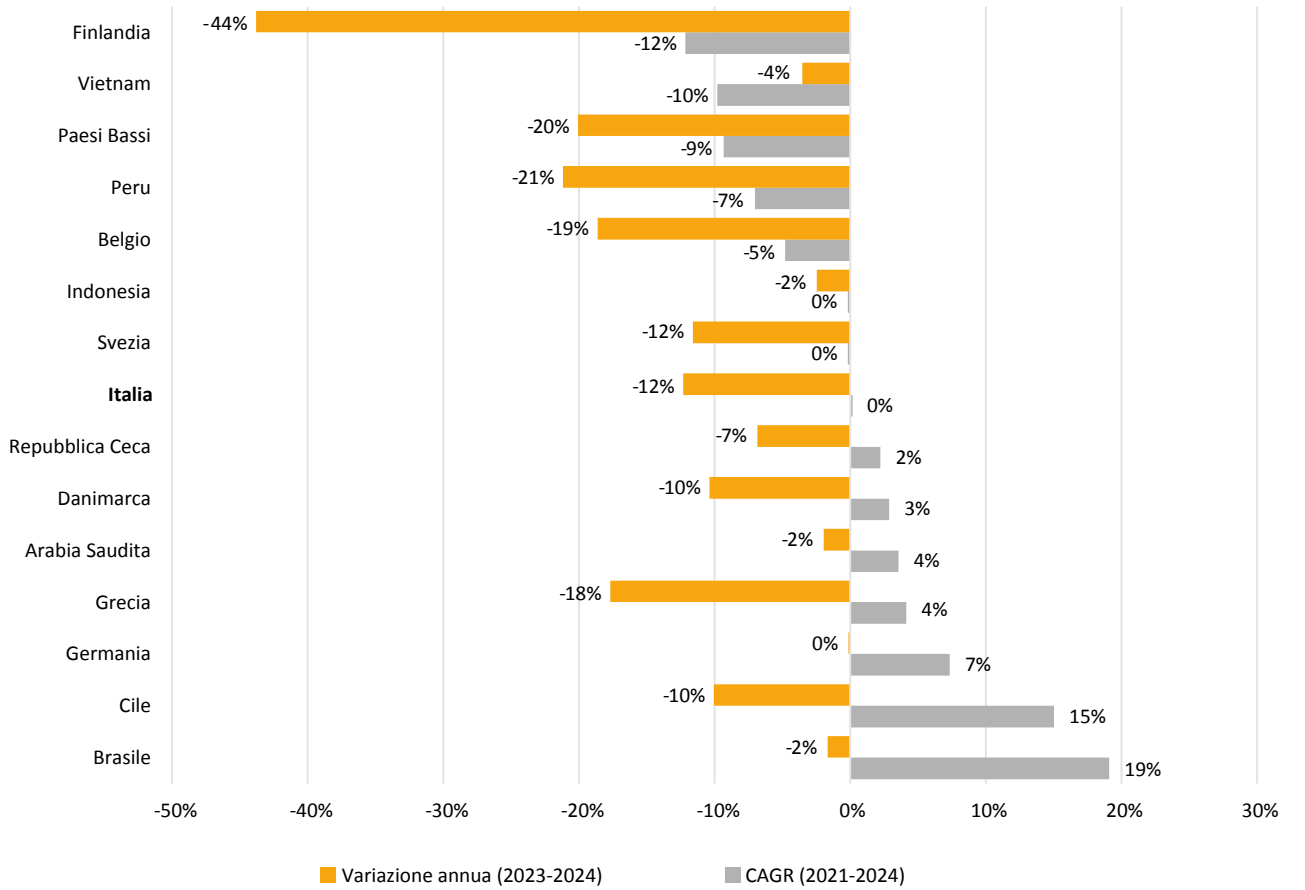
Nonostante questi dati, tuttavia, nel trend annuale del 2023-2024 che evidenzia i primi 10 Paesi con la più rapida crescita di talenti verdi (top 10 countries by change in % of green talent, 2023-2024), non è incluso alcun Paese dell'UE. Lo stesso vale per la stessa misurazione per l'intero periodo considerato (2021-2024). Questa tendenza generale mostra che l'offerta è stabile e soddisfa la domanda, ma non è ancora in espansione, almeno nell'UE.

Ciò è confermato dai dati che mostrano il tasso di crescita annuale composto (CAGR) della domanda di talenti verdi nel periodo 2021-2023 e la variazione anno su anno (YoY) dal 2023 al 2024. Dei 15 Paesi oggetto dell'analisi, 9 sono Stati membri dell'UE. Per 5 di questi Paesi, l'andamento della domanda dal 2021 al 2024 è positivo (Germania, Grecia, Danimarca, Repubblica Ceca, Italia). Per gli altri, Svezia, Belgio, Paesi Bassi e Finlandia, il CAGR è negativo. Tuttavia, l'intervallo di variazione del CAGR è piuttosto ridotto per i Paesi dell'UE, poiché va dal +7,33% della Germania al -12,15% della Finlandia.

Per quanto riguarda la variazione su base annua, tutti i Paesi considerati mostrano un rallentamento nella domanda di talenti verdi, rendendo il 2024 un anno di decrescita nella richiesta di queste figure.

Fig. 7.4: Andamento della domanda di talenti verdi

Fonte: Understanding the Green Transition Supply and Demand Dynamics, 2024



7.3. LAVORI VERDI: ALCUNI DATI DEL 2024

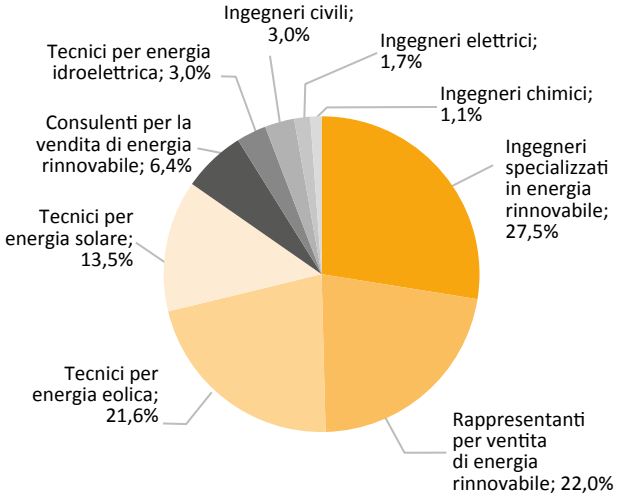
In quanto andamento di fondo, e quindi pervasivo di ogni ambito, la transizione verde investe il mercato del lavoro sia direttamente che indirettamente. Il primo canale, diretto, è l'aumento nella ricerca di figure legate ad ambiti strettamente insiti alla transizione verde come i settori delle energie rinnovabili, dell'efficienza energetica del sistema nel suo insieme o afferenti all'economia circolare. Il secondo canale è indiretto in quanto ai ruoli tradizionali viene richiesto di incorporare, nelle proprie mansioni, uno o più aspetti che riguardino il risparmio energetico e la sostenibilità ambientale nel suo insieme.

I dati CEDEFPOP ci restituiscono uno spaccato della domanda diretta sul mercato del lavoro generata dalla transizione verde, misurata tramite gli annunci di lavoro online per le professioni legate all'energia rinnovabile e ruoli correlati. Nel quarto trimestre del 2024, il 27,5% degli annunci di lavoro online in questo ambito è stato per ingegneri specializzati in energie rinnovabili. A seguire, per numero di annunci, vi erano i rappresentanti di vendita di energia rinnovabile (22%) ed i tecnici per energia eolica e solare, che costituivano rispettivamente il 21,6% e il 13,5% degli annunci.

Il Rapporto "Analisi della Domanda di Competenze legate alla Green Economy nelle Imprese, Indagine 2024" di Unioncamere – ANPAL, Sistema Informativo Excelsior analizza la portata del fenomeno dei lavori verdi in Italia. Dall'indagine condotta emerge che il 34% delle assunzioni previste nel 2024 ha riguardato lavori verdi, in discesa di un punto percentuale rispetto al 2023.

Fig. 7.5: Annunci di lavoro online in Italia per le energie rinnovabili e professioni correlate, per ruolo cercato (Q4 2024)

Fonte: CEDEFPOP, 2025

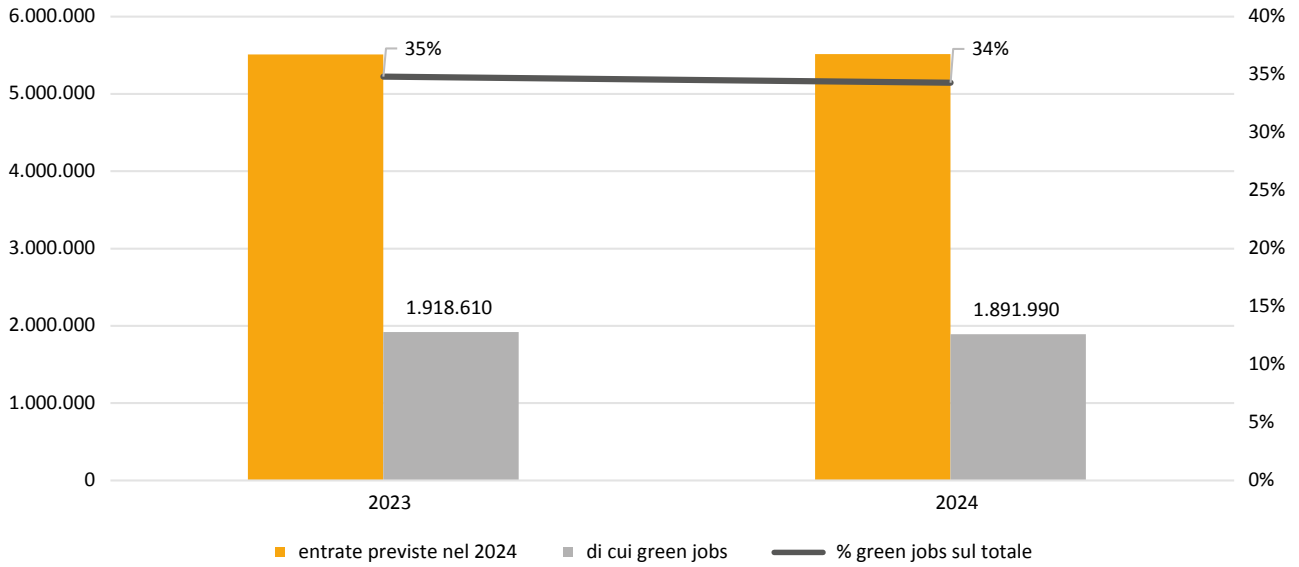


La definizione di lavoro verde, o *green job,* di Unioncamere – ANPAL, Sistema Informativo Excelsior comprende: "sia professioni specifiche – in alcuni casi emergenti – che sono richieste per soddisfare i nuovi bisogni della Green Economy, sia professioni che per rispondere alle mutate esigenze del mercato devono affrontare la sfida di un *reskilling* in chiave green, sia lavori non strettamente green ma coinvolti nel cambiamento che si sta generando grazie alla diffusione trasversale dei macro-trend della sostenibilità ambientale"[37].

37 Unioncamere-Anpal (2024): "Queste professionalità si interfacciano più attivamente con le tecnologie legate alla Green Economy per il bagaglio di competenze che sono loro proprie e vengono quindi conseguentemente assorbite in modo differenziato dai settori.
Le figure associate ai Green jobs sono pertanto quelle che risultano "attrezzate" a supportare l'orientamento green e la loro individuazione deve assecondare l'idea che siano a supporto di un Macro-Trend in grado di condizionare l'evoluzione di interi mercati, compreso ovviamente quello del lavoro.
Questo obiettivo è stato perseguito evolvendo la definizione di Green-Job prendendo spunto da una ricerca svolta negli USA e commissionata dal National Center for O*NET Development per studiare l'effetto della green economy sulle esigenze professionali; ricerca effettuata nel tentativo di determinarne l'impatto sulle professioni O*NET®-SOC. L'esito di questo lavoro, considerando il perimetro definitorio esaminato per la Green Economy, è stata una elencazione di figure professionali che per: competenze specifiche, diversificazione delle competenze, occupazione nell'indotto generato, fossero legate all'Economia Green così come definita nei postulati della ricerca nell'ambito definitorio della Green Economy."

Fig. 7.6: Entrate nel mondo del lavoro, di cui green jobs, (2023-2024)

Fonte: Unioncamere – ANPAL, Sistema Informativo Excelsior, 2024



Per ricoprire posizioni associabili a lavori verdi, si assumono candidati con ogni livello di istruzione. Nel 2024, si sono ricercati per lavori verdi ben 699mila forze con diploma professionale o qualifica di formazione, 463mila diplomati, 406mila di chi ha terminato la scuola dell'obbligo e circa 266mila laureati. Circa 56mila sono stati i ruoli verdi che i diplomati di ITS sono stati chiamati a ricoprire: i lavori verdi costituiscono il 69,6% dei ruoli per cui i diplomati ITS sono ricercati. In generale, a dispetto di quanto si possa pensare, la maggior parte dei lavori verdi riguarda artigiani e operai specializzati e professioni tecniche.

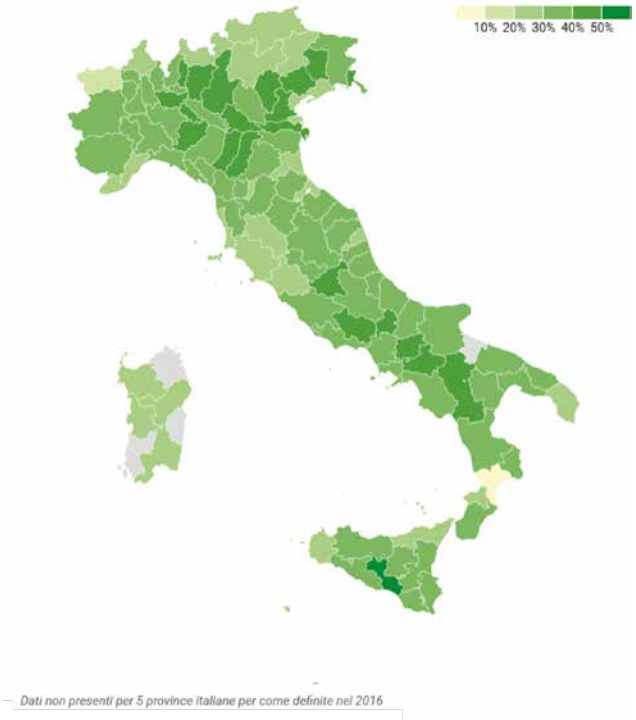
I dati provinciali di Unioncamere – ANPAL, Sistema Informativo Excelsior permettono di identificare dei veri e propri distretti del lavoro verde: province italiane in cui circa un'entrata di lavoratori su due ha riguardato lavori verdi. In continuità con il 2023, nel 2024 le province con la più alta incidenza di lavori verdi sono Caltanissetta, Frosinone, Lodi e Bergamo, a cui si aggiungono, rispetto all'annualità precedente, Rieti e Potenza. Oltre al Nord Italia, che nel 2023 figurava come la Macroregione con più elevata concentrazione di lavori verdi, è possibile notare come anche l'Appennino del Centro Sud sia costellato da province ad alta concentrazione di lavori verdi.

Il primato di Caltanissetta nel registrare l'incidenza più alta di lavori verdi (51%) del 2023 si ripete anche nel 2024, con la stessa percentuale. L'incidenza più bassa, intorno al 4% si è rilevata a Catanzaro e nelle provincie di Sassari (20%), Nuoro (20%) e Grosseto (20%). In media, in una provincia italiana, poco più di 1 entrata su 3 nel mondo del lavoro ha riguardato professioni verdi (34%).

Le imprese di tutte le dimensioni, indiscriminatamente, necessitano di risorse per ricoprire lavori verdi. Solamente le piccole imprese, nel 2024, hanno ricercato 637mila lavoratori per ricoprire lavori verdi, il 37% del personale la cui entrata nelle piccole imprese è stata prevista per il 2024. Le medie imprese e parte delle grandi imprese (da 250 a 499 dipendenti) hanno richiesto percentuali più alte di lavoratori verdi rispetto al totale di richieste di forza lavoro (39%). Meno

Fig. 7.7: Incidenza di green jobs sul totale delle entrate nel mondo del lavoro del 2024, per provincia

Fonte: elaborazioni I-Com su dati Unioncamere – ANPAL, Sistema Informativo Excelsior, 2023



consistente, sia in percentuale che in valore assoluto, l'apporto (in termini di domanda di lavori verdi) di micro imprese e delle multinazionali. Nel complesso, questi dati sono stabili rispetto al 2023.

Non sorprende che i lavori verdi siano offerti maggiormente dal settore industriale: 2 entrate su 3 nel settore nel 2024 ha riguardato lavori verdi. Nel settore dei servizi l'incidenza percentuale di lavori verdi è nettamente minore (21% vs 69% dell'industria, nel 2023 20% vs 70%), ma in valore assoluto i lavori verdi offerti dai due macrosettori che Unioncamere-ANPAL ha indagato sono simili.

Guardando nel dettaglio i diversi segmenti industriali, in termini assoluti, la maggior parte delle entrate stimate che riguardano lavori verdi è riconducibile al settore delle costruzioni (44% dei lavori verdi industriali), che domina anche in valore assoluto con 467mila lavori verdi nel 2024. Quasi 9 su 10 delle entrate previste nel 2024 rientrava nella definizione di lavoro verde. Seguono poi l'industria di macchinari, attrezzature e mezzi di trasporto che presenta il 15% dei lavori verdi industriali e un'incidenza di lavori verdi sul totale delle entrate dell'85%, e l'industria metallurgica (14% dei lavori verdi industriali e 84% di incidenza).

Fig. 7.8: Richiesta di green jobs delle aziende, per classe dimensionale, 2024

Fonte: elaborazioni I-Com su dati Unioncamere – ANPAL, Sistema Informativo Excelsior, 2023

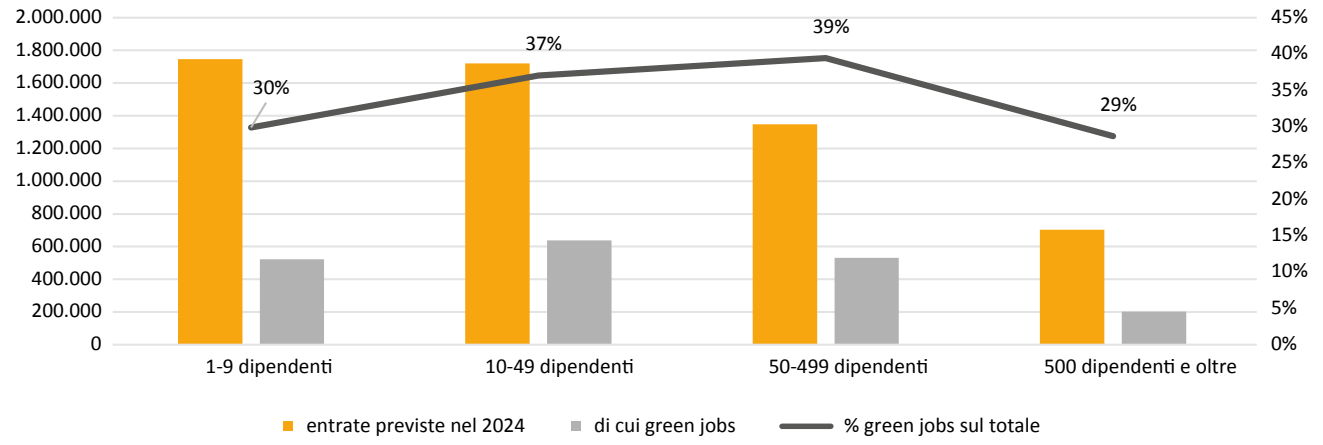
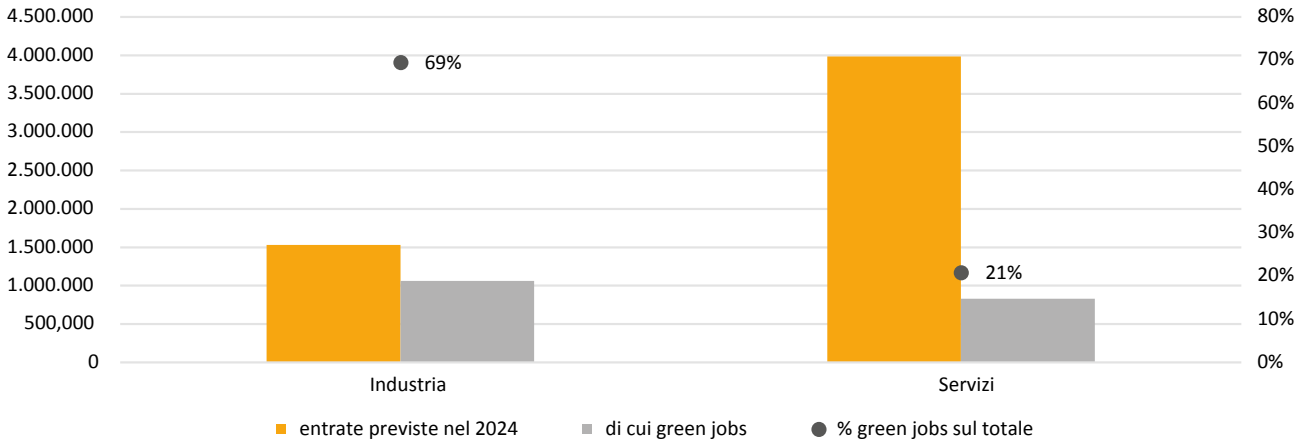


Fig. 7.9: Green jobs nelle aziende, per settore, 2024

Fonte: elaborazioni I-Com su dati Unioncamere – ANPAL, Sistema Informativo Excelsior, 2023



Queste filiere industriali di importanza strategica per il nostro Paese sono allo stesso tempo anche energivore e il loro operato (specialmente nel caso delle costruzioni) determinerà l'effettiva generazione di risparmi energetici, si pensi banalmente agli interventi di efficientamento energetico sugli edifici. Un'incidenza importante (sopra il 70%) di lavori verdi sul totale delle entrate nei segmenti industriali è osservabile anche

Fig. 7.10: Green jobs nell'industria, per segmento, 2024

Fonte: elaborazioni I-Com su dati Unioncamere – ANPAL, Sistema Informativo Excelsior, 2023

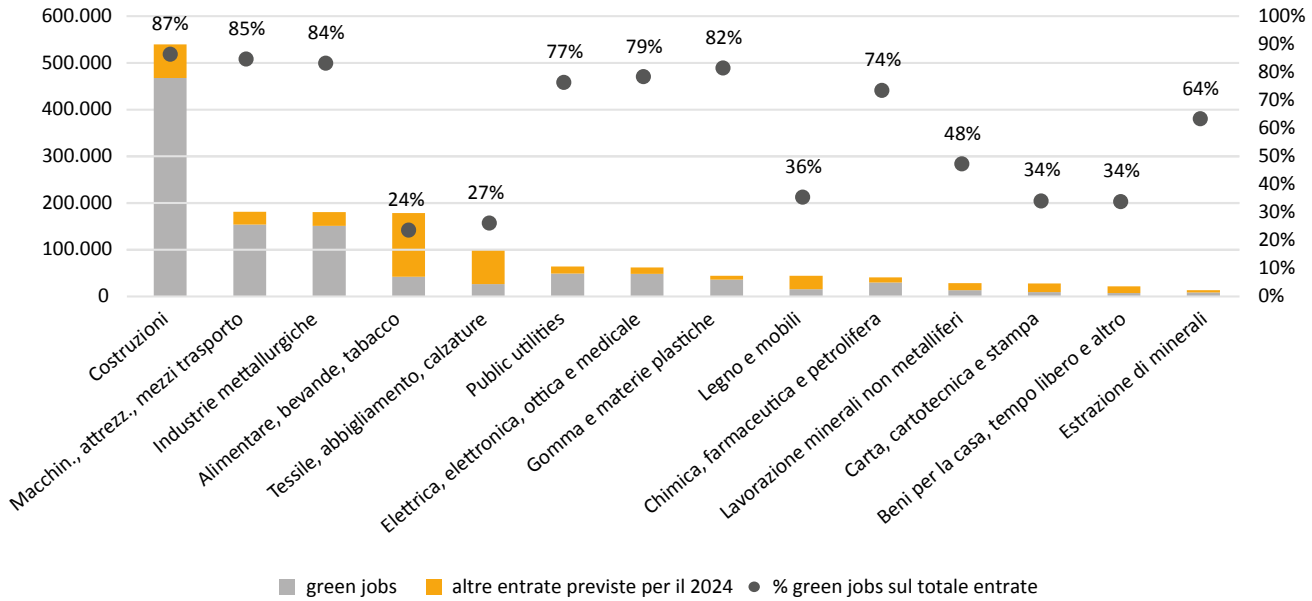


Fig. 7.11: Green jobs nei servizi, per segmento, 2024

Fonte: elaborazioni I-Com su dati Unioncamere – ANPAL, Sistema Informativo Excelsior, 2023

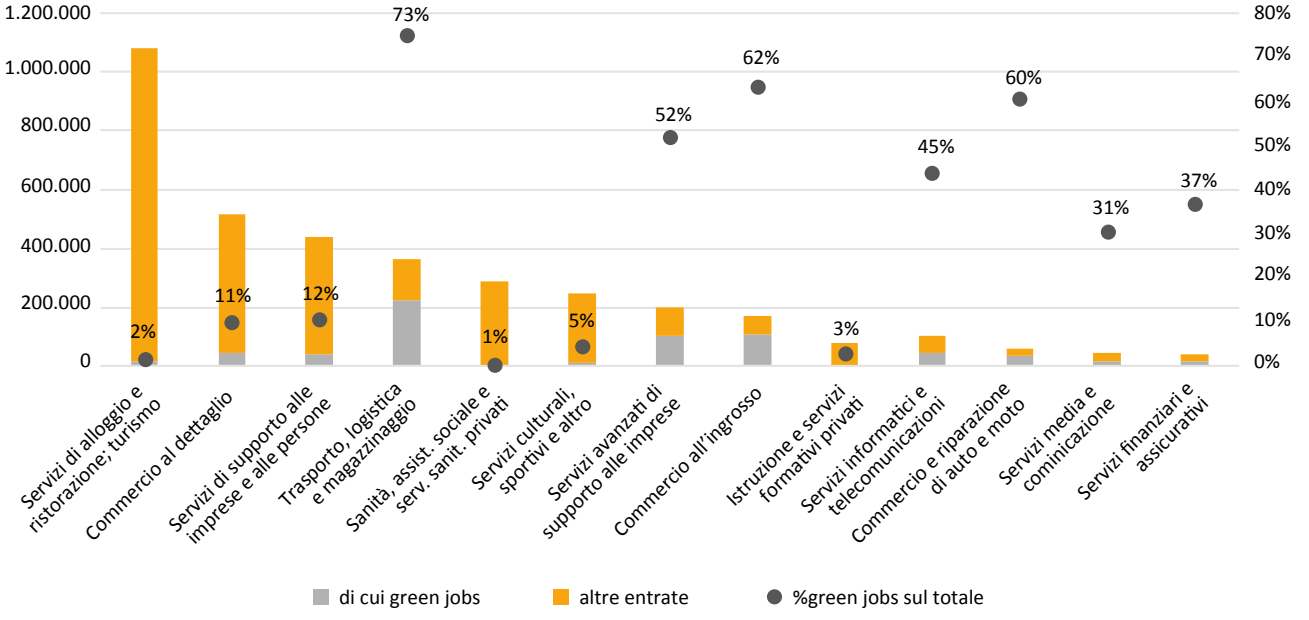
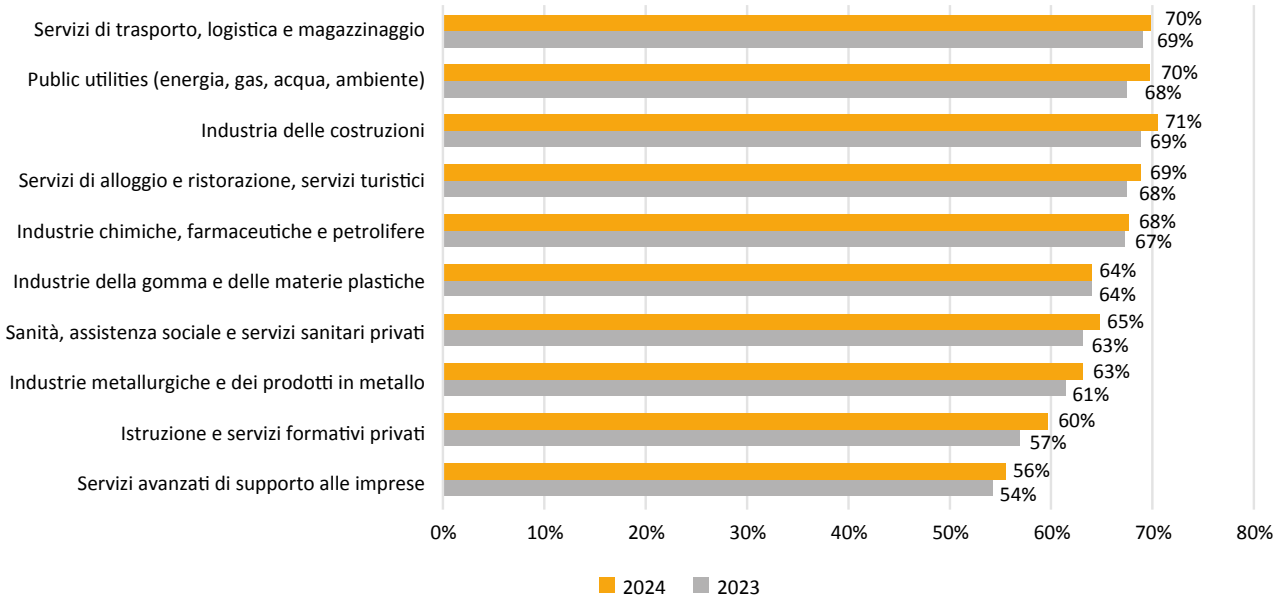


Fig. 7.12: Settori industriali e dei servizi con più alta incidenza di imprese che investono in competenze verdi, (2023-2024)

Fonte: Unioncamere – ANPAL, Sistema Informativo Excelsior, 2024



nell'industria della gomma e delle materie plastiche, nell'industria elettrica, elettronica, ottica e medicale, nel comparto chimico e farmaceutico e nelle utilities.
Nei comparti dei servizi, il segmento di trasporto, logistica e magazzinaggio domina la richiesta di lavoratori verdi (33%), seguito dai servizi di supporto avanzato alle imprese (16%) e dal commercio all'ingrosso (16%).
Come nel caso dei settori industriali energivori, è importante che il settore logistico si voglia dotare di figure con competenze in materia ambientale, in quanto è proprio il trasporto su gomma uno dei principali responsabili dell'aumento delle emissioni di gas serra. Sebbene in termini assoluti siano meno rilevanti, anche per i servizi di commercio e riparazione auto e moto e i servizi informatici e delle telecomunicazioni l'incidenza di lavori verdi è piuttosto elevata, con valori rispettivamente del 60 e 45%. L'incidenza di lavori verdi più bassa nel settore dei servizi si osserva per il comparto della sanità, del turismo e dell'istruzione.
Le imprese di molti settori sono attive nel formare i propri addetti sulle questioni ambientali, aumentandone quindi le competenze verdi. I comparti con quote più elevate di aziende attive in questo campo nel 2024 sono il settore delle costruzioni, servizi di trasporto, logistica e magazzinaggio e le utilities. In generale, si osserva un'alta percentuale di imprese che investono in queste competenze in tutti gli ambiti.

7.4. CONSIDERAZIONI FINALI

La transizione verde comporta cambiamenti più o meno profondi e diffusi in tutti gli ambiti; e dunque inevitabile l'influenza sul mercato del lavoro sia in modo diretto che indiretto.

In modo diretto, si nota un aumento della richiesta di figure professionali specializzate in settori legati alla transizione verde, come le energie rinnovabili, l'efficienza energetica e l'economia circolare. In modo indiretto, invece, le professioni tradizionali sono chiamate a integrare nelle proprie mansioni aspetti legati al risparmio energetico e alla sostenibilità ambientale.
A livello europeo, il blocco UE si distingue come uno dei mercati con più talenti verdi, anche se l'Italia non rientra tra i primi dieci paesi per offerta di competenze verdi. La domanda di professionisti specializzati in ambito verde è molto varia e coinvolge diverse parti del mondo.
In Italia, secondo un'indagine di Unioncamere – ANPAL, Sistema Informativo Excelsior, nel 2024 il 34% delle assunzioni previste riguarda lavori verdi, un punto percentuale in meno rispetto al 2023. Tutte le imprese, indipendentemente dalle dimensioni, hanno bisogno di risorse per coprire queste posizioni. Sorprendentemente, la maggior parte dei lavori verdi riguarda artigiani, operai specializzati e professioni tecniche. Per esempio, Caltanissetta si conferma come la provincia con la percentuale più alta di lavori verdi, con il 51% sia nel 2023 che nel 2024.
Nel settore industriale, il 69% delle nuove entrate nel mondo del lavoro riguarda lavori verdi, molto più rispetto al 21% registrato nei servizi. Tuttavia, secondo i dati di LinkedIn, la domanda globale di talenti verdi ha rallentato tra il 2023 e il 2024. Per il nostro Paese, che ha ancora margini di miglioramento nelle lauree STEM rispetto al resto d'Europa, sarà fondamentale investire nella formazione continua, sia dal punto di vista scolastico che culturale, per aumentare l'offerta di competenze verdi.

icom 2005 25
istituto per la competitività

CAPITOLO 8

L'ENERGIA DALLO SPAZIO

8.1. L'ECONOMIA SPAZIALE: L'ITALIA NEL CONTESTO GLOBALE

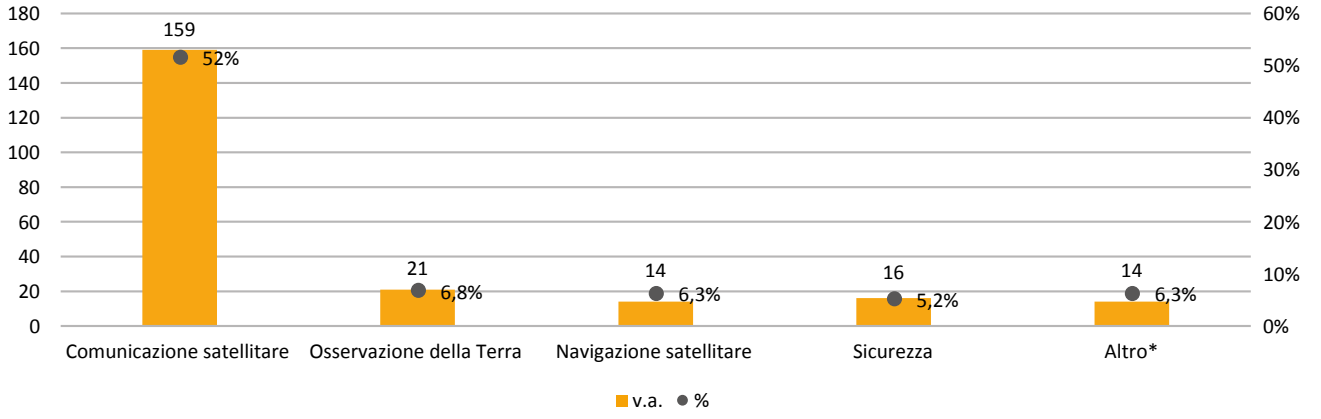
La vita sulla Terra è da tempo strettamente correlata alla resilienza di molte infrastrutture che si trovano nello spazio, come i satelliti, i quali consentono, tra l'altro, le comunicazioni satellitari in tempo reale, il timing delle transazioni bancarie e finanziarie, la navigazione satellitare e la geolocalizzazione, il monitoraggio della superficie per le previsioni meteorologiche e per gli impatti dei cambiamenti climatici, il trasferimento di dati e la fornitura di servizi ai consumatori (es. TV e internet satellitare), diverse attività di competenza degli Stati per garantire la sicurezza nazionale e la difesa. Peraltro, è ormai diffusamente riconosciuto il ruolo centrale dello spazio per affrontare le questioni cruciali in termini ambientali e sociali, evidenziando tuttavia che si tratta di un potenziale strategico ancora scarsamente utilizzato, in particolar modo a livello europeo.

Ciò premesso, la *new space economy* (nuova economia spaziale) ha assunto un ruolo significativo a livello globale, europeo e nazionale, in quanto – con un ruolo comunque importante in capo agli enti spaziali statali – si sono aperte definitivamente le porte ad aziende private e start-up, nonché a nuovi campi d'interesse.

Gli ultimi dati contenuti nel "*Space Economy Report*" di Novaspace mostrano come il valore globale della space economy si sia attestato a $596 miliardi nel 2024, registrando un incremento dell'17% rispetto al 2023, anno in cui il settore ha toccato quota $509 miliardi. Ciò ricomprende i contratti stipulati da attori governativi, militari e commerciali (mercato spaziale – $224 miliardi), nonché i servizi e le applicazioni che si basano sulle infrastrutture spaziali (soluzioni abilitate – $308 miliardi), oltre ad attività governative non contrattualizzate (costi interni delle agenzie spaziali oppure programmi di R&S non contrattualizzati con l'industria – $64 miliardi). In merito alle principali applicazioni (Fig. 8.1), la comunicazione satellitare – che per il primo anno supera di gran lunga le altre categorie considerate – occupa la prima posizione con il 52% del mercato spaziale a livello globale, seguita dall'osservazione della Terra (6,8%) e dalla navigazione satellitare (6,3%).

Fig. 8.1: Il valore del mercato spaziale globale nel 2024 (in $ miliardi), per applicazione

*Include altre attività commerciali, tra cui space situational awareness (SSA), applicazioni logistiche spaziali (consegna ultimo miglio, life extension, rimozione attiva dei detriti), missioni di dimostrazione tecnologica, Ground Segment as a Service, ecc.
Fonte: Novaspace, Space Economy Report, 11ª edizione, gennaio 2025



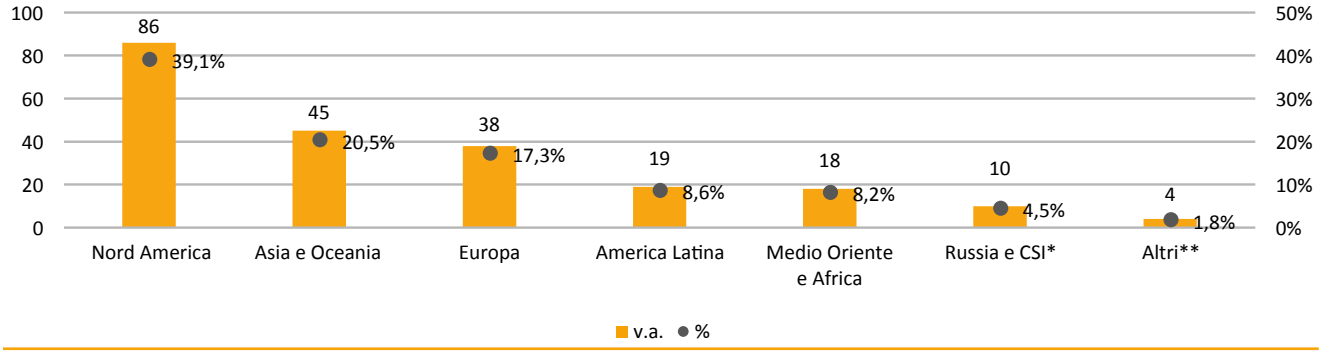
Quanto alla distribuzione geografica del mercato (Fig. 8.2), l'Europa consolida la terza posizione con $38 miliardi, ossia poco più del 17% del totale considerato (-3% su base annua), preceduta da Asia e Oceania con $45 miliardi (20,5%; -4%) e dal Nord America, che intercetta $151 miliardi (33,1%; +6%), mentre le altre quattro regioni considerate occupano complessivamente una quota del 23,1% (+2,4%).

Nel contesto globale, l'Italia vanta una lunga tradizione nelle attività spaziali, essendo stata tra i primi Paesi al mondo a lanciare e a far operare in orbita infrastrutture satellitari, ed è altresì tra i membri fondatori dell'ESA (European Space Agency, di cui è attualmente terzo Paese contribuente), oltre a essere tra i nove Stati a livello globale che sono dotati di un'agenzia spaziale a cui è destinato un budget che supera il miliardo di dollari (più precisamente, dalla programmazione pluriennale 2021-2016 risultano in capo all'ASI, Agenzia Spaziale Italiana, circa €1,8 miliardi). Il ruolo riconosciuto allo spazio in ambito nazionale si rivede peraltro nei fondi dedicati nel PNRR[38], ossia poco meno di €2,3 miliardi fino al 2026.

Simili investimenti nel corso degli anni hanno consentito all'intera catena del valore di maturare ed evolversi. Difatti, tenendo in considerazione la mappatura effettuata periodicamente sul portale istituzionale "*Italian Space Industry*"(Fig. 8.3), il settore spaziale italiano risulta costantemente in crescita. In particolare, si è passati da un totale di 120 imprese nel 2019 a 257 nel 2025, complice anche il conteggio delle start-up a partire dal 2020. In tutti gli anni considerati prevale la quota di PMI, che risultano in aumento del 37,8% rispetto al 2021. Inoltre, tra le grandi imprese registrare si evidenzia un incoraggiante incremento del 80,9% tra il 2021 e il 2025. Allo stesso modo, il numero di start-up è passato dalle sole 21 del 2021 alle 42 registrate per l'anno in corso (+100%), secondo quanto emerge dalla piattaforma online "*Italian Space Industry*", realizzata in collaborazione dall'ASI e dal MAECI[39].

Fig. 8.2: Il valore del mercato spaziale globale nel 2024 (in $ miliardi), per regione

Note: non vengono considerati il segmento di terra (upstream)
**Si fa riferimento a quelle isole indipendenti che si trovano prevalentemente negli Oceani Pacifico e Indiano
*CSI indica la Comunità degli Stati Indipendenti, un'organizzazione internazionale composta da nove ex repubbliche sovietiche e il Turkmenistan
Fonte: Novaspace, Space Economy Report, 11ª edizione, gennaio 2025

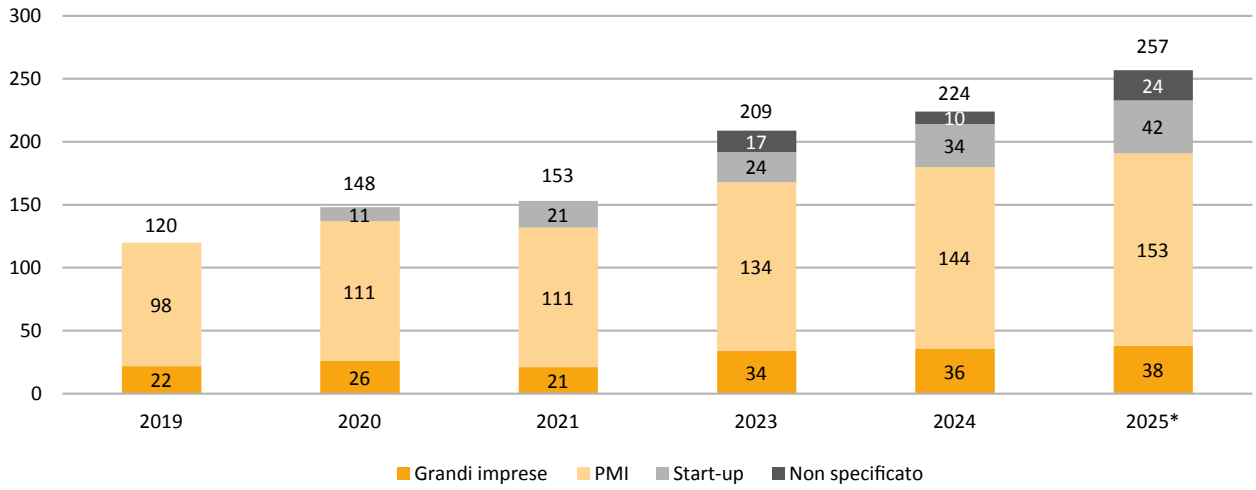


38 Missione 1, Componente 2, Investimento 4.1 – Tecnologia satellitare ed economia spaziale.

39 Il regolamento d'uso della piattaforma italianspaceindustry.it specifica che per potersi registrare alla stessa è necessario che l'azienda dimostri di aver svolto attività a carattere industriale nell'ambito del comparto "Spazio" (almeno un contratto, anche in qualità di subco, e/o documentate attività di R&S in ambito spaziale). Tale condizione non si applica alle start-up, le quali devono comunque dare evidenza che le loro attività abbiano un collegamento con il settore spaziale.

Fig. 8.3: L'evoluzione del settore spaziale italiano negli ultimi anni

*Dati aggiornati al 12/06/2025
Note: La piattaforma "ItalianSpaceIndustry" registra ulteriori 24 imprese attive nel 2025, per le quali non è indicata la classe dimensionale, per cui il totale delle imprese spaziali operanti in Italia ammonta a 257 (nel 2024 erano 224)
Fonte: Elaborazioni I-Com su ASI, ICE, Catalogo "Italian Space Industry"; MAECI, ASI, Piattaforma online "ItalianSpaceIndustry"



Appare opportuno evidenziare come possa risultare complesso mappare adeguatamente e in maniera esaustiva le imprese che operano nel comparto spaziale in Italia, poiché, in molti casi, si tratta di aziende *multi-business* (o diversificate), per cui il loro numero potrebbe essere decisamente sottostimato. Peraltro, già solo all'interno del settore spaziale una stessa impresa può occuparsi di diversi ambiti riconducibili alla *new space economy*. A tal riguardo (Fig. 8.4), è possibile affermare che larga parte di queste imprese offre servizi

Fig. 8.4: Il settore spaziale italiano, per dominio (2025)

*Dati aggiornati al 12/06/2025
Fonte: Elaborazioni I-Com su ASI, ICE, Catalogo "Italian Space Industry"; MAECI, ASI, Piattaforma online "ItalianSpaceIndustry"

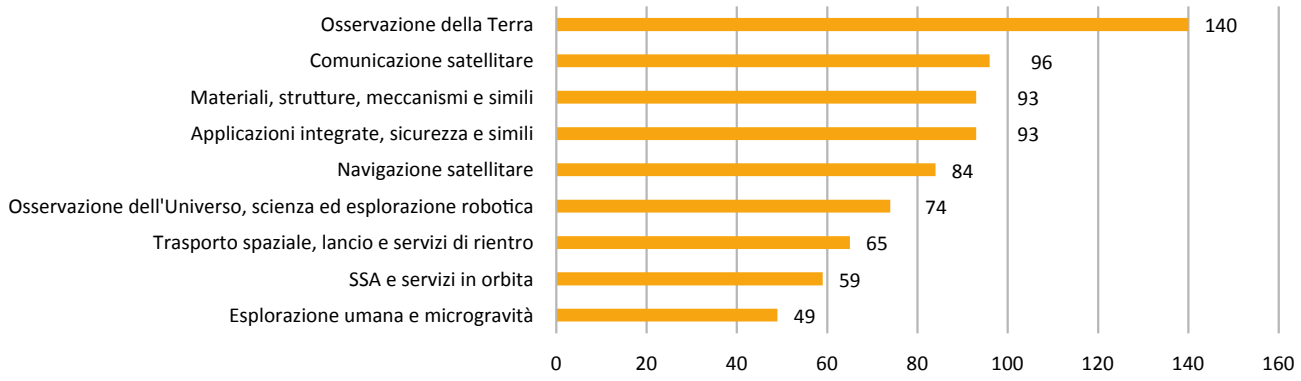
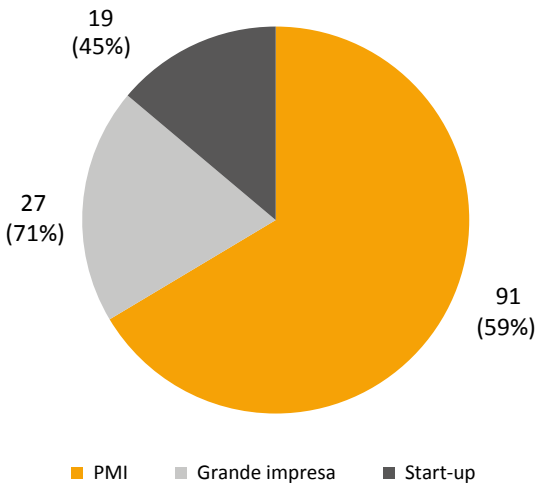


Fig. 8.5: Dimensione delle imprese impegnate nell'EO in Italia (2025)

*Dati aggiornati al 12/06/2025
Fonte: Elaborazioni I-Com su ASI, ICE, Catalogo "Italian Space Industry"; MAECI, ASI, Piattaforma online "ItalianSpaceIndustry"



collegati all'osservazione della Terra (140). A seguire si collocano quelle che si occupano di comunicazione satellitare (96), nonché coloro che forniscono materiali, strutture, meccanismi e simili (93), così come applicazioni integrate e alla sicurezza (93). Invece, un ventaglio più limitato di soggetti si interessa di trasporto spaziale, servizi di lancio e di rientro (65), SSA (Space Situational Awareness) e servizi in orbita (59) e, infine, di esplorazione umana e microgravità (49).

In questo contesto, secondo gli ultimi dati, le imprese italiane impegnate nell'EO (Earth Observation) sono per larga parte PMI (91), seguite dalle grandi imprese (27) e, infine, dalle start-up (19). In proporzione sul totale delle imprese per ciascuna classe dimensionale registrate sulla piattaforma "*Italian Space Industry*", si tratta rispettivamente del 59%, del 71% e del 45%, il che conferma un ruolo strategico dell'EO in ambito nazionale (Fig. 8.5).

8.2. L'UTILIZZO DELLE FONTI ENERGETICHE DA E NELLO SPAZIO

8.2.1. Verso sistemi di propulsione e propellenti green per un accesso allo spazio più sostenibile

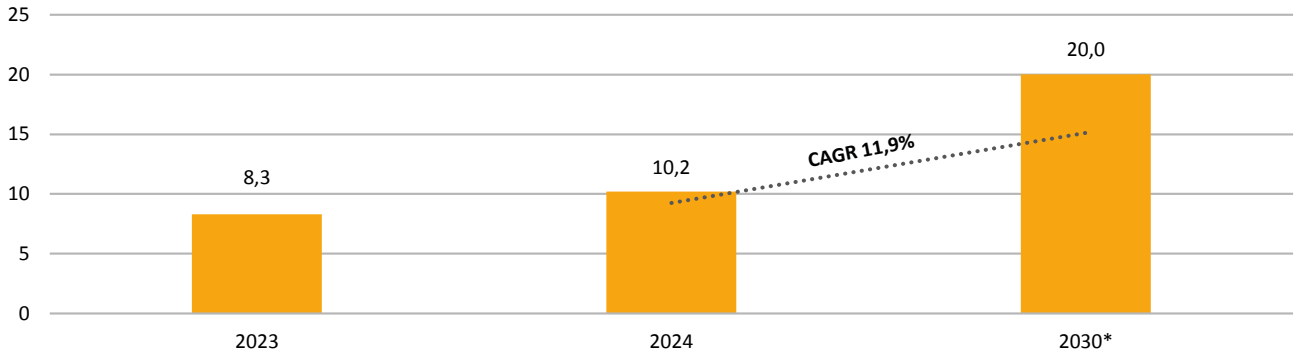
L'esplorazione umana e robotica dello spazio è considerata il principale fattore abilitante per lo sviluppo non solo del comparto spaziale, ma di quei settori che utilizzano dati e tecnologie abilitate dallo spazio (*downstream)*. In questo contesto, i prossimi anni costituiranno un'importante occasione per il continente europeo con la ripresa dell'accesso autonomo e indipendente allo spazio grazie ai lanciatori Ariane 6, Vega C ed E. Basti pensare che nel 2024 sono stati effettuati 263 tentativi di lancio, di cui ben 258 che hanno raggiunto con successo lo spazio: +17,9% su base annua (McDowell, 2025).

Di conseguenza, il mercato globale della propulsione spaziale è in forte crescita (Fig. 8.6), essendo passato dagli $8,3 miliardi nel 2023 ai $10,2 nel 2024. Inoltre, si prevede che possa raggiungere gli $20 miliardi entro il 2030 con un CAGR stimato dell'11,9%. Tale trend positivo beneficia della crescita della *space economy* a livello globale, con particolare riferimento alla maggiore richiesta di applicazioni spaziali (soprattutto per l'ambiente e il contrasto al cambiamento climatico), nonché per aspetti legati alla sicurezza, alla meteorologia, alla connettività e allo sviluppo di lanciatori riutilizzabili.

Al fine di analizzare l'evoluzione dell'attività brevettuale in questo settore, appare opportuno richiamare le principali categorie dei sistemi di propulsione spaziale e dei propellenti maggiormente utilizzati per i lanciatori spaziali. In primo luogo, la propulsione chimica – che costituisce il sistema tradizionale in quest'ambito – sfrutta carburanti e ossidanti come l'idrogeno liquido (LH2), l'ossigeno liquido (LOX) e l'idrazina (N2H4), soprattutto per l'utilizzo in veicoli spaziali riutilizzabili, propulsione e micro-propulsione

Fig. 8.6: Il mercato globale della propulsione spaziale, in $ miliardi

Fonte: Markets and Markets, Space Propulsion Market, febbraio 2025



all'interno di tali veicoli e per le manovre di rientro. In secondo luogo, la propulsione elettrica si sostanzia nell'utilizzo dell'energia elettrica per accelerare i principi di un determinato propellente (es: kritpon, argon e xenon) e può basarsi su tre diversi meccanismi: elettrotermico, elettrostatico ed elettromagnetico. Tali sistemi sono utilizzati primariamente nelle missioni spaziali per cui è previsto un viaggio di lunga durata e per alimentare i satelliti di telecomunicazione. In terzo luogo, vi sono le forme alternative di propulsione, tra cui la propulsione che ricava l'energia dai raggi solari o laser ("*sails*"), ovvero dall'utilizzo di lunghi cavi per innescare e stabilizzare il movimento di veicoli spaziali, ad esempio, tramite l'interazione elettromagnetica tra un flusso di corrente elettrica e la magnetosfera del pianeta ("*tether*"), o ancora, la propulsione nucleare, che in prospettiva può essere applicata alle missioni scientifiche nello spazio profondo e a quelle di esplorazione con equipaggio umano (ESPI, 2024).

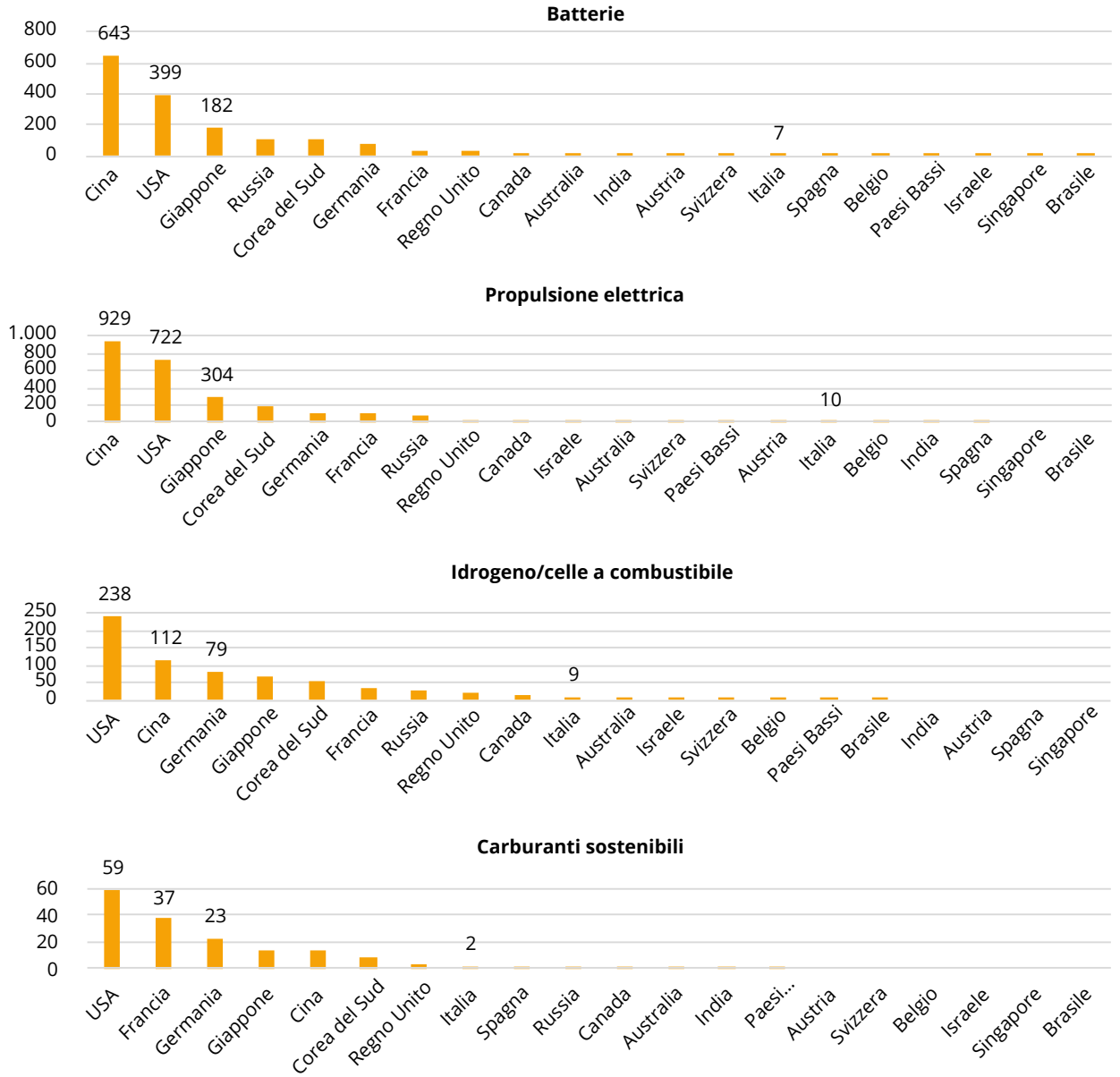
Ciò premesso, secondo gli ultimi dati resi noti da WIPO sull'attività brevettuale nel settore del trasporto spaziale, l'area più rilevante in termini di pubblicazioni di famiglie brevettuali è quella della propulsione elettrica (WIPO, 2024). Il numero di famiglie brevettuali pubblicate in questo ambito è passato da soli 70 nel 2000 a 293 nel 2023. L'attività brevettuale relativa all'impiego dell'idrogeno e delle celle a combustibile per applicazioni spaziali sono aumentate da 2 nel 2000 a 45 nel 2023[40]. Un'analisi dei principali Paesi attivi nella brevettazione nei diversi sottogruppi della propulsione sostenibile (Fig. 8.7) evidenzia innanzitutto che la Cina è leader tecnologico nel settore delle batterie, con 643 famiglie brevettuali pubblicate tra il 2000 e il 2023, a cui seguono gli USA e il Giappone, rispettivamente al secondo (399) e terzo posto (182). Anche nella propulsione elettrica la Cina è in testa (929), ma gli USA la seguono a breve distanza (722). Gli Stati Uniti sono invece leader nella ricerca sull'idrogeno e sulle celle a combustibile per applicazioni spaziali (238), seguiti dalla Cina (112) e dalla Germania (79). Ancora una volta, gli USA si collocano al primo posto per i carburanti sostenibili (59), seguiti da Francia (37) e Germania (23).

40 Le celle a combustibile erano già state impiegate nelle missioni Apollo per fornire sia elettricità che acqua agli astronauti. Esse continuano a rappresentare una fonte di energia a bordo affidabile e pulita, in particolare sulla Stazione Spaziale Internazionale. Tuttavia, l'utilizzo diffuso delle celle a combustibile a idrogeno nelle missioni di esplorazione dello spazio profondo dipenderà dai progressi nelle tecnologie di stoccaggio.

In questo contesto, il nostro Paese non figura tra i top performer in nessuna delle tecnologie considerate. Tuttavia, si può sottolineare che l'Italia compare comunque nella Top 20, raggiungendo un miglior posizionamento nell'ambito dell'idrogeno e delle celle a combustibile (10° posto) e dei carburanti sostenibili (8° posto).

Fig. 8.7: Attività brevettuale in ambito trasporto spaziale nel periodo 2000-2023 (Top 20), per sottogruppo propulsione sostenibile

Fonte: Elaborazioni WIPO su dati EconSight/IFI Claims, Future of Transportation in Space, ottobre 2024



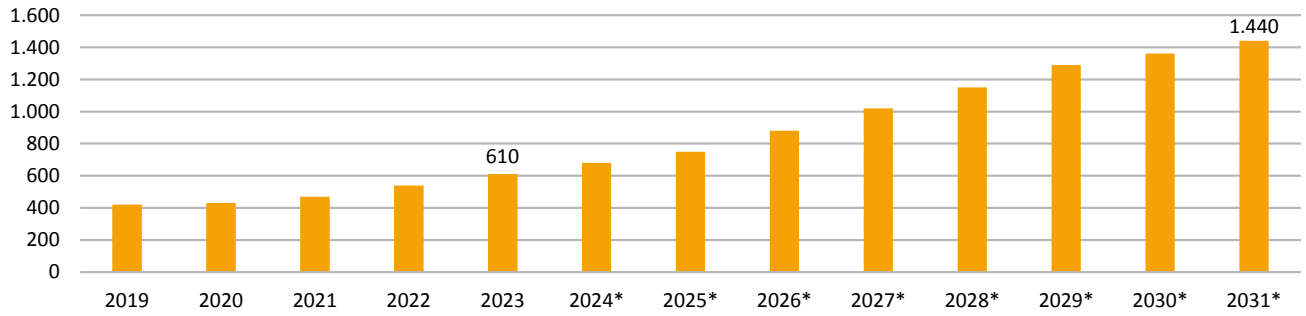
8.2.2. *Il ruolo delle space solar cells e gli sviluppi legati all'energia solare spaziale*

Oggigiorno, l'energia solare rappresenta una straordinaria fonte energetica per le attività in orbita, grazie all'innovazione nel campo delle celle solari (*solar cells*), ossia pannelli fotovoltaici sottili e flessibili che possono raggiungere un livello di efficienza energetica vicino al 30% e sono utilizzati, fra l'altro, per alimentare alcune parti della Stazione Spaziale Internazionale (ISS) grazie alla copertura di oltre 2000 metri quadrati di superficie, che consentono di generare 735 mila kWh di energia elettrica all'anno[41]. In Italia opera una tra le società leader nel settore a livello mondiale, il CESI, che dopo aver firmato un importante contratto (€13 milioni) nell'ambito del programma *Space Factory* 4.0 (PNRR), gestito dall'ASI e funzionale a incrementare la capacità produttiva di celle solari da installare sui satelliti nelle due orbite più utilizzate (LEO e GEO)[42], ha dedicato ancora maggiore impegno e risorse alle attività legate alla *space economy*. Difatti, a marzo scorso è stata lanciata la nuova divisione appositamente incentrata sul settore spaziale e al contempo è stata notevolmente potenziata la capacità produttiva.

Sul tema, tra le opportunità più interessanti legate al futuro della *space economy*, va annoverata l'energia solare spaziale (*Space Based Solar Power* – SBSP), che si sostanzia nella raccolta di energia tramite appositi pannelli fotovoltaici collocati sulle infrastrutture in orbita e la conseguente trasmissione sulla Terra in maniera completamente wireless. Nonostante si tratti di un ambito che dovrebbe vedere la luce a partire dal prossimo decennio, fa registrare già un importante fermento, in particolar modo grazie all'impulso dell'ESA, della NASA e del Regno Unito. Difatti, secondo gli ultimi dati disponibili, il mercato globale della SBSP ha raggiunto la cifra di $610 milioni nel 2023 e si stima possa avvicinarsi al miliardo e mezzo di dollari nel 2031 (Fig. 8.8).

Fig. 8.8: Mercato globale dell'energia solare spaziale (2019-2031), in $ milioni

*Valori previsionali
Fonte: Extrapolate, Global Space-Based Solar Power Market (2024-2031), aprile 2025



41 I pannelli fotovoltaici utilizzati nello spazio sono multigiunzione, ossia composti da più strati, ciascuno dei quali formato da diversi semiconduttori capaci di assorbire differenti porzioni dello spettro della luca solare con una minore copertura in termini di superficie occupato.

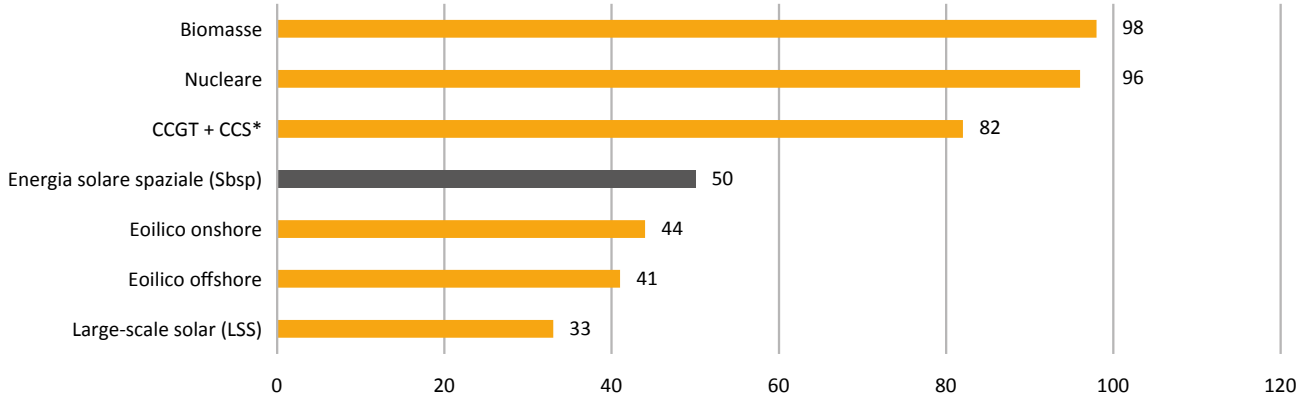
42 Tra gli obiettivi vi è il potenziamento dell'efficienza energetica di tali pannelli, sino a raggiungere il 35%, e la riduzione dello spessore a quello di un capello. Pertanto, le celle solari di nuova generazione – potendo immagazzinare un quantitativo maggiore di energia – saranno essenziali per l'alimentazione di diverse infrastrutture in orbita, nonché delle tute degli astronauti e, quindi, per l'esplorazione umana dello spazio.

Peraltro, l'ultimo Consiglio Ministeriale ESA ha approvato ufficialmente il progetto SOLARIS che, partendo da una ricognizione tecnologica e un'analisi di fattibilità (termine fissato entro la fine del 2025), mira a fornire elementi utili per decidere se investire o meno nello sviluppo di un sistema europeo di SBSP. Più nel dettaglio, l'obiettivo è di avere delle vere e proprie centrali solari in orbita geostazionaria (GEO) che potenzialmente potranno produrre energia 24/24h e 7 giorni su 7, ad eccezione dei periodi corrispondenti agli equinozi, durante i quali la Terra genera un cono d'ombra che non consente di assorbire la luce solare. Per l'Italia, Thales Alenia Space ed Enel hanno effettuato una prima valutazione di fattibilità sulla generazione di energia elettrica da fonte fotovoltaica, sullo storage energetico, sulla trasmissione e distribuzione[43]. Ad ogni modo, se tali analisi condurranno a un esito positivo, si punta a costruire a terra e a lanciare in orbita impianti sempre più performanti, che possano giungere a 1 GW di potenza tra il 2040-2045, contribuendo in maniera significativa all'obiettivo indicato dall'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) di produrre quasi il 90% dell'energia mondiale da fonti rinnovabili entro il 2050.

Come già accennato, anche gli USA e il Regno Unito stanno dando un grande impulso agli sviluppi inerenti all'energia solare spaziale. In particolare, uno studio di Frazer-Nash Consultancy (2021) per il Dipartimento per le imprese, l'energia e la strategia industriale del Regno Unito ha concluso che la SBSP può supportare efficacemente l'obiettivo Net Zero 2050, garantendo al contempo sostanziali benefici economici. Più nel dettaglio, nello studio in questione – che contiene, fra l'altro, le opportune specifiche tecniche e la ricostruzione sullo stato dell'arte del settore – è stato sviluppato un modello per stimare il costo livellato dell'elettricità (*Levelized Cost of Electricity* – LCOE) basato sulla metodologia BEIS (2020) così da confrontare tale valore con quello delle altre fonti energetiche a basse emissioni di carbonio (Fig. 8.9)[44]. Ebbene, il LCOE del progetto di SBSP del Regno Unito viene

Fig. 8.9: Confronto tra fonti energetiche a basse emissioni di carbonio, per costo livellato dell'elettricità (LCOE) (£/MWh)

Note: Le valutazioni di LCOE per le fonti energetiche, ad eccezione della SBSP, seguono le proiezioni BEIS – Electricity Generation Costs (2020) per il 2040
*Combined Cycle Gas Turbine + Carbon Capture and Storage
Fonte: Frazer-Nash Consultancy, Space Based Solar Power. De-risking the pathway to Net Zero, settembre 2021



43 Pannelli fotovoltaici nello spazio: una possibile rivoluzione nell'energia solare, in enel.com, maggio 2024.
44 Il costo livellato dell'elettricità (LCOE) qui considerato include variabili come: la produzione end-to-end, il lancio, l'assemblaggio, le attività durante l'intero ciclo di vita e le operazioni di dismissione.

stimato a 50 £/MWh, ipotizzando un *hurdle rate*[45] del 20% e che il sistema venga messo in funzione entro il 2040, performando meglio di altre tecnologie, tra cui CCGT + CCS (82 £/MWh), nucleare (96 £/MWh) e, infine, l'energia ricavata dalle biomasse (98 £/MWh). Pertanto, con adeguati investimenti su questo tipo di tecnologia, stimati complessivamente – tra pubblico e privato – in £17,3 miliardi in 18 anni, di cui 16,3 per i costi di sviluppo e il restante miliardo per la parte operativa, si potrebbe giungere alle prime missioni dimostrative entro l'inizio del prossimo decennio e al lancio del primo sistema SBSP nel 2040. Quanto all'impatto sul PIL, si è valutato un possibile effetto moltiplicatore pari al 2.3 (per ogni sterlina di PIL diretto si sosterrebbero ulteriori 1,3 sterline di PIL indiretto e indotto), ottenuto considerando le diverse industrie coinvolte nello sviluppo e nella produzione di un simile sistema. Con specifico riferimento all'incidenza sul settore pubblico, è stato calcolato che per ogni sterlina di fondi pubblici investiti si genererebbero ulteriori 1,8 sterline nell'economia del Regno Unito per l'intera durata del programma[46]. Per di più, nello studio sono stati valutati gli effetti spillover su altri settori, tra cui trasmissione di energia wireless, semiconduttori, fotovoltaico, educazione e formazione, trasporto merci e assemblaggio robotico[47]. Infine, il programma vanta il supporto di un'ampia gamma di attori pubblici, privati e del mondo dell'accademia, riuniti nell'ambito della "*Space Energy Initiative*", che comprende anche realtà italiane o comunque operanti sul territorio nazionale[48].

Su questa scia è opportuno menzionare anche il completamento, ad aprile scorso, di un importante progetto denominato CASSiDi – valore pari a 1,7 milioni di sterline – da parte di Space Solar. L'iniziativa – finanziata dall'Agenzia spaziale e dal Dipartimento di Sicurezza Energetica del Regno Unito – ha consentito di portare a compimento alcuni studi ingegneristici su aspetti cruciali del design del satellite CASSIOPeiA, il quale – auspicabilmente – sarà deputato alla raccolta e alla trasmissione di SBSP per fini commerciali dal 2030. In particolare, lo studio ha permesso di dimostrare l'efficienza nella conversione di energia, l'efficacia in termini di costi, nonché un'impronta di carbonio paragonabile o potenzialmente inferiore a quella delle fonti di energia rinnovabile esistenti[49].

8.3. LA SOSTENIBILITÀ DELLO SPAZIO: LA QUESTIONE DEI DETRITI

Il problema dei detriti spaziali (frammenti di satelliti e razzi, veicoli spaziali in disuso e altri detriti di dimensioni minori legati alle missioni spaziali) è notevolmente peggiorato negli ultimi 15 anni, principalmente a causa di due macro eventi: i) test *Anti-satellite weapon* (ASAT) su Fengyun-1C condotto dalla Cina nel 2007; ii) collisione accidentale tra Cosmos 2.251 e Iridium 33 nel 2009.

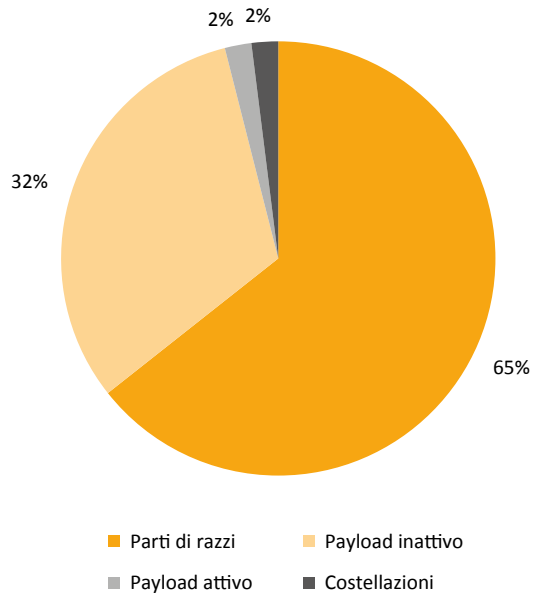
Le ultime statistiche rilasciate dall'ESA mostrano come la quasi totalità degli oggetti in orbita, circa il 97% nel 2024, è riconducibile a parti di razzi o a payload inattivo (Fig. 8.10). Di conseguenza, solo una parte estremamente ridotta concerne payload attivo e funzionante o comunque costellazioni satellitari.

In questo contesto, gli ultimi dati forniti dall'ESA mostrano come nelle due orbite terrestri più trafficate (LEO e GEO), si concentri larga parte della massa e del-

45 Col termine "hurdle rate" ci si riferisce al tasso minimo di rendimento che un investimento deve superare affinché sia considerato redditizio.
46 *Frazer-Nash Consultancy, Space Based Solar Power. De-risking the pathway to Net Zero, cit., pp. 21-22.*
47 Ivi, pp. 22-23.
48 Per saperne di più, https://spaceenergyinitiative.org.uk/
49 Per un approfondimento, si v. https://www.spacesolar.co.uk/space-solar-study-advances-commercial-space-based-solar-power/

Fig. 8.10: Tipologia di oggetti in orbita (2024)

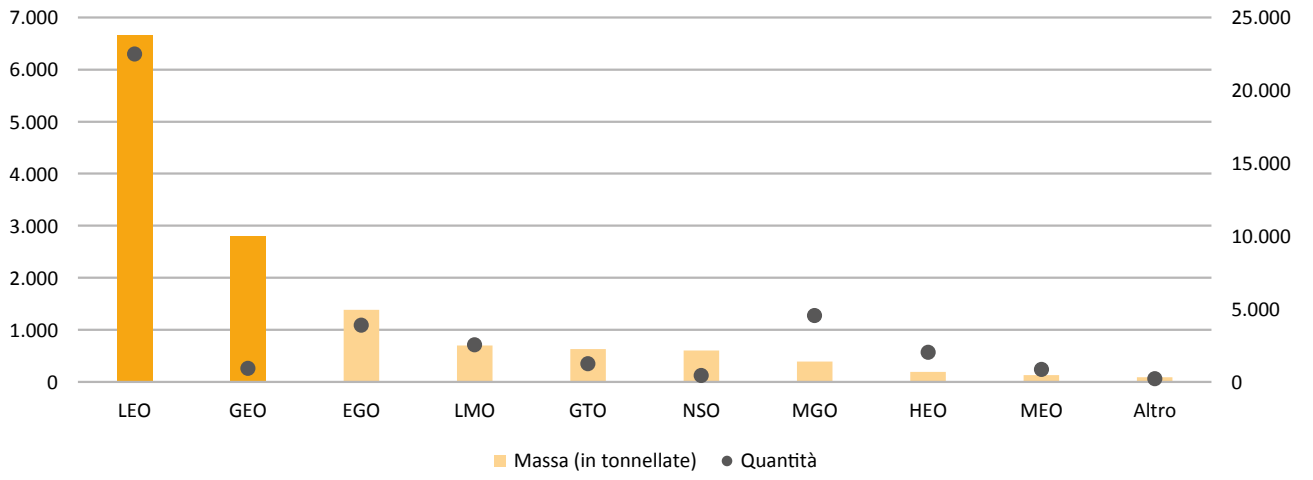
Fonte: Elaborazioni I-Com su dati ESA's annual space environment report, marzo 2025



la quantità totale degli oggetti spaziali (Fig. 8.11). Più nel dettaglio, l'orbita bassa – dove, fra l'altro, si trova la ISS – risulta prima per entrambi i valori considerati (oltre 22.400 oggetti corrispondenti a 6.661 tonnellate). Restringendo l'orizzonte temporale agli ultimi dieci anni (Fig. 8.12), le principali cause degli eventi di frammentazione si rivedono in criticità relative alla propulsione (es: stress termico che conduce a un'esplosione), verificatesi nel 37% dei casi, seguite da situazioni in cui non è stato possibile stabilire una specifica classificazione (25%) e da un'anomalia (19%), definita dall'ESA come una separazione non pianificata, di solito a bassa velocità, di uno o più parti di un satellite (es: materiale isolante o pannelli solari), che rimane sostanzialmente intatto e funzionante. Chiudono questa classifica i malfunzionamenti del sistema elettrico (4%), riconducibili prevalentemente a un sovraccarico e alla conseguente esplosione delle batterie, a cui seguono eventi prodotti in maniera intenzionale (2%) e, in ultimo, cause di natura accidentale (ivi inclusi difetti di progettazione) registrate nel 2% dei casi[50].

Fig. 8.11: Quantità e massa (in tonnellate) di oggetti spaziali, per tipologia di orbita (2024)

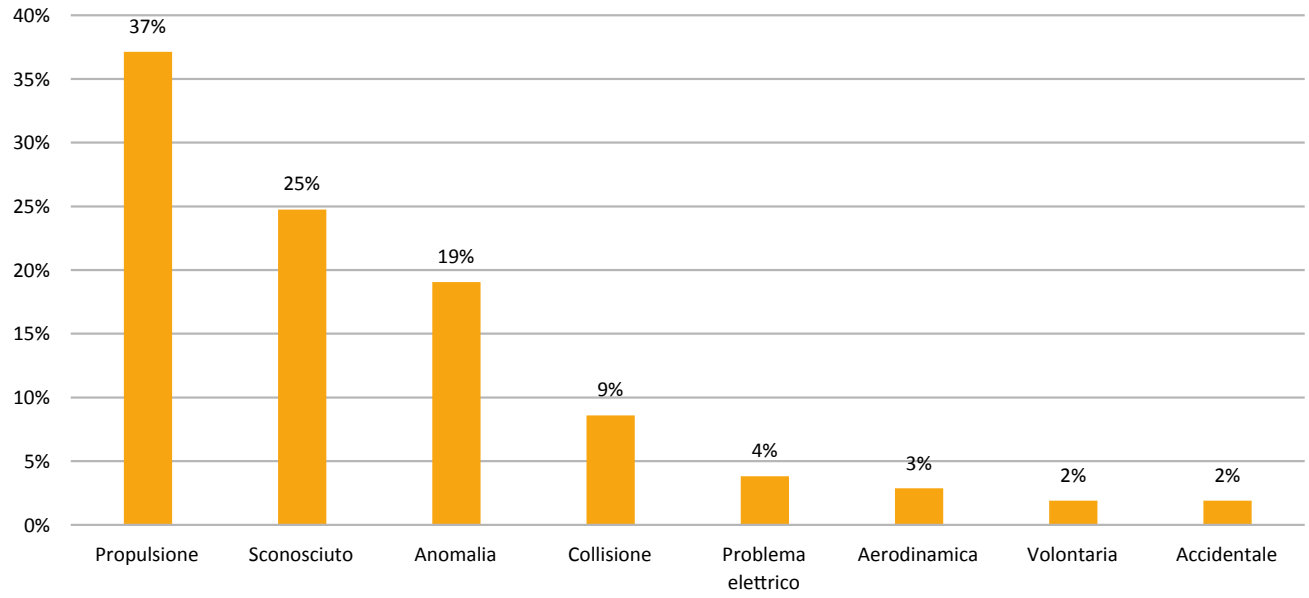
Note: In "Altro" sono ricomprese le orbite IGO, GHO, HAO, UFO, ESO
Fonte: ESA's annual space environment report, marzo 2025



50 Per un approfondimento sulle altre tipologie di causa, si v. https://fragmentation.esoc.esa.int/home/modelling

Fig. 8.12: Eventi di frammentazione degli oggetti spaziali nell'ultimo decennio, per tipo di causa

Fonte: ESA's annual space environment report, marzo 2025



Come visto, il valore e le opportunità legate alla *space economy* sono in costante espansione, ma lo stesso vale anche per le sfide e le criticità da affrontare per consentire lo svolgimento sostenibile e sicuro delle attività spaziali. Difatti, una singola collisione tra oggetti e/o detriti spaziali può causare l'interruzione di una missione spaziale, il danneggiamento di infrastrutture satellitari o mettere in pericolo le persone che si trovano nel raggio di azione dell'impatto. In aggiunta, se le attività nello spazio venissero percepite come eccessivamente rischiose, ciò potrebbe far aumentare a dismisura il prezzo della polizza assicurativa, con ripercussioni economiche importanti soprattutto per gli operatori di medie e piccole dimensioni. Peraltro, non è da sottovalutare il danno di immagine che può scaturire da un'inadeguata gestione dei detriti spaziali, in quanto un comportamento etico e attento all'ambiente si sta intensificando anche con riguardo allo spazio, come testimoniano, fra l'altro, gli sforzi nell'ambito dello Zero Debris Charter dell'ESA.

8.4. IL VALORE (E L'IMPATTO AMBIENTALE) DEL TURISMO SPAZIALE E DELL'ESTRAZIONE DI MATERIALI DAI CORPI CELESTI

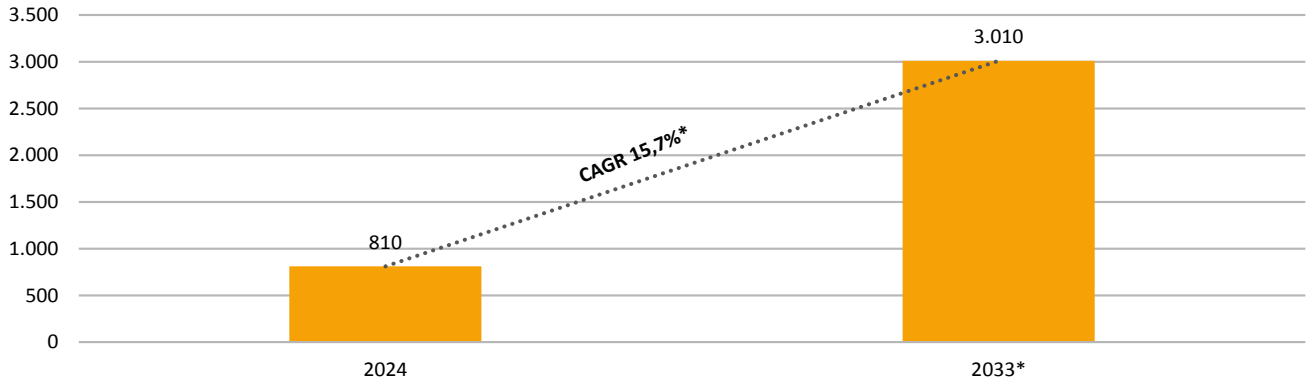
Come anticipato, tra le opportunità considerate più promettenti per la *space economy* rientrano il turismo spaziale e il trasporto sub-orbitale, nonché l'estrazione di materiali dai corpi celesti.

Con riguardo al primo, ad oggi si tratta di un mercato ancora piuttosto contenuto, pari a $810 milioni nel 2024, mentre si stima che – con un CAGR del 15,7% – possa quasi quadruplicare entro il 2033, superando i $3 miliardi a livello globale (Fig. 8.13).

Tale segmento sta concentrando gli investimenti su una sempre più ampia riutilizzabilità dei sistemi spaziali, anche al fine di rendere queste tipologie di volo più economiche e accessibili per il pubblico e le organizzazioni interessate, come pure sulle preoccupazioni riguardanti l'impatto ambientale e climatico del turi-

Fig. 8.13: Il mercato del trasporto sub-orbitale e del turismo spaziale, in $ milioni

*Valori previsionali
Fonte: Research and Markets, Sub-Orbital Transportation and Space Tourism Market, marzo 2025



smo spaziale[51], in particolare per le ripercussioni sullo strato di ozono. Basti pensare che un volo di un'ora e mezza di una delle principali aziende attive nel settore (Virgin Galactic) genera emissioni equivalenti a quelle di un volo aereo commerciale transatlantico della durata di dieci ore, trasportando meno di una decina di passeggeri. Quindi, in media, un singolo passeggero emette circa 4,5 tonnellate di carbonio, che corrispondono a più del doppio della quota annuale raccomandata dall'Accordo di Parigi del 2015 (Moore, 2023). Nonostante ciò, come evidenziato anche nei paragrafi precedenti, il comparto spaziale sta lavorando per rendere l'accesso allo spazio più sostenibile ed ecologico, ad esempio, tramite importanti investimenti in propellenti e fonti energetiche "green", nonché riciclando i detriti in orbita per impiegarli in nuovi veicoli spaziali.

Un'altra frontiera della *space economy* particolarmente interessante si rivede nell'estrazione di materiali da asteroidi e altri corpi celesti (come la Luna), un campo che ha suscitato l'attenzione delle imprese private a partire dagli anni '90 con l'intenzione iniziale di ricorrere a veicoli senza equipaggio per estrarre risorse quali il platino e l'oro da utilizzare nell'ambito di diverse industrie sulla Terra. Col tempo, il settore è cresciuto e si è dato obiettivi più ambiziosi relativi, fra l'altro, all'impiego delle risorse come elio-3[52], acqua, ossigeno, oltre a metalli preziosi e minerali, direttamente nell'esplorazione umana e robotica dello spazio, nonché per stabilire insediamenti, ad esempio, sulla Luna e su Marte. Secondo gli ultimi dati disponibili (Fig. 8.14), il mercato globale dello *space mining* ha superato il miliardo e mezzo di dollari nel 2024 e, con un CAGR stimato del 20,68%, potrebbe raggiungere i $9,1 miliardi entro il 2032.

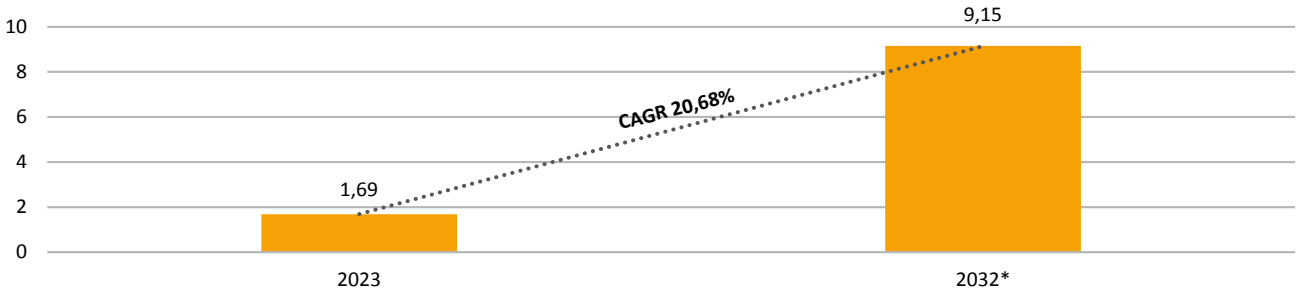
Negli ultimi anni, diversi Paesi (USA, Emirati Arabi Uniti, Giappone e Lussemburgo) hanno stabilito regole ad hoc che sanciscono il diritto a estrarre e possedere materiali provenienti dallo spazio. Inoltre, su

51 Si v., fra gli altri, Wood C., How Blue Origin, SpaceX, Virgin Galactic space race could impact the atmosphere, in cnbc.com, agosto 2021; Gammon K., How the billionaire space race could be one giant leap for pollution, in theguardian.com, luglio 2021; Lockwood M., Boom in space tourism threatens to boost the amounts of space junk and climate emissions, in theconversation.com, giugno 2023; Safdie S., Why is Space Tourism a Risk to the Climate?, in greenly.earth, maggio 2024.

52 Potenzialmente utilizzabile nell'ambito della propulsione nucleare.

Fig. 8.14: Il mercato dello space mining, in $ miliardi

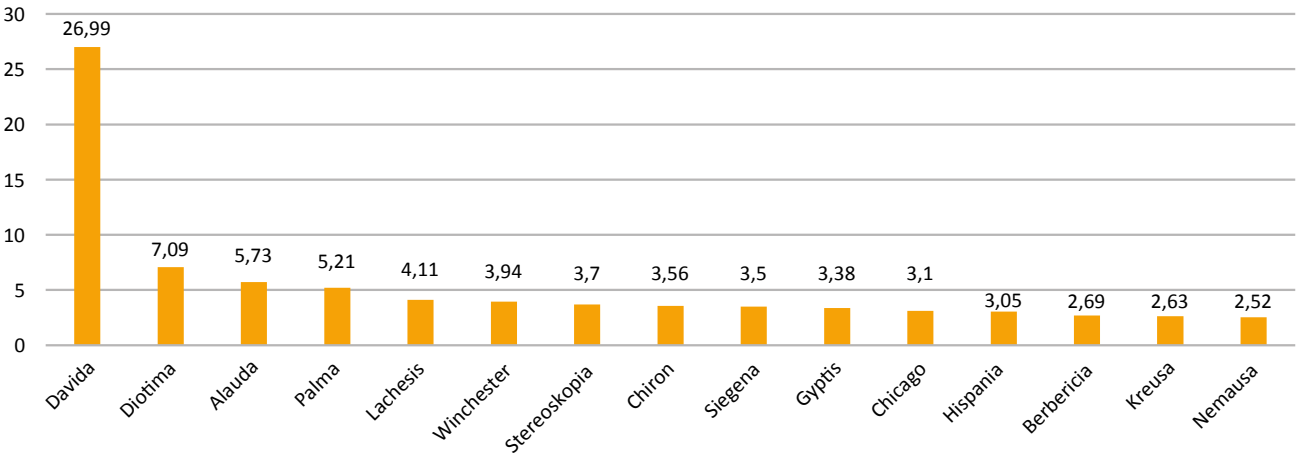
*Valori previsionali
Fonte: SNS Insider, Space Mining Market, marzo 2025



impulso della NASA, sono stati sottoscritti gli Accordi di Artemis[53], ossia dieci principi guida che obbligano gli Stati firmatari (compresa l'Italia) a garantire sicurezza, responsabilità e sostenibilità nel corso dell'esplorazione spaziale, a partire dal ritorno dell'essere umano sulla Luna, anche con riferimento all'utilizzo delle relative risorse. Sulla base di ciò, alcune imprese hanno già avviato iniziative concrete connesse allo *space mining*. Ad esempio, lo scorso 7 maggio la startup americana Interlune ha annunciato di aver concluso due contratti per la vendita di Elio-3 a un cliente commerciale e al Dipartimento dell'Energia degli USA, dichiarando tra l'altro che la consegna avverrà entro aprile 2029. Difatti, ciò che sta spingen-

Fig. 8.15: Il valore stimato dei principali asteroidi nelle fasce ricomprese tra Marte e Giove, in quintilioni (10^{18}) di dollari

Fonte: Elaborazioni Statista su dati Visual Capitalist, Most valuable asteroids in the asteroid belt based on mineral and element content, novembre 2016



53 Per saperne di più, si v. https://www.nasa.gov/artemis-accords/

do aziende e investitori a puntare su questo campo risiede nella prospettiva di poter trarre profitto dalla vendita e dall'impiego delle risorse che compongono i corpi celesti. In merito, alcuni studi hanno stimato che il valore dei principali asteroidi nelle fasce ricomprese tra Marte a Giove possa superare gli $81 quintilioni ($10^{30}$), con il primo – Davida – che raggiungerebbe quota $27 quintilioni grazie all'elevata concentrazione di acqua, nichel, ferro, cobalto, azoto, ammoniaca e idrogeno (Fig. 8.15).

Anche per lo *space mining* non mancano considerazioni in merito all'impatto ambientale, sia in termini di riduzione dell'ozonosfera, sia per quanto riguarda la produzione di rifiuti e detriti spaziali. E infatti, nel 2021 è stato pubblicato uno studio in cui si propone l'adozione di un framework per verificare i potenziali effetti dannosi di un qualsiasi progetto di estrazione delle risorse nello spazio, basandosi su diversi fattori, tra cui la generazione di polveri e altri residui, le modifiche strutturali del contesto e la contaminazione della regolite (Dallas et al., 2021). In definitiva, nonostante vi siano ancora alcune barriere di natura etico-ambientale, economica, tecnologica e legale da gestire, lo *space mining* può rappresentare un elemento cruciale per garantire un più ampio e diffuso presidio umano nello spazio, poiché nei corpi celesti – a partire dagli asteroidi – potrebbe rinvenirsi una quantità considerevole di acqua, la quale sarebbe impiegata direttamente per uso umano o per fornire carburante ai veicoli spaziali, abbattendo così il costo necessario a riportarla sulla Terra e semplificando altre attività spaziali che implicano la presenza dell'essere umano. Per di più, tale ambito rappresenterebbe un'importante occasione anche per la Terra, in quanto aumenterebbe la disponibilità di materiali preziosi necessari per la duplice transizione verde e digitale (come iridio e platino) e, al contempo, si potrebbero sviluppare nuove applicazioni e filiere industriali per intercettare la crescita della domanda di questi beni.

8.5. L'IMPORTANZA DEI DATI DI OSSERVAZIONE DELLA TERRA: IL PROGRAMMA COPERNICUS

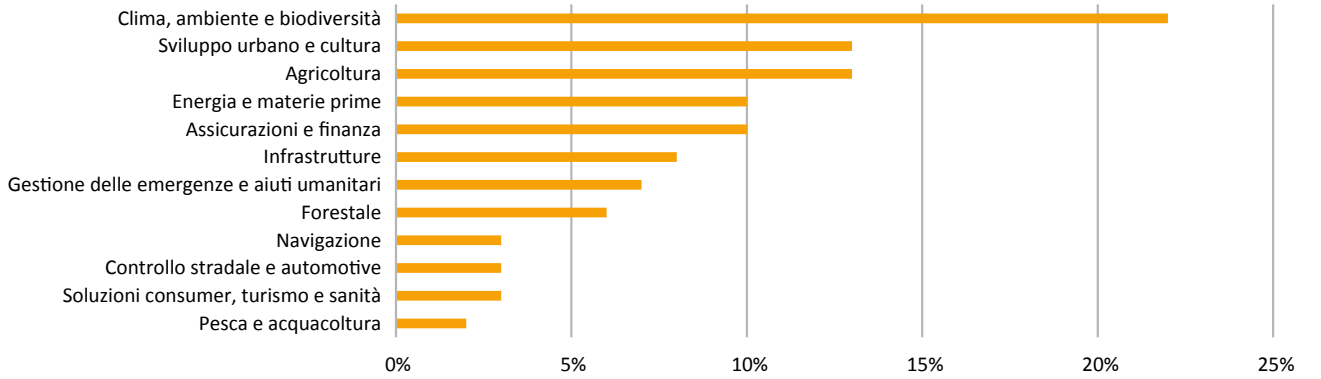
L'Unione Europea è attiva da anni sul fronte delle politiche spaziali, in particolar modo a partire dal 2016, anno in cui la Commissione ha presentato la Strategia spaziale per l'Europa, con il fine ultimo di rafforzare il posizionamento internazionale dell'Europa nel settore spaziale, aumentare la sua quota di mercato globale e beneficiare dei vantaggi e delle opportunità offerti dallo spazio.

Il 2021 ha segnato un anno di svolta nelle politiche spaziali europee grazie all'adozione della programmazione spaziale dell'Unione Europea per il periodo 2021-2027, oltre all'istituzione dell'Agenzia dell'UE per il programma spaziale (EUSPA). L'ultima programmazione spaziale pluriennale (2021-2027) ha fatto registrare un importante incremento di risorse a disposizione, pari a €14,88 miliardi, ossia il 29,4% in più rispetto al periodo precedente (2014-2020) e ha stabilito diversi programmi spaziali faro dell'UE.

In questo scenario, il programma Copernicus è il sistema europeo di osservazione della Terra (EO), consentendo a valle l'elaborazione dei dati raccolti da appositi satelliti in orbita, i quali permettono di monitorare i cambiamenti nel tempo con un'elevata precisione in termini di pixel, dando vita a mappe per effettuare previsioni, fra l'altro, sull'andamento delle temperature o degli oceani. In tema, gli ultimi dati EUSPA rendono evidente come i dati e i servizi di EO possono avere un impatto positivo per almeno quindici segmenti di mercato (EUSPA, 2024). Più nel dettaglio, il mercato globale dell'osservazione della Terra, considerando sia i ricavi relativi alla vendita dei dati, sia dei servizi a valori aggiunto, ha raggiunto i €3,3 miliardi nel 2023, trainato principalmente dai segmenti clima, ambiente e biodiversità; agricoltura; sviluppo urbano e patrimonio culturale, che insieme raccolgono il 48% dei ricavi totali, seguiti da energia e materie prime e assicurazioni e finanza, entrambi al 10% (Fig. 8.16).

Fig. 8.16: Distribuzione dei ricavi derivanti dai dati EO nel 2023, per segmento (in € milioni)

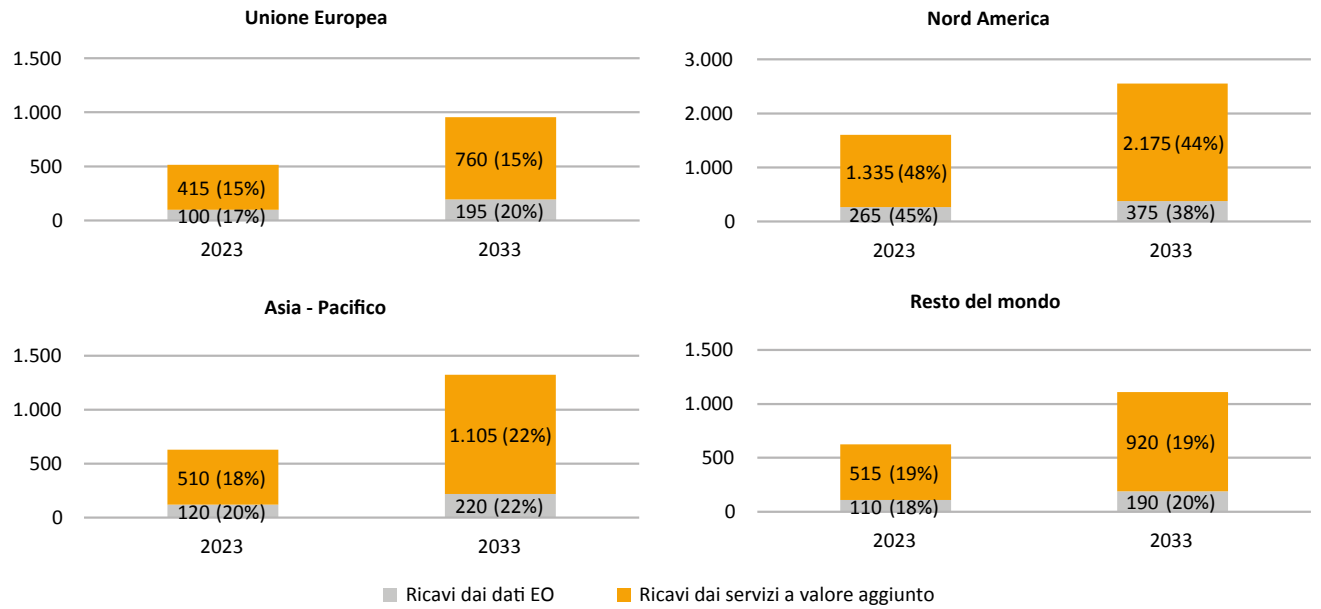
Fonte: Elaborazioni I-Com su dati EUSPA, EO and GNSS Market Report, Issue 2, gennaio 2024



Venendo alla distribuzione geografica dei ricavi (Fig. 8.17), il Nord America primeggia – e dovrebbe primeggiare anche in futuro – seguito dall'Asia-Pacifico e dall'Unione Europea. Tuttavia, entro il 2033, l'EUSPA stima che i ricavi in UE e in Asia cresceranno più rapidamente che in Nord America, conseguendone una distribuzione più equilibrata.

Fig. 8.17: La domanda di dati e servizi di osservazione della Terra (2023-2033), per ambito geografico (in € milioni)

Note: I valori percentuali fanno riferimento alla quota rispetto all'ammontare globale
*Include: Sud America e Caraibi; Medio Oriente e Africa; Russia e Paesi europei extra-UE
Fonte: Elaborazioni I-Com su dati EUSPA, EO and GNSS Market Report, Issue 2, gennaio 2024



Altro importante apporto del programma Copernicus alle tematiche ambientali ed energetiche risiede nella fornitura di dati a supporto dell'*European State of the Climate*, un rapporto pubblicato congiuntamente dall'Organizzazione mondiale della meteorologia e dal servizio di Copernicus specializzato sul cambiamento climatico, il quale contiene descrizioni e analisi fondamentali sulle condizioni climatiche della Terra, nonché sugli eventi climatici critici e i relativi impatti, oltre a riflessioni sulle politiche e le azioni per il clima, con particolare attenzione alla salute umana. L'ultima edizione – riferita al 2024 – contiene alcuni indicatori interessanti, fra l'altro, sulla concentrazione globale di gas serra nell'atmosfera, con specifico riferimento alla CO_2 e al metano (Fig. 8.18), evidenziando come tali inquinanti siano in vertiginosa crescita, avendo di anno in anno superato il valore record del periodo precedente, il che si traduce in ripercussioni decisamente negative sul clima, prima fra tutte l'incremento della temperatura a livello del suolo.

I dati EO di Copernicus hanno consentito altresì di verificare le anomalie nella produzione effettiva di energia elettrica (Fig. 8.19), il che ha consentito di evidenziare che nel 2024 il potenziale di produzione di energia eolica in Europa è stata inferiore alle media. Ciò è stato particolarmente evidente nell'Europa meridionale, compresa l'Italia e i Paesi balcanici lungo il Mare Adriatico. Allo stesso modo, è stato possibile individuare alcune eccezioni nella penisola iberica, nelle Alpi e nella Fennoscandia, dove il potenziale di produzione di energia eolica è rimasta vicina alla media, se non superiore. Inoltre, è stato possibile segnalare che si è trattato di un anno record per quanto riguarda l'aumento della capacità totale di energia solare fotovoltaica nell'UE, poiché nonostante il potenziale inferiore alle media, il 2024 ha visto un aumento della produzione effettiva di energia solare dal fotovoltaico rispetto al 2023.

Fig. 8.18: Concentrazione globale di CO_2 nell'atmosfera rilevata tramite i satelliti Copernicus

Fonte: EU Copernicus Climate Change Service, UN World Meteorological Organisation, European State of the Climate 2024, 2025

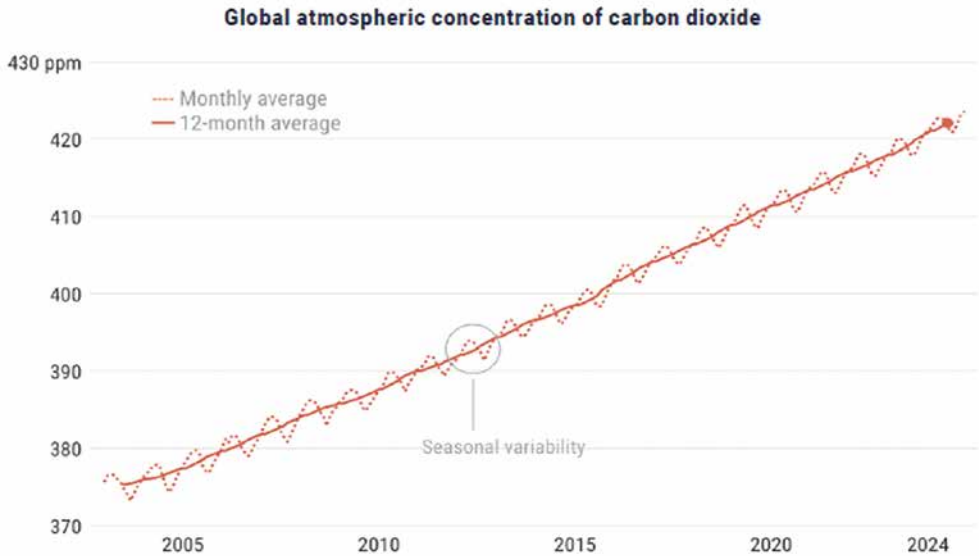
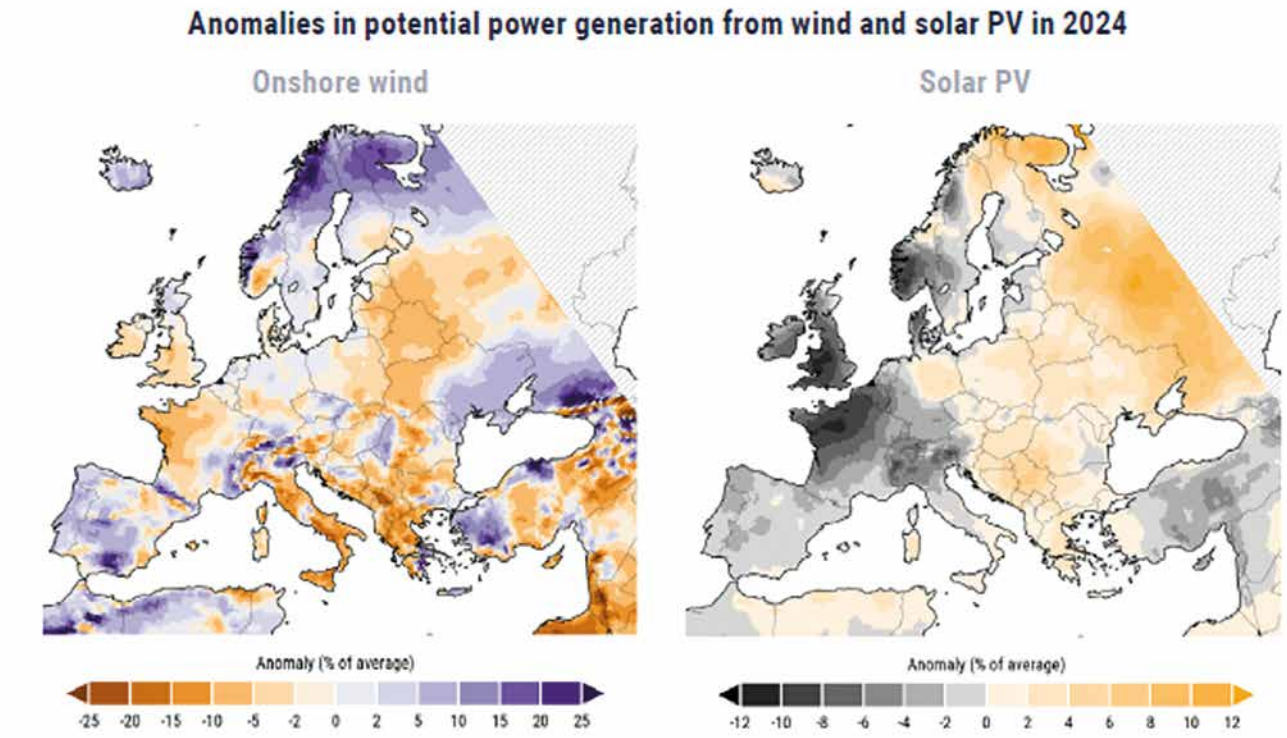


Fig. 8.19: Anomalie nella generazione potenziale di energia rilevata tramite i satelliti Copernicus nel 2024

Fonte: EU Copernicus Climate Change Service, UN World Meteorological Organisation, European State of the Climate 2024, 2025



icom 20 05 25
istituto per la competitività

CAPITOLO 9

L'UNIVERSO DELLE START-UP INNOVATIVE E QUELLE IN AMBITO ENERGETICO

La diffusione sempre maggiore di start-up innovative rappresenta un indicatore importante della vivacità e attività del tessuto imprenditoriale italiano.
I dati ufficiali delle Camere di Commercio definiscono le start-up innovative come "società di capitali, costituite anche in forma cooperativa, che hanno come oggetto lo sviluppo, la produzione e la commercializzazione di prodotti o servizi innovativi ad alto valore tecnologico". Per potersi definire propriamente una start-up, la società deve essere costituita e svolgere attività d'impresa da non più di 60 mesi senza essere stata costituita da una fusione, scissione societaria o a seguito di cessione d'azienda o di ramo d'azienda; l'impresa deve essere residente in Italia, oppure in uno degli Stati dell'Unione Europea a condizione che abbia una sede produttiva o una filiale in Italia. Inoltre, il totale del valore della produzione annua della società, a partire dal secondo anno, non deve essere superiore a 5 milioni di euro; la società non deve distribuire o aver distribuito utili.
Le start-up innovative sono imprese giovani, caratterizzate da un elevato grado tecnologico che prospetta la possibilità di una crescita robusta nel futuro con effetti di ricaduta positivi per lo sviluppo economico e sociale del contesto nel quale si trovano.
Per essere considerata innovativa, una start-up deve soddisfare almeno uno dei seguenti requisiti:

- Sostenere spese in ricerca e sviluppo pari ad almeno il 15% del maggiore valore tra costo e valore totale della produzione;
- Impiegare personale altamente qualificato;
- Essere titolare, depositaria o licenziataria di almeno un brevetto o titolare di un software registrato.

Gli anni più recenti sono stati caratterizzati da non poche tensioni internazionali ed economiche, con ripercussioni su tutti i settori produttivi e generativi di crescita e sviluppo, tra cui anche la macroarea delle start-up innovative: in questo scenario di sconvolgimento degli equilibri geopolitici e macroeconomici, è utile valutare se -e in che modalità- le start-up innovative hanno manifestato capacità di resilienza e di adattamento alle pressioni esogene.
Vista l'importanza sociale ed economica delle start-up innovative, un approfondimento qualitativo relativo alla distribuzione e alla numerosità di questi operatori sul terreno nazionale diventa rilevante, specialmente in base al contributo fornito al sistema nel complesso. Ai fini dell'analisi, è stato estrapolato il dataset completo delle start-up innovative aggiornato ad aprile 2025 dall'apposita sezione speciale istituita presso il Registro delle Imprese.
Il database estratto contiene molteplici informazioni, tra cui denominazione della società, sede, natura giuridica, anno di inizio attività dell'impresa, settore economico in cui la stessa opera, classe dimensionale in termini di capitale investito, produzione e numero di addetti e, infine, il possesso di un brevetto depositato o software registrato. Esiste inoltre una variabile che indica se la start-up può essere definita innovativa in ambito energetico[54] o meno. Questo ci consente di estrapolare dall'intero database il sotto-campione di start-up innovative che operano in ambito energetico, e di poterlo analizzare separatamente mettendo in luce l'impatto e l'importanza di questa categoria rispetto all'universo nazionale delle start-up innovative.

9.1. IL TREND TEMPORALE

Secondo i dati del report Infocamere[55], al termine del 1° trimestre 2025, il numero di start-up innovative

54 Una impresa è considerata ad alto valore tecnologico in ambito energetico se sviluppa e commercializza esclusivamente prodotti o servizi innovativi ad alto valore tecnologico in ambito energetico.
55 Report con dati strutturali, Start-up innovative – 1 trimestre 2025, Cruscotti di Indicatori Statistici – Dati nazionali, 1° aprile 2025

iscritte alla sezione speciale del Registro delle Imprese[56] è pari a 12.277, in lieve aumento di 154 unità (1,27%) rispetto al trimestre precedente. Tra le circa 388.000 società di capitali presenti in Italia alla fine del primo trimestre del 2025 e ancora in stato attivo, il 3,13% è registrata come start-up innovativa alla data della rilevazione.

Se si analizza l'evoluzione temporale della diffusione di start-up, dalle circa 5.000 start-up del 2015 si è avuto un incremento del 143,4%. Del totale delle start-up innovative, a inizio 2025, quelle specializzate in attività energetiche sono 1.788, ovvero circa il 14,5% del totale (Fig. 9.1).

In termini geografici, le regioni del Nord si confermano alla testa della classifica per la nascita di start-up innovative, con oltre 6.300 unità, mente le Regioni del Sud e del Centro seguono con valori importanti ma decisamente più modesti, pari rispettivamente a 3.422 e 2.401.

Analizzando un più ampio intervallo temporale (Fig. 9.2), è possibile apprezzare negli anni precedenti un ambiente molto più dinamico rispetto all'ultimo periodo.

In particolare, nel 2016 il tasso di crescita di tutte le macroaree superava il 30%, raggiungendo addirittura il 35,6% per il Meridione. Tali numeri sono andati progressivamente a calare, anche se hanno mantenuto un certo grado di robustezza, con crescita a doppia cifra fino al 2021, salvo per il Centro nel 2019, che è stata l'unica area geografica con un tasso di crescita inferiore al 10%.

Il rallentamento si è decisamente acuito, coinvolgendo tutto il territorio nazionale, nel 2022, anno in cui il tasso di crescita ha addirittura sfiorato lo 0% e il Nord Italia, per la prima volta dal 2016, è andato in territorio negativo. Anche Centro e Sud hanno visto ridursi il proprio tasso di crescita fino a giungere ai valori decisamente negativi del 2024, prima di una piccola ma decisa ripresa che ha permesso a tutte le aree di riaffiorare intorno al 5%.

Tale perdita è da attribuire a molteplici fattori: a impattare maggiormente sono state le tensioni internazionali, che hanno causato non poche ricadute in termini economici e di instabilità nei mercati. Parallelamente, ha inciso l'andamento dell'inflazione, che ha reso le materie prime -energetiche e non- più costose, e dei tassi di interesse, che, aumentati in risposta alla variabilità dei prezzi, hanno reso il fattore capitale decisamente più oneroso; di conseguenza, l'accesso a preziosi finanziamenti è diventato faticoso per questi operatori intensamente innovativi ma anche altamente esposti al rischio di non superare i primi anni di attività.

Concentrandoci sulle start-up innovative in ambito energetico, è possibile dire che il loro andamento, nel medesimo arco temporale, è molto simile a quello generale in ambito start-up.

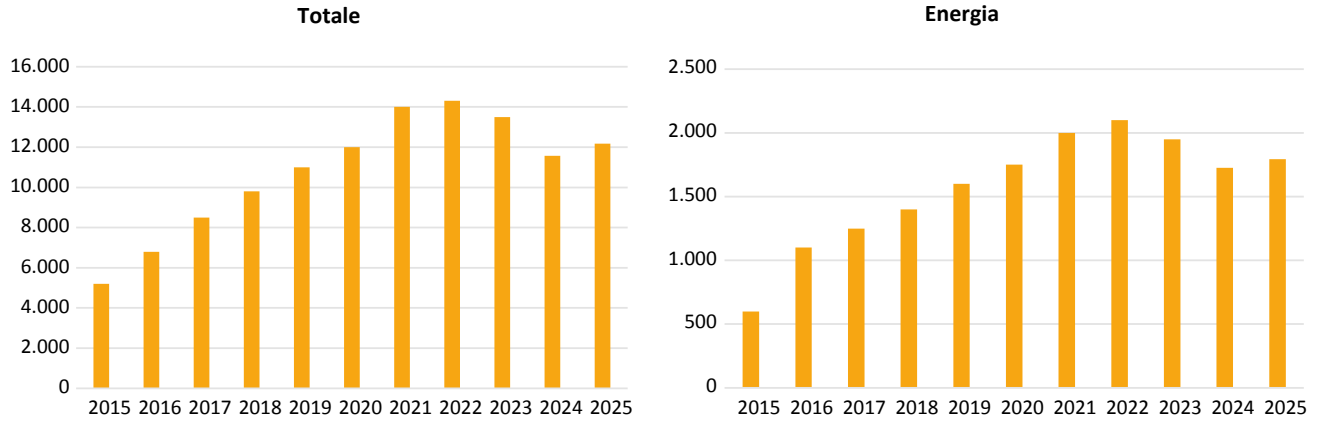
Infatti, nel 2016 vi è un tasso di crescita decisamente elevato, con le start up in ambito energia che raddoppiano i loro numeri rispetto all'anno precedente al Centro; altrettanto positivi erano i risultati del Nord e del Sud, che raggiungono quasi il medesimo risultato (rispettivamente +89% e +91%). A partire dall'anno successivo si nota tuttavia un calo drastico del tasso di crescita, con valori che stagnano nella zona del 20% fino al 2021, quando scendono ancora fino a raggiungere i livelli negativi del 2023, caratterizzati da un -0,5% per il Sud, -6% per il Nord, fino al -14% per il Centro.

Il Sud mostra quindi, nell'evoluzione storica, tassi di crescita superiori rispetto al Nord e al Centro e, viceversa, una maggiore resistenza al calo che ha invece interessato il resto delle aree. Ciò potrebbe essere spiegato dal fatto che il Meridione, grazie anche alle caratteristiche climatiche e morfologiche del territorio, è una zona particolarmente adatta all'installazione di pannelli fotovoltaici e pale eoliche, tec-

56 Ai sensi del decreto-legge 179/2012

Fig. 9.1: Evoluzione storica della nascita delle start-up

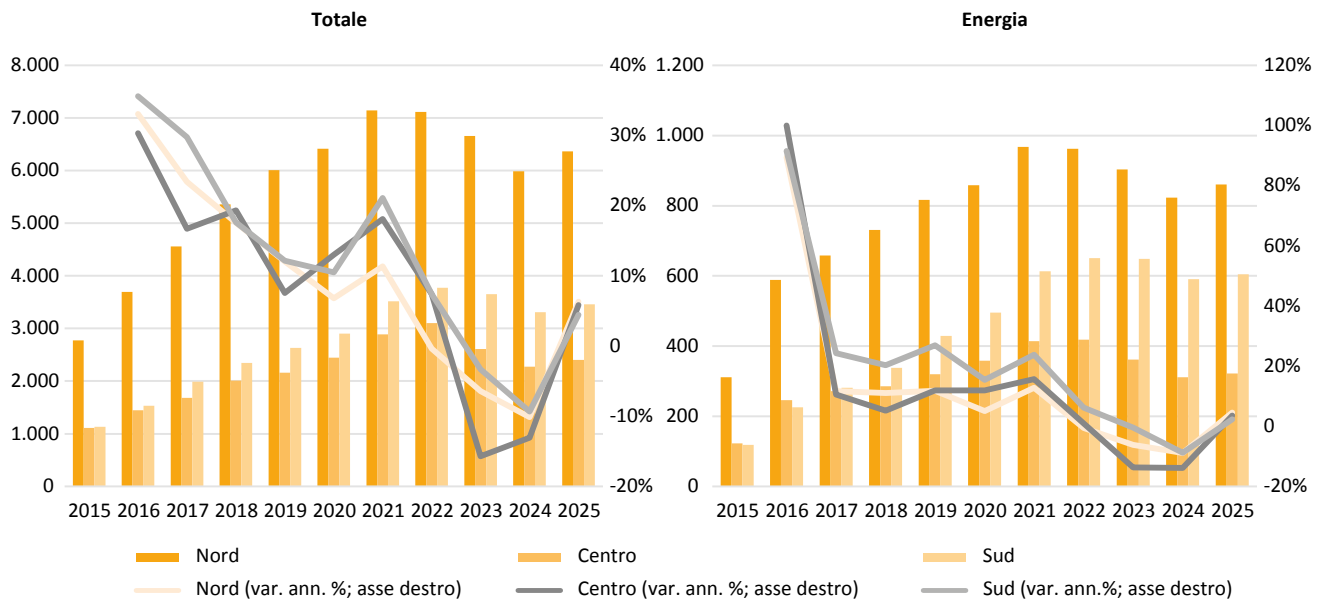
Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)



nologie cruciali per la transizione energetica, per diversificare il mix energetico del Paese, coniugando sicurezza energetica e riduzione delle emissioni dei gas climalteranti. Il fatto che il Meridione stia sperimentando tassi di crescita annuali più elevati rispetto al Settentrione e alla zona centrale enfatizza lo sforzo e il contributo delle regioni del Sud alla lotta al cambiamento climatico.

Fig. 9.2: Evoluzione storica su base geografica della nascita delle start-up

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)



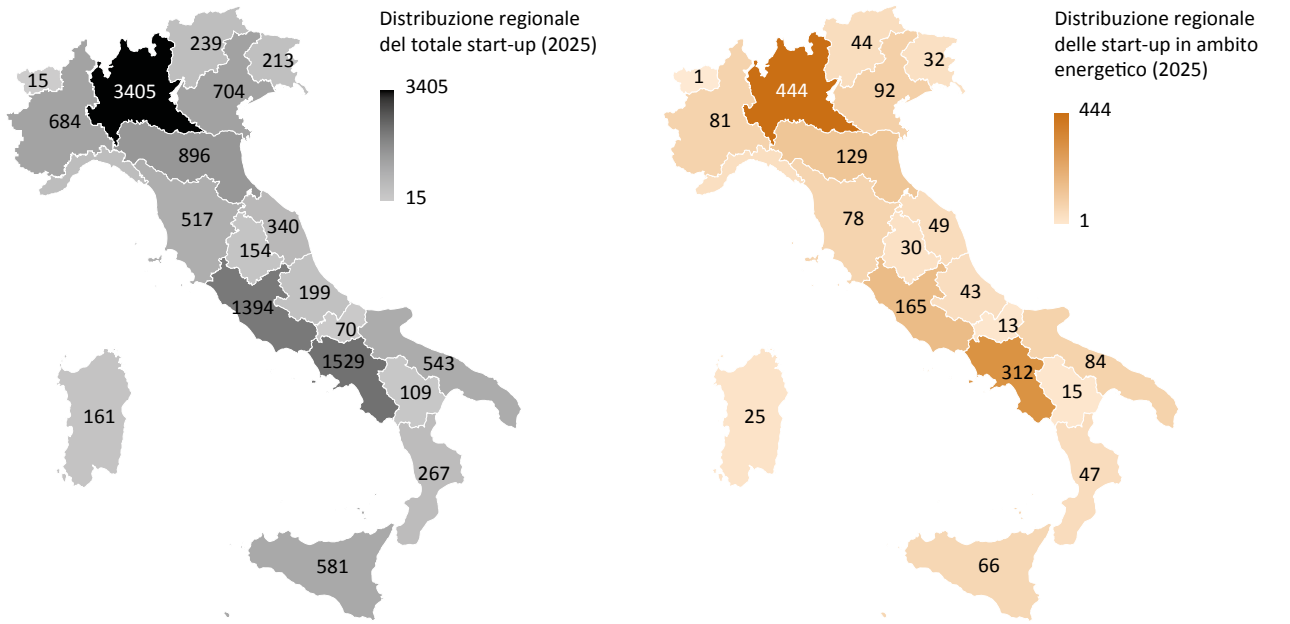
9.2. LA DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA

Se si analizza la localizzazione delle start-up su base regionale, si può notare come sia presente un'evidente disomogeneità, con una netta maggioranza di imprese nel Settentrione: spicca la Lombardia che da sola conta 3.405 start-up innovative; seguono la Campania, con 1.529 imprese, e il Lazio con 1.394 (Fig. 9.3).
In generale, il Nord Italia ospita il 52% delle start-up: la Lombardia da sola raggiunge il 27,7% del totale nazionale, mentre il resto dell'insieme – meno della metà – si distribuisce nelle due rimanenti realtà geografiche, con Centro e Sud che si spartiscono rispettivamente il 20% e il 28% del totale nazionale.
A livello regionale (Fig. 9.4), la Lombardia è seguita da Lazio e Campania, che contribuiscono in maniera sostanziale alla quota di start-up innovative nel Centro e nel Sud, comprendendo rispettivamente l'11,4% e il 12,5% del totale nazionale su base regionale.

Questi, per quanto siano oggettivamente valori importanti ed indicativi della capacità attrattiva regionale per operatori innovativi, risultano essere significativamente minori a quelli del contesto lombardo, mentre invece spiccano rispetto ai loro vicini regionali.
In generale, vale la pena sottolineare come nel contesto nazionale le prime tre regioni per presenza di start-up siano -come citato- Lombardia, Campania e Lazio, mentre le tre regioni meno performanti sono la Basilicata, il Molise e la Valle D'Aosta, rispettivamente con 109, 70 e 15 operatori in tale ambito. Tuttavia, tra le prime 10 posizioni si trovano altre 3 regioni del Nord, 2 regioni del Sud e 2 del Centro, restituendo un'immagine se non bilanciata, almeno non estremamente polarizzata.
Per quanto concerne le start-up in ambito energetico, sembra riproporsi il medesimo schema, con quasi il 50% di queste che si localizzano nel Settentrione e quasi il 25% in Lombardia, mentre la restante quota si distribuisce tra le restanti aree geografiche. Una

Fig. 9.3: Distribuzione regionale delle start-up

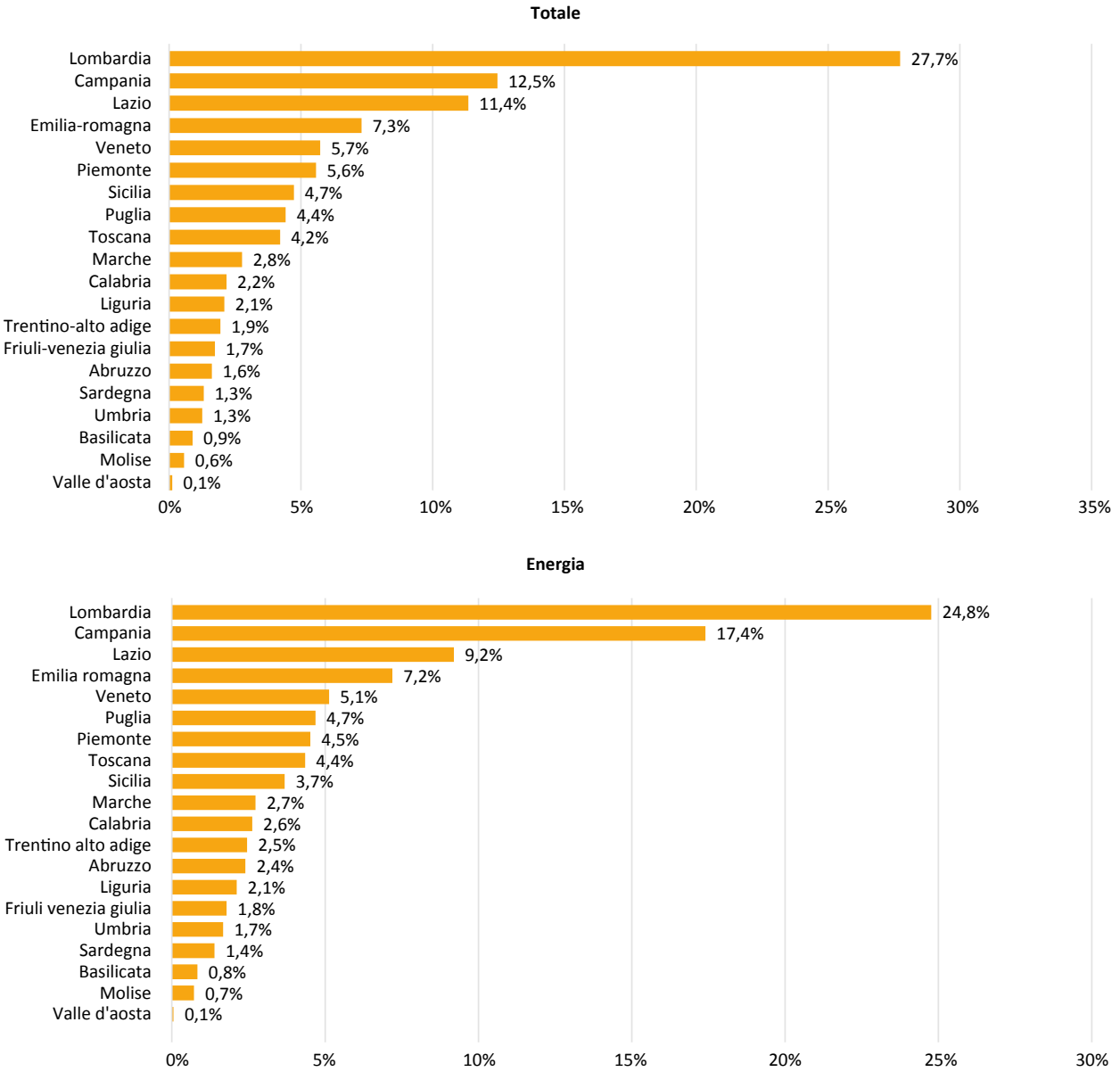
Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)



quota importante di start-up è recentemente nata in Campania, portando la percentuale regionale al 17% del totale. Subito dopo, a distanza ravvicinata tra loro, si trovano Lazio e Emilia-Romagna, rappresentando rispettivamente il 9,2% e il 7,2% del totale nazionale. Anche in questo caso, emerge un netto divario tra

Fig. 9.4: Distribuzione percentuale delle start-up per regione

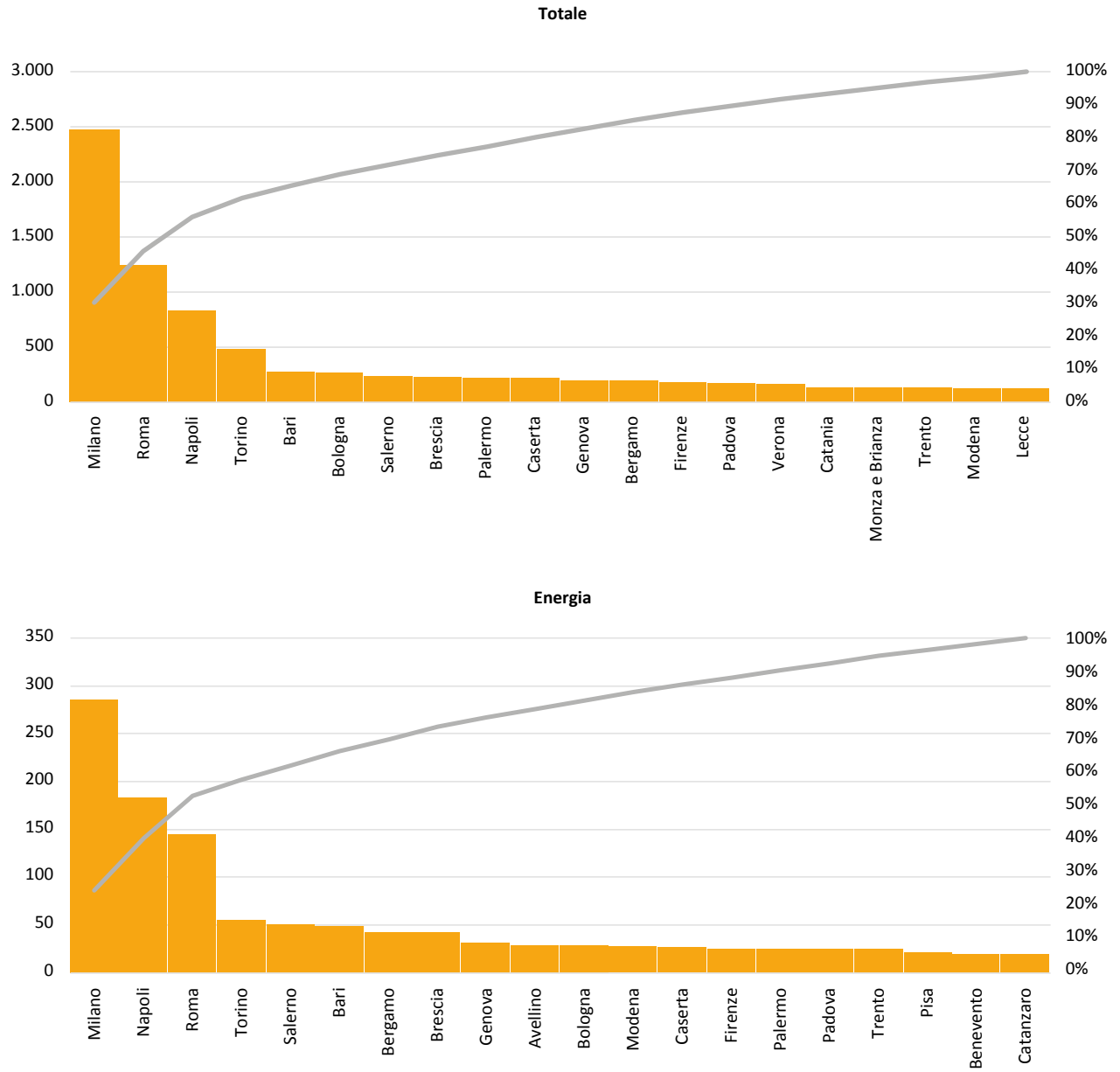
Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)



Nord e Sud, con il primo che riesce ad attrarre e/o sviluppare un tessuto innovativo e promotore dello sviluppo economico e sociale più denso rispetto alle altre realtà regionali, pur considerando i grandi centri attrattivi rappresentati da Campania, Lazio e Emilia-Romagna, che risultano essere centrali nelle loro aree

Fig. 9.5: Distribuzione provinciale delle start-up

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)



di afferenza come generatori e/o attrattori di operatori altamente innovativi. Il Sud, accogliendo il 34% del totale nazionale di start-up in ambito energetico, segna tuttavia un importante risultato positivo, staccando di molto il 18% del Centro.

In ambito energetico, le regioni più virtuose sono la Lombardia, con 444 start-up, la Campania che segue a poca distanza con 312 operatori, il Lazio con 165 e l'Emilia-Romagna con poco meno di 130, mentre quelle meno generative di innovazione risultano essere la Valle d'Aosta, con un solo operatore, e il Molise, con 13.

Passando ora alla distribuzione provinciale delle start-up innovative (Fig. 9.5), risulta evidente come queste si concentrino prevalentemente intorno agli hub regionali più importanti.

Le province nelle quali si localizzano principalmente le imprese sono quelle di Milano (2.472), Roma (1.255) e Napoli (835).

La localizzazione delle start-up del settore energetico sembra d'altronde confermare la centralità di questi tre capoluoghi di Regione, in quanto Milano accoglie 287 operatori, Napoli 184 e Roma 145. Da notare che nonostante la Provincia di Roma abbia un numero assoluto di start-up innovative più alto di quello di Napoli, in quest'ultima è maggiore l'incidenza di start-up energetiche.

I grandi centri di aggregazione, caratterizzati da diversità in termini di fattori produttivi e competenze, risultano essere un fattore di attrazione non trascurabile per le start-up, che necessitano di servizi, infrastrutture e capitale umano altamente formato, con competenze specifiche che sono più frequenti in contesti aggregati e vari come questi grandi bacini provinciali.

Al fine di avere un quadro più completo dell'analisi geografica e sociale dell'ecosistema delle start-up, risulta necessario prendere in considerazione anche la variabile della popolazione di una determinata area.

Infatti, è lecito pensare che, a parità di caratteristiche, un'area più densa, in termini di popolazione, possa correlarsi a una maggiore presenza di start-up; tuttavia, se si guarda il numero delle imprese innovative per 10.000 abitanti (Fig. 9.6), si può notare che – dopo i casi classici di Lombardia e Campania alle prime due posizioni- lo scenario cambia in modo importante.

Considerando la totalità delle imprese innovative, la Lombardia rimane l'unica regione con più di tre start-up ogni 10.000 abitanti; a seguire la Campania, con 2,7 start-up ogni 10.000 abitanti.

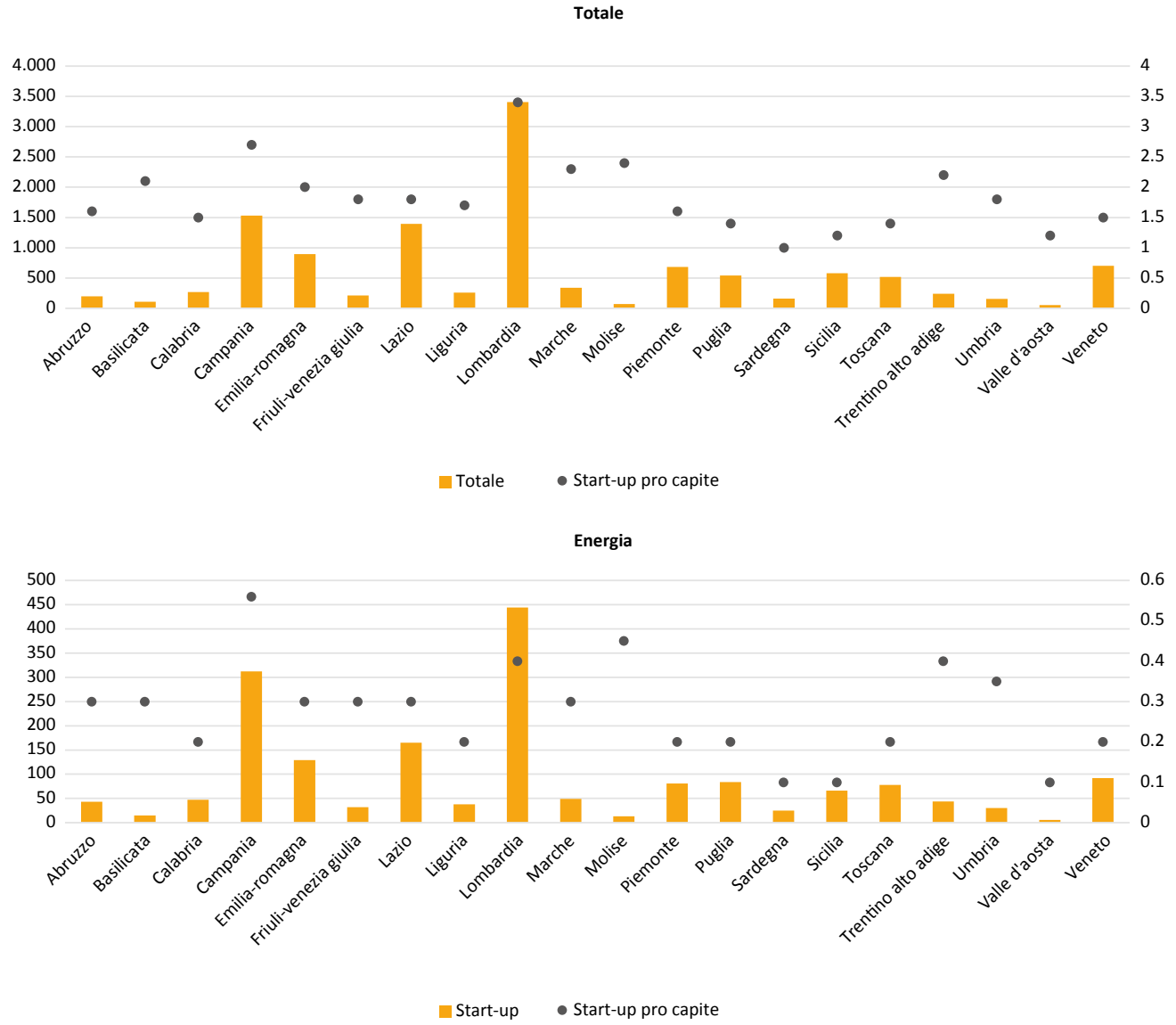
I numeri più alti sono poi conquistati da altre regioni: Lazio ed Emilia-Romagna, rispettivamente con 1,8 e 2 start-up per 10.000 abitanti, vengono superate da regioni con un numero assoluto minore di start-up, ma con una maggiore densità di start-up per popolazione, come il Molise (2,4), le Marche (2,3) e il Trentino-Alto Adige (2,2).

Un quadro ulteriormente diversificato viene offerto nel momento in cui la ponderazione per la popolazione viene effettuata anche per le start-up in ambito energetico: la Campania è la prima regione per densità di start-up energetiche per 10.000 abitanti (0,5); a seguire il Molise, la Lombardia e il Trentino-Alto Adige con 0,4. Altre regioni che altrove risultano performanti, come il Lazio e l'Emilia-Romagna, si trovano invece a metà classifica, con 0,3 start-up energetiche per 10.000 abitanti.

In generale, quello che emerge è che se si considera la densità di popolazione, le considerazioni mutano: le realtà altamente dinamiche viste e analizzate in termini assoluti perdono alcune posizioni se messe a confronto con la popolazione, mentre altre regioni, solitamente più periferiche in termini assoluti, ne guadagnano. Ovviamente, ponderare per la popolazione fornisce un quadro aggiuntivo e non sostitutivo della questione, che si mostra complessa e con ampie sfaccettature, senza poter nascondere una centralità dei grandi aggregati di capitale umano e fisico, nonché la differenza di localizzazione geografica e la forza attrattiva di determinate aree regionali.

Fig. 9.6: Regioni italiane con il maggior numero di start-up pro capite

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)



9.3. COMPOSIZIONE PER ATTIVITÀ

Dai dati è possibile affermare che i settori che risultano essere protagonisti dell'ambiente start-up sono quelli relativi all'industria e ai servizi (Fig. 9.7). Il settore che risulta essere il più prolifico per le start-up è quello dei servizi, con 10.038 imprese, ovvero l'82,5% del totale. Segue il settore industriale con 1.551 operatori (12,7%), quello del commercio con 357 operatori (2,9%). A chiudere, il settore

Fig. 9.7: Distribuzione percentuale per settore delle start-up innovative

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)

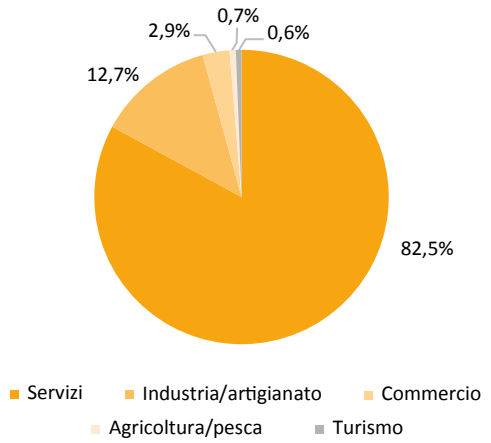
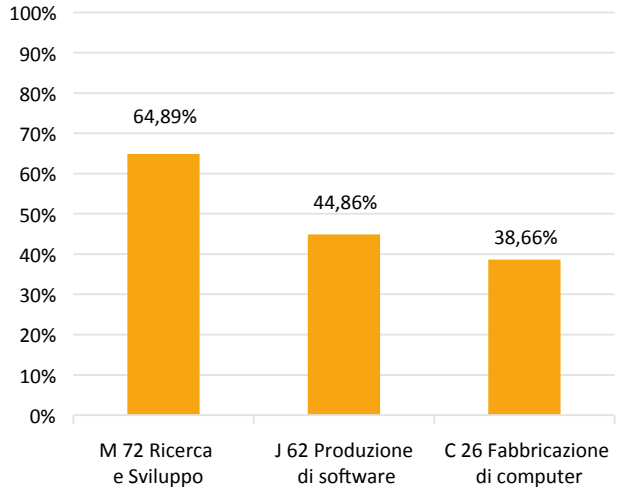


Fig. 9.8: Percentuale di start-up innovative per settore

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)



del turismo con 75 imprese e dell'agricoltura con 83 (entrambi intorno allo 0,7%).

In alcuni specifici settori, definiti dalla classificazione Ateco 2007, la presenza di imprese innovative è particolarmente elevata (Fig. 9.8): è una startup innovativa il 64,89% del totale delle nuove società di capitali nel settore con codice M 72 (ricerca e sviluppo), il 44,86% di quelle con codice J 62 (produzione di software) e il 38,66% delle nuove aziende con codice C 26 (fabbricazione di computer).

9.4. COMPOSIZIONE PER DIMENSIONE

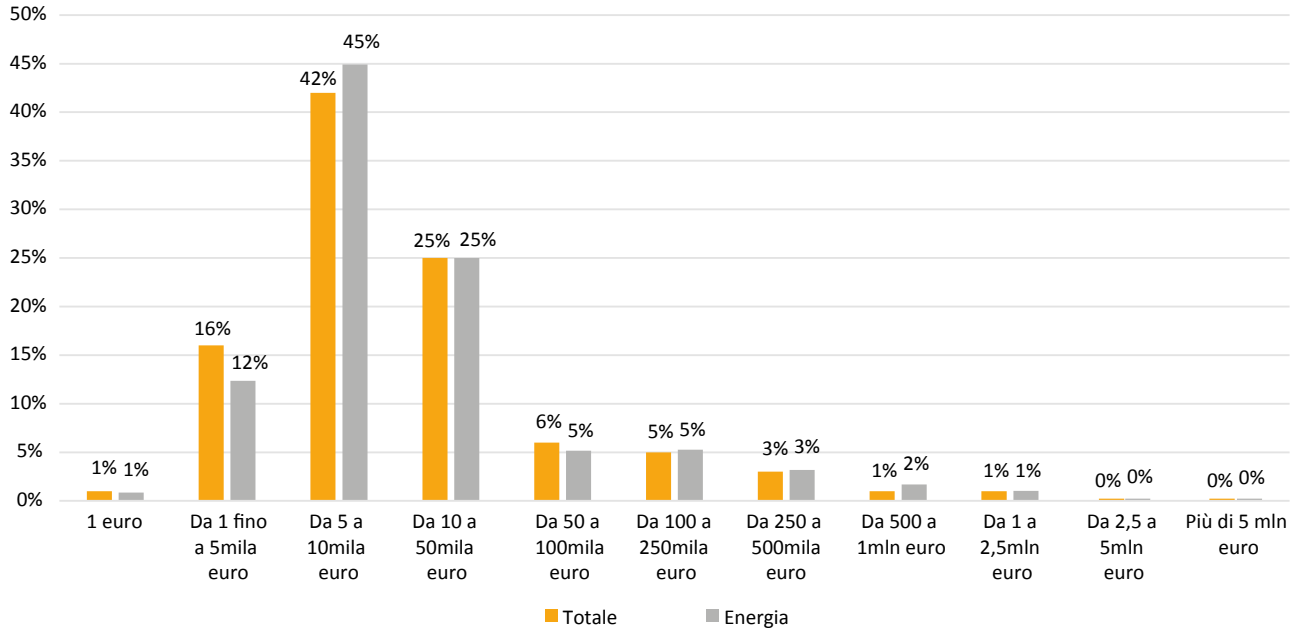
Per definizione, le start-up sono imprese che si trovano in una fase iniziale di sviluppo con l'obiettivo di divenire un'azienda solida in grado di produrre utili. Ciononostante, poiché almeno all'inizio è intrinsecamente presente un elevato livello di rischio, le start-up hanno un minore accesso al credito e quindi possono contare su un livello iniziale di capitale abbastanza limitato.

La difficoltà nel procurarsi dei finanziamenti iniziali fa sì che quasi metà delle start-up innovative (42%) si caratterizzi per avere un capitale inferiore ai 10.000 euro (Fig. 9.9). Da questa soglia in poi la quota di imprese con un capitale maggiore diminuisce in maniera esponenziale; infatti, il 25% detiene un capitale tra i 10.000 e i 50.000 euro, mentre circa il 6% ne detiene tra i 50.000 e i 100.000 euro, fino al 3% che caratterizza dotazioni di capitali maggiori di 250.000 euro. Infine, le imprese innovative che si caratterizzano per una dotazione di capitale maggiore di 1 milione di euro superano di poco l'1%. Per le start-up in ambito energetico, la maggior parte (45%) si colloca nella classe di capitale dai 5 fino ai 10 mila euro; il 25% nella fascia successiva (dai 10 ai 50 mila euro), seguendo per il resto delle classi la stessa tendenza dell'universo generale delle start-up.

L'evidente asimmetria deriva, come accennato, dalla difficoltà strutturale riscontrata da questi operatori nel raccogliere fattore capitale sui mercati: sebbene utili allo sviluppo, in quanto portatori di innovazione e dinamicità, sono caratterizzati intrinsecamente da

Fig. 9.9: Distribuzione percentuale delle start-up innovative per classe di capitale

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)



un elevato rischio di insuccesso e fallimento, per cui l'eventuale prestatore richiede un premio elevato. Per tale categoria di imprese, il fattore capitale risulta costoso e difficilmente accessibile, e di conseguenza la maggior parte di queste inizia la propria attività con un capitale modesto.

In termini di valore della produzione (Fig. 9.10), la gran parte delle start-up esistenti presenta valori molto contenuti: nello specifico, circa il 40% di queste (4.838 per la totalità delle imprese innovative, 764 per il comparto energia) generano un valore non superiore ai 100.000 euro, mentre meno del 20% per entrambi gli insiemi generano un valore tra i 100.000 e i 500.000 euro (2.303 per la totalità delle imprese innovative, 332 per il comparto energia).

Per quanto concerne valori di produzione superiori a 500.000 euro, a stento si arriva al 4% delle imprese. Tali considerazioni valgono sia per l'universo delle start-up italiane che per il campione relativo a quelle che hanno come focus il campo energetico, che anzi non superano il 3%.

Bisogna tuttavia considerare che la lettura dei dati relativi alla produzione debba prendere in acconto il fatto che più del 30% delle imprese analizzate (4.257 per la totalità delle imprese innovative, 598 per il comparto energia) non ha reso disponibile i dati relativa alla propria produzione, rendendo il condizionale d'obbligo.

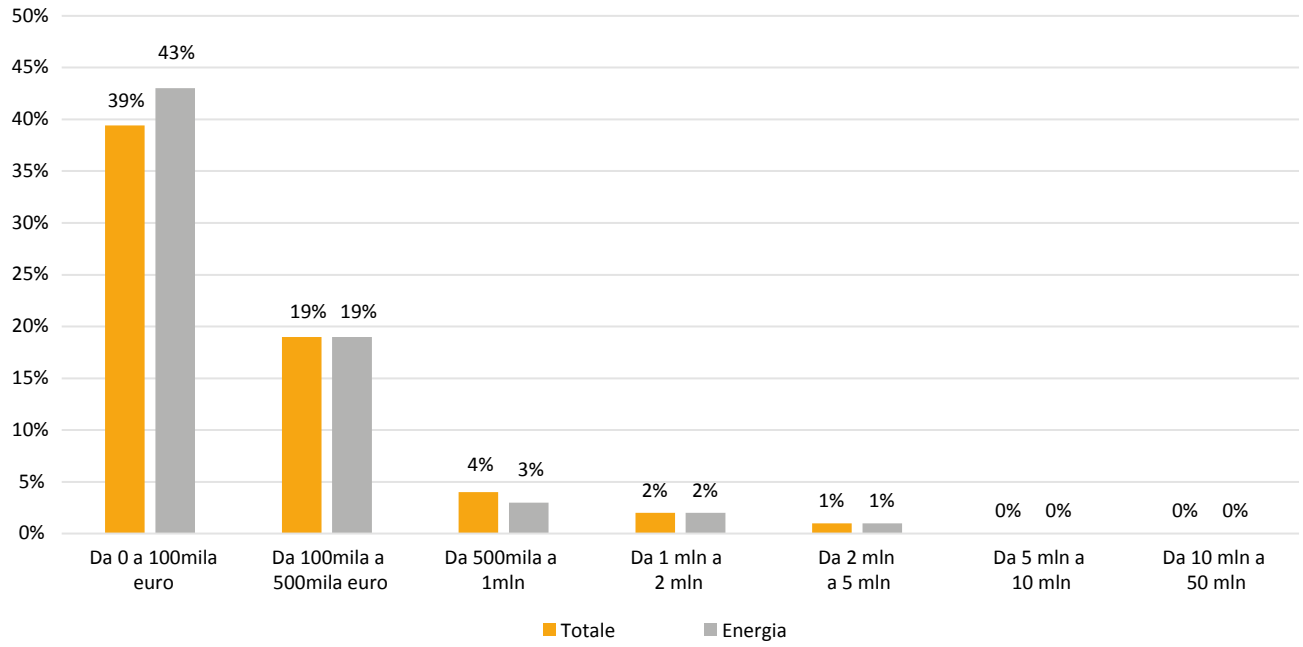
Per quanto i dati consentano di tracciare una linea guida relativa all'asimmetria della produzione verso importi contenuti, un'omissione così rilevante -pari al 34%- deve necessariamente essere considerata ai fini di una trattazione completa.

Risulta particolarmente interessante stimare l'impatto e il relativo contributo economico che le start-up innovative hanno avuto nel sistema economico (Tab 9.1).

In assenza di dati puntuali per singola impresa, si è provveduto ad effettuare questa stima utilizzando il

Fig. 9.10: Distribuzione percentuale per delle start-up per classe di produzione

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)



valore di produzione associabile alle start-up grazie alla classificazione per classe di produzione[57]. L'impatto economico complessivo dell'ecosistema start-up spazia da un minimo che ammonta a poco più di 1 miliardo di euro fino a raggiungere i 3,6 miliardi di euro a livello nazionale, anche se a livello macrore-

57 Dal punto di vista metodologico, per ottenere una stima dell'impatto economico delle start-up si è proceduto in questo modo: per ciascun range di valore di produzione si ottiene un valore di produzione minimo e massimo moltiplicando il numero di imprese presenti in quel range per il valore minimo e quello massimo del range osservato. Sommando i valori così ottenuti per ciascuna classe, si ottengono un valore totale minimo ed un valore totale massimo. In formula:

$$\sum_{i=1}^{7} \min_i * f_i = MIN_{ass.}$$

$$\sum_{i=1}^{7} \max_i * f_i = MAX_{ass.}$$

- Dove f_i indica la frequenza assoluta di start-up innovative nella classe di produzione , che sono sette in totale: 0-100.000 euro, 100.001 – 500.000 euro, 500.001 – 1.000.000, 1.000.001 -2.000.000 euro, 2.000.001-5.000.000 euro, 5.000.001 –10.000.000 euro, 10.000.001-.
- min_i è il minimo assoluto della classe di produzione , è il corrispondente massimo della medesima classe di produzione.

Si considerano soltanto le imprese innovative di cui si ha l'informazione sulle classi di produzione di appartenenza (8.020 unità, il 65% del campione), che rende la stima chiaramente sottostimata ma più attendibile per l'insieme di imprese di cui si ha informazione. Quindi si ottiene una stima del range (minimo assoluto e massimo assoluto) all'interno del quale si troverà il reale valore complessivamente prodotto da quelle start-up esistenti a fine aprile 2025. Si è proceduto con la medesima metodologia per stimare le imprese in campo energetico (1.190 unità, il 66% dell'insieme).

Tab. 9.1: Stima dell'impatto economico

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)

		Valore di produzione stimato	
		Min ass.	**Max ass.**
Campione complessivo	Nord	588.201.715	1.912.400.000
	Centro	156.900.535	549.600.000
	Sud	353.200.932	1.172.300.000
	Italia	**1.098.303.182**	**3.634.300.000**
Start-up energetiche	Nord	63.900.214	225.000.000
	Centro	16.200.064	65.000.000
	Sud	47.100.148	156.400.000
	Italia	**127.200.426**	**446.000.000**

gionale il fenomeno si mostra decisamente variegato. Il Nord Italia si mostra il maggior produttore di valore, spaziando dai 588 milioni ai quasi 2 miliardi di euro; segue il Sud Italia, che varia tra i 353 milioni (valore minimo in aumento rispetto allo scorso anno) all'oltre 1 miliardo di euro. Infine, il Centro Italia, che si posiziona in una forchetta dai 156 milioni ai quasi 550 milioni di euro.

Per quanto concerne le start-up energetiche, è possibile notare che il valore totale della produzione oscilla tra i 127 milioni e i 446 milioni di euro, con il medesimo schema che si ripropone sulle aree geografiche. Il Nord genere una produzione che oscilla tra i quasi 64 milioni e i 225 milioni di euro, il Sud tra i 47 milioni e i 156 milioni di euro, in netta crescita rispetto allo scorso anno, e infine il Centro tra i 16 milioni e i 65 milioni di euro.

In generale, quello che sembra proporsi è in linea con le tendenze geografiche illustrate finora: un Nord Italia più dinamico del resto della penisola, con capacità produttive del settore energetico che contribuiscono per più del 50% in termini di valore della produzione, mentre Sud e Centro, per quanto forniscano un contributo significativo, mostrano valori che si aggirano intorno al 35% e 15% rispettivamente. Da notare, tuttavia, è l'incremento positivo nel valore della produ zione delle start-up del Sud, sia in valore assoluto che percentuale, rispetto allo scorso anno.

In termini assoluti il valore della produzione stimato per le start-up presenti al Nord è superiore a quello prodotto nelle altre aree d'Italia; se si guarda al dato medio pro-capite (per start-up), però, i dati restituiscono una realtà diversa. Se si considera, infatti, la popolazione totale delle start-up innovative, le start-up meridionali mostrano un valore di produzione medio di 220 mila euro, seguite dalle imprese del Nord, che i attestano a un valore pro capite generale di quasi 195 mila euro. Più distaccato è il Centro con quasi 147 mila euro per impresa innovativa delle regioni centrali. Per quanto riguarda le imprese energetiche, Sud e Nord sono praticamente testa a testa: l'area meridionale primeggia con 168 mila euro di dato medio, seguono il Nord (166 mila euro) e il Centro, più distaccato (126 mila euro), che ancora una volta si trova in fondo alla classifica.

Risulta inoltre utile e rilevante differenziare le imprese innovative in base alla loro classe dimensionale (Fig. 9.11). Tale argomento sarà utile al fine di introdurre il tema dell'impatto occupazione nel prossimo paragrafo, così da approfondire anche questo aspetto relativo agli operatori in questione.

4.307 start-up, ovvero il 32,9% del totale, sono composte al massimo da quattro lavoratori, mentre quelle di dimensione superiore non arrivano complessivamente all'8%, di cui il 5,3% contano tra i 5 e i 9 dipendenti.

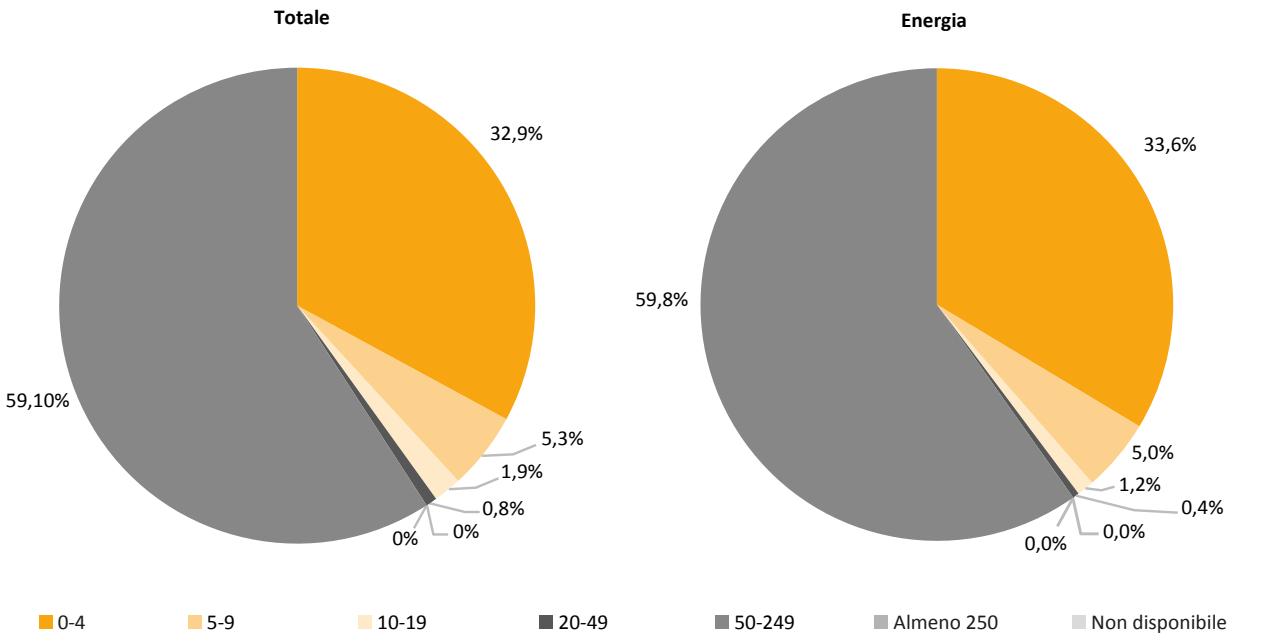
È da notare che più di un'impresa su due, precisamente il 59% del totale, non ha reso disponibile tale dato, anche se i parametri forniscono una traccia molto importante sulla dimensione delle imprese innovative. In particolare, l'ordine di grandezza preponderante delle start-up risulta essere molto piccolo, con una quota via via decrescente di start-up che contano più dipendenti.

Ciò sembra riconfermarsi per quanto riguarda le imprese relative all'energia che si caratterizzano per una quota di dati non disponibili sempre maggioritaria rispetto al totale (quasi 60%), mentre la quota di start-up energetiche con un massimo di 4 dipendenti rispecchia quasi esattamente la situazione dell'intero universo start-up (33,6%), con una quota minore di imprese sopra i 5 dipendenti (5%).

Analogamente a quanto è stato fatto per conoscere l'impatto economico delle start-up innovative sull'economia italiana, si è ritenuto opportuno valutare anche l'impatto in termini occupazionali sul mercato del lavoro italiano (Tab 9.2). Si è proceduto con la stessa metodologia sopra descritta, così da ottenere un valore minimo e massimo assoluto, con i quali si ottiene l'intervallo entro il quale ricade l'impatto occupazionale dell'ecosistema delle start-up innovative. Inoltre, vale la pena notare che si considerano soltanto le imprese innovative di cui si conosce la classe dimensionale (5.016 imprese, il 41% del campione), omettendo quelle che non presentano il dato. Questo significa che il dato è chiaramente sottostimato, ma attendibile per quella concentrazione di imprese di cui si conosce la categoria dimensionale. In questa configurazione il Nord si

Fig. 9.11: Distribuzione percentuale per classe di addetti

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)



Tab. 9.2: Stima dell'impatto occupazionale

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)

		Occupazione stimata	
		Min ass.	**Max ass.**
Campione complessivo	Nord	4.185	17.285
	Centro	1.285	5.456
	Sud	2.275	9.758
	Italia	**7.745**	**32.499**
Start-up energetiche	Nord	470	2.029
	Centro	150	692
	Sud	195	1.275
	Italia	**815**	**3.396**

conferma come maggiore beneficiario in termini occupazionali, con un 50% del totale dell'occupazione stimolata, mentre seguono Sud e Centro, con valori che si aggirano rispettivamente tra il 30% e il 20%.

Dalle stime eseguite è possibile notare come il Nord si confermi la macroarea con il maggior impatto in termini occupazionali, spaziando da 4.185 a 17.285 unità; segue il Sud con valori tra i 2.275 e i 9.758 ed infine il Centro, tra i 1.285 e i 5.456. Tutte e tre le macroaree evidenziano una lieve variazione negativa rispetto ai valori dell'anno precedente.

Lo schema generale si ripete anche per le imprese energetiche, con il Nord che si attesta su valori occupazionali che oscillano tra le 470 e le 2.029 unità, il Sud tra i 195 e i 1.275 ed infine il Centro tra i 150 e i 692. Anche per questa sottocategoria di start-up il Settentrione sembra performare in maniera migliore rispetto alle altre macroaree, ed è l'unica in controtendenza positiva rispetto al calo generalizzato dei valori rispetto all'anno scorso.

Una tematica interessante da approfondire è se l'ecosistema delle start-up innovative abbia un effetto sulle categorie di persone considerate maggiormente vulnerabili nel mercato del lavoro, e in generale, nel contesto sociale contemporaneo. Appare così degno di approfondimento valutare quanto queste realtà siano in grado di stimolare l'imprenditoria femminile da un lato e di attrare i giovani dall'altro.

Analizzando l'impatto delle startup innovative in termini di occupazione e imprenditoria femminile (Fig. 9.12), il quadro si presenta abbastanza critico: dai dati risulta che solo il 16,9% (2.052 unità) del totale delle start-up innovative è complessivamente a maggioranza femminile (ossia vengono contate le imprese la cui quota di donne tra soci e amministratori è almeno del 50%). Tale dato mostra una certa criticità, ovvero che le donne sono poco incluse nel processo di innovazione tipico dell'ambiente delle start-up, propendendo per una composizione degli addetti di questo campo più sbilanciata verso il genere maschile. Scendendo nel dettaglio, ad avere una incidenza del numero di dipendenti di sesso femminile tra il 50% e maggiore del 66% è il 6,8% (832 unità) dell'intero universo start-up, mentre ad essere a conduzione e gestione "esclusiva" delle lavoratrici è invece circa il 4,1% del totale delle imprese innovative (505 unità).

Per quanto concerne le start-up innovative in ambito energetico, le percentuali di composizione risultano essere molto simili a quelle viste per l'universo delle start-up. Ad esempio, solo il 19% (341 unità) tra le start-up innovative in ambito energetico è comples-

sivamente a maggioranza femminile, ossia la quota di donne tra soci e amministratori è almeno del 50%. In generale, quindi, dai dati emerge un'inclusione del genere femminile molto povera nell'ecosistema delle start-up, che non riesce nemmeno a raggiungere la quota simbolica del 20%.

Guardando la distribuzione regionale del rapporto tra start-up innovative con prevalenza femminile sul totale delle start-up presenti in una regione, i dati restituiscono un quadro differente rispetto alle tendenze espresse precedentemente (Fig. 9.13): la regione con la maggiore incidenza di start-up femminili sul totale è il Molise, in cui il 30% delle start-up è a maggioranza femminile. Le regioni del Mezzogiorno sembrano fornire un terreno fertile per l'imprenditoria femminile, perché al secondo posto c'è la Basilicata (20%), seguita dalla Calabria (18%). Viceversa, i dati peggiori si rilevano in Friuli-Venezia Giulia (9%), Piemonte e Trentino-Alto Adige (con dati intorno al 10%).

Anche considerando il campione ristretto delle start-up energetiche, a prevalere sono le regioni del Centro e del Sud. In particolare, le percentuali di composizioni più elevate sono ravvisabili in Abruzzo (28%), seguito dalla Basilicata (20%) e Sardegna (20%). La regione con i risultati peggiori, invece, risulta la Valle d'Aosta, che si caratterizza per non avere nessuna start-up in ambito energetico con almeno una quota del 50% di donne tra soci e amministratori.

Riguardo la presenza giovanile (Fig. 9.14), sul totale delle start-up innovative, solo il 15,4% presenta una quota -tra soci e amministratori- a maggioranza under 35, una percentuale che decresce ulteriormente per quel che riguarda il campione ristretto alle imprese attive nell'ambito energetico, dove solo il 14,5% delle unità di start-up è a prevalenza giovanile. Le percentuali tra il totale delle start-up e quelle con focus energetico risultano abbastanza in linea e simili tra di loro.

Fig. 9.12: Distribuzione percentuale della presenza femminile nell'universo start-up

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)

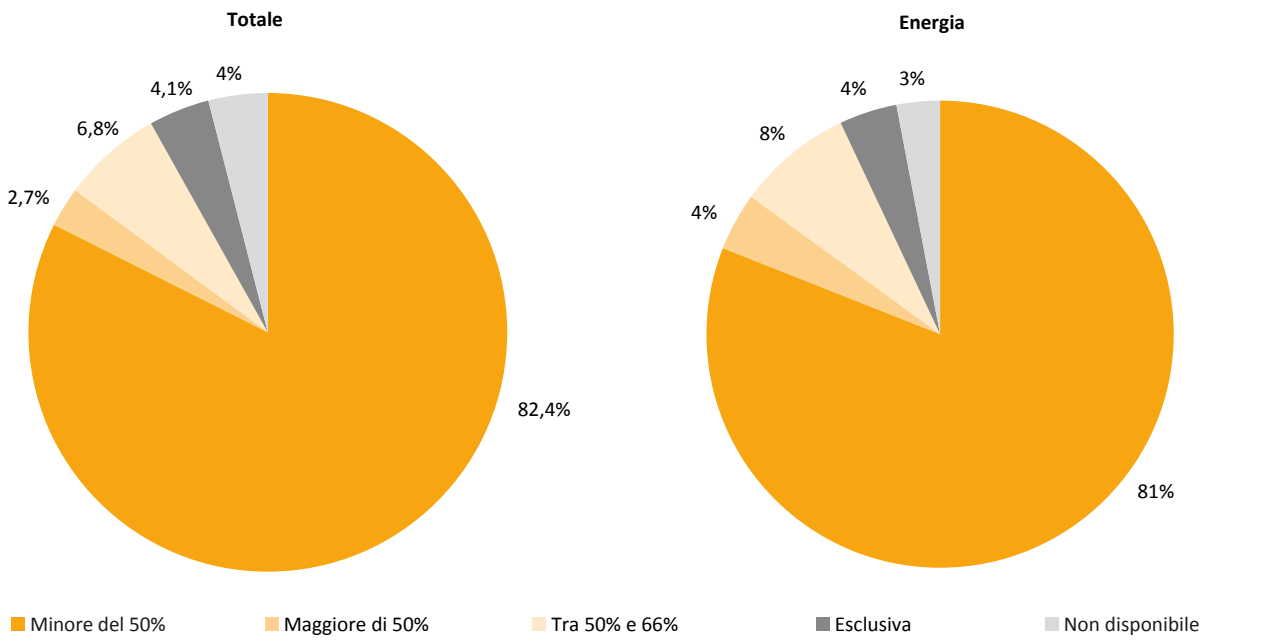


Fig. 9.13: Distribuzione su base regionale della presenza femminile nell'universo start-up

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)

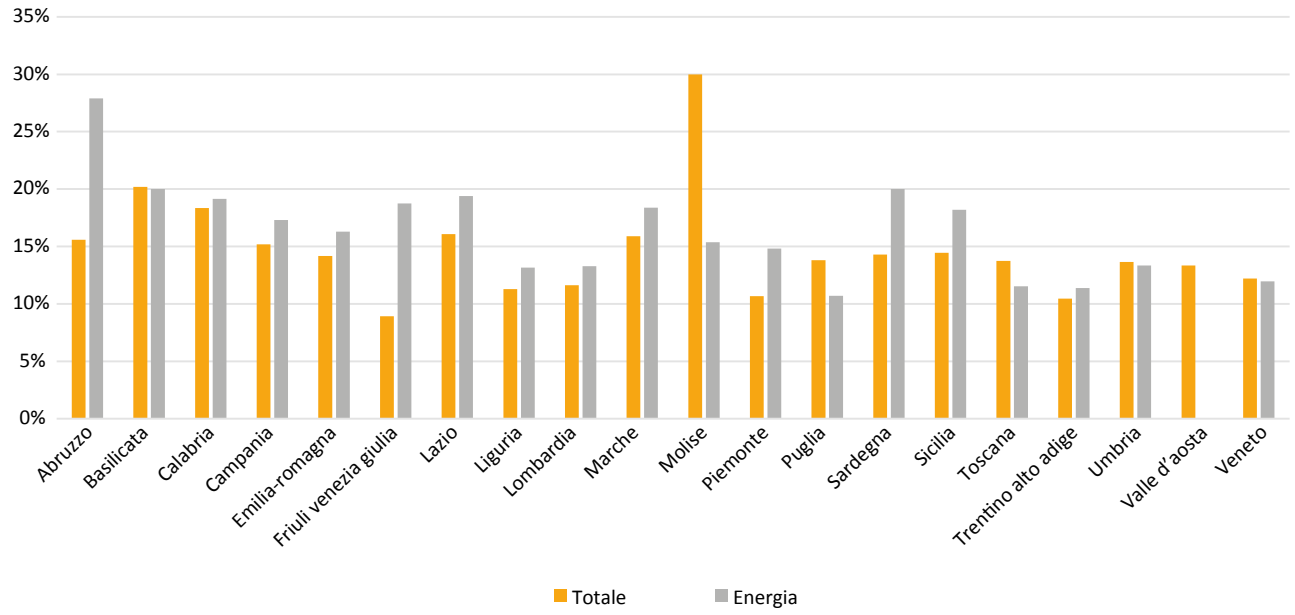
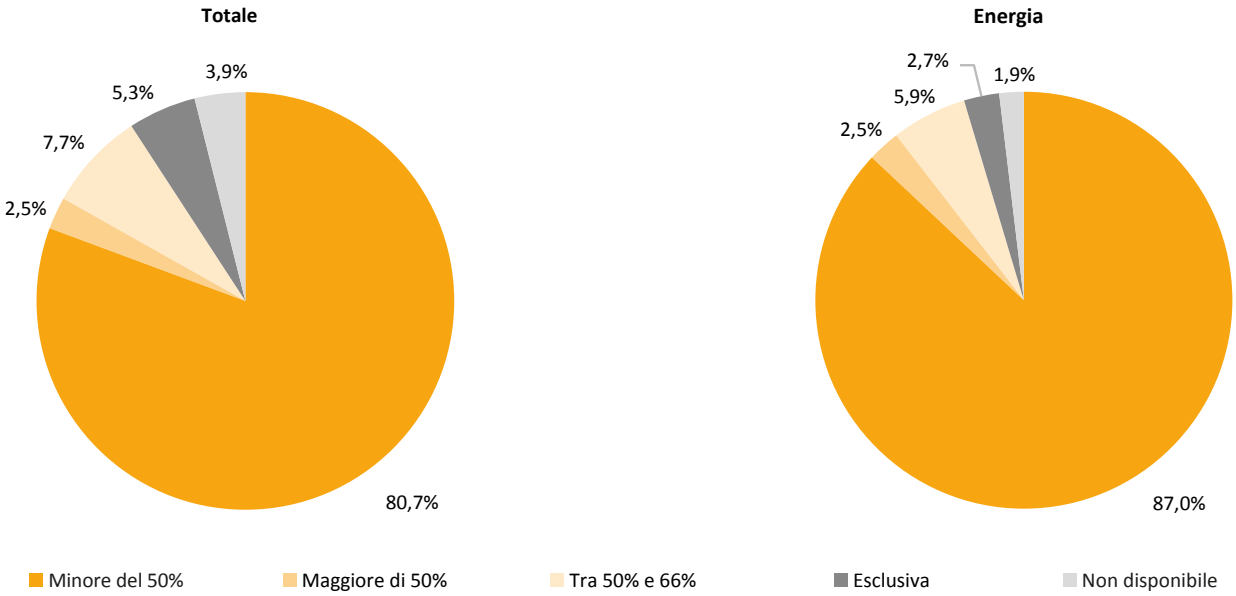


Fig. 9.14: Distribuzione percentuale della presenza giovanile nell'universo start-up

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)



Dal punto di vista regionale (Fig. 9.15), considerando la quota di start-up a prevalenza giovanile sul totale, i valori più elevati sono registrati soprattutto nel Centro-Nord: primeggiano il Piemonte (20%), le Marche (19%), la Toscana e il Trentino-Alto Adige (entrambe con 18%). Unica presenza del Sud in questa classifica è la Puglia, anch'essa con una quota del 18% di start-up giovanili sul totale nazionale. Si piazzano in fondo alla classifica la Calabria (11%), l'Abruzzo (10%) e il Friuli-Venezia Giulia (8%). Per quanto riguarda le start-up innovative in ambito energetico, in prima posizione si colloca il Trentino-Alto Adige (32%), ma gli altri primi posti della classifica sono occupati da regioni del Sud: immediatamente dopo si trovano Sardegna (24%), Molise (23%), Basilicata (20) e Calabria (19%). Nelle ultime posizioni troviamo invece le Marche (8%) e la Liguria (5%), mentre la Valle d'Aosta si posiziona ancora una volta ultima in classifica, con nessuna startup in ambito energetico a maggioranza giovanile (0%).

9.5. L'ATTIVITÀ BREVETTUALE

Un requisito soggettivo che una start-up può soddisfare per essere definita come innovativa è il fatto che risulti essere titolare, depositaria o licenziataria di almeno un brevetto o titolare di un software registrato.

Rispetto all'attività innovativa delle start-up, dall'analisi dei dati a disposizione (Fig. 9.16), risulta che il 18,6% delle start-up innovative nel complesso (2.278 unità) sia in possesso di almeno un brevetto depositato e/o un software registrato. Una maggiore propensione all'attività brevettuale è rilevata dalle start-up innovative in ambito energetico, che appaiono più innovative rispetto al totale: risulta, infatti, che il 23,7% (423 aziende) abbia svolto una intensa attività innovativa tradottasi nel deposito di un brevetto o nella registrazione di un software.

Per quanto riguarda le attività (Fig. 9.17), sul totale delle start-up depositarie, il 70% (1.597 unità) ope-

Fig. 9.15: Distribuzione su base regionale della presenza giovanile nell'universo start-up

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)

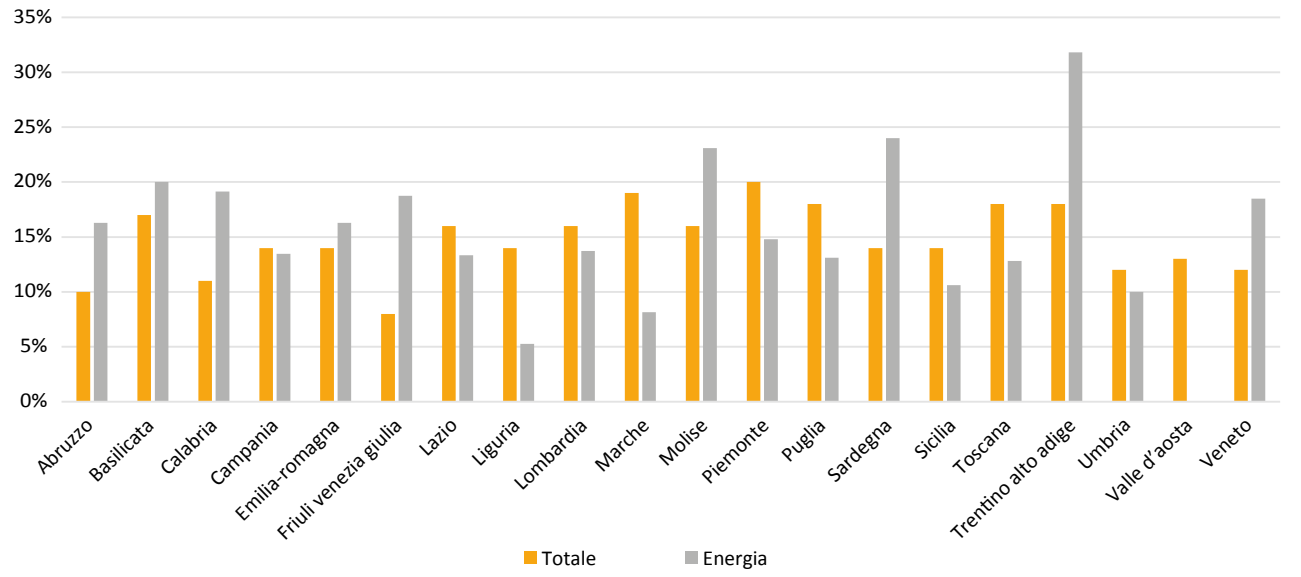


Fig. 9.16: Attività brevettuale del totale delle start-up e di quelle in ambito energetico

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)

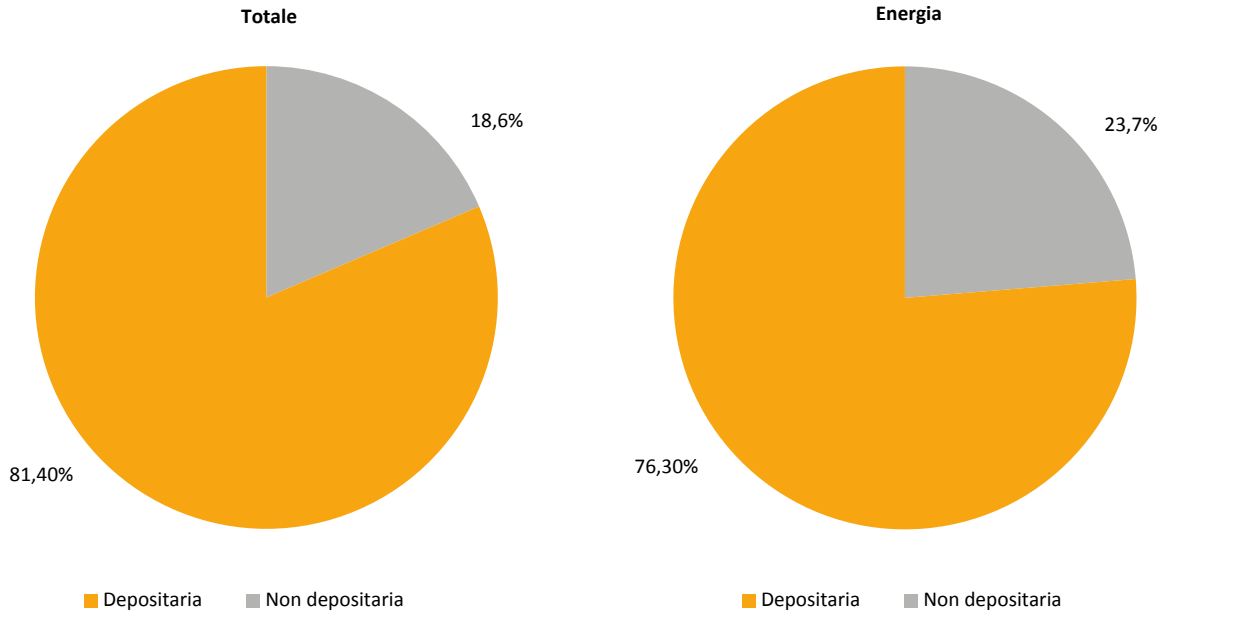


Fig. 9.17: Attività brevettuale per settore

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)

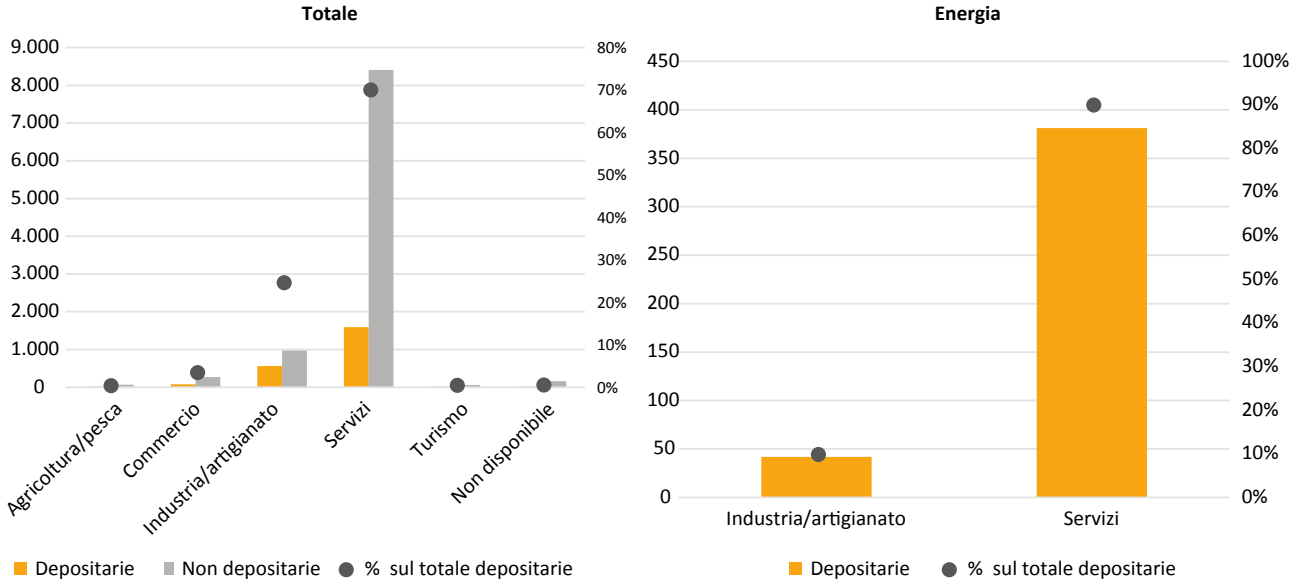
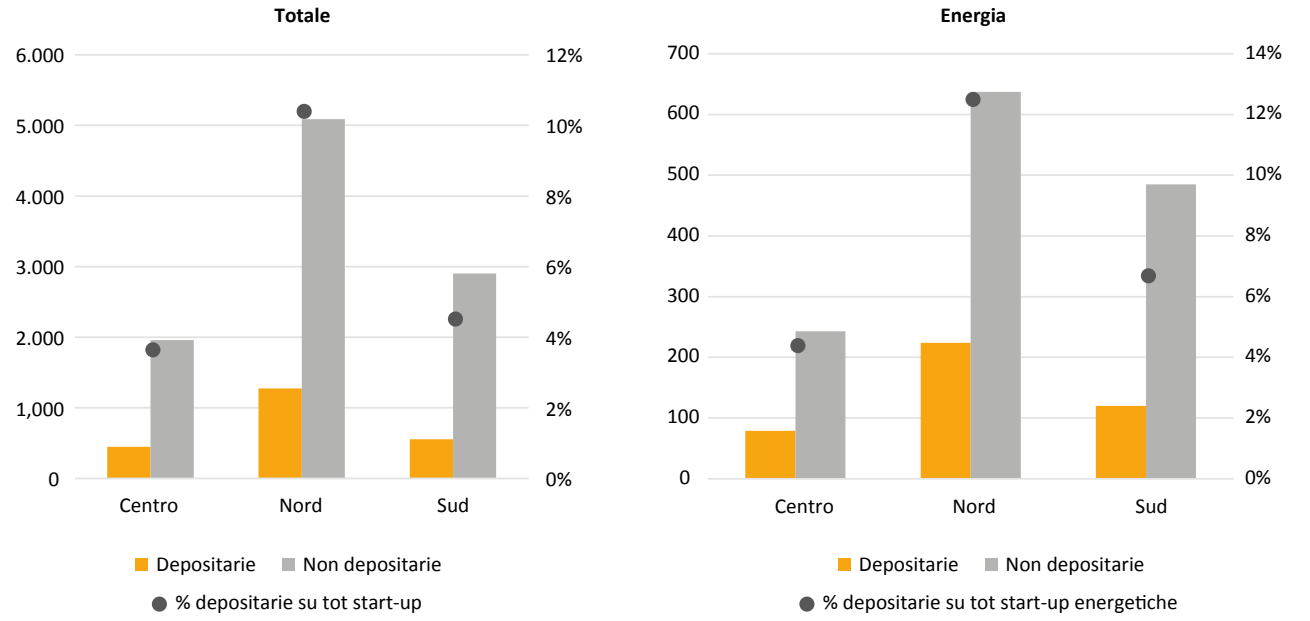


Fig. 9.18: Attività brevettuale per area geografica, totale start-up e start-up in ambito energetico

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)



ra nel settore dei servizi; seguono poi il settore industriale con il 24,7% (563 unità), e il settore del commercio con il 3,5% (80 unità). Prevalgono anche in questo caso le start-up nel settore dei servizi che, rispetto al totale delle start-up innovative in ambito energetico, il 90% (381 unità) possiede un brevetto o un software. Le restanti 42 start-up innovative nel settore industriale che innovano tramite attività brevettuale rappresentano il 10% dell'intero campione ristretto alle start-up energetiche con brevetti.

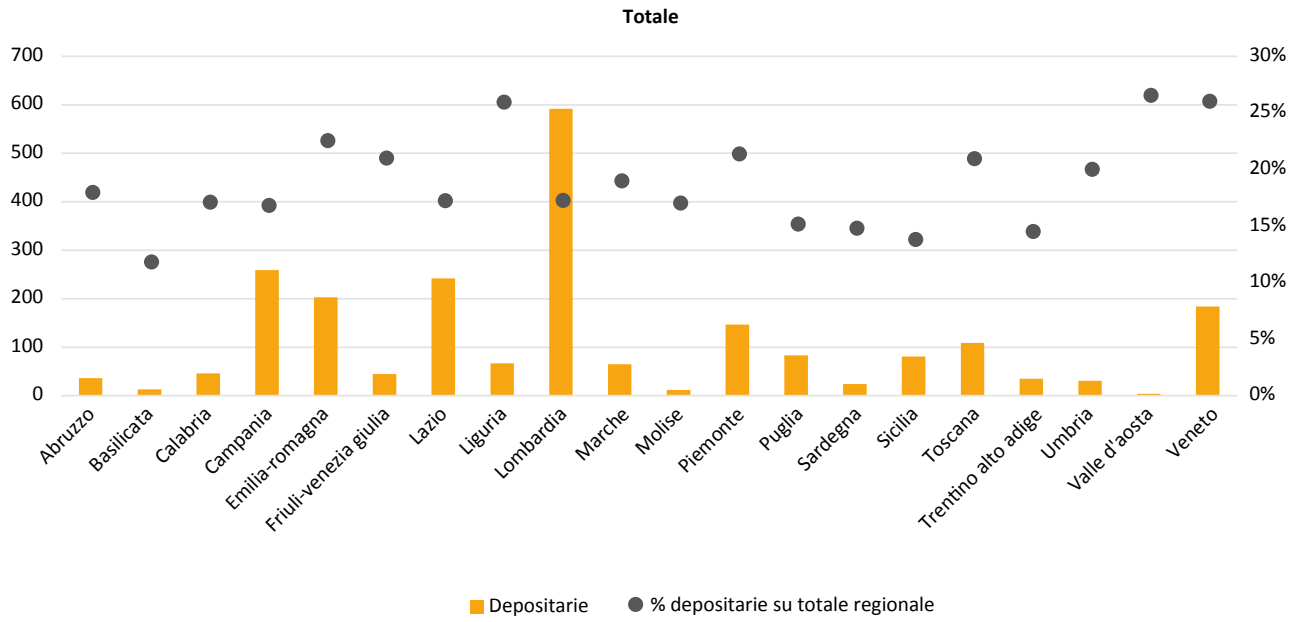
Analizzando la propensione alla brevettazione in termini di collocazione geografica (Fig. 9.18), sia considerando la totalità delle imprese innovative che il sotto-campione relativo alle start-up innovative in ambito energetico, domina il Nord. Infatti, se consideriamo il campione totale, il Settentrione ha il dato assoluto maggiore con 1.277 imprese innovative che hanno depositato,

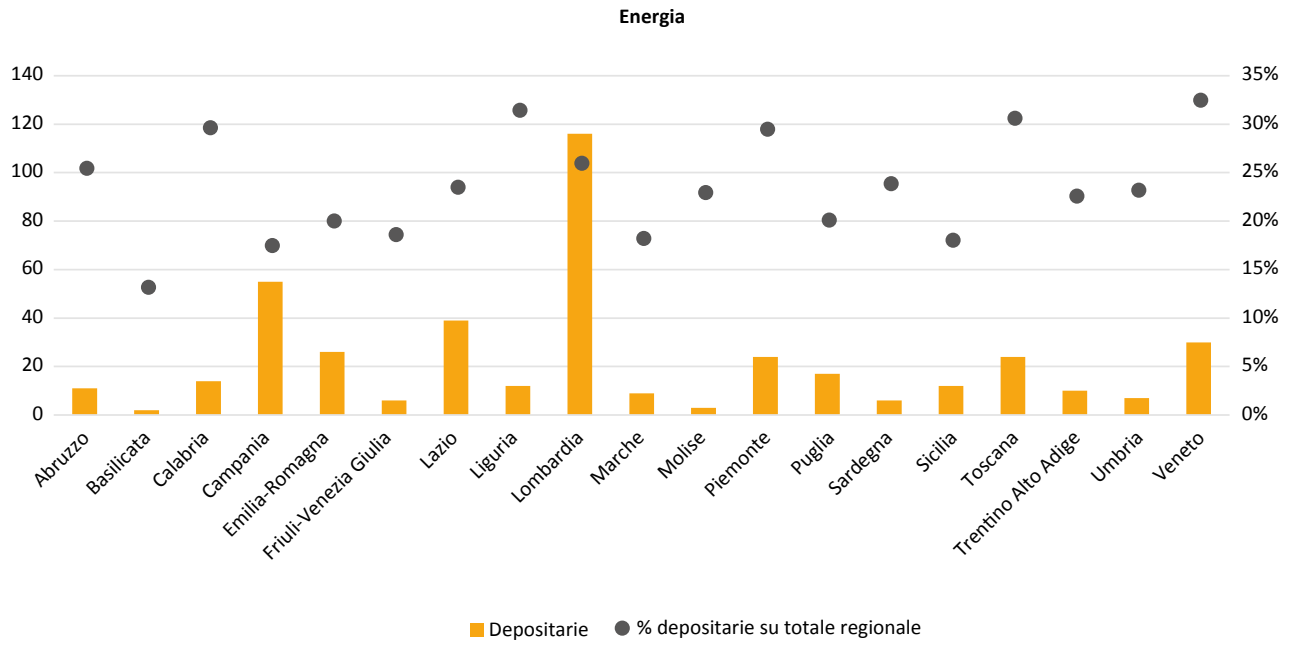
segue poi il Sud (554) e il Centro (447). In termini di incidenza relativa rispetto al totale delle start-up innovative, le start-up del Nord depositarie si attestano al 10,4%, quelle del Sud al 4,5%, mentre il dato di imprese depositarie nel Centro è pari a 3,6%. Per quanto riguarda le start-up in ambito energetico, le tendenze sono simili: 224 per il Nord, 120 per il Sud e 79 per il Centro.

A livello nazionale (Fig. 9.19), La Lombardia si conferma ancora come la regione più innovativa, con 592 imprese sul totale delle start-up depositarie di brevetto o software, e un risultato analogo si ha contando le imprese nel settore energetico (116). Insieme alla Lombardia, nelle prime posizioni del campione totale e del sub-campione composto dalle start-up innovative in ambito energetico, si ripresentano -in ordine- Campania, Lazio ed Emilia-Romagna, tutte sull'ordine delle 250-200 start-up depositarie sul totale; si nota un distacco maggiore sul sottocampione delle startup depositarie in ambito energetico, con la Campania che vanta 55 start-up depositarie

Fig. 9.19: Attività brevettuale su base regionale, totale start-up e start-up in ambito energetico

Fonte: Elaborazioni I-Com su dati InfoCamere (aggiornati al primo trimestre 2025)





in ambito energetico, mentre a distanza seguono il Lazio (39) e il Veneto (30).
Tuttavia, anche in questo caso vale la pena guardare all'incidenza relativa – intesa come il rapporto tra il numero di start-up con brevetto o software in una data regione ed il numero complessivo di start-up esistenti in quella stessa regione – da cui si evince la maggior tendenza ad intraprendere attività innovative (quali, appunto, depositare un brevetto o registrare un software) in regioni a cui si riserva in genere meno attenzione. Nella rielaborazione, infatti, le tre regioni più virtuose per l'incidenza di start-up depositarie sul totale regionale sono la Valle d'Aosta, il Veneto e la Liguria, tutte con una percentuale intorno al 26%, mentre Lombardia, Lazio e Campania si attestano su valori più modesti, intorno al 17%.
Per quanto riguarda le start-up energetiche, qui in testa troviamo il Veneto (33%), la Liguria (32%), la Toscana (31%) e la Calabria (30%), mentre i tassi minori si riscontrano in Campania (18%) e in Basilicata (13%).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'innovazione rappresenta un elemento fondamentale per la dinamica e la sostenibilità dei sistemi economici moderni, configurandosi come il principale motore di crescita economica a lungo termine e di trasformazione strutturale delle economie. L'attività brevettuale è un buon indicatore del grado di innovazione dei paesi, insieme agli investimenti in ricerca e sviluppo. A livello mondiale, la Cina domina incontrastata il panorama dei brevetti in tutte le categorie indagate nel presente Rapporto, ovvero il totale dei brevetti concessi, i brevetti energetici e i brevetti in campo elettrico per la riduzione delle emissioni. Il numero di brevetti concessi in ambito energetico cresce in modo sostenuto, ma ad un ritmo minore di quanto crescano i brevetti in tutti gli ambiti. Nel campo energetico, i primi cinque paesi per numero totale di brevetti concessi sono: Cina, Giappone, Corea del Sud, Stati Uniti e Germania. L'ordine muta leggermente quando si considerano i brevetti in campo elettrico che concorrono alla riduzione delle emissioni di gas serra. Qui, i paesi con più brevetti concessi sono, per ordine: Cina, Corea del Sud, Stati Uniti, Giappone, Germania. La tecnologia prevalente nelle innovazioni è quella degli accumuli, seguita a molta distanza da solare fotovoltaico, eolico, nucleare ed idroelettrico. Riguardo alle specializzazioni in campo elettrico, la Cina concede la maggioranza dei brevetti in tutte le categorie tecnologiche esaminate, eccetto l'idroelettrico, dove prevale la Corea del Sud. Dunque, nel 2023, ogni specializzazione extra-asiatica è andata perduta, anche in campi tradizionalmente dominati da paesi Occidentali, come il termoelettrico e la cattura, lo stoccaggio e il sequestro della C02. In questo panorama, l'Italia si inserisce come *player* dall'importanza marginale: con l'1% dei brevetti totali concessi, in ambito energetico il nostro Paese è molto meno innovativo e non arriva a rappresentare nemmeno l'1% delle innovazioni.

Dall'analisi dell'attività brevettuale nel campo della mobilità sostenibile, emerge un'evoluzione continua del panorama di riferimento, con specifiche dinamiche tecnologiche e territoriali. A livello globale, l'energy storage è la tecnologia di riferimento per l'attività brevettuale, avendo mostrato una crescita significativa nell'ultimo periodo che l'ha portata a rappresentare più della metà dei brevetti concessi nel 2023. Tendenze positive si registrano anche per i veicoli elettrici e le stazioni di ricarica, mentre i veicoli ibridi mostrano un declino graduale delle loro quote sul totale, riflettendo possibili cambiamenti nelle strategie industriali e nelle preferenze di mercato. Le tecnologie a idrogeno, pur mantenendo una rilevanza marginale in termini numerici, mantengono una posizione stabile e potrebbero rappresentare una soluzione di nicchia con buone prospettive future.

A livello geografico, la Cina domina stabilmente l'innovazione del settore, segnando una crescita esponenziale e superando le altre economie, come ad esempio il Giappone, considerato un tempo il maggior innovatore in questo ambito. In Europa occupa la posizione di maggior rilievo la Germania, mentre l'Italia dimostra un'attività in ambito brevettuale più contenuta e marginale.

Per quanto riguarda le diverse tecnologie, l'Italia si conferma fortemente specializzata nell'energy storage e nei veicoli ibridi, anche se la quota percentuale di questi ultimi si sta riducendo nell'ultimo periodo per lasciare più spazio a quelle riguardanti i veicoli elettrici e le stazioni di ricarica. Dall'analisi dei soggetti richiedenti dei brevetti in oggetto emerge invece che l'innovazione è fortemente spinta dalle imprese.

La mobilità elettrica è un ambito strategico e di-

namico dove il progresso tecnologico deve essere sostenuto da politiche dedicate e investimenti. Tuttavia, la competizione globale mostra ancora una certa concertazione tra pochi Paesi e l'Italia necessita di rafforzare il suo contributo nella ricerca, sviluppando un ecosistema resistente e rilevante per aumentare la propria competitività.

Passando più in generale alla mobilità sostenibile rileviamo che anche quest'anno si registra una diminuzione nelle vendite di biciclette, non solo nel nostro Paese ma in tutta Europa, anche per le biciclette a pedalata assistita, che negli anni scorsi, hanno avuto molto più successo delle automobili elettriche. Un dato che fornisce un ulteriore esempio di quanto sia difficile e tortuoso il percorso di decarbonizzazione dei trasporti stradali.

Troppo lenta è infatti la diffusione delle autovetture elettriche, quelle preferite dalle norme – invero sempre più discusse - dell'Unione, per raggiungere la neutralità climatica al 2050.

La sfida infatti sta diventando sempre più difficile: le autovetture circolanti sulle strade dell'Unione possono essere stimate in quasi 260 milioni, di queste poco più di 6 milioni elettriche. Nel 2024 sono arrivate su strada 10,6 milioni di auto nuove, di cui elettriche il 13,6%. I primi mesi di quest'anno stanno andando decisamente meglio la quota di mercato di auto puramente elettriche è cresciuta fino al 15,4% (dato aggiornato a maggio 2025), ma comunque ben lontana dal valore previsto dal Regolamento 2023/851 stimato in almeno il 22%. Troppo ampia il divario, peraltro atteso, come denunciato dalle case automobilistiche – contratti alla mano – durante il 2024, tanto che la stessa Commissione von der Leyen II (iniziando a sconfessare l'operato della von der Leyen I) ne ha dovuto prendere atto con un emendamento, già approvato da Consiglio e Parlamento, che spalma gli obiettivi da conseguire entro il 2025 fino al 2027, allontanando (almeno per quest'anno) lo spettro di sanzioni miliardarie e la scelta tra dover decidere di non produrre per non pagare le multe (perdendo così anche i clienti) con evidenti impatti occupazionali o scegliere di produrre in perdita incorporando la sanzione.

Il vero problema però è che fino ad oggi le auto elettriche si solo aggiunte a quelle in circolazione, senza di fatto sostituirne nessuna.

In Italia, che ha il secondo maggior parco d'Europa dopo la Germania, il numero delle auto targate è cresciuto di oltre 425 mila unità rispetto al 2023 arrivando a superare la smisurata cifra di 41 milioni. Valore che resta enorme anche sottraendo alcuni milioni di vetture storiche, e che diventa soverchiante se si considera che il totale totale delle elettriche, dato aggiornato a fine 2024, non arriva a 280mila, meno di 7 su 1000.

Nei prossimi anni il numero di auto alimentate da energia elettrica certamente crescerà, ma questo – di per sé – non è condizione sufficiente perché si possano avere risultati apprezzabili anche sul piano della decarbonizzazione.

Se la decisione di anticipare di un anno la relazione che la Commissione Europea dovrà presentare al Parlamento e al Consiglio sugli sviluppi tecnologici, comprese le ibride ricaricabili, e sull'importanza di una transizione energetica sostenibile ed equa dal punto di vista sociale da un lato certifica la situazione estremamente complessa e difficile, dall'altro rappresenta una validissima occasione per rivedere le strategie e intervenire su un ventaglio più ampio di misure da affiancare alla sostituzione dei veicoli circolanti con mezzi elettrici.

Il motore del futuro richiede l'utilizzo integrato di diverse soluzioni, non di un "*silver bullet*", mettendo in relazioni diverse fonti, vettori e reti, insieme a carichi, sistemi di accumulo e di conversione. Ogni fonte e tecnologia può giocare un ruolo in base al contesto in cui viene sfruttata e implementata. Un sistema energetico non solo integrato al suo interno ma anche nel territorio e nel tessuto economico-

imprenditoriale, superando sia una visione in silos dei diversi ambiti energetici (elettricità, gas, calore, *e-fuel*) sia la distinzione tra settori, dato che molti comparti economici, oltre a consumare energia, possono fornire servizi di flessibilità, in particolare le industrie.

Per abilitare la decarbonizzazione delle industrie e la loro integrazione nel sistema energetico bisognerà lavorare per un aumento della penetrazione delle rinnovabili e dell'efficienza energetica, ma anche di scambi di energia sotto forma di diversi vettori dentro e tra impianti industriali e tra gli impianti industriali e il sistema energetico, garantendo un uso razionale delle risorse e maggiore flessibilità. Cruciali sono le tecnologie per l'accumulo di energia in diverse forme, la conversione di energia da un vettore a un altro e l'utilizzo e la produzione di energia sotto diverse forme in maniera ibrida (es. poligenerazione). La gestione cross-vettoriale dell'energia in ambito industriale è al centro di queste relazioni per via dell'elettrificazione crescente da un lato e del consumo e del rilascio di energia sotto forma di calore e raffrescamento dall'altro. Nel Capitolo si richiamano le diverse tecnologie al centro di questi sviluppi, dalle pompe di calore al *thermal storage*, e si sottolineano ulteriori fronti di innovazione, tra cui business model che rendano le interazioni cross-vettore e cross-settore profittevoli, standard comuni e tecnologie digitali per pianificazione, simulazione, controllo e gestione di queste interazioni.

Vi sono interessanti esempi di progetti di ricerca e opportunità di finanziamento, come il *Call Module* "*Multi-vector interactions between the integrated energy system and industrial frameworks*" della Clean Energy Transition Partnership.

Non solo con le rinnovabili, ma è anche con l'efficienza energetica che si giocherà un'importante partita per la decarbonizzazione. E in quest'ambito la direttiva EPBD "Case Green" pone obiettivi sfidanti per un parco immobiliare vetusto e spesso vincolato come quello italiano. Lo zoccolo duro da decarbonizzare è quello dei consumi residenziali, che ha ridotto le proprie emissioni ad una velocità inferiore a quella degli altri settori, ad eccezione del comparto dei servizi, dove le emissioni sono costanti. Per decarbonizzare i consumi residenziali, molto dipendenti dal gas naturale, esistono diverse soluzioni innovative, che tuttavia trovano diversi ostacoli. Secondo "Decarbonizzazione dei consumi termici residenziali" di BIP Consulting solo il 41% delle abitazioni analizzate dispone di uno spazio esterno dedicabile a pompe di calore. Inoltre, circa il 70% delle abitazioni è alimentata da metano con sistemi autonomi, che rappresentano la maggioranza dei sistemi di distribuzione del calore, e grande parte delle abitazioni è dotata di radiatori per trasferire il calore. Le barriere all'innovazione energetica nelle case sono molteplici: economiche, regolatorie e amministrative, sociali e culturali e tecniche. Inoltre, la transizione verso sistemi di riscaldamento elettrificati richiede un significativo potenziamento delle infrastrutture di distribuzione elettrica, sia a livello nazionale che locale. Sono necessarie, poi, competenze specialistiche degli installatori, che attualmente non sono diffuse nelle piccole imprese della filiera italiana che si occupano di installazione di soluzioni di riscaldamento. In sostanza, la transizione energetica (anche) in questo campo non potrà che essere dettata dalla neutralità tecnologica.

In quanto andamento di fondo, e quindi pervasivo di ogni ambito, la transizione verde investe il mercato del lavoro sia direttamente che indirettamente. Il primo canale, diretto, è l'aumento nella ricerca di figure legate ad ambiti strettamente insiti alla transizione verde come i settori delle energie rinnovabili, dell'efficienza energetica del sistema nel suo insieme o afferenti all'economia circolare. Il secondo canale è indiretto in quanto ai ruoli tradizionali viene richiesto di incorporare, nelle proprie mansioni, uno o più aspetti che riguardino il risparmio ener-

getico e la sostenibilità ambientale nel suo insieme. Globalmente, il blocco UE si posiziona come uno dei mercati che offrono più talenti verdi, pur non essendo l'Italia fra i primi dieci paesi per offerta di competenze verdi. Nel nostro Paese, dall'indagine condotta da Unioncamere – ANPAL, Sistema Informativo Excelsior emerge che il 34% delle assunzioni previste nel 2024 ha riguardato lavori verdi, in discesa di un punto percentuale rispetto al 2023. Le imprese di tutte le dimensioni, indiscriminatamente, necessitano di risorse per ricoprire lavori verdi. In generale, a dispetto di quanto si possa pensare, la maggior parte dei lavori verdi riguarda artigiani e operai specializzati e professioni tecniche. Il primato di Caltanissetta nel registrare l'incidenza più alta di lavori verdi (ben 51%) del 2023 si ripete anche nel 2024, con la stessa percentuale. Nell'industria, il 69% delle entrate nel mondo del lavoro ha riguardato lavori verdi, decisamente più che nei servizi, con il 21%. La domanda globale di talenti verdi ha rallentato fra il 2023 e il 2024, secondo dati LinkedIn. Tuttavia, sarà importante, soprattutto per il nostro Paese, che è indietro sulle lauree STEM rispetto al resto d'Europa, lavorare sull'offerta di competenze verdi attraverso la formazione continua sia dal punto di vista scolastico che culturale.

La *new space economy* offre un ventaglio di opportunità anche per aspetti relativi al cambiamento climatico, alla sostenibilità e all'innovazione energetica, sia per applicazioni sulla Terra che nello spazio, così come per futuri insediamenti sui corpi celesti. Ne costituisce un fulgido esempio il significativo incremento dell'attività brevettuale negli ultimi 20 anni sulla propulsione sostenibile (batterie, propulsione elettrica, idrogeno/celle a combustibile e carburanti sostenibili), come pure le importanti risorse messe a disposizione per lo sviluppo delle celle solari e dell'energia solare spaziale (SBSP). Parallelamente, è cresciuta l'attenzione verso tematiche connesse allo svolgimento sostenibile e sicuro delle attività spaziali, primo fra tutti il tema dei detriti, anche in virtù delle possibili ripercussioni per la vita sulla Terra e, in particolare, la salute umana. L'Europa e l'Italia hanno sin qui giocato un ruolo di spicco a livello globale, soprattutto con riguardo al segmento downstream, anche grazie all'esperienza accumulata dalle relative imprese, enti di ricerca e università nel campo dell'osservazione della Terra, nonché a una proficua collaborazione tra agenzie spaziali nazionali, l'ESA e le istituzioni eurounitarie.

In un contesto che ha visto l'UE rimandare le iniziative legislative per il settore spaziale sino allo scorso 25 giugno (EU Space Act) e un quadro giuridico internazionale da rivedere e aggiornare, l'Italia si è dotata recentemente della sua prima legge quadro in materia di economia dello spazio – la quale, nonostante alcune criticità che potrebbero palesarsi nella fase operativa (ad esempio, rispetto al processo autorizzativo), ha colmato un vuoto importante nell'ordinamento nazionale – che prevede, fra l'altro, un apposito Fondo pluriennale per favorire la crescita del mercato di prodotti e servizi basati sugli assetti spaziali e sull'utilizzo commerciale delle infrastrutture, nonché l'elaborazione di un Piano nazionale dedicato, con orizzonte temporale di almeno cinque anni. Parallelamente, un aspetto cruciale per lo sviluppo del nostro ecosistema spaziale riguarda la questione – ormai sempre più trasversale – delle competenze, per cui, da un lato, appare fondamentale incoraggiare il trasferimento tecnologico per garantire lo sviluppo competitivo del comparto spaziale italiano, che altrimenti potrebbe perdere terreno nei prossimi anni, tenuto conto di una competizione a livello europeo e globale piuttosto accesa; dall'altro, andrebbe garantita una maggiore capillarità a livello territoriale della formazione universitaria in questo ambito (I-Com Rapporto ORES, 2024), nonché valorizzato lo strumento dei partenariati estesi alle università, centri di ricerca e imprese, al fine di identificare al meglio le peculiarità e le

esigenze degli utilizzatori finali di tecnologie e dati spaziali, così da indirizzare anche le scelte in termini di formazione in maniera coerente con la domanda espressa dalla società.

La transizione verso un futuro energetico più sostenibile, efficiente e resiliente richiede una trasformazione profonda dei sistemi di produzione, distribuzione e consumo dell'energia. Tecnologie come i gemelli digitali o *digital twin*, l'intelligenza artificiale (IA) e l'Internet delle Cose (IoT) sono ormai pilastri fondamentali di questo cambiamento, già dimostrando impatti concreti in settori come edifici intelligenti, impianti industriali, smart grid e pianificazione urbana. Queste soluzioni non sono solo ipotetiche, ma realtà operative che portano benefici tangibili: i digital twin possono ridurre i costi degli edifici fino al 30%, mentre l'IA aiuta le industrie a ridurre le emissioni di carbonio tra il 15% e il 25% e ad aumentare l'efficienza energetica fino al 40%. Integrati in un approccio sistemico, ottimizzano i processi e minimizzano l'impatto ambientale, contribuendo agli obiettivi di sostenibilità globale.

I digital twin, rappresentazioni dinamiche di sistemi fisici, permettono simulazioni avanzate e interventi mirati, migliorando la gestione delle risorse e anticipando criticità. L'IA trasforma grandi quantità di dati in decisioni strategiche, individuando anomalie e ottimizzando le prestazioni in tempo reale. Tuttavia, ci sono sfide importanti: la mancanza di standard condivisi limita la scalabilità e l'interoperabilità dei gemelli digitali, specialmente nelle smart grid, dove dispositivi eterogenei richiedono protocolli uniformi. La cybersecurity è un'altra preoccupazione: i digital twin gestiscono dati sensibili e sono vulnerabili ad attacchi informatici, soprattutto in applicazioni urbane con informazioni geospaziali e infrastrutturali. La protezione di questi dati richiede strategie di sicurezza integrate fin dalla progettazione, con sistemi di monitoraggio e difese multilivello.

Un'opportunità significativa nasce dalla convergenza tra blockchain, IA e digital twin, che garantisce trasparenza, tracciabilità e sicurezza dei dati. Questa integrazione trova applicazioni promettenti in micro-grid, edifici intelligenti e reti idriche, dove l'*edge computing* e l'IA distribuita consentono analisi locali a bassa latenza, mantenendo i dati vicino alla fonte. La creazione di un marketplace federato di digital twin rappresenta una strategia per favorire analisi avanzate in un'infrastruttura interoperabile e sicura, promuovendo la collaborazione tra attori del sistema energetico. Tuttavia, il successo di queste innovazioni dipende anche da politiche pubbliche lungimiranti, come Horizon Europe e il Green Deal Europeo, che sostengono investimenti in ricerca, digitalizzazione e infrastrutture sostenibili.

Un elemento cruciale è la formazione di una nuova generazione di professionisti con competenze ibride, capaci di coniugare ingegneria, data science e sostenibilità. I percorsi educativi tradizionali sono spesso troppo settoriali e rigidi; servono programmi interdisciplinari che preparino figure in grado di gestire tecnologie complesse, valutare impatti ambientali e sociali e operare in contesti innovativi. Digital twin, IA e IoT sono più di strumenti tecnici: sono catalizzatori di un nuovo paradigma energetico, più equo, flessibile e resiliente, capace di rispondere alle sfide ambientali e sociali del nostro tempo. Per realizzare pienamente questo modello energetico, è necessario un impegno collettivo e coordinato per superare barriere tecniche, normative e culturali. Passando, infine, all'analisi dell'universo delle start-up, registriamo una discontinuità rispetto ai Rapporti passati che, fino alla scorsa edizione, avevano messo in luce una continua discesa dei tassi di crescita del settore, con valori che sono andati in territorio negativo. Quest'anno, una felice inversione di tendenza ha riportato il tasso di crescita intorno al 5%, arrestando la frenata che aveva colpito in modo più o meno intenso tutte le aree geografiche del nostro Paese.

Dal punto di vista della distribuzione geografica, si ripropone il medesimo schema, con il Nord che ha più della metà delle start-up, seguito dal Centro e dal Sud. Il Meridione, tuttavia, si contraddistingue per tassi di crescita relativamente sempre più alti rispetto alle restanti zone geografiche, e questa tendenza si rafforza se si guarda all'andamento del campione delle start-up energetiche.

Inoltre, si riaffermano notevoli disparità di dimensione aziendale: solo il 3% delle start-up ha un capitale superiore a 250.000 euro, mentre la maggior parte (intorno al 40% per entrambi i campioni) si trova in una classe di capitale fino a 10.000 euro, con un valore di produzione finale massimo di 100.000 euro. Rimangono ancora criticità significative nella rappresentanza femminile e giovanile, che si ferma rispettivamente al 16,9% e 15,4%, con valori simili nell'ambito energetico.

In generale, l'ecosistema delle start-up sembra resistere e adattarsi alle pressioni economiche e politiche esogene; nonostante il calo generalizzato dal 2021, l'inversione di tendenza del tasso di crescita in positivo segnala una resilienza che ha interessato tutte le aree del territorio. La stima sull'impatto economico restituisce una realtà disomogenea: sebbene il Nord si confermi più dinamico rispetto al resto dell'Italia, con capacità produttive che contribuiscono per più del 50% in termini di valore della produzione, il Sud dimostra una grande reattività (performando anche meglio nel settore energetico), con un incremento positivo nel valore della produzione delle start-up rispetto allo scorso anno, e posizionandosi in buone posizioni anche per altri indicatori, primo fra tutti l'occupazione femminile.

icom 20 05 25
istituto per la competitività

POSTFAZIONE

QUALE (NUOVA) SPINTA PER LE RINNOVABILI?

L'apporto delle fonti rinnovabili "*variabili*" sta progressivamente crescendo sia in relazione alla potenza installata sia con riferimento all'energia elettrica prodotta destinata ad assorbire la domanda.
Come spiega Terna, nel 2023, le fonti rinnovabili hanno coperto circa il 44% della produzione nazionale (114 TWh su un totale di 257 TWh), mentre nel 2024 si è raggiunta una percentuale pari a circa il 49% (129 TWh su un totale di 263 TWh)[1].
Il trend crescente è destinato a permanere anche grazie ai nuovi strumenti di incentivazione come il Fer X e l'interesse degli investitori su queste tecnologie è dimostrato dalle richieste di connessione pendenti. Al 31 maggio 2025, le richieste di connessione di eolico e solare sono pari a 348,68 GW di cui 150,11 GW fanno riferimento a SMTG[2] già accettate dal gestore della rete. Numeri impressionanti se pensiamo che nello scenario PNIEC Policy si prevede un aumento di capacità rinnovabile installata nel 2030 pari a 107 GW[3].
Questa forte penetrazione di fonti non programmabili all'interno del sistema in uno con il graduale *decommissioning* dei tradizionali impianti termoelettrici, se da un lato contribuisce a decarbonizzare la produzione, dall'altro genera impatti sul sistema stesso.
La principale differenza tra impianti alimentati da fonti rinnovabili e impianti termoelettrici è che i primi si interfacciano alla rete mediante l'utilizzo di componenti c.d. statici (ad esempio gli inverter degli impianti fotovoltaici) che tuttavia presentano minore propensione a sostenere i parametri fondamentali per l'esercizio in sicurezza della rete rispetto ai gruppi rotanti che caratterizzano gli impianti termoelettrici.
In secondo luogo, per loro natura, gli impianti FER hanno profili di produzione non programmabile che non seguono le dinamiche del fabbisogno di energia per il consumo, bensì le dinamiche caratteristiche delle singole fonti energetiche.
Inoltre, sempre per caratteristiche intrinseche, gli impianti FER non sono liberamente localizzabili, essendo la loro distribuzione territoriale slegata dal grado di sviluppo dell'infrastruttura di rete e correlata, viceversa, all'esistenza della fonte[4].
Infine, a differenza dei tradizionali impianti termoelettrici, gli impianti FER sono spesso connessi alle reti di distribuzione di media e bassa tensione dando luogo sistema multidirezionale, complesso e integrato con flussi di energia elettrica a più direzioni, ad alta volatilità e bassa prevedibilità
In questo contesto, è sempre più sfidante mantenere la completa osservabilità delle risorse – sia per quanto riguarda le immissioni sia per quanto riguarda i prelievi di energia – con un impatto sulla previsione del fabbisogno e, di conseguenza, sulla corretta gestione delle risorse di generazione
Come spiega Terna nel Piano di Sviluppo 2023, il passaggio dall'uno all'altro sistema genera i seguenti impatti nella gestione della rete:

- riduzione del numero di risorse di generazione in grado di fornire servizi di regolazione della frequenza (regolazione della potenza attiva);
- riduzione del margine di adeguatezza per coprire i picchi di carico, che si possono verificare in orari a bassa produzione di FER;
- crescenti periodi di *overgeneration* nelle ore centrali della giornata (produzione maggiore

1 Stato del Sistema Elettrico e Scenari Energetici 2025.
2 Le richieste di connessione alla rete elettrica nazionale (RTN), gestite da Terna per impianti con potenza superiore a 10 MW, seguono una procedura specifica che include l'elaborazione della Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) e, successivamente, della Soluzione Tecnica Minima di Dettaglio (STMD). La STMG è definita da Terna per garantire la continuità del servizio e la sicurezza della rete, tenendo conto degli aspetti tecnici ed economici.
3 Si veda il Documento 2025 Stato del sistema energetico e scenari energetici elaborato da Terna.
4 Questo può portare, come in Italia, ad uno sviluppo di capacità distribuito in un segmento territoriale la cui infrastruttura di rete non è in grado di assorbire tutta la produzione.

del fabbisogno) che possono portare a tagli dell'energia prodotta (*curtailment*) se il Sistema non è provvisto di capacità di accumulo o di riserva adeguate;
- crescente ripidità della rampa serale del carico residuo, causata dalla drastica e repentina riduzione della produzione solare nelle ore serali, per cui è necessario un rapido aumento della produzione da impianti flessibili;
- aumento delle situazioni di congestioni di rete, a causa della loro dislocazione non coerente con i luoghi di consumo;
- nuove problematiche di gestione del sistema legate alla crescente presenza di impianti di generazione sulle reti di media e bassa tensione.

Per far fronte a queste sfide, il Sistema non potrà contare sulla sola capacità termoelettrica in via di progressiva riduzione.

Emerge dunque l'esigenza di reperire ulteriori tecnologie in grado di fornire risorse per garantire la sicurezza del sistema elettrico, aprendo i relativi mercati a tali nuove fonti.

In particolare assumono ed assumeranno certamente un ruolo decisivo due tecnologie: gli accumuli e la gestione della domanda.

I sistemi di accumulo potranno fornire il loro decisivo contributo alla gestione dell'*overgeneration* e del carico residuo nei mesi ad altra producibilità rinnovabile attraverso la funzione di *time shifting*.

Con il *time shifting* gli accumuli consentiranno di spostare «*strutturalmente*» parte della produzione delle fonti rinnovabili dalle ore di alta disponibilità della risorsa alle ore di bassa o nulla disponibilità.

Al contempo, i sistemi di accumulo potranno dare il loro contributo nel Mercato dei Servizi di Dispacciamento, fornendo al TSO i servizi necessaria alla regolazione di frequenza ed al bilanciamento in tempo reale anche in forma aggregata.

Al fine di attrarre sempre maggiori investimenti nel settore, entrerà a breve a regime il Meccanismo di Approvvigionamento di Capacità di Stoccaggio Elettrico (MACSE) attraverso il quale gli accumuli di nuova realizzazione saranno remunerati tramite contratti a lungo termine che prevedono un premio espresso in €/MWh-anno, determinato tramite procedure d'asta concorrenziali.

Per adesso le tecnologie di riferimento maggiormente competitive sono le batterie agli ioni di litio e i pompaggi idroelettrici che tuttavia garantiscono forme di gestione del carico residuo a livello "*giornaliero*" e nei periodi estivi.

La vera sfida sarà trovare sistemi di accumulo a lunga durata, in grado di sostituire almeno parzialmente il *backup* termoelettrico anche nei mesi in cui la produzione rinnovabile è fisiologicamente più bassa a causa delle minori prestazioni del fotovoltaico.

Un ruolo importante e complementare all'utilizzo degli accumuli può e deve provenire anche dal consumo e da tutti i servizi legati alla gestione della domanda.

La gestione della domanda è, secondo l'impostazione Europea, parte della strategia di decarbonizzazione del sistema elettrico in quanto funzionale, assieme ad altre tecnologie, ad integrare progressivamente nel *mix* generativo ampie quote di capacità rinnovabile non programmabile minimizzandone le esternalità e riducendo il ricorso alle tradizionali fonti termoelettriche.

In questa prospettiva, il legislatore europeo ritiene indispensabile adeguare le regole del mercato onde permettere ai consumatori di partecipare a tutti i mercati dell'energia, consentendo agli stessi non solo di reagire ai segnali di prezzo, ma anche di modulare i propri prelievi dalla rete, gestendo in modo attivo la propria domanda[5].

Attraverso la modulazione, la gestione della domanda attiva anche aggregata può diventare un fattore

5 Questa chiara impostazione di fondo si è tradotta in precise norme giuridiche contenute sia nel Regolamento 943/2019 sia nella successiva Direttiva 944/2019 recepita nel nostro ordinamento con il D.Lgs. 210/2021

importante nell'offerta dei servizi per la regolazione di frequenza nel mercato dei servizi di dispacciamento (consentendo agli accumuli di focalizzarsi in modo prevalente sui mercati *time shifting*) ma anche per "*spostare*" il carico nelle ore in cui è alta la produzione da fonti rinnovabili.

In Italia, la strada della gestione della domanda è ancora relativamente poco "*battuta*" sia dal legislatore che dagli attori del sistema elettrico (ARERA e TERNA).

Mentre la regolazione e la legislazione si sono mosse in modo efficace sul piano degli accumuli, predisponendo importanti strumenti incentivanti (come il MACSE) o adeguando la disciplina regolatoria[6], non sono stati fatti sufficienti passi in avanti per integrare sui mercati gli strumenti di gestione della domanda.

La partecipazione delle unità di consumo, pur teoricamente ammessa, non riceve le medesime attenzioni, dal punto di vista incentivante, delle tecnologie di accumulo. Al contempo la legislazione non offre alcun tipo di incentivo ai consumatori che intendano partecipare attivamente attraverso la sottoscrizione di contratti con tariffe a prezzi dinamici inducendoli a consumare quando le rinnovabili non programmabili superano la domanda e a ridurre i consumi nel caso opposto.

In questo contesto e muovendo dal titolo di questo intervento possiamo fare un'affermazione che sembra paradossale: la vera "nuova" spinta per le rinnovabili non proviene da nuove forme di sussidi o incentivi che attraggano nuovi investimenti in solare o eolico, ma dallo sviluppo, oltre che dell'infrastruttura di rete, delle tecnologie che riescano a gestire gli impatti che le rinnovabili producono sul sistema elettrico.

Se ciò non avverrà, alla fine correremo il rischio di raggiungere i target di potenza e capacità rinnovabile solo in linea teorica ma non (di generazione) effettiva. Le rinnovabili servono e sono fondamentali, a condizione però che gli impianti siano connessi alla rete e siano in grado di produrre energia elettrica che dal punto di connessione in immissione giunga al punto di prelievo. Questo sarà possibile solo se il sistema sarà pronto ad accogliere tutta questa nuova potenza non programmabile.

Luca Giagnoni

6 Ne sono esempi significativi (i) il nuovo Testo Integrato del Dispacciamento Elettrico (TIDE), approvato da ARERA con 345/2023/R/eel e s.m.i., (ii) le modifiche alle modalità di accesso al mercato della capacità che ora vede anche la partecipazione degli accumuli.

BIBLIOGRAFIA

Abdessadak A. et al. (2025), Digital twin technology and artificial intelligence in energy transition: A comprehensive systematic review of applications, Energy Reports, Volume 13, 2025, Pages 5196-5218

ACEA (2025), Report – Vehicles on European roads 2025

ACI (2025), Dati e statistiche, Auto-Trend 2000-2024

ACI (2025), Dati e statistiche, Autoritratto 2002-2024

ARERA (2022), Bilancio energetico nazionale

ASI, ICE (2019), *Catalogo "Italian Space Industry"*

ASI, ICE (2020), *Catalogo "Italian Space Industry"*

ASI, ICE (2021), *Catalogo "Italian Space Industry"*

Ba, L., Tangour, F., El Abbassi, I., & Absi, R. (2025). Analysis of Digital Twin Applications in Energy Efficiency: A Systematic Review. *Sustainability*, *17*(8), 3560. https://doi.org/10.3390/su17083560

Bai, M., Zhao, X., Long, Z., Liu, J., & Yu, D. (2021). Short-term probabilistic photovoltaic power forecast based on deep convolutional long short-term memory network and kernel density estimation. ArXiv, abs/2107.01343.

BIP Consulting (2024), Decarbonizzazione dei consumi termici residenziali

Bonacina M., Sileo A. (2024), Auto elettriche troppo lente, decarbonizzazione lontana, ENERGIA 4.24.

Bonacina M., Sileo A. (2025), Auto elettriche lente, decarbonizzazione rimandata, FEEM Brief 01, febbraio 2025

Botín-Sanabria, D. M., Santiesteban-Pozas, D. A., Sáenz-González, G., Ramírez-Mendoza, R. A., Ramírez-Moreno, M. A., & Lozoya-Santos, J. D. J. (2021). Digital twin for a vehicle: electrobus case study. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Monterrey, Mexico* (pp. 3-5)

CETPartnership 2025, "CETPartnership Joint Call 2025", maggio 2025

Cianciullo A. (2025), "Il suolo caldo e arido provoca blackout, i cavi fondono. La rete elettrica va rafforzata", Huffington Post, 24 luglio 2023

Cao Y. and Zhang S., «Facilitating the provision of load flexibility to the power system by data centers: A hybrid research method applied to China», Util. Policy, vol. 84, fasc. C, p. S0957178723001480, 2023

Cakir, L. V., Duran, K., Thomson, C., Broadbent, M., & Canberk, B. (2024). Ai in energy digital twining: A reinforcement learning-based adaptive digital twin model for green cities. In *ICC 2024-IEEE International Conference on Communications* (pp. 4767-4772). IEEE

Capgemini Research Institute (2022), *Digital twins: Adding intelligence to the real world*

Cespedes-Cubides, A.S., Jradi, M. (2024), A review of building digital twins to improve energy efficiency in the building operational stage. *Energy Inform* 7, 11. https://doi.org/10.1186/s42162-024-00313-7

Commissione Europea (2025), EU Building Stock Observatory

Commissione Europea (2024), EU Climate Action Progress Report 2024

Commissione Europea (2024), Direttiva (UE) 2024/1275 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 24 aprile 2024, sulla prestazione energetica nell'edilizia, (rifusione), (Testo rilevante ai fini del SEE)

Dallas J.A. et al. (2021), *An Environmental Impact Assessment Framework for Space Resource Extraction*, agosto 2021

Deloitte (2018), Expecting digital twins

Do Amaral, J. V. S., Dos Santos, C. H., Montevechi, J. A. B., & De Queiroz, A. R. (2023). Energy digital twin applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *188*, 113891

ENEA (2024), La consistenza del parco immobiliare nazionale

Energy & Strategy (2024), Energy Efficiency Report 2024

EPO (2021), Patents and the energy transition. Global trend in clean energy technology innovation April 2021

EPO (2016), Sample Queries and Tips for PATSTAT version 2.1, Munich: European Patent Office

EPO (2025), PatStat database, versione Autunno 2024

ESA (2025), *ESA's annual space environment report*, marzo 2025

ESA (2023), *Zero Debris Charter*, novembre 2023

ESPI (2024), *Propulsion Systems for Space. Patent Insight Report*, maggio 2024

ETIP SNET, "ETIP SNET Roadmap 2022-2031", marzo 2023

ETIP SNET, "ETIP SNET Vision 2050", 2017

EU C3S, WMO (2025), *European State of the Climate 2024*

European Environment Agency (2024), *Greenhouse gas emissions from transport in Europe*, Anlysis and data

Eurostat (2025)

EUSPA (2024), *EO and GNSS Market Report*, Issue 2, gennaio 2024

Ferrari A. (2025), "Le rinnovabili sembrano c'entrare poco con l'imponente blackout avvenuto in Spagna", Altreconomia, 30 aprile 2025

FIA (2023), Sustainability and D&I Report, 2023

FIA (2024), Regolamento tecnico F1 2026

Fiorini, A., Georgakaki, A., Pasimeni, F. and Tzimas, E. (2017), *Monitoring RandI in Low-Carbon Energy Technologies*, EUR 28446 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-65591-3 (print),978-92-79-65592-0 (PDF), doi:10.2760/434051 (print),10.2760/447418 (online), JRC105642

Frazer-Nash Consultancy (2021), *Space Based Solar Power. De-risking the pathway to Net Zero*, settembre 2021

Fuller, A., Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (2020). Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research.

Geo week news (2017), City Model of the Future: Helsinky 3D+

GSE (2025), Energia da fonti rinnovabili in Italia nel 2023

Hexagon (2024), Digital Twin Industry Report

Huang, X., Wang, L., Ge, L., Hou, L., Du, T., Zheng, Y., & Chen, Y. (2024). "A Short-Term Power Prediction Method for Photovoltaics Based on Similar Day Clustering and Spatio-Temporal Feature Extraction". *Electronics*, *13*(17), 3536. https://doi.org/10.3390/electronics13173536

Istat (2022), Consumi energetici delle famiglie | anni 2020 e 2021

InfoCamere (2025), Start-up innovative 1° trimestre 2025. Cruscotto di indicatori statistici – Dati nazionali

InterFlex H2020 Project (2020), *Innovative grid integration of decentralized generation, storage and flexible demand*

IWG6, "SET Plan Action 6 on Energy Efficiency in Industry – Implementation Plan 2021", 7 dicembre 2021

IWG4, "SET Plan Action 4: Increase the resilience and security of the energy system – Implementation Plan 2021", ottobre 2021

I-Com (2024), Rapporto Osservatorio Innov-E 2024. *L'innovazione strada maestra per sostenibilità e transizione*

I-Com (2024), Rapporto Osservatorio ORES 2024. CONNETTERE L'ITALIA. L'innovazione del Sistema

Paese nel decennio digitale europeo, ottobre 2024

I-Com (2023), Rapporto Osservatorio Innov-E 2023. *L'innovazione energetica bussola del cambiamento*

I-Com (2022), Rapporto Osservatorio Innov-E 2022. *Energia: le ricette dell'innovazione per un menù da riscrivere*

I-Com (2021), Rapporto Osservatorio Innov-E 2021. *Il futuro dell'energia. Innovazione e sostenibilità binari della transizione*

I-Com (2020), Rapporto Osservatorio Innov-E 2020. *La ripresa sostenibile. L'innovazione energetica chiave dello sviluppo*

I-Com (2019), Rapporto Osservatorio Innov-E 2019. *Il rebus della transizione. L'innovazione energetica, chiave dello sviluppo*

I-Com (2018), Rapporto Osservatorio Innov-E 2018. *Si fa digitale. L'innovazione energetica è sempre più multidimensionale*

I-Com (2017), Rapporto Osservatorio Innov-E 2017. *L'innovazione energetica corre. Dai laboratori di ricerca alle case degli italiani*

IEA (2023), Tracking Clean Energy Progress 2023, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023, Licence: CC BY 4.0

Kamble, S.S., Gunasekaran, A., Ghadge, A., Harsh Parekh Venkatesh Mani, Amine Belhadi, Rohit Sharma (2022). Digital twin for sustainable manufacturing supply chains: Current trends, future perspectives, and an implementation framework. Technological Forecasting & Social Change, 176, 121448

Kvarnstrom Oskar, Scanziani Alessio, Kuwahata Rena, Warichet Jacques, "Grid congestion is posing challenges for energy security and transitions", IEA, 25 marzo 2025

https://www.iea.org/commentaries/grid-congestion-is-posing-challenges-for-energy-security-and-transitions

Li, Yankun. (2025). AI-Enhanced Digital Twins for Energy Efficiency and Carbon Footprint Reduction in Smart City Infrastructure. Applied and Computational Engineering. 118. 42-47. 10.54254/2755-2721/2025.20569.

LinkedIn (2024), Understanding the Green Transition Supply and Demand Dynamics

LinkedIn (2024), Global Green Skills Report 2024

McDowell J. (2025), *Space activities in 2024*, gennaio 2025

Molina Pilar Sanchez, "Spain hits first weekday of 100% renewable power on national grid", PV Magazine, 22 aprile 2025

Mylonas C., Georgoulakis T., and Foti M., "Facilitating AI and System Operator Synergy: Active Learning-Enhanced Digital Twin Architecture for Day-Ahead Load Forecasting," 2024 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST), Torino, Italy, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/SEST61601.2024.10693980

Naeini, H. K., Shomali, R., Pishahang, A., Hasanzadeh, H., Mohammadi, M., Asadi, S., ... & Lonbar, A. G. (2025), Optimizing Energy Consumption in Smart Building Using Hybrid Physics-Informed Neural Networks and Digital Twin Framework with Blockchain Security

Novaspace (2025), *Space Economy Report*, 11ª edizione

OCSE (2023), Skills Outlook 2023

OCSE (2018), PISA 2018 Database

Palazzo G. (2024), "La strada verso un sistema energetico integrato", in I-Com, "I-Com Rapporto Osservatorio Innov-E 2024. L'innovazione strada maestra per sostenibilità e transizione", luglio 2024

Palazzo G. (2023), "Cooperare per innovare. Lo Strategic Energy Technology Plan dell'UE e il ruolo delle imprese" in I-Com, "I-Com Rapporto Osservatorio Innov-E 2023. L'innovazione energetica bussola del cambiamento", luglio 2023

Radovanovic A. et al., «Carbon-Aware Computing for Datacenters», IEEE Trans. Power Syst., vol. PP, pp. 1–1, doi: 10.1109/TPWRS.2022.3173250, gennaio 2022

Rajaperumal, T.A., Columbus, C.C. (2025) Transforming the electrical grid: the role of AI in advancing smart, sustainable, and secure energy systems. *Energy Inform* 8, 51. https://doi.org/10.1186/s42162-024-00461-w

Regolamento (UE) 2024/1689 del Parlamento europeo e del Consiglio del 13 giugno 2024, Artificial Intelligence Act

RHC ETIP, "RHC-ETIP's priority topics for the Horizon Europe's Work Programme 2025"

RHC ETIP, "Coupling of Heating/Cooling and Electricity Sectors in a Renewable Energy-Driven Europe", 2022

RHC ETIP, "Deliverable 3.4 – Initial report on policy and regulatory issues relevant for research & innovation in the heating and cooling sector", febbraio 2023

Ronghui L., Jiangchuan W., Gaiping S., Muyeen S.M., Shunfu L., Fen L., (2022), "A short-term probabilistic photovoltaic power prediction method based on feature selection and improved LSTM neural network", Electric Power Systems Research, Volume 210, 108069, ISSN 0378-7796

Ruggieri G., "Il percorso delle energie rinnovabili. Stiamo già abitando il futuro", Pandora Rivista, 4 febbraio 2021

Scarafile D., Cascella D., Cascella G. L., Conte G., Serafino P., Polichetti, A. (2025). "DIRAC - Innovativo paradigma per l'ottimizzazione energetica, tramite intelligenza artificiale e IoT, degli impianti di produzione e consumo dell'energia elettrica: (fotovoltaici, cogeneratori, stazioni di ricarica veicoli elettrici, pubblica illuminazione)". QualEnergia Science. 120. 10.63111/QES-2025.1.0015

Sileo A. (2025a), Ad impossibilia nemo tenetur: non si farà in tempo a sostituire le auto in circolazione, Nuova Energia 1-2025

Sileo A. (2025b) Il 2025 sarà l'anno dell'auto elettrica?, Ispi 6 febbraio 2025

Sileo A. (2025c), Elkann e De Meo indicano gli "autodazi" sull'auto dell'Europa, Il Foglio del 7 maggio 2025

Silva, N. S. e., Castro, R., & Ferrão, P. (2025). Smart Grids in the Context of Smart Cities: A Literature Review and Gap Analysis. Energies, 18(5), 1186

Symbola-Cresme (2024), Il valore dell'abitare. La sfida della riqualificazione energetica del patrimonio edilizio italiano

Takcı Mehmet Türker, Qadrdan Meysam, Summers Jon, Gustafsson Jonas, "Data centres as a source of flexibility for power systems", Energy Reports, Volume 13, 2025, Pages 3661-3671, ISSN 2352-4847

TIME (2024), How AI Is Making Buildings More Energy-Efficient, https://time.com/7201501/ai-buildings-energy-efficiency/

Unioncamere – ANPAL, Sistema Informativo Excelsior (2024), Analisi della Domanda di Competenze legate alla Green Economy nelle Imprese, Indagine 2024

Virtual Singapore: *Singapore*'s Virtual twin.

World Economic Forum (2024), How pairing digital twin technology with AI could boost buildings' emissions reductions

World Intellectual Property Organization (2024), *Future of Transportation in Space*, ottobre 2024

World Intellectual Property Organization (2025), Mapping Innovations: Patents and the Sustainable Development Goals

World Intellectual Property Organization (2025), IP Statistic Data Center

Zhang Y., Tang H., Li H., Wang S. (2025), "Unlocking the flexibilities of data centers for smart grid services: Optimal dispatch and design of

energy storage systems under progressive loading", Energy, Volume 316, 2025, 134511, ISSN 0360-5442, https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.134511.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544225001537

Zorzoli, GB. (2024), *La guerra fa male (anche) al clima*, Staffetta Quotidiana 5 aprile 2024

Zupan, H., Herakovič, N., & Žerovnik, J. (2024). A Robust Heuristics for the Online Job Shop Scheduling Problem. *Algorithms*, *17*(12), 568. https://doi.org/10.3390/a17120568

Si evidenzia inoltre che la presente pubblicazione contiene informazioni
di carattere generale. Prima di prendere decisioni o adottare iniziative che possano incidere
sui risultati aziendali, si consiglia di rivolgersi a un consulente
per un parere professionale qualificato. L'Istituto per la Competitività
è da ritenersi non responsabile per eventuali perdite subite da chiunque utilizzi
o faccia affidamento su questa pubblicazione.

Impaginazione:
kreas.it

Media partner:

QUOTIDIANONAZIONALE
QNECONOMIA
Territori, innovazione e lavoro

Roma
Piazza dei Santi Apostoli 66 - 00187
www.i-com.it

Bruxelles
Avenue des Arts 50 - 1000
www.i-comEU.eu

info@i-com.it