CENTRO
ECONOMIA
DIGITALE

TECNOLOGIE DI FRONTIERA

ELEMENTI PER UNA STRATEGIA NAZIONALE ED EUROPEA

Rosario CERRA e Francesco CRESPI

CENTRO ECONOMIA DIGITALE

Portiamo conoscenza dove si prendono decisioni.

Il Centro Economia Digitale, promotore del presente volume, è nato nel 2017 da un'idea del suo Presidente Rosario Cerra, Chairman & CEO di I Capital, e dall'impegno diretto del Preside della Facoltà di Economia della Sapienza Università di Roma prof. Giuseppe Ciccarone, del Preside della Facoltà di Economia dell'Università di Roma Tor Vergata prof. Giovanni Tria, del Direttore del Dipartimento di Economia dell'Università Roma Tre prof.ssa Silvia Terzi e del Direttore della Luiss Business School prof. Paolo Boccardelli.

Il Centro Economia Digitale è oggi uno dei principali Think tank italiani. Una voce autorevole e indipendente sui temi dell'Economia, delle Strategie e Politiche dell'Innovazione che produce ricerche scientifiche, analisi econometriche e proposte di policy che vengono condivise con i vertici istituzionali e di Governo di Italia e Unione Europea.

I suoi sostenitori sono tra le più rilevanti aziende italiane per capacità di innovazione, Enav, Enel, Eni, Leonardo, Open Fiber, Tim e ha prodotto contributi fondamentali per l'Italia sul tema dell'innovazione tecnologica come il rapporto su "Il ruolo dell'Innovazione e dell'Alta Tecnologia in Italia nel confronto con il contesto internazionale", il "Libro Bianco sull'Economia Digitale", il position paper sulla "Sovranità Tecnologica", il rapporto "Next Generation Italia: Execution" e il recente "Crescere Insieme".
Costruire competenze, organizzazioni efficaci e istituzioni adatte all'economia digitale e sostenibile è la grande sfida del nostro tempo. Una delle finalità principali del Centro Economia Digitale è aumentare la consapevolezza della portata e della velocità della rivoluzione tecnologica, nonché dell'eterogeneità dei suoi effetti nell'ambito sociale, economico e istituzionale.

Ogni approfondimento e tutto il materiale è reperibile al seguente indirizzo web:
centroeconomiadigitale.com

Con il sostegno di:

enav enel eni I CAPITAL

LEONARDO open fiber TIM

Autori
Rosario Cerra
Francesco Crespi

Con interventi di
Roberto Cingolani
Claudio Descalzi
Giuseppe Gola
Pietro Labriola
Nicola Lanzetta
Pasqualino Monti

Hanno collaborato
Fabrizio Fusillo
Dario Guarascio
Alessandro Muscio
Francesco Quatraro
Jelena Reljic
Francesca Zecchini

Indice

Executive Summary / 5
Executive Summary - English version / 7
La sfida delle Tecnologie di Frontiera per le aziende strategiche Italiane / 9

PARTE I
Identificazione e analisi del sistema delle Tecnologie di Frontiera / 32

Introduzione / 33
Il Sistema delle Tecnologie di Frontiera / 37
Analisi delle capacità scientifiche e tecnologiche delle nazioni nel campo delle tecnologie quantistiche e dell'intelligenza artificiale / 41

PARTE II
Il ruolo delle grandi imprese nella generazione e nell'utilizzo delle Tecnologie di Frontiera / 79

Introduzione / 80
Enav / 84
Enel / 90
Eni / 103
Leonardo / 117
Open fiber / 130
Tim / 140

PARTE III
Conclusioni e proposte di Policy / 153

APPENDICE
Nota Metodologica / 163

Executive Summary

1. Le evidenze riportate nel Rapporto del Centro Economia Digitale suggeriscono che l'**Italia**, pur trovandosi in una posizione di debolezza come sistema nel suo complesso, mostra di possedere le potenzialità per accrescere la propria competitività tecnologica se sarà capace di fare leva sulla presenza sul territorio nazionale di grandi eccellenze sia nella generazione sia nell'utilizzo delle Tecnologie di Frontiera.

2. La ricerca mostra chiaramente che quando si analizzano i dati sulle **Pubblicazioni scientifiche** o i **Brevetti** per stabilire chi stia effettivamente guidando la corsa alla leadership nelle Tecnologie di Frontiera non è sufficiente considerare semplicemente la loro quantità, ma occorre cercare di tenere conto della loro diversa **qualità**.

3. Il quadro che emerge seguendo questo approccio indica come la **leadership tecnologica degli Stati Uniti** nei settori chiave delle Tecnologie Quantistiche e dell'Intelligenza Artificiale sia forte. Inoltre, mentre i progressi realizzati dalla **Cina** nell'ultimo decennio appaiono particolarmente significativi, sebbene non tali da consentirle di sopravanzare gli Stati Uniti, l'**Unione Europea** sta invece perdendo terreno in questi settori. Una tendenza che, se non invertita con urgenza, rischia di compromettere in maniera difficilmente reversibile la competitività del sistema europeo della ricerca e dell'innovazione nei confronti dei sistemi più dinamici. Ciò si traduce nella chiara necessità di accelerare ulteriormente sul fronte delle politiche industriali e dell'innovazione, sfruttando il potenziale di competenze e tecnologie di cui la UE dispone.

4. Per le **Tecnologie Quantistiche** l'analisi che si concentra sulle sole **Pubblicazioni** con il maggiore impatto scientifico, "Top 1%" per citazioni nell'ultimo decennio (2013-2022), vede al primo posto della classifica, con un margine molto significativo, gli Stati Uniti con il 47,3% degli articoli scientifici più citati aventi almeno un autore con affiliazione presso un'organizzazione americana seguiti dalla Cina (27,6%). La Germania, con il 17% stacca nettamente le altre economie UE, tra cui Francia (7,4%), Spagna (5,7%) e Italia (5,5%). Di rilievo, infine, la performance dell'Inghilterra (12,1%) e del Canada (7,7%).

5. Per le **Tecnologie Quantistiche** sono stati, inoltre, analizzati i dati sui **Brevetti** triadici, ovvero quelli registrati in almeno tre dei quattro principali uffici brevettuali a livello globale. Si tratta, quindi, di quei brevetti per cui si cerca una maggiore protezione a livello internazionale, a significare un più alto livello qualitativo (e quindi un maggiore impatto economico e tecnologico) della conoscenza che si intende proteggere. Tra questi è stato, inoltre, individuato il "Top 10%" in termini di citazioni. Secondo questo indicatore la quota degli Stati Uniti è la maggiore con il 45,7%, la seconda posizione è del Giappone con il 23,3%, seguito dall'aggregato Europeo a 27 paesi (18,4%) e dalla Cina, con una quota pari al 14,1%. Tra i paesi europei Germania, Paesi Bassi e Francia (con quote rispettivamente pari al 6%, 4,1% e 3,9%) ricoprono le prime tre posizioni, segue l'Italia con una quota pari al 2%.

6. Per l'**Intelligenza Artificiale** l'analisi realizzata esclusivamente sulle **Pubblicazioni** con il maggiore impatto scientifico nell'ultimo decennio (2013-2022) vede nuovamente al primo posto della classifica gli Stati Uniti con il 40,2% degli articoli scientifici più citati, seguiti dalla Cina (31,5%). Un dato che conferma la leadership statunitense nella ricerca scientifica quando si tiene conto della qualità in termini di impatto citazionale delle pubblicazioni. Il terzo, il quarto e il quinto posto sono occupati, rispettivamente, da Inghilterra (con il 13,8%), Germania (con l'8,9%) e Australia (con il 6,8%). Per quanto riguarda l'ordinamento interno ai paesi europei, dietro la Germania ci sono Francia (3,9%), Paesi Bassi (3,8%), Spagna (3,7%) e Italia (3,6%).

7. Per l'**Intelligenza Artificiale** guardando ai **Brevetti** triadici nel "Top 10%" in termini di citazioni ricevute, la quota degli Stati Uniti risulta essere la maggiore con il 52%. A distanza segue l'aggregato Europeo a 27 paesi con il 17,5%, seguito dal Giappone (15,3%) e dalla Cina, con una quota pari al 12,6%. Germania, Francia e Paesi Bassi (rispettivamente 7,3%, 2,8% e 2,2%) occupano le prime tre posizioni nel ranking europeo, mentre l'Italia, con una quota pari allo 0,6% segue a distanza.

8. L'analisi ha inoltre evidenziato che Stati Uniti e Cina stanno strategicamente direzionando i propri **investimenti innovativi** verso i settori delle Tecnologie Quantistiche e dell'Intelligenza Artificiale. Questo fa sì che negli anni più recenti la leadership tecnologica degli Stati Uniti in questi settori tende a rafforzarsi, in un contesto in cui la crescita in termini di produzione scientifica e brevettuale della Cina è particolarmente rilevante. Al contrario, la dinamica recente registrata nell'Unione Europea non risulta essere positiva, con un progressivo indebolimento del posizionamento europeo a livello globale.

9. Il contributo che le **grandi aziende** socie del Centro Economia Digitale forniscono nel campo delle Tecnologie di Frontiera, sia direttamente sia indirettamente, anche attraverso le interazioni con la propria filiera è particolarmente rilevante. Le informazioni raccolte nel Rapporto costituiscono un **patrimonio informativo** di grande valore, che offre utili indicazioni sulla direzione degli investimenti di frontiera delle principali aziende partecipate del Paese e sulla rilevanza delle capacità tecnologiche accumulate, e che potrà essere utilmente utilizzato per identificare i settori di forza su cui puntare, anche nella definizione delle **strategie di policy** da parte dei responsabili delle politiche pubbliche.

10. A partire dalle analisi sviluppate anche in collaborazione con le aziende socie vengono, infine, fornite alcune **proposte di policy** che riguardano in particolare: l'allargamento della scala a cui operano le filiere strategiche a livello italiano ed europeo; il potenziamento delle politiche industriali di filiera; lo sviluppo del sistema della ricerca italiano ed europeo; la disponibilità di finanziamenti adeguati per gli investimenti nelle Tecnologie di Frontiera; il potenziamento delle competenze; lo sviluppo di un sistema di governance delle Tecnologie di Frontiera.

Il **Centro Economia Digitale** continuerà a fornire il suo **contributo concreto** per rafforzare la struttura delle relazioni tra le Istituzioni, italiane ed europee, e i diversi attori dell'innovazione presenti sul territorio nazionale, stimolando le interazioni tra le grandi imprese e tra queste e gli altri elementi del sistema produttivo e dell'innovazione.

Executive Summary - English version

1. The evidence provided in the Report of the Digital Economy Center suggests that **Italy**, despite being in a weak position as a whole system, has the potential to enhance its technological competitiveness by leveraging the significant expertise existing in the country in both the generation and use of frontier technologies.

2. The research clearly demonstrates that when analyzing data on **scientific publications** or patents to determine who is truly leading the race in frontier technologies, it is not sufficient to simply consider their quantity. It is essential to try to take into account their heterogeneity in terms of different **quality**.

3. The analysis developed in this Report follows this approach and shows that the **technological leadership of the United States** in key areas such as Quantum Technologies and Artificial Intelligence is strong. Furthermore, while the progress made by **China** in the last decade appears significant, this is not enough to surpass the United States. In contrast, the **European Union** is losing ground in these sectors. This trend, if not urgently reversed, risks irreversibly compromising the competitiveness of the European research and innovation system against more dynamic systems. This clearly highlights the need to further accelerate industrial and innovation policies, tapping into the potential of capabilities and technologies available within the EU.

4. For **Quantum Technologies**, the analysis focusing on **scientific publications** with the highest impact, the "Top 1%" for citations in the last decade (2013-2022), places the United States at the top of the ranking with a significant margin, accounting for 47.3% of the most cited scientific articles with at least one author affiliated with an American organization, followed by China (27.6%). Germany stands out among other EU economies with 17%, distancing itself from France (7.4%), Spain (5.7%), and Italy (5.5%). Remarkably, England (12.1%) and Canada (7.7%) also show notable performance.

5. For **Quantum Technologies**, triadic **patent** data were also analyzed. These refer to patents registered in at least three of the four main global patent offices, a sign of higher quality (and therefore greater economic and technological impact) of the knowledge intended to be protected. Among these, the "Top 10%" in terms of citations were identified. According to this indicator, the United States has the largest share with 45.7%, followed by Japan (23.3%), the EU-27 (18.4%), and China (14.1%). Among European countries, Germany, the Netherlands, and France (with shares of 6%, 4.1%, and 3.9% respectively) occupy the top three positions, with Italy following at 2%.

6. For **Artificial Intelligence**, the analysis focused exclusively on **publications** with the highest scientific impact in the last decade (2013-2022), again ranking the United States at the top with 40.2% of the most cited scientific articles, followed by China (31.5%). This data confirms US leadership in scientific research when considering the quality in terms of citation impact of publications. The third, fourth, and fifth positions are occupied, respectively, by England (13.8%), Germany (8.9%), and Australia (6.8%). Concerning European countries, after Germany, France (3.9%), the Netherlands (3.8%), Spain (3.7%), and Italy (3.6%) follow in the internal ranking.

7. In terms of triadic **patents** in **Artificial Intelligence** within the "Top 10%" in terms of received citations, the United States holds the largest share with 52%. Following at a distance is the EU-27 with 17.5%, followed by Japan (15.3%) and China, with a share of 12.6%. Germany, France, and the Netherlands (with shares of 7.3%, 2.8%, and 2.2% respectively) occupy the top three positions in the European ranking, while Italy, with a share of 0.6%, lags behind.

8. The analysis has also highlighted that the United States and China are strategically directing their **innovative investments** toward Quantum Technologies and Artificial Intelligence sectors. This has reinforced US technological leadership in these areas in recent years, whereas China's growth in scientific and patent production is particularly significant. In contrast, the recent dynamics observed in the European Union do not appear positive, with a progressive weakening of Europe's global position.

9. The Report shows that the contribution of **major corporate** partners of the Digital Economy Center in the field of frontier technologies is particularly significant, both directly and indirectly through interactions with their supply chains. The information gathered in the Report constitutes a **valuable asset**, providing useful indications regarding the direction of the frontier investments of the country's major participated companies and the relevance of the accumulated technological capabilities. This information can be effectively utilized to identify key areas to focus on when defining **policy strategies**.

10. Based on the analyses developed in collaboration with partner companies, some **policy proposals** are provided. Specifically, these focus on: the expansion of the scale at which strategic supply chains operate at the Italian and European levels; the enhancement of supply chain based industrial policies; the development of the Italian and European research systems; the availability of adequate funding for investments in frontier technologies; the strengthening of skills; and the development of a governance system for frontier technologies.

The **Digital Economy Center** will continue to provide **concrete contributions** to strengthen the relationships between institutions, both at the Italian and European levels, and the different innovation stakeholders within the national territory, promoting interactions among large companies and between these companies and other elements of the productive and innovation systems.

LA SFIDA DELLE TECNOLOGIE DI FRONTIERA PER LE AZIENDE STRATEGICHE ITALIANE

Rosario Cerra

Fondatore e Presidente
CENTRO ECONOMIA DIGITALE

Amministratore Delegato
I CAPITAL

Tecnologie di Frontiera

Il potenziamento della Sovranità Tecnologica in Europa e in Italia attraverso adeguati investimenti in ricerca e innovazione svolge un ruolo strategico e determinante per rafforzare il posizionamento dell'economia europea e italiana nello scenario internazionale. Ed è bene ricordare che, come evidenziato nelle precedenti analisi del Centro Economia Digitale, indirizzare gli investimenti nelle Tecnologie di Frontiera non soltanto contribuisce al rafforzamento della Sovranità Tecnologica, ma determina sostanziali ricadute economiche in termini di maggiore ricchezza prodotta. Dovrebbe essere inoltre chiaro che le tecnologie digitali, in particolare, rappresentano ormai una quinta dimensione strutturale, oltre alla terra, al mare, all'aria e allo spazio, attraverso la quale vengono veicolate e concretizzate le espressioni della sovranità nazionale o sovranazionale nel caso dell'Unione Europea. E d'altra parte, come evidenziato in questo Rapporto, il digitale non è una dimensione strategica come le altre poiché non può essere vista come un dominio separato, in quanto attraversa, nel profondo, tutti gli altri. Per questo motivo le capacità sviluppate in questo ambito permettono di consolidare la propria sovranità nelle altre dimensioni.

Dopo aver partecipato alla prima ondata della rivoluzione digitale praticamente da spettatrice, o al massimo da arbitro - guidando lo sviluppo degli aspetti regolatori - nella sfida tra Stati Uniti e Cina, l'Europa deve necessariamente ritrovare l'ambizione e le capacità per ricoprire un ruolo di primo piano nella competizione tecnologica internazionale attraverso una strategia di policy più proattiva.

Politiche efficaci non possono però materializzarsi in assenza di una base di conoscenza solida che consenta al decisore pubblico, sia a livello comunitario sia a livello nazionale, di quantificare il potenziale innovativo e produttivo esistente e i "bisogni" di policy. Queste informazioni sono, infatti, essenziali per definire gli ambiti e le dimensioni degli interventi nelle filiere e nei domini tecnologici più rilevanti e di frontiera.

Attualmente il dibattito di policy a livello italiano ed europeo soffre della mancanza di un'evoluta raccolta e analisi sistematica di tali informazioni, e occorre riconoscere con chiarezza che la governance delle Tecnologie di Frontiera dovrà necessariamente riguardare anche lo sviluppo di un'articolata attività di intelligence strategica finalizzata ad acquisire una migliore comprensione dei propri vantaggi tecnologici e degli eventuali gap esistenti sulle Tecnologie di Frontiera tra Italia, l'UE, gli USA, la Cina e le altre potenze. Informazioni che dovranno riguardare anche i meccanismi attraverso i quali le potenze straniere stanno cercando di sviluppare posizioni dominanti nelle catene di approvvigionamento delle tecnologie strategiche e su come esattamente le tecnologie sensibili possano essere trasferite nelle loro strutture industriali e militari.

L'Italia e l'Unione Europea devono pertanto aumentare la propria capacità autonoma di acquisire ed elaborare le informazioni su questi processi per definire opportunamente le proprie decisioni strategiche di politica tecnologica e industriale.

L'idea alla base di questo Rapporto nasce esattamente da queste considerazioni e dalla convinzione che il Centro Economia Digitale possa fornire un contributo in tale direzione come "Think tank" in grado anche di raccogliere ed elaborare in chiave sistemica le esperienze, le analisi e le strategie poste in essere dalle principali aziende italiane socie del CED.

Il Rapporto che qui presentiamo evidenzia come nei prossimi 20 anni, assisteremo allo sviluppo convergente di diverse nuove tecnologie che rivoluzioneranno profondamente l'economia e la società. Questa straordinaria accelerazione è il risultato di una combinazione di fattori, tra cui l'interconnessione globale, il potenziamento endogeno dell'attività innovativa e la crescente domanda di soluzioni tecnologiche per affrontare le sfide del nostro tempo.

L'analisi suggerisce che siamo di fronte allo sviluppo concomitante di un vero e proprio Sistema articolato di nuove tecnologie legate allo sviluppo digitale che, messe insieme, possiedono un potenziale trasformativo di straordinaria importanza. Per questo, il ruolo, anche geostrategico, che i diversi paesi saranno in grado di ricoprire in futuro nel contesto internazionale sarà strettamente legato alla capacità di generare, avere accesso e utilizzare le tecnologie 'di frontiera' che sono state qui descritte e analizzate.

La ricerca realizzata mostra chiaramente che per stabilire chi stia effettivamente guidando la corsa alla leadership nelle Tecnologie di Frontiera e, in particolare, chi stia producendo scoperte scientifiche e innovazioni tecnologiche in grado di generare un reale impatto trasformativo sull'economia e la società non è sufficiente considerare semplicemente il numero di pubblicazioni o di brevetti ma occorre cercare di tenere conto della diversa qualità degli stessi.

Il quadro che emerge seguendo questo approccio indica come la leadership tecnologica degli Stati Uniti nei settori chiave delle Tecnologie Quantistiche e dell'Intelligenza Artificiale sia forte. Inoltre, mentre i progressi realizzati dalla Cina nell'ultimo decennio appaiono particolarmente significativi, sebbene non tali da consentirle di sopravanzare gli Stati Uniti, l'Unione Europea sta invece perdendo terreno in questi settori. Una tendenza che, se non invertita con urgenza, rischia di compromettere in maniera difficilmente reversibile la competitività del sistema europeo della ricerca e dell'innovazione nei confronti dei sistemi più dinamici. Ciò si traduce nella chiara necessità di accelerare ulteriormente sul fronte delle politiche industriali e dell'innovazione, sfruttando il potenziale di competenze e tecnologie di cui la UE dispone. In questo quadro, le evidenze riportate nel Rapporto suggeriscono che l'Italia, pur trovandosi in una posizione di debolezza come sistema nel suo complesso, possiede le potenzialità per accrescere la propria competitività tecnologica. Un potenziale che potrà esprimere appieno se sarà capace di fare leva sulle grandi eccellenze di cui dispone sia nella generazione sia nell'utilizzo delle Tecnologie di Frontiera, per una diffusione più ampia all'interno del sistema produttivo italiano delle capacità necessarie per sfruttare il potenziale della nuova ondata di tecnologie.

Come emerge dalla descrizione contenuta nel Rapporto delle attività realizzate dalle grandi aziende socie del Centro Economia Digitale nel campo delle Tecnologie di Frontiera, il contributo che queste forniscono, sia direttamente sia indirettamente, attraverso le interazioni con la propria filiera è particolarmente rilevante. Le informazioni raccolte nel Rapporto costituiscono un patrimonio informativo di grande valore, che fornisce utili indicazioni sulla direzione degli investimenti di frontiera delle principali aziende partecipate del Paese e sulla rilevanza delle capacità tecnologiche accumulate, e che potrà essere utilmente utilizzato per identificare i settori di forza su cui puntare, anche nella definizione delle strategie di policy da parte dei responsabili delle politiche pubbliche.

È in questa direzione che il Centro Economia Digitale continuerà a fornire il suo contributo concreto per rafforzare la struttura delle relazioni tra le Istituzioni, italiane ed europee, e i diversi attori dell'innovazione presenti sul territorio nazionale, stimolando le interazioni tra le grandi imprese e tra queste e gli altri elementi del sistema produttivo e dell'innovazione.

Pasqualino Monti

Amministratore Delegato
ENAV

Generazione e utilizzo delle tecnologie di frontiera

Le Tecnologie di Frontiera e le innovazioni ad alto impatto, segnano un salto tecnologico ed in alcuni casi un cambio di paradigma nei servizi e negli schemi utilizzati per la loro fornitura e sono al centro del processo di programmazione e sviluppo del Gruppo ENAV, come fornitore di servizi alla navigazione aerea. Presidiare queste tecnologie, identificando le evoluzioni dei sistemi esistenti o nuovi scenari per il loro utilizzo, permette al Gruppo di individuare possibili opportunità, contestualizzando le Tecnologie di Frontiera nel settore ATM, perseguendo quindi l'obiettivo di farsi trovare pronti alle sfide del futuro, con il coraggio e l'ambizione di guidare il cambiamento e l'innovazione di tutto il settore.

Per ENAV è di fondamentale importanza, in questo processo sperimentale, individuare, progettare, sviluppare e programmare soluzioni che aiutino il *core business* ed il miglioramento delle performance nella fornitura dei servizi, come richiesto dallo schema regolato di performance definito per tutti i "service Provider" a livello comunitario (Single European Sky regulatory framework). ENAV intende utilizzare gli strumenti messi a disposizione dalle Tecnologie di Frontiera, concentrando la ricerca sui bisogni del Gruppo e dei suoi stakeholder, per anticipare le tecnologie del futuro e rendere la frontiera dell'innovazione sempre più a portata di mano.

In un mondo regolato, normato e strutturato come quello dell'ATM, il Gruppo ENAV, con le sue società, partecipa ad associazioni, partenariati e progetti comunitari che con un approccio collaborativo (con gli altri attori che presidiano la filiera industriale) esplorano l'utilizzo e l'implementazione di queste tecnologie nel settore. Un esempio concreto di questo concetto è la *SESAR 3 Joint Undertaking*, dove una partnership tra pubblico e privato cerca di accelerare, attraverso la ricerca e l'utilizzo di Tecnologie di Frontiera, l'implementazione ed ottimizzazione del Digital European Sky.

Sin dalla creazione della prima SESAR Joint Undertaking nel 2009, ENAV ha declinato questo principio facendo coincidere le proprie esigenze operative, relative allo sviluppo delle tecnologie e dei sistemi, con i trend internazionali più importanti. In questo contesto ENAV ha testato con successo l'applicazione di tool e sistemi di frontiera all'interno delle proprie realtà operative ed ha successivamente implementato, nell'operatività di tutti i giorni, questi tool portando ai cosiddetti "airspace users" notevoli benefici in termini di riduzione dei ritardi e contribuendo contestualmente alla sostenibilità ambientale. E' il caso ad esempio dell'Arrival Manager, un tool a supporto del controllore del traffico aereo che facilita il sequenziamento degli aeromobili in avvicinamento e permette un'ottimizzazione del profilo di volo degli aeromobili con una importante riduzione dei ritardi e del consumo di carburante. La catena di valore tecnologica adottata da ENAV prevede una ottimizzazione continua dei processi arrivati ad essere implementati in linea operativa, per questo motivo il tool AMAN verrà ulteriormente migliorato utilizzando tecniche di Intelligenza artificiale che saranno in grado, sulla base di un addestramento del tool sui comportamenti adottati in specifiche porzioni di spazio aereo e in specifiche ore del giorno e periodi dell'anno, di fornire al Controllore del Traffico Aereo delle opzioni su scelte strategiche da adottare durante il proprio lavoro.

Seguendo sempre questo approccio che tende a valorizzare una evoluzione dei sistemi e delle tecnologie utilizzate da ENAV, che parta dai processi esistenti per innovare tramite nuovi strumenti e tecnologie messe a disposizione dal mondo della ricerca e dell'innovazione, nel giugno del 2022 abbiamo inaugurato, presso l'aeroporto di Brindisi, la prima torre di controllo gestita da remoto in Italia. Grazie ad un mix di sistemi hardware e software all'avanguardia, questa torre "digitale" consente ai controllori del traffico aereo di gestire tutte le operazioni di decollo, atterraggio e movimentazione al suolo da un cosiddetto Remote Tower Module (RTM) che può essere posizionato anche a molti chilometri di distanza dall'aeroporto.

Il tema delle Torri Remote è un ottimo esempio dell'approccio che ENAV negli anni ha mantenuto per le Tecnologie di Frontiera. La prima attività di sperimentazione, infatti, è stata svolta da ENAV nel 2016, con le tecnologie che in quel momento storico erano ben oltre lo stato dell'arte dei sistemi e degli apparati disponibili sul mercato. Nello specifico, ENAV si è occupata dello scouting a livello globale dei partner, con i prototipi che meglio si adattavano alle esigenze operative manifestate dal proprio personale e si è occupata in prima persona di tutte le attività di integrazione necessarie alla materializzazione del "dimostratore" finale. In perfetta analogia le torri digitali, oggi in corso di deployment su scala nazionale, saranno a loro volta soggette ad un processo di evoluzione anch'esso basato sulle Tecnologie di Frontiera oggi in corso di sperimentazione, come la realtà aumentata o la rappresentazione multipla, real-time, del traffico di più aeroporti su un'unica posizione operativa (Multiple Remote Tower).

Tecnologie di Frontiera come la realtà aumentata trovano ampia applicazione in un ambito come quello del controllo del traffico aereo, che richiede l'implementazione di diverse "safety nets" e sistemi di sicurezza automatizzati in tutti gli ambienti popolati da aeromobili. Primo fra questi l'ambiente aeroportuale, all'interno del quale oggi la realtà aumentata permette di rappresentare, in maniera fedele, anche se a livello ancora sperimentale, ogni tipo di condizione meteo o di casistica operativa conosciuta.

Per alcune scelte strategiche, legate soprattutto alla modalità di erogazione dei servizi del Gruppo ENAV ed alla necessità di definire tool a supporto del miglioramento delle performance operative nelle Torri di Controllo e nei Centri di Controllo d'Area, si è concentrato lo sforzo nel presidio di alcuni macro-trend tecnologici, come: *Intelligenza Artificiale, Industry 4.0 e Robotic Process Automation.* In queste tre macroaree sono attive diverse attività sperimentali che vanno incontro al soddisfacimento delle esigenze operative identificate. Questo approccio sta permettendo al Gruppo ENAV di accrescere il know-

how interno, toccare con mano l'applicazione pratica sul campo di strumenti innovativi e comprendere gli attuali limiti delle tecnologie. Nello specifico, abbiamo creato algoritmi e modelli di *anomaly detection* per approcciare il paradigma della manutenzione predittiva, il *machine learning* legato al riconoscimento di determinati fenomeni atmosferici tramite sistemi video e, ancora, modelli di programmazione del linguaggio naturale (Natural Language Processing) di supporto all'operatività aziendale, utilizzo di AI e ML per la detezione e la tracciabilità di oggetti e mezzi in movimento da uno streaming video, nonché piccole applicazioni che supportano il lavoro e la quotidianità aziendale tramite strumenti di *Robotic Process Automation*. Anche la Realtà Aumentata ha dimostrato delle potenzialità promettenti, calata in un ambiente di Torre di Controllo, dove tramite diverse sperimentazioni i controllori del traffico aereo hanno avuto modo di provare la "mixed reality" nell'ambiente di lavoro.

A conferma di quanto sia importante questa attività di presidio delle Tecnologie di Frontiera e con l'obiettivo di produrre anche internamente prodotti immediatamente utilizzabili nel proprio core business, ENAV ha costituito il suo Innovation Lab, acquisendo nuove competenze di data science ed esperti di dominio, per accrescere anche le capacità di analisi e sviluppo su queste attività. La nuova struttura Innovation Lab, con la forte collaborazione e il supporto che caratterizza le colleghe e i colleghi di tutto il Gruppo Enav, cerca di stimolare la creatività dei colleghi, sfruttando nuove metodologie di lavoro collaborativo e utilizzando queste "tecnologie emergenti - di frontiera". Tutto questo in partnership con la struttura di Open Innovation, per una contaminazione continua con l'esterno, attraverso la collaborazione costruttiva con centri di ricerca, PMI innovative e aziende di settore.

In questo processo di monitoraggio e utilizzo di nuove tecnologie è di vitale importanza creare una "cultura dell'innovazione" in azienda, dar vita ad un ambiente fertile che favorisca e incoraggi continui spunti, lo sviluppo e l'implementazione di nuove idee, processi, prodotti o servizi. Una cultura dell'innovazione ben sviluppata è essenziale per mantenere la rilevanza e la competitività nel mercato in continua evoluzione.

Inoltre, per un Gruppo come ENAV, dove ci sono società che operano in prima linea nello sviluppo di prodotti e servizi commerciali nel settore della sicurezza ed efficienza delle operazioni in volo, occorre comprendere e saper adottare adeguati meccanismi di valorizzazione industriale o commerciale delle soluzioni tecnologiche provenienti dall'ecosistema di innovazione, con l'obbiettivo di promuovere un'innovazione strutturata, sostenibile e resiliente, che non si riduca alle sole fasi iniziali di ricerca e sviluppo o di sperimentazione ma che tenda all'evoluzione della stessa sia in termini industriali che commerciali.

Come Gruppo ENAV crediamo da sempre nell'innovazione e nel progresso tecnologico quali elementi fondanti per disegnare il cielo del futuro.

Nicola Lanzetta

Direttore Italia
ENEL

Le reti, sistema nervoso dell'assetto energetico. Investimenti, progetti e tecnologie per un'infrastruttura moderna e resiliente

Dare energia alla decarbonizzazione: il quadro europeo

L'era digitale e gli straordinari progressi della tecnologia hanno determinato cambiamenti sostanziali nei diversi ambiti del nostro vivere sociale, dalle relazioni lavorative a quelle interpersonali, dalla comunicazione alla fruizione dei beni di consumo, ai trasporti e alla mobilità. Tra gli elementi essenziali di questa dinamica in continua evoluzione, permeata dalla digitalizzazione e dall'innovazione tecnologica e dove ognuno di noi è chiamato a mettere in gioco la capacità di mettersi in contatto con gli altri, si distingue un elemento imprescindibile che funge al contempo da fattore abilitante e da perpetuo propulsore di innovazione: la capacità di assicurare la continuità di servizi fondamentali in maniera accessibile e sicura, in particolare in una fase di grandi cambiamenti, mettendo in connessione persone, beni, infrastrutture, dati e informazioni.

Un compito arduo, a maggior ragione se chi ha l'onere e l'onore di assolverlo si occupa di produzione, distribuzione e fornitura di un bene essenziale qual è l'energia e dei servizi ad essa associati.

Per il Gruppo Enel si tratta al contempo di una responsabilità e di un privilegio, il cui adempimento significa non solo lavorare ogni giorno efficacemente per portare nelle case, negli uffici e nelle industrie degli italiani tutta l'energia di cui hanno bisogno, ma anche e soprattutto farla viaggiare velocemente a bordo di un'infrastruttura affidabile, capillare e resiliente. Una partita che si gioca sui binari dell'innovazione, una sfida complessa non solo per Enel, ma soprattutto per l'Italia, nel suo complesso che ha la necessità di fare affidamento su una rete di distribuzione all'altezza della sua potenza economica e del suo percorso di consolidamento dell'indipendenza energetica.

Si tratta senz'altro di una sfida che possiamo vincere, a condizione che venga giocata, oltre che sul piano nazionale, anche e soprattutto su quello europeo: perché se italiana ed europea è l'esigenza di costruire un modello produttivo in cui innovazione, ricerca tecnologica e diversificazione degli approvvigionamenti rendano l'energia un bene sempre più accessibile, allo stesso modo italiano ed europeo devono essere l'impianto normativo ed il contesto istituzionale che di questo fondamentale passaggio costituiscono la cornice ed il quadro di riferimento.

È esattamente in questo contesto, basato sul doppio binario italiano ed europeo, che si inseriscono le linee strategiche contenute nel Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC), lo strumento attraverso il quale l'Italia, al pari degli altri Stati membri dell'Unione Europea, ha delineato le misure volte al raggiungimento degli obiettivi 2030 legati alle politiche energetiche e di mitigazione climatica assunti a livello comunitario ed internazionale.

A luglio 2023, il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica ha inviato a Bruxelles una proposta di aggiornamento del PNIEC - la cui approvazione definitiva è attesa entro giugno del 2024 - il cui obiettivo complessivo di copertura di consumi energetici da fonti rinnovabili al 2030 sale al 40,5%, vale a dire 10,5 punti percentuali in più rispetto alla precedente versione del Piano. Nello specifico, le nuove percentuali proposte di copertura da fonti rinnovabili sono il 65% nel settore elettrico, 37% nel riscaldamento e raffreddamento, 31% nei trasporti e 42% di idrogeno verde sul totale dell'idrogeno impiegato a livello industriale.

Le reti, chiave di volta della transizione energetica: smart grids e resilienza

Obiettivi ambiziosi ma realistici, la cui realizzazione richiede un notevole impegno anzitutto in chiave nazionale. L'orientamento del Gruppo Enel, che è un approccio strategico e al contempo un *modus operandi* concreto e misurabile, è quello di puntare con decisione sull'innovazione e sul continuo potenziamento del primo e più rilevante fattore abilitante della transizione energetica: la rete.

Quella italiana è già oggi una delle reti più all'avanguardia ed interconnesse a livello internazionale, come testimoniano i suoi numeri: il Gruppo Enel gestisce più di 1,2 milioni di chilometri di rete (pari a circa 3 volte la distanza media Terra-Luna), circa 450mila cabine secondarie e 2.500 fra cabine primarie e centri satellite. Dei 31,7 milioni di utenti finali complessivi, e di contatori attivi, più di 30 milioni di utenti sono già dotati di open meter, il contatore elettronico di ultima generazione.

Allo stato attuale, la nostra rete accoglie già 1,4 milioni di impianti di generazione distribuita, per un totale di oltre 30 GW. Enel si è posta un obiettivo ancora più ambizioso: aumentare ulteriormente la generazione distribuita. Sappiamo di poter accogliere ancora quasi 40 GW di rinnovabili e, nella consapevolezza della dimensione di crescita e di evoluzione che le energie rinnovabili avranno nei prossimi anni, investiremo ulteriormente per incrementare ancora di più la *hosting capacity* della rete, ossia la capacità dell'infrastruttura di accogliere energia prodotta da nuovi impianti rinnovabili.

Anche in questo caso, del resto, i numeri sono eloquenti e dimostrano con chiarezza sia lo stato attuale delle fonti rinnovabili che le prospettive di una loro ulteriore crescita: solo durante il 2023 sono già stati installati in Italia 3,5 GW di nuove rinnovabili. Come termine di paragone, questo numero è superiore al volume di installazioni di impianti rinnovabili registrato in tutto il 2022 (3 GW) ed è pari a quasi 3 volte il valore dei GW installati nel 2021. Andando ancora più nello specifico, occorre registrare che nei primi 7 mesi del 2023 gli allacci alla rete di nuovi impianti sulla sola rete di distribuzione sono addirittura triplicati rispetto allo stesso periodo del 2022. La miglior testimonianza del fatto che la transizione energetica non è solo una felice espressione, ma un processo di trasformazione socio-economica del Paese già in corso, e da tempo.

Proprio a testimonianza della centralità delle infrastrutture energetiche, alle reti andrà

gran parte delle risorse aggiudicatesi da Enel all'interno del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Su 3,8 miliardi complessivi, infatti, ben 3,5 miliardi si riferiscono alle smart grids e alla resilienza dell'infrastruttura, e 1,8 miliardi dei 3,5 miliardi andranno al Mezzogiorno. Ancora in tema *smart grids*, sempre mirando all'incremento della Hosting Capacity e alla digitalizzazione delle reti di distribuzione, Enel ha presentato ulteriori progetti all'interno dell'Investimento 1 - Reti del REPowerEU, il capitolo aggiuntivo del PNRR presentato dal Governo.

Ma che cosa si intende esattamente per *smart grids* e resilienza *della rete*, e soprattutto come e perché la decisione di investire con convinzione su questi due ambiti ha un impatto positivo sulla vita quotidiana di tutti noi?

Puntare sulle *smart grids*, le reti intelligenti, significa in sostanza rendere più efficiente la distribuzione dell'energia elettrica, che oggi è elemento abilitatore di un modello di generazione fortemente decentralizzato e caratterizzato dalla presenza di numerosi impianti rinnovabili rispetto al sistema di generazione a cui storicamente siamo stati abituati in cui la produzione di energia era invece concentrata in poche grandi centrali .

È importante notare che quando si parla di miglioramento, innovazione ed efficientamento dell'infrastruttura energetica, alcuni aspetti fondamentali devono essere presi in considerazione.

In questa ottica, uno degli elementi centrali è certamente rappresentato dalla *hosting capacity*, la capacità della rete di accogliere energia da fonte rinnovabile generata da un numero sempre maggiore di nuovi impianti, e che segue una logica, quella della generazione distribuita, già ben presente nel nostro Paese, come dimostrano 1,4 milioni di *prosumers* (cioè contemporaneamente produttori e consumatori di energia) attivi sul territorio italiano.

Un altro aspetto cruciale ai fini del potenziamento delle infrastrutture energetiche è il rafforzamento della resilienza delle reti. Incrementare la resilienza, soprattutto in considerazione della presenza sempre più frequente di eventi meteorologici estremi, significa investire nella salvaguardia dell'infrastruttura energetica, rendendola sempre più flessibile e facilitando il suo ripristino in caso di forte stress atmosferico. Si tratta di un tema di stretta attualità, se si considera che nel 2022 i fenomeni meteo estremi sono aumentati di quasi il 20% rispetto alla media degli ultimi 10 anni.

Generazione distribuita ed incremento dell'energia generata da fonti rinnovabili sono solo due degli elementi imprescindibili per accelerare il processo di elettrificazione, ma ormai è chiaro che accanto ad essi giocano un ruolo chiave le reti, che sono sempre più digitali ed evolute, e che garantiscono al contempo il trasporto dell'energia elettrica, l'affidamento sulla sua costante fruibilità nei momenti di picco (in eccesso o in sottrazione) e la sicurezza sia energetica che degli operatori che ogni giorno lavorano per portare l'energia nelle case di tutti noi.

Verso le infrastrutture del futuro: digitalizzazione, innovazione e sostenibilità

Il crescente livello di digitalizzazione delle infrastrutture energetiche, abbinato ai forti progressi tecnologici nelle capacità di calcolo e nella comunicazione in tempo reale, è dunque al centro della trasformazione del modello operativo globale delle reti. La digitalizzazione avanzata della rete favorisce lo sviluppo della generazione di energia proveniente da fonti rinnovabili, e questo ci ha spinto a definire un obiettivo ancora più ambizioso: fare in modo che l'80% dei nostri clienti in tutto il mondo sia servito da *smart meter* entro il 2025, nell'ambito della progressiva digitalizzazione di tutta l'infrastruttura energetica e delle operazioni sul campo.

Rendere le reti elettriche delle piattaforme inclusive e partecipative senza produrre impatti negativi in termini di funzionalità significa innanzitutto irrobustire le reti elettriche, curando al contempo la loro sostenibilità e l'integrazione con il territorio.

Ciò non può prescindere dall'applicazione dei più avanzati principi dell'economia circolare che valorizzino il riutilizzo di componenti utilizzati come strumenti per la realizzazione di infrastrutture sempre più rispettose dell'ambiente e del territorio, e sempre più efficienti e avanzate. A questo deve necessariamente affiancarsi l'impegno verso una ricerca tecnologica costante, in grado di rendere possibile il raggiungimento di questi obiettivi grazie all'adozione di soluzioni innovative. In questo contesto, spiccano i software quantistici edge *computing* che digitalizzano e rendono virtuali i componenti fisici delle sottostazioni secondarie che trasformano l'alta tensione in media tensione. L'utilizzo di software quantistici consente di poter lavorare su un "gemello digitale" e di ridurre i costi relativi all'installazione, formazione, funzionamento e manutenzione della rete, e consente inoltre di aumentarne l'affidabilità. Il modello di digitalizzazione avanzata dell'infrastruttura energetica, il cosiddetto Network Digital Twin, è stato riconosciuto dal World Economic Forum di Davos come una delle più importanti innovazioni del settore energetico nella decade precedente.

L'innovazione delle reti di distribuzione elettrica si trova oggi dinanzi ad un nuovo scenario di riferimento: dopo la sfida vinta della digitalizzazione volta alla misura dei consumi attraverso lo smart meter, il telecontrollo e l'automazione diffusa, è iniziata l'era dell'intelligenza distribuita, che permette di ideare e realizzare nuove soluzioni adatte a governare la flessibilità e, al contempo gestire l'enorme quantità di dati generati da ogni componente della rete, oltre che da ogni impianto di generazione distribuita.

Tecnologia, digitalizzazione e innovazione sono fondamentali per la creazione di valore condiviso, solo se l'approccio adottato per trasformarli prima in investimenti e successivamente in opere tangibili viene improntato all'apertura verso le idee e all'apporto di creatività anche dall'esterno. In tale ottica, uno degli strumenti che Enel ha adottato per favorire un *modus operandi* realmente partecipativo sono le *challenges*, concorsi aperti a contributi provenienti dal mondo dell'ingegneria, del design industriale e accademico finalizzati all'individuazione di proposte e soluzioni innovative che contribuiscano a risolvere le sfide più urgenti e complesse relative alla rete.

È questo il modo grazie al quale stiamo riprogettando in senso sostenibile e innovativo ogni componente della rete elettrica: da cabine primarie dotate di pannelli solari sul tetto, al pavimento che permette la penetrazione di acqua piovana ed il ripristino vegetale con specie autoctone - il progetto New Energies, a cabine secondarie dal design innovativo, capacità computazionale decentralizzata e trasformatori più sostenibili - il progetto Enel Box, passando per la realizzazione di trasformatori che impiegano l'estere naturale come isolante al posto del tradizionale olio minerale (misura che consente di ridurre le emissioni di CO_2 e di beneficiare della maggiore resistenza al fuoco dell'estere rispetto all'olio minerale), il progetto realizzato da Enel Grids e Hitachi Energy.

Proprio come nel corpo umano il sistema nervoso connette le diverse e complesse parti dell'organismo, le infrastrutture e le reti costituiscono per l'Italia l'insieme di snodi e collegamenti strategici che, creando ponti di comunicazione sempre più agili ed affidabili, avvicinano le persone e contribuiscono al progresso del Paese. Modernizzare le reti è possibile, realizzarlo attraverso il felice connubio di sostenibilità, innovazione e tecnologia è fondamentale.

Claudio Descalzi

Amministratore Delegato
ENI

Il ruolo della tecnologia per Eni

La tecnologia è un elemento centrale nella strategia di Eni per rispondere alla sfida della transizione energetica: essa costituisce un driver essenziale per la trasformazione, avviata ormai da molti anni, dei nostri business e per la diversificazione del nostro portafoglio di soluzioni con lo scopo di assicurare la decarbonizzazione delle nostre attività, oltreché dei prodotti e servizi che forniamo ai nostri clienti.

La tecnologia, infatti, consente un accesso efficiente a nuove risorse energetiche, migliora l'utilizzo di quelle esistenti e riduce nel complesso il nostro impatto sull'ambiente: per questo, guidati dall'obiettivo della neutralità carbonica e dal paradigma della circolarità, le attività di ricerca e sviluppo e l'innovazione tecnologica contribuiscono in modo sostanziale al nostro impegno per una transizione equa, della quale possano beneficiare tutte le diverse geografie e contesti sociali nei quali ci troviamo ad operare.

Per farlo, con approccio integrato, facciamo leva, da un lato, su capacità, professionalità, competenze e strumenti digitali interni, e dall'altro, su un articolato sistema di collaborazioni con l'esterno: dialogando con le migliori realtà nazionali ed internazionali della ricerca e dell'imprenditoria più avanzata, Eni vive da protagonista le complessità del periodo storico che stiamo vivendo.

Le sfide da affrontare e l'approccio necessario

È sempre più pressante la necessità di cambiare il nostro modo di produrre beni e servizi, inclusi quelli energetici, per traguardare gli obiettivi di contenimento del riscaldamento globale in linea con gli accordi di Parigi. Dobbiamo essere, però, in grado di conciliare l'esigenza di garantire energia sempre più decarbonizzata, con quella della sua disponibilità a costi sostenibili: ne va della competitività di interi comparti produttivi, sui quali poggiano il nostro modello di consumo e il nostro sistema economico, che deve pertanto essere salvaguardata.

Noi crediamo che occorra impegnarsi in queste sfide con una mentalità aperta, scientifica, pragmatica: siamo consci del fatto che il sistema non può essere trasformato in modo sostanziale da un anno all'altro, e nemmeno da un decennio all'altro. Né, del resto, possiamo pensare di adottare un'unica soluzione per affrontare la transizione energetica: non lo riteniamo possibile, né efficace. Al contrario, dobbiamo disporre di un portafoglio tecnologico che, in modo addizionale, aumenti le soluzioni disponibili per la decarbonizzazione, da utilizzare tenendo conto del loro diverso grado di maturità e lavorando, quindi, su orizzonti temporali di breve, medio e lungo termine.

Le Tecnologie di Frontiera, un fattore potenzialmente determinante per la transizione energetica e la crescita del Paese

Il tema di questo Rapporto ci fornisce una preziosa occasione per parlare di alcune tecnologie caratterizzate da un potenziale di incisività che - se "industrializzato" con tempistiche compatibili all'urgenza dell'evoluzione richiesta al sistema energetico - potranno non soltanto contribuire alla realizzazione del successo della strategia di Eni, ma, soprattutto, fornire un'occasione di sviluppo unica per il nostro Paese, le sue aziende, le loro eccellenze. Alcune tecnologie "di frontiera", in particolare, possono imprimere una nuova direzione alla transizione, soddisfacendo condizioni essenziali quali disponibilità di energia a basso costo, l'efficienza, la capacità di penetrazione e la resilienza.

Robotica per la CCUS

Per interi settori industriali, i cosiddetti "hard to abate", la fonte fossile, a quanto è ipotizzabile oggi, non potrà essere sostituita dall'elettrificazione tramite rinnovabili e andrà quindi mantenuta e gestita nel modo migliore, neutralizzandone le emissioni associate: le energie rinnovabili, sebbene destinate a una continua crescita, non potranno costituire l'ossatura di sistemi energetici con profili di carico sempre più complessi e difficili da prevedere.

Le più importanti organizzazioni internazionali – IEA, IPCC e IRENA per citarne alcune – includono le tecnologie per la cattura, lo stoccaggio e l'eventuale riutilizzo dell'anidride carbonica prodotta dalle fonti fossili (Carbon Capture, Utilization and Storage - CCUS) nel mix di soluzioni necessarie a raggiungere la neutralità carbonica al 2050.
Eni investe in ricerca e innovazione lungo tutta la filiera della CCUS: la nostra esperienza nel settore minerario e le attività di ricerca sono fondamentali per lo sviluppo dei progetti in questo ambito, perché grazie alle nuove tecnologie si riuscirà ad aumentare progressivamente la competitività di questa filiera.

Eni intende fare leva sulle proprie competenze per riconvertire, nella massima sicurezza e con tecnologie mature e consolidate, parte dei propri giacimenti esauriti e connesse infrastrutture esistenti da dedicare alla cattura, al trasporto e allo stoccaggio della CO_2. Anche con il supporto delle nostre capacità di analisi e modellizzazione del sottosuolo (tramite il supercalcolatore HPC5), siamo in grado di riutilizzare parte dei nostri asset per creare hub industriali di "aziende emettitrici", dedicati alla cattura, al trasporto e allo stoccaggio della CO_2. Si tratta di un processo maturo, la cui sicurezza è ulteriormente accresciuta e garantita dall'ausilio di sofisticate tecnologie di monitoraggio che stiamo già applicando.

Per una gestione attenta, puntuale e di lungo termine del giacimento, adottiamo la Tecnologia di Frontiera della robotica: Clean Sea, un AUV (Autonomous Underwater Vehicle) che si avvale di un'innovativa tecnologia robotica sottomarina realizzata per eseguire, anche senza collegamento con la superficie, operazioni di ispezione di impianti offshore e per il monitoraggio dello stato delle acque marine. In quest'ultima applicazione, Clean Sea, assieme ad altri sistemi di droni aerei che stiamo sviluppando, potrà concorrere alle attività di sorveglianza quotidiana dell'ambiente marino circostante e sovrastante i siti di stoccaggio offshore della CO_2, integrando altri sistemi di monitoraggio statici sul fondale marino e negli snodi del sistema di compressione e iniezione del gas da immagazzinare in giacimento.

I nostri team multidisciplinari stanno sviluppando soluzioni robotizzate specifiche anche per ambienti onshore, tramite sensori particolarmente sofisticati e la creazione di avanzati algoritmi di interpretazione delle misure, in grado di rilevare eventuali anomalie nella concentrazione di CO_2 rispetto alla baseline atmosferica locale.

La tecnologia, inclusa la robotica, assieme alla necessaria volontà politica e ad adeguati e stabili sostegni di policy che la CCUS merita, potrà consentire al nostro Paese lo sviluppo di una filiera della CO_2, cosicché interi settori industriali possano venire integrati negli sforzi generali di decarbonizzazione delle nostre economie.

La fusione a confinamento magnetico

La necessità di sviluppare nuove fonti di energia a zero emissioni sostiene la nostra visione e il nostro impegno in una Tecnologia di Frontiera come la fusione a confinamento magnetico: una volta portata a livello industriale, essa potrà aprire uno scenario inedito garantendo una fornitura estesa di energia pulita, sicura e sostenibile e cambiando radicalmente il mondo dell'energia per come lo conosciamo oggi.

Eni è stata la prima società energetica a credere e investire in questa tecnologia, la quale ha visto negli ultimi anni un crescente interesse, un moltiplicarsi di soggetti attivi e un afflusso di capitali privati paragonabile per molti versi a quanto sta accadendo solo nell'industria spaziale.

La fusione potrà contribuire concretamente alla transizione energetica, fornendo la continuità necessaria a sostenere il crescente contributo delle rinnovabili intermittenti e offrendo anche un buon potenziale di integrazione nelle reti del futuro. Si tratta di studiare, progettare e realizzare macchine in grado di gestire reazioni fisiche simili a quelle che avvengono nel cuore delle stelle, un traguardo tecnologico a cui tendono le più grandi eccellenze mondiali nella ricerca in ambito energetico.

Consapevoli dell'importanza strategica di far parte di questa sfida, partecipiamo quindi allo sviluppo dei principali progetti di ricerca in questo ambito, sia italiani che internazionali.

Dal 2018 Eni è azionista strategico di Commonwealth Fusion Systems (CFS), la società spin-out del MIT di Boston che si è data l'obiettivo di realizzare, intorno alla metà di questo decennio, una prima macchina, denominata SPARC, in grado di dimostrare la possibilità di produrre più energia di quella necessaria per avviare e sostenere il processo di fusione.

Grazie alla realizzazione di magneti superconduttori innovativi utilizzati per il confinamento del plasma da fusione, la cui efficacia è stata dimostrata nel 2021, SPARC, che è attualmente in corso di assemblaggio nel sito di CFS a Devens, vicino a Boston, sarà una tappa tecnologica fondamentale per aprire la strada alla realizzazione di ARC, il prototipo di centrale in grado di fornire energia alla rete previsto per i primi anni del prossimo decennio.

La partecipazione in CFS rientra in un più ampio programma di sviluppo dell'energia da fusione, che prevede anche la collaborazione con ENEA e con le principali università italiane all'interno del progetto DTT (Divertor Tokamak Test facility) a Frascati, con il Plasma Science and Fusion Center del MIT nel programma LIFT (Laboratory for Innovation in Fusion Technologies), con numerose università italiane su diverse linee di ricerca e con il CNR, con il quale è stato creato a Gela un centro di ricerca congiunto proprio sull'energia da fusione.

La fusione a confinamento magnetico è una delle Tecnologie di Frontiera potenzialmente più rilevanti per il nostro futuro; Lavorare quindi per contribuire a portarla dal dominio della scienza sperimentale a quello del suo utilizzo industriale rappresenta una sfida da affrontare prontamente, perché ancora molti sono i nodi da affrontare e risolvere, ma il premio che si intravede all'orizzonte è di portata tale da sostenere l'impegno e l'entusiasmo di tutte le persone Eni coinvolte.

La fusione è inoltre particolarmente rilevante in termini di ricadute sulle filiere tecnologiche nazionali: oltre alle riconosciute eccel-

lenze accademiche che l'Italia può vantare sul tema, esistono realtà industriali, anche di medio-piccole dimensioni, che spiccano nel panorama internazionale, spaziando dai materiali avanzati agli apparati dell'elettronica di potenza, ai servizi specialistici.

Eni, dunque, è in prima linea per mantenere questo primato internazionale e conservare la competitività delle realtà italiane.

Il Quantum computing

La fisica quantistica è sempre stata percepita come un territorio ancora relegato al puro ambito accademico e della ricerca teorica. Le straordinarie, contro-intuitive e quasi metafisiche proprietà della materia e delle forze in azione su una scala dimensionale sub-atomica hanno da sempre collocato questa disciplina su un piano troppo distante da quello della quotidianità, facendone materia di studio ad appannaggio di pochi e rendendo quasi velleitario qualsiasi percorso che ne ricercasse ricadute pratiche ed opportunità di applicazione. Tuttavia, già nel corso degli anni '90, lo sviluppo di algoritmi quantistici estremamente innovativi, in grado potenzialmente di risolvere problemi con velocità ed efficienza computazionale fino ad allora impensabili, ha generato un potente stimolo a costruire macchine che in prospettiva potrebbero trasformare interi settori economici e la nostra stessa realtà quotidiana.

Oggi, come nel caso della fusione, per fare in modo che le potenzialità del quantum computing si dispieghino e possano trovare applicazioni pratiche capaci di incidere effettivamente sulla realtà, si dovranno superare sfide di natura essenzialmente tecnologica. Occorrerà, ad esempio, realizzare calcolatori quantistici sufficientemente stabili, potenti e possibilmente "industrializzabili", servirà modularità nelle componenti di base e costruire "stack" software quanto più possibile standardizzati.
In analogia alla scelta operata nel caso della fusione, Eni è stata una delle prime grandi società a credere nel quantum computing, definendo una strategia che potrà portare nel prossimo futuro ad ulteriori investimenti, accordi e opportunità di collaborazione sia con le più innovative aziende e start-up, sia con il mondo della ricerca.

Il quantum computing promette di consentire passi in avanti per il mondo dell'energia e della transizione verso l'elettrificazione e la decarbonizzazione, con sviluppi che facciamo ancora fatica a definire oggi ma che valutiamo come potenzialmente dirompenti. Ad esempio, esso potrà essere una risorsa essenziale per gestire l'elevata volatilità e complessità dei sistemi energetici, oppure essere un "booster" per le applicazioni di Intelligenza Artificiale.
Si tratta di applicazioni di tale tecnologia, compresi possibili nuovi modelli di business da essa abilitati, che possiamo intravvedere solo costruendo quotidianamente esperienza e conoscenza anche al nostro interno.

Lavorare su questi temi si sta rivelando un'eccezionale occasione di crescita e di soddisfazione per le nostre persone, grazie al costante dialogo con controparti di grande valore e alla possibilità di lavorare su una tecnologia dal carattere pionieristico.

Le Tecnologie di Frontiera come punta di diamante di un'innovazione sostenibile

Le Tecnologie di Frontiera citate, e che saranno ulteriormente approfondite nel seguito di questo Rapporto, vogliono essere anche un esempio della concretezza del nostro approccio alla ricerca, al perseguimento dell'innovazione e alla sua centralità nel nostro percorso strategico di trasformazione.

Ogni giorno, nei nostri laboratori, nei centri congiunti che abbiamo stabilito con molte università, nel continuo dialogo con le migliori realtà esterne, l'obiettivo che ci guida è quello di rendere i processi più efficienti e sostenibili, creando prodotti o servizi che contribuiscano a migliorare l'impatto sulle comunità e sui mercati nei quali operiamo.

L'impegno nello sviluppo di Tecnologie di Frontiera è la punta di diamante di questa focalizzazione sulla ricerca e sviluppo che rappresenta un investimento chiave per Eni e una delle principali leve del suo modello di business.

Roberto Cingolani

Amministratore Delegato
LEONARDO

La sfida delle Tecnologie di Frontiera per le aziende strategiche italiane

La cronaca economica rende ogni giorno evidente che le grandi aziende di quest'epoca di rapida evoluzione tecnologica, sociale e geostrategica sono quelle che sono in grado di sfruttare a vantaggio del proprio business le nuove tecnologie e di restare al passo delle evoluzioni dirompenti o, meglio ancora, cavalcarle e guidarle per il proprio settore.

Operare nell'Aerospazio Difesa e Sicurezza (AD&S) significa, in questo senso, essere un "campione", poiché l'evoluzione tecnologica è connaturata con il DNA del settore e Leonardo ne è un chiaro esempio con l'attenzione e le risorse che dedica alla ricerca, allo sviluppo, all'innovazione ed alla realizzazione di nuovi prodotti e servizi. Significa però anche essere sottoposto a "sfide" continue poiché l'ambito delle tecnologie dirompenti offre sempre nuove opportunità per creare nuove soluzioni a vecchi problemi, talora con risultati e vantaggi inattesi.

I nuovi concorrenti di Leonardo non sono quindi solo le industrie convenzionali dell'AD&S, ma anche le industrie spaziali, le industrie dei "dati" e le aziende di produzione digitale. Per rimanere competitiva Leonardo deve quindi sia garantire continuità ai core business oggi forti (velivoli, elicotteri, elettronica) che sono di primario interesse per la difesa convenzionale, sia aprirsi al più presto ai settori emergenti che consentono di giocare un ruolo significativo negli scenari internazionali.

Un punto di forza per un'azienda del settore AD&S è infatti quello di disporre di tecnologie e soluzioni tali da potersi affermare come risorsa strategica nelle alleanze globali, atlantiche ed europee (basti pensare al Global Combat Air Program – GCAP con Giappone e Regno Unito, all'Elettronica per la Difesa con Regno Unito e Germania, nonché ai grandi programmi NATO). Ma il ruolo e la percezione internazionale dell'azienda devono crescere ulteriormente, con un'attenzione crescente ai mercati inesplorati, in linea con le best practices internazionali.

Leonardo ha quindi l'obiettivo di garantire la leadership tecnologica in ambiti selezionati, facendo leva su innovazione e competitività sui prodotti strategici e rilanciando l'innovazione tecnologica attraverso molteplici iniziative tra cui, ad esempio:

- il rafforzamento dei prodotti core, attraverso una massiccia digitalizzazione, utilizzando tecnologie di intelligenza artificiale, cloud e supercalcolo, aumentando i servizi offerti, riducendo il time to market e creando nuove opportunità nei mercati adiacenti
- il supporto al Paese ed alle comunità in cui operiamo per affrontare i grandi mutamenti globali, tra cui il cambiamento climatico, il monitoraggio ambientale, la resilienza delle infrastrutture critiche, la sicurezza della digitalizzazione
- l'integrazione della sostenibilità nel business e nel portafoglio di Leonardo favorendo la competitività dei prodotti attraverso azioni specifiche per ridurre le emissioni scope III, sviluppare catene di fornitura sostenibili e massimizzare diversità, equità e inclusione
- un significativo rafforzamento delle attività di ricerca e sviluppo e personalizzazione del prodotto, per le quali nel 2022 Leonardo ha investito circa 2 miliardi, ma per cui è necessario uno sforzo ulteriore per aumentare la ricerca e sviluppo a basso TRL per raggiungere il livello medio dei nostri migliori concorrenti.

Per avere successo è necessario avere il coraggio di focalizzarsi su un elenco selezionato di tecnologie all'avanguardia e dirompenti, tecnologie di frontiera appunto, razionalizzando investimenti ed attività di Open Innovation con il mondo accademico con lo sguardo rivolto allo sviluppo di nuovi prodotti e servizi, garantendo competitività ed opportunità di sviluppo del know-how, in Italia e con nuove alleanze internazionali, perché verso la leadership tecnologica non esistono scorciatoie.

Giuseppe Gola

Amministratore Delegato
OPEN FIBER

La forza dell'innovazione

I settori produttivi, periodicamente, affrontano degli shock tecnologici che decretano la fine di alcuni modelli di business e la nascita di nuovi. È la forza dell'innovazione, che non può essere arrestata ma solo governata, per assicurare il progresso dell'economia e della società. Per decenni, il segmento fisso delle telecomunicazioni è stato dominato dal rame. Negli ultimi anni, lo sviluppo di piattaforme e servizi digitali ha aumentato enormemente i volumi di traffico e reso necessaria una grande quantità di banda, che il rame non è in grado di supportare. L'architrave delle comunicazioni elettroniche di oggi e di domani è costituito dalla fibra ottica, l'unica tecnologia in grado di offrire connettività stabile e ultraveloce e abilitare lo sviluppo dei servizi digitali attuali e futuri grazie a una capacità trasmissiva in continua evoluzione, che già ora raggiunge e supera i 10 Gigabit al secondo.

Tutti i processi che devono essere digitalizzati viaggeranno su reti in fibra ottica, sia nelle nostre città, con il cablaggio di case, aziende e sedi della Pubblica Amministrazione e la diffusione su larga scala di tutte le applicazioni smart city (dalla mobilità elettrica all'illuminazione intelligente, fino allo smaltimento dei rifiuti e al controllo del traffico), che fuori: autostrade, ferrovie, porti, agricoltura intelligente, monitoraggio del territorio. La transizione digitale è l'elemento abilitatore dell'evoluzione di molteplici settori dell'economia e della società. Ed è strettamente correlata a un'altra grande sfida che stiamo affrontando a livello continentale: la transizione ecologica. L'Unione Europea, che punta a essere carbon neutral entro il 2050, parla infatti esplicitamente di "decarbonizzazione digitale": le reti di TLC come abilitatori per raggiungere gli obiettivi del Green Deal per il clima e l'ambiente. Non è un caso che il PNRR dedichi alla digitalizzazione del Paese circa 40 miliardi di euro, di cui 6.7 per le reti ultraveloci (banda ultra larga e 5G).

La realizzazione di un'infrastruttura in fibra ottica ha infatti un impatto a 360 gradi sulla nostra società, con ricadute positive sulla

sostenibilità a livello ambientale, economico e sociale. La fibra coniuga sostenibilità ambientale – perché abilita tutta una serie di processi che consentono la riduzione di inquinamento, CO_2 e consumo di suolo – ed economica, perché le reti in fibra ottica emettono circa l'88% di emissioni climalteranti in meno rispetto a quelle in rame e consentono un risparmio di energia di oltre il 60%. Anche dal punto di vista manutentivo, la fibra è più affidabile del rame e richiede tra il 70% e l'80% di interventi di riparazione in meno. In una congiuntura internazionale come quella in cui viviamo, consumare meno significa utilizzare meglio le risorse che scarseggiano. C'è poi un fondamentale elemento di sostenibilità sociale della fibra ottica. Open Fiber è ormai in fase avanzata di completamento del piano BUL, che prevede la copertura in FTTH di circa 6200 comuni che erano sostanzialmente tagliati fuori dalla possibilità di accedere ai servizi digitali, perché poco remunerativi per gli operatori. Grazie alla rete in fibra ottica realizzata da Open Fiber, le zone rurali e interne, luoghi spesso bellissimi e con un'elevata qualità della vita, possono finalmente colmare il divario digitale con le grandi città e navigare alla stessa velocità di connessione. Piccoli borghi che un tempo erano privi anche dell'ADSL dispongono ora di tutti i servizi essenziali, agevolando il processo di ripopolamento iniziato durante la pandemia.

È evidente che la possibilità o meno di accedere ai servizi digitali più avanzati possa creare una situazione di diseguaglianza. Per questo, l'Unione Europea ha fissato l'obiettivo di connettività Gigabit per tutti al 2030 con il piano Digital Compass. Dal canto suo, l'Italia punta a essere leader in questo processo, mettendo a disposizione di tutti i cittadini una connettività ultraveloce entro il 2026 con il Piano Italia 1 Giga. C'è quindi piena volontà del Governo di sostenere un percorso virtuoso che l'Italia - rimasta a lungo in fondo alle classifiche europee sulla digitalizzazione - sta intraprendendo negli ultimi anni. Dal 2018 a oggi, principalmente grazie all'ingresso sul mercato di Open Fiber, l'Italia è salita dal 22% di copertura FTTP (rete in fibra ottica fino agli edifici) all'attuale 54% , vicino alla media UE del 56%. Resta ancora molto da fare, anche considerando che l'Italia non dispone di reti televisive via cavo, ma è un dato significativo che evidenzia un trend positivo.
Se da un lato l'infrastrutturazione cresce - e in virtù dei piani di investimento pubblici e privati aumenterà progressivamente fino a coprire la gran parte delle abitazioni italiane - dal punto di vista dell'adozione delle reti interamente in fibra ottica (FTTH) i numeri non sono altrettanto lusinghieri. Delle poco meno di 20 milioni di linee attive, solo circa 4 sono in FTTH, pari al 20%. Osservando lo scenario europeo, notiamo come dal punto di vista dell'adozione si proceda a due velocità: se paesi come l'Italia o la Germania (29%) sono in ritardo, ci sono paesi altrettanto grandi ed importanti come la Spagna (84%) o la Francia (68%) che procedono più spediti verso il raggiungimento della piena digitalizzazione, ottenendo un vantaggio competitivo, dato che solo la fibra FTTH garantisce performance all'altezza dei servizi digitali che vengono via via sviluppati.

La necessità di accelerare l'utilizzo di una rete interamente in fibra ottica, in grado di gestire enormi volumi di traffico, è palese anche osservando i dati di consumo. In Italia il traffico dati medio giornaliero (download + upload) su rete fissa è pari a circa 150 milioni di Gigabyte, mentre su rete mobile è di circa 40 milioni di GB. Si parla, a ragione, delle potenzialità rivoluzionarie tecnologie mobili come il 5G e il 6G, ma le torri che abilitano la loro diffusione devono appoggiarsi a una rete in fibra ottica ad altissime performance. Uno studio condotto da Arthur D.Little dimostra che i paesi europei con il maggior tasso di penetrazione di reti in fibra presentano il maggior consumo di traffico fisso dati per utente. Lo stesso studio sottolinea come il consumo dati di un cliente che passi da un accesso in rame ad uno in fibra raddoppi. È evidente, pertanto, che le prestazioni decisamente superiori della rete in fibra FTTH stimolino progressivamente un maggiore utilizzo di dati rispetto a una in rame o mista fibra/rame. Il consumo maggiore comporta a sua volta una maggiore adozione dei servizi digitali avanzati (cloud gaming, telemedicina, lavoro remoto, streaming ad altissima risoluzione, VR Classro-

om, Smart Home) che richiedono bande maggiori e quindi supportabili - considerando anche la molteplicità di accessi e device in ambiente residenziale - solo con rete FTTH (GPON, 10G Simmetrico, e in futuro 50G PON).

Finora la maggior parte delle applicazioni più utilizzate riesce a viaggiare su reti miste fibra/rame, seppur con grande differenza di prestazione. Ma questa condizione ha un termine, che non siamo ancora in grado di identificare con precisione, ma che sicuramente arriverà. La superiorità della fibra ottica rispetto al rame è indiscutibile e di conseguenza il pensionamento del rame, tecnologia obsoleta, sarà inevitabile, e la disponibilità di una connessione in fibra ottica FTTH diventerà una necessità e non più un'opzione. Come può il nostro paese anticipare, e non subire, questo processo? Definendo un piano di spegnimento della rete in rame (switch-off) progressivo, che interessi le zone via via coperte integralmente dalla fibra ottica. Il piano di switch-off, coordinato da soggetti pubblici, consentirebbe all'Italia di non rimanere indietro nell'adozione dei servizi digitali innovativi rispetto ai paesi europei più avanti nel take-up. Una migrazione completa da rame a fibra comporta notevoli vantaggi sia per gli utilizzatori (che dispongono di un servizio più performante) sia per l'offerta (che riduce il numero di reti da gestire e risparmia energia). Sul piano della transizione digitale, la migrazione dalle infrastrutture esistenti a quelle più performanti ad altissima capacità comporta un upgrade tecnologico di famiglie ed imprese che consente non solo l'accesso a tutti i servizi digitali, ma anche la possibilità di una migliore dislocazione territoriale e più efficace cooperazione a distanza, sia per finalità economiche che sociali (scuola, lavoro, assistenza sanitaria). Un piano di migrazione programmato consentirebbe - inoltre - di fornire un orizzonte certo di ritorno sugli investimenti, che non sono adeguatamente sostenuti dall'attuale velocità di adozione delle reti in fibra ottica.

Pietro Labriola

Amministratore Delegato
TIM

Visione/obiettivi dell'azienda nel contesto di riferimento

Negli ultimi 10 anni abbiamo assistito a uno stravolgimento senza precedenti del nostro modo di vivere e tra i fattori più evidenti che contraddistinguono questo cambiamento figura senza dubbio l'innovazione tecnologica e in particolare lo sviluppo del digitale.

Non è la prima volta che la tecnologia consente "strappi" dirompenti: pensiamo alla stampa, alle macchine a vapore, al motore a scoppio, all'elettricità, ai mezzi di comunicazione di massa.

Anche per effetto della pandemia, il digitale ha radicalmente cambiato le nostre abitudini di vita, a partire dal modo di interagire, di comunicare, di lavorare, di studiare; ha trasformato i modelli economico-produttivi alla base dello sviluppo del tessuto industriale, riscrivendoli in funzione delle nuove esigenze del mercato, delle mutate necessità di PA e cittadini e dei nuovi contesti competitivi internazionali in cui le imprese sono state chiamate ad operare.

In un sistema economico globale che fa della supremazia tecnologica uno degli asset fondamentali nella sfida per la competitività e l'egemonia geostrategica, innovare significa sviluppare Tecnologie di Frontiera come la robotica, la sensoristica e il quantum computing e usarle per far fronte alle esigenze di base della società, come l'assistenza sanitaria, l'alimentazione, l'educazione e la produzione industriale.

Oggi quindi il digitale è un bene primario: ne usufruiamo quotidianamente, ma non ne sentiamo più la presenza, lamentiamo solo l'eventuale assenza dovuta, ad esempio, a problemi tecnici.

L'"economia del dopo pandemia' non può prescindere dalle nuove tecnologie e dalle nuove reti.

La disponibilità di reti ed infrastrutture adeguate, intelligenti, scalabili e interoperabili, è infatti il presupposto necessario per garantire la crescita del sistema industriale ed economico nel suo complesso; lo sviluppo e la dif-

fusione dei servizi digitali per imprese e cittadini, la semplificazione e la modernizzazione della Pubblica Amministrazione, la transizione energetica e la sostenibilità ambientale, l'efficientamento del Servizio Sanitario Nazionale e la medicina personalizzata, la mobilità sostenibile, un'efficace e tempestiva gestione delle emergenze.

Il presente e il futuro possono essere affrontati con il 5G, con le reti in fibra ottica, con il Cloud ed Edge Computing e con tutte le potenzialità che queste offrono per il salto di qualità che il nostro sistema economico deve compiere in termini di produttività, efficienza e competitività. L'Internet of Things, i Big Data, l'Intelligenza Artificiale così come la Block-chain abilitati dalle nuove reti si trasformeranno nei motori di crescita dei diversi ambiti verticali quali ad esempio la Smart Agriculture, l'Industry 5.0, le Smart cities, l'E-health e la mobilità intelligente.

Reti intelligenti e sicure, per un accesso protetto a servizi, risorse e dati in cloud, sono un asset strategico per lo sviluppo e il consolidamento di tutte le filiere produttive, non solo tecnologiche e per rafforzarle e renderle competitive in contesti europei e internazionali.

Le reti di telecomunicazioni saranno sempre più caratterizzate da un crescente livello di automazione, sia per favorire maggior efficienza ed efficacia nella propria gestione che per promuovere la creazione di servizi digitali con cicli di innovazione più brevi offerti al mercato in modalità "as a service" tramite APIs (Application Programming Interface) di rete.

Il futuro delle telecomunicazioni è in continua evoluzione e TIM è concentrata sullo sviluppo delle nuove tecnologie e sui servizi ad esse connesse. Tutte le Tecnologie di Frontiera (6G, Cloud, Cyber, Quantum Computing) saranno integrate per portare l'intelligenza della rete e i nuovi servizi digitali al mercato, ai cittadini, alle aziende e alla Pubblica Amministrazione.

Il 5G, grazie alle sue caratteristiche tecnologiche avanzate in termini di latenza, di gestione contemporanea di milioni di oggetti connessi e di scambio dati (volume e velocità), è l'abilitatore principale delle tecnologie legate ad Industria 5.0, allo sviluppo dell'Internet delle Cose e delle Smart City, nonché di servizi ad alto impatto sociale quali la telemedicina, la mobilità autonoma e connessa, l'economia circolare, l'agricoltura sostenibile.

TIM guida storicamente l'innovazione tecnologica e infatti nelle applicazioni 5G TIM può già vantare numerosi primati. Siamo stati il primo operatore ad attivare un'antenna 5G in Italia su onde millimetriche.

Le sfide sono molte, operiamo in un Paese particolarmente frammentato, a livello territoriale, culturale, economico, ma abbiamo la missione di portare attraverso l'intera filiera e in sinergia con le istituzioni l'innovazione e i benefici concreti che da essa derivano ai cittadini e alle imprese.

È necessario lavorare in stretta collaborazione con le istituzioni e le associazioni per trasmettere alla collettività il valore dell'innovazione e diffondere la conoscenza e la cultura relativa a queste nuove tecnologie.

Dobbiamo fare in modo che l'innovazione di cui siamo portatori raggiunga tutti e ciascuno e porti benefici concreti alla collettività.

In Italia abbiamo bisogno di modelli di innovazione personalizzati che valorizzino le caratteristiche del nostro territorio, che non sempre può far leva sulle economie di scala. Con L'Edge Computing possiamo contribuire a migliorare l'esperienza turistica, l'efficienza operativa e la sicurezza di tutto il comparto, aiutando a preservare e promuovere il patrimonio culturale e naturale del Paese.

Stiamo abilitando servizi in grado di rivoluzionare la vita di tutti i giorni come la Smart Control Room di Venezia, che rappresenta un esempio già implementato di Smart City, scalabile e applicabile a tutti i Comuni italiani. Così come è già realtà l'anfiteatro di Pompei, patrimonio artistico valorizzato grazie alle tecnologie innovative.

In Italia gli investimenti in soluzioni Ict per le città intelligenti cresceranno fino a circa 1,6 miliardi di euro entro il 2027, mentre a livello globale il totale della spesa in Smart City raggiungerà un valore di oltre 1.000 miliardi di dollari.

Sono le stime del Rapporto 'L'Italia delle città intelligenti e sostenibili', elaborato dal Centro Studi TIM con il Cnr e gli Osservatori "Digital Innovation" del Politecnico di Milano, presentato a Roma il 7 marzo 2023.

Secondo questa analisi, nel periodo 2023-27, le applicazioni Smart City basate su 5G, IoT e Intelligenza Artificiale in Italia contribuiranno a ridurre complessivamente di circa 6,5 miliardi di euro i costi del traffico cittadino e di oltre 400 milioni di euro quelli legati all'inquinamento urbano grazie a una migliore programmazione del trasporto, pubblico e privato, e dei flussi turistici. Risvolti positivi si riscontreranno anche per l'ambiente, infatti le nuove tecnologie dovrebbero consentire una riduzione annuale di circa 650 mila tonnellate di emissioni di CO_2.

Purtroppo, nonostante siano disponibili numerose soluzioni basate sulle nuove tecnologie, è noto che ad esempio le PMI devono affrontare una serie di ostacoli per adottarle. Barriere culturali ed economiche, carenza di conoscenze e personale qualificato ostacolano l'implementazione delle Tecnologie di Frontiera. A queste barriere si aggiungono gli oneri di carattere normativo, in particolare relativi alla privacy e alla sicurezza dei dati.

Risultano pertanto essenziali iniziative governative e industriali volte ad aiutare le PMI ad affrontare queste sfide e ad adottare le nuove tecnologie.

E' fondamentale continuare ad investire in programmi di formazione e istruzione incentrati sulle tecnologie d'avanguardia per garantire alle imprese disponibilità di personale qualificato. Si dovrebbero, ad esempio, finanziare programmi di formazione specializzati, corsi universitari dedicati e iniziative di sviluppo delle competenze digitali. Infatti risulta attualmente difficile reperire sul mercato esperti in ambito di Cyber Security & Data Protection, Intelligenza Artificiale & Machine Learning, Big Data & Analytics. Si tratta di temi chiave per la trasformazione del business e la competitività futura.

Importante anche rafforzare l'istruzione professionale all'interno dei percorsi di studio della scuola primaria e secondaria, che si colleghino ad azioni volte al ricambio generazionale e all'adozione di modelli di organizzazione del lavoro orientati a favorire la produttività e il work-life balance.

La presenza di imprese leader di medie e grandi dimensioni che assumano un ruolo di organizzazione della produzione nei confronti delle altre imprese rappresenta un punto di forza per far evolvere la diffusione delle conoscenze e la filiera nel suo complesso. Rappresentano un fattore cruciale di successo imprese leader inserite in una rete internazionale che svolgano funzioni strategiche che superano la sfera produttiva diretta e coinvolgono attività come la progettazione, l'innovazione tecnologica e la commercializzazione.
Occorrono politiche di comparto che possano favorire la collaborazione tra grandi imprese, start-up, PMI e istituti di ricerca per creare poli di innovazione in grado di far circolare le competenze e raggiungere la dimensione critica necessaria che consenta un livello globale di conoscenza necessario per lo sviluppo.

PARTE I

IDENTIFICAZIONE E ANALISI DEL SISTEMA DELLE TECNOLOGIE DI FRONTIERA

Introduzione

Il progresso tecnologico è alla base dei processi di crescita e sviluppo delle economie e delle società. Nella storia, la dinamica tecnologica non è avvenuta in maniera lineare ma si sono susseguite ondate di innovazioni che hanno generato nuovi paradigmi tecnologici. Nell'attuale fase storica siamo di fronte allo sviluppo concomitante di un Sistema di nuove tecnologie - Tecnologie di Frontiera - legate allo sviluppo digitale che, insieme, possiedono un potenziale trasformativo di straordinaria rilevanza, anche in termini di evoluzione degli assetti geostrategici.

Il ruolo che le diverse economie saranno in grado di ricoprire nel contesto internazionale e la capacità delle stesse di rispondere efficacemente alle sfide globali che vanno moltiplicandosi, tra cui le transizioni gemelle digitale e verde, la sicurezza, i nuovi equilibri demografici, la salute e rischi di nuove pandemie, i conflitti per la supremazia sui territori e sullo spazio, il confronto tra le democrazie liberali e le autarchie, sono strettamente legate alla capacità di generare, avere accesso e utilizzare una serie di tecnologie 'di frontiera'.

Secondo la definizione proposta dall'OCSE le Tecnologie di Frontiera sono in grado di trasformare l'industria e le comunicazioni, fornire soluzioni necessarie alle sfide globali come il cambiamento climatico e avere il potenziale di sostituire i processi esistenti[1].

Sono tecnologie su cui la ricerca si sta fortemente concentrando e si caratterizzano per alcuni aspetti salienti. In primo luogo, sono perlopiù tecnologie emergenti, ovvero tecnologie che non sono ancora utilizzate correntemente o il cui impatto non è ancora totalmente definito, ma che ci si aspetta possano evolversi rapidamente e raggiungere un livello di maturità nei prossimi 20 anni.

Sono, inoltre, tecnologie potenzialmente dirompenti, ovvero in grado di determinare profonde trasformazioni nell'economia e nella società, nella salute, nel modo di produrre, consumare, spostarsi e nel modo di garantire la sicurezza ai cittadini e alle loro istituzioni.

L'applicazione e gli effetti di queste tecnologie riguardano pressoché tutti i settori essendo molto spesso tecnologie trasversali e in alcuni casi, come ad esempio l'Intelligenza Artificiale e le Tecnologie Quantistiche, vere e proprie General Purpose Technologies.

---

1 "Frontier technologies will reshape industry and communications and provide urgently needed solutions to global challenges like climate change and have the potential to displace existing processes", OCSE, 2015, Science, Technology and Industry Scoreboard, Parigi.

Infine, molte di queste tecnologie sono interdipendenti, ovvero non sono entità isolate, ma sono strettamente interconnesse e si influenzano reciprocamente. Ad esempio, mentre l'Internet delle Cose (IoT- Internet of Things) collega oggetti o macchine alla rete consentendo loro di comunicare e interagire, l'Intelligenza Artificiale (AI – Artificial Intelligence) abilita le capacità di apprendimento e adattamento delle macchine, consentendo loro di analizzare dati complessi e prendere decisioni intelligenti. Queste due tecnologie si sostengono a vicenda: l'IoT fornisce un'enorme quantità di dati all'AI, mentre l'AI permette di analizzare e trarre valore da tali dati.

La capacità di sviluppare e accedere a tali tecnologie, tuttavia, è tutto fuorché simmetricamente distribuita nei sistemi economici. Ciò è dovuto, in primo luogo, alla natura cumulativa delle stesse tecnologie. Quanto più queste sono complesse, tanto più la loro traiettoria evolutiva dipenderà dalle conoscenze (formali e tacite), le infrastrutture, le tecnologie complementari e i beni capitali già accumulati. Ciò significa che i 'first mover' e, più in generale, le economie dotate delle maggiori risorse (economiche, di competenze e tecnologiche) tenderanno a posizionarsi sulla frontiera delle possibilità tecnologiche, guidando lo sviluppo delle innovazioni e operando per mantenere ampio il divario nei confronti degli inseguitori.

In questo contesto, le politiche e le istituzioni possono contribuire ad ampliare, così come a ridurre, tale scarto. Se si tratta di politiche industriali 'aggressive', poste in essere dalle economie che si trovano sulla frontiera per favorire la persistenza della propria condizione di leadership, queste tenderanno a mantenere ampi i divari e asimmetrica la distribuzione delle opportunità tecnologiche. Al contrario, se politiche industriali e dell'innovazione di tipo strategico (come, ad esempio, politiche legate a 'grandi missioni', volte a proteggere le industrie strategiche e/o i 'campioni nazionali'), associate a politiche commerciali capaci di valorizzare le interdipendenze commerciali e tecnologiche che sussistono a livello globale sono poste in essere da economie che si trovano in prossimità della frontiera, questo può favorire una più orizzontale distribuzione di tali opportunità.

Per i paesi inseguitori, l'utilizzo di conoscenze sviluppate da altri sfruttando gli effetti di "spillover" di conoscenza, crea il potenziale per recuperare i gap in termini di capacità innovativa ed efficienza produttiva. Tuttavia, la capacità di assorbimento dipende dall'ampiezza della distanza tecnologica tra le economie. Da un lato il potenziale di conoscenze da apprendere cresce all'aumentare della distanza tecnologica tra due economie. Dall'altro, quanto più ampi sono i divari in termini di sviluppo tecnologico, tanto più è difficile per un'economia in ritardo assorbire e utilizzare le conoscenze più avanzate sviluppate da un'economia leader. La combinazione di queste due relazioni implica che la dinamica degli effetti di spillover sfruttabili segue un andamento a forma di U rovesciata. Di conseguenza, fino a un certo valore limite della distanza tecnologica, un'economia in ritardo può beneficiare sempre di più degli effetti di spillover e recuperare i gap esistenti attraverso processi di apprendimento esterno. Al di sopra di questo valore limite, tuttavia, gli effetti di spillover tendono a diminuire di forza, limitando i processi di catching-up o, persino, spingendo l'economia in ritardo verso un ulteriore arretramento.

Come verrà evidenziato in questo Rapporto, lo scenario internazionale è dominato dalla competizione tecnologica tra Stati Uniti e Cina, con l'Unione Europea che ha accumulato pesanti ritardi in termini di capacità tecnologiche. Ritardi che, se non affrontati con urgenza, rischiano di compromettere le possibilità di rincorsa del sistema europeo della ricerca e dell'innovazione nei confronti dei sistemi più avanzati.

Ciò si traduce nella necessità di accelerare ulteriormente sul fronte delle politiche industriali e dell'innovazione, sfruttando il potenziale di competenze e tecnologie di cui la UE dispone ma riconoscendo, al contempo, lo scarto che va ampliandosi nei confronti dei leader tecnologici e, in particolare, di Stati Uniti e Cina.

In questo quadro, l'Italia, si trova in una posizione di debolezza come sistema nel suo complesso. Tuttavia, le evidenze riportate in questo Rapporto suggeriscono la presenza sul territorio nazionale di grandi eccellenze sia nella ricerca nell'ambito delle Tecnologie di Frontiera sia nel loro utilizzo.

Come emerge dall'illustrazione contenuta nel Rapporto delle attività realizzate dalle grandi aziende socie del Centro Economia Digitale nel campo delle Tecnologie di Frontiera, il contributo che queste forniscono, sia direttamente sia indirettamente, attraverso le interazioni con la propria filiera è particolarmente rilevante. Su questo, la visione che qui si vuole esprimere riguarda la necessità di fare leva sulle competenze tecnologiche accumulate nei luoghi dove le Tecnologie di Frontiera vengono generate e utilizzate per costruire una strategia che porti alla diffusione più ampia all'interno del sistema produttivo italiano delle capacità necessarie per sfruttare il potenziale della nuova ondata di tecnologie.

I risultati delle analisi qui sviluppate segnalano, inoltre, l'esigenza per il sistema italiano, caratterizzato da competenze tecnologiche più spalmate tra i vari e diversi ambiti tecnologici rispetto alla concentrazione di altri paesi concorrenti, di convogliare gli sforzi sui settori ritenuti prioritari e a recuperare il gap accumulato attraverso interventi di politiche industriali e della ricerca mirate e continuative.

In questa prospettiva, le politiche industriali, della ricerca e dell'innovazione non possono più limitarsi ad ambire a un generico aumento della competitività del sistema paese, ma devono diventare uno strumento di quella che può essere definita una "diplomazia economica", ovvero il tentativo intenzionale di uno Stato di incentivare deliberatamente gli attori economici ad agire in modo tale da generare esternalità di sicurezza favorevoli agli interessi strategici dello Stato. Riconoscere l'importanza della competizione tecnologica come terreno di gioco per la definizione degli assetti geostrategici mondiali amplia lo spettro degli strumenti utilizzabili dalla diplomazia economica che devono, quindi, andare oltre il mero utilizzo delle politiche commerciali.

Il potenziamento della Sovranità Tecnologica in Europa e in Italia attraverso adeguati investimenti in ricerca e innovazione può, pertanto, svolgere un ruolo determinante per rafforzare il posizionamento dell'economia europea e italiana nello scenario internazionale, ricordando che, come evidenziato nelle precedenti analisi del Centro Economia Digitale, indirizzare gli investimenti nelle Tecnologie di Frontiera non soltanto contribuisce al rafforzamento della Sovranità Tecnologica, ma determina sostanziali ricadute economiche. In questo quadro, è tuttavia necessario che le politiche fiscali e monetarie siano disegnate in modo da favorire la crescita degli investimenti, riducendo l'incertezza ed evitando che lo stimolo all'innovazione rappresentato dalle politiche industriali sia frustrato dalla stagnazione della domanda e, dunque, dell'economia.

Politiche efficaci non possono però materializzarsi in assenza di una base di conoscenza solida che consenta al decisore pubblico, sia a livello comunitario sia a livello nazionale, di quantificare le potenzialità e i "bisogni" e, dunque, le dimensioni degli interventi nelle filiere e nei domini tecnologici più rilevanti e di frontiera. Questo tipo di conoscenza richiede la capacità di effettuare un lavoro di 'intelligence strategica' per l'individuazione delle tecnologie chiave e delle relative capacità tecnologiche delle diverse economie.

L'obiettivo di questo Rapporto è quello di fornire un contributo in questa direzione. Nel dettaglio, nella prima parte viene identificato un set di Tecnologie di Frontiera ritenute tra le più rilevanti. Su due di queste, Tecnologie Quantistiche e Intelligenza Artificiale, viene realizzata un'analisi dettagliata concentrando l'attenzione su due dimensioni chiave: la conoscenza scientifica, contenuta nelle pubblicazioni più rilevanti a livello internazionale, e le innovazioni

tecnologiche che hanno dato luogo a brevetti. Utilizzando una pluralità di indicatori, viene mappato il posizionamento delle principali economie mondiali fornendo evidenza circa il mutamento delle gerarchie e l'emergere di nuovi player globali.

La seconda parte del Rapporto è finalizzata a far emergere il ruolo delle grandi aziende come hub di generazione e applicazione di conoscenza di frontiera, anche all'interno di una prospettiva di filiera. Attraverso la descrizione delle attività realizzate nell'ambito delle Tecnologie di Frontiera dalle aziende socie del Centro Economia Digitale e del ruolo da esse svolto nell'ambito della propria filiera, viene fornita un'evidenza complementare a quella riportata nella prima parte del Rapporto. In particolare, questa consente di sintetizzare in un unico documento informazioni dettagliate sulla direzione degli investimenti di frontiera delle principali aziende partecipate del Paese e sulla rilevanza delle capacità tecnologiche accumulate. Un patrimonio informativo unico che potrà essere utilmente utilizzato per identificare i settori di forza su cui puntare e fare leva, anche promuovendo eventuali sinergie con i diversi attori del sistema produttivo e della ricerca.

A partire dalle analisi sviluppate in collaborazione con le aziende socie vengono infine fornite proposte di policy puntuali per definire una strategia in grado di potenziare la Sovranità Tecnologica italiana ed europea e massimizzare gli impatti in chiave economica e geostrategica derivanti dallo sviluppo delle Tecnologie di Frontiera. Nella prospettiva qui delineata, l'efficace attuazione delle strategie di policy identificate potrà contribuire a garantire all'Italia, nell'ambito dell'Unione Europea, il consolidamento del proprio ruolo di forza regionale caratterizzata da rilevanti interrelazioni economiche a livello mondiale.

Il Sistema delle Tecnologie di Frontiera

La storia dell'umanità è stata segnata da una serie di ondate tecnologiche che hanno trasformato radicalmente il nostro modo di vivere, lavorare e comunicare (Grafico 1). Queste ondate hanno spesso coinciso con importanti cambiamenti sociali ed economici, e hanno accelerato l'evoluzione della civiltà umana. A partire dalla Rivoluzione Industriale fino alle più recenti innovazioni che caratterizzano la transizione digitale e ambientale, le nuove tecnologie non sono mai apparse in maniera isolata ma si sono sviluppate "a grappoli" determinando significativi effetti sull'andamento dei cicli economici[1].

Sebbene, quindi, la storia ci insegni che il progresso tecnologico procede per ondate successive e che le innovazioni tendono a svilupparsi per gruppi, l'attuale fase storica appare caratterizzata da elementi di straordinarietà. L'umanità si trova infatti ad affrontare un'epoca di accelerazione tecnologica senza precedenti. Nei prossimi 20 anni, assisteremo a una convergenza di nuove tecnologie che rivoluzioneranno profondamente la nostra società (Grafico 1).

Questa straordinaria accelerazione è il risultato di una combinazione di fattori, tra cui l'interconnessione globale, il potenziamento endogeno dell'attività innovativa e la crescente domanda di soluzioni tecnologiche per affrontare le sfide del nostro tempo. Per quanto riguarda il primo aspetto, l'avvento di Internet e la diffusione delle reti mobili hanno connesso il mondo in modi mai visti prima. Questa connessione globale permette lo scambio rapido di informazioni e l'accesso istantaneo a risorse digitali, catalizzando l'innovazione e la collaborazione su scala mondiale. In secondo luogo, l'accelerazione tecnologica è alimentata da un ciclo continuo di innovazioni. Gli sviluppatori di tecnologia possono ora accedere a risorse digitali, strumenti di ricerca e dati per l'apprendimento automatico, riducendo i tempi di sviluppo e portando nuovi prodotti e servizi sul mercato più rapidamente. Infine, la nostra epoca è caratterizzata da sfide globali urgenti, come il cambiamento climatico, le crisi pandemiche e la sicurezza fisica e informatica. Queste crisi richiedono soluzioni innovative, spingendo la ricerca e lo sviluppo tecnologico a rispondere in modo rapido ed efficace.

1 Schumpeter, J. A. (1911). The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle. Harvard University Press. Schumpeter, J. A. (1939). Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process. McGraw-Hill Book Company.

I cicli dell'Innovazione

Prima ondata

- Energia idraulica
- Tessile
- Ferro

Seconda ondata

- Energia a vapore
- Ferrovia
- Acciaio

Terza ondata

- Elettricità
- Chimica
- Motori a combustione interna

Quarta ondata

- Petrolchimico
- Elettronica
- Aviazione

Quinta ondata

- Reti digitali
- Software
- Nuovi media

Sesta ondata

- Intelligenza Artificiale
- Tecnologie Quantistiche
- IoT
- Robot e Droni
- Tecnologie verdi
- Metaverso
- ...

60 anni	55 anni	50 anni	40 anni	30 anni	20 anni

1785 1845 1900 1950 1990 2020

Ci troviamo quindi di fronte allo sviluppo concomitante di un vero e proprio Sistema articolato di nuove tecnologie legate allo sviluppo digitale che, messe insieme, possiedono un potenziale trasformativo di straordinaria importanza.

Il Grafico che segue fornisce una rappresentazione del Sistema delle Tecnologie di Frontiera in cui è stato identificato un set di tecnologie ritenute tra le più rilevanti per il potenziale impatto che potranno generare.

Questa selezione non ambisce affatto a essere esaustiva.
Piuttosto, si intende fornire un campione di aree tecnologiche chiave o emergenti in una vasta gamma di settori e dimostrare il potenziale cambiamento tecnologico che affronteremo nei prossimi anni.

Pur essendo tecnologie caratterizzate da forti elementi di trasversalità, per evidenziare i principali ambiti in cui queste si svilupperanno e genereranno i maggiori effetti, le tecnologie vengono qui raggruppate intorno ad alcuni cluster rappresentati nel Grafico 2.

Tra le tecnologie qui identificate verrà di seguito presentato un approfondimento sulle Tecnologie Quantistiche e l'Intelligenza Artificiale, che costituiscono due esempi particolarmente rappresentativi della capacità delle Tecnologie di Frontiera di determinare impatti significativi e diffusi sui sistemi economici e sociali. Queste due tecnologie verranno dapprima sinteticamente descritte e, successivamente, saranno l'oggetto di un'approfondita analisi basata sui dati relativi alla produzione scientifica e brevettuale in questi campi.

Il sistema delle Tecnologie di Frontiera

Elaborazione Centro Economia Digitale

Cluster 1:
Tecnologie abilitanti

- Intelligenza Artificiale
- Microprocessori
- Tecnologie Quantistiche
- Cloud Computing
- High-Performance Computers
- Edge Computing
- Distributed Computing
- Blockchain
- Data Hubs
- Digital Twins

Cluster 2:
Comunicazione e connettività

- 5G-6G
- Internet by Satellite

Cluster 3:
Sicurezza e protezione dei dati

- Cybersecurity
- Biometrics

Cluster 4:
Energia

- Fusione a Confinamento Magnetico
- Concentrated Solar Power
- Energy Storage
- Idrogeno
- Wave Energy
- Tecnologie Fotovoltaiche
- Wireless Power Transfer

Cluster 5:
Sostenibilità e ambiente

- Biocarburanti
- Bioplastiche
- Economia Circolare, Riciclo, Valorizzazione dell'Acqua
- Soilless Farming
- Carbon Capture, Usage and Storage

Cluster 6:
Produzione supporto alle operations

- Stampa 3D
- Materiali Avanzati
- Flexible Electronics and Wearables
- Robotica
- Robotic Process Automation
- Spatial Computing

Cluster 7:
Mobilità e trasporti

- Autonomous Vehicles
- Droni

Cluster 8:
Analisi di dati e comportamenti umani

- Big Data
- Internet of Behaviours
- Natural Language Processing

Cluster 9:
Biotecnologie e salute

- Biotechnology and Biomanufacturing
- Cellular Agriculture
- Healthcare Analytics
- Human Augmentation / Metaverse

Analisi delle capacità scientifiche e tecnologiche delle nazioni nel campo delle tecnologie quantistiche e dell'intelligenza artificiale

Introduzione

In questa parte del Rapporto viene proposta un'analisi basata sui dati relativi alla produzione scientifica e brevettuale in due delle Tecnologie di Frontiera identificate in precedenza: Tecnologie Quantistiche (**QT** - Quantum Technologies) e Intelligenza Artificiale (**AI** – Artificial Intelligence). Si ritiene che queste tecnologie siano particolarmente rappresentative per ampiezza e trasversalità degli effetti che potranno produrre. Effetti che, a oggi, non sono valutabili con precisione ma la cui aspettativa sta stimolando, specie negli anni più recenti, ingenti investimenti a livello planetario.

Dopo una sintetica descrizione delle due tecnologie in esame e delle dinamiche di investimento nel settore, viene presentata la metodologia di analisi e, a seguire, sono discussi i risultati della ricerca.

Tecnologie quantistiche

Il calcolo quantistico utilizza particelle subatomiche durante il processo di calcolo svolto da un computer quantistico. I computer classici utilizzano i "bit" con valori pari a "1" o a "0". In una possibile codifica (ad es. nella codifica unipolare), il bit 1 corrisponde a un segnale elettrico, mentre il bit 0 corrisponde ad assenza di segnale (codifica on-off). Nell'informatica quantistica, le caratteristiche della meccanica quantistica sono utilizzate per esprimere ed elaborare le informazioni come bit quantistici. I bit quantistici sono così piccoli che funzionano con le proprietà fisiche delle particelle sub-atomiche. Sebbene i bit quantistici, noti anche come qubit, siano concettualmente simili ai bit classici, esiste una grande differenza: i qubit possono trovarsi contemporaneamente nello stato 1 e 0. Difatti, un qubit è diverso da un bit classico perché può assumere una combinazione lineare di questi due stati grazie alla "sovrapposizione" quantistica. Un bit binario classico può invece rappresentare solo un singolo valore binario, ovvero può trovarsi solo in uno dei due stati possibili. Mentre qualsiasi insieme di bit può assumere solo un valore possibile in un dato momento, lo stesso insieme di qubit può assumere tutti questi valori simultaneamente. Questa differenza si traduce in una maggiore velocità di calcolo. Pertanto, i computer quantistici sono progettati per risolvere problemi particolarmente complessi in pochi secondi. Gli algoritmi di calcolo quantistico hanno il potenziale di facilitare enormemente la soluzione di problemi computazionali difficili e dispendiosi in termini di tempo. La sovrapposizione infatti consente agli algoritmi quantistici di elaborare le informazioni in una frazione del tempo che sarebbe necessario anche ai sistemi classici più veloci per risolvere determinati problemi.

Con il progredire delle tecnologie quantistiche, si cercherà di avvicinarsi sempre di più all'individuazione di soluzioni per alcuni dei problemi più complessi da affrontare. Tuttavia, anche se questo nuovo paradigma ha un potenziale significativo, il calcolo quantistico necessita ancora di ulteriori sviluppi. In particolare, sono attualmente in fase di sviluppo evoluzioni per i metodi di costruzione dell'hardware e di correzione degli errori per il calcolo quantistico.

La tecnologia di calcolo quantistico potrebbe essere utilizzata per gestire grandi quantità di dati per ottenere una migliore scalabilità e migliori prestazioni negli algoritmi di apprendimento automatico. Si prevede che le reti neurali quantistiche o gli altri algoritmi di calcolo quantistico potranno essere in grado di gestire problemi complessi come, ad esempio, quelli necessari per elaborare previsioni meteorologiche, la previsione delle inondazioni e altri disastri naturali, la modellazione urbana, la modellazione dei flussi sotterranei e altri fenomeni complessi.

Numerose sono le possibili applicazioni del calcolo quantistico, ad esempio, nel campo dell'ottimizzazione di una rete elettrica nazionale; nello sviluppo di modelli ambientali; nella progettazione di materiali come i superconduttori, dove questa tecnologia fornisce una migliore comprensione della loro struttura. L'applicazione del calcolo quantistico potrebbe ridurre notevolmente il tempo impiegato in finanza per eseguire calcoli per la determinazione dei prezzi di titoli strutturati, o per la valutazione del rischio. Altre possibili applicazioni riguardano la progettazione di farmaci e molecole; la modellizzazione del sistema Terra, gli sviluppi in campi diversi come quello energetico, la biochimica e la nanotecnologia.

Si evidenziano qui di seguito ulteriori esempi di tecnologie quantistiche e delle loro applicazioni. Comunicazione quantistica: la crittografia quantistica potrà essere utilizzata per garantire una comunicazione sicura. Qualsiasi tentativo di intercettare le informazioni trasmesse ne altererebbe lo stato quantico, consentendo a mittente e destinatario di rilevare la presenza di un intruso e di trasmettere quindi in maniera del tutto sicura.

Sensori quantistici: i sensori quantistici sfruttano la precisione della misura quantistica per rilevare piccole variazioni in campi come la gravità, il magnetismo e l'accelerazione. Questi sensori hanno applicazioni in geofisica, navigazione, e monitoraggio dell'ambiente.

Simulazioni quantistiche: i simulatori quantistici possono simulare sistemi quantistici complessi, come le interazioni tra particelle subatomiche o le proprietà dei materiali. Questi strumenti sono utili in campi come la ricerca farmaceutica, lo sviluppo di nuovi materiali e la fisica delle alte energie.

Reti quantistiche: le reti quantistiche consentono la distribuzione di informazioni quantistiche tra nodi di una rete. Questo è fondamentale per lo sviluppo di tecnologie quantistiche su larga scala, come il quantum internet, che promette comunicazioni ultrasicure e algoritmi distribuiti avanzati.

Calcoli quantistici per l'ottimizzazione: gli algoritmi quantistici possono essere utilizzati per risolvere problemi di ottimizzazione in settori come la logistica, la finanza e la produzione, consentendo di trovare soluzioni più efficienti.

Criptovalute quantistiche: i computer quantistici possono essere in grado di rompere gli algoritmi di crittografia tradizionali, per questo si stanno sviluppando criptovalute resistenti ai computer quantistici, come il Bitcoin quantistico. A tal riguardo, si sottolinea come il tema della rottura degli algoritmi di crittografia da parte dei computer quantistici sia più generale e riguardi la possibilità di continuare a garantire in futuro la sicurezza in diversi ambiti. Su questo, ad esempio, la National Security Agency (NSA) statunitense è impegnata a favorire un processo di transizione ad algoritmi crittografici quantum-resistant, cioè resistenti agli attacchi di un computer quantistico.

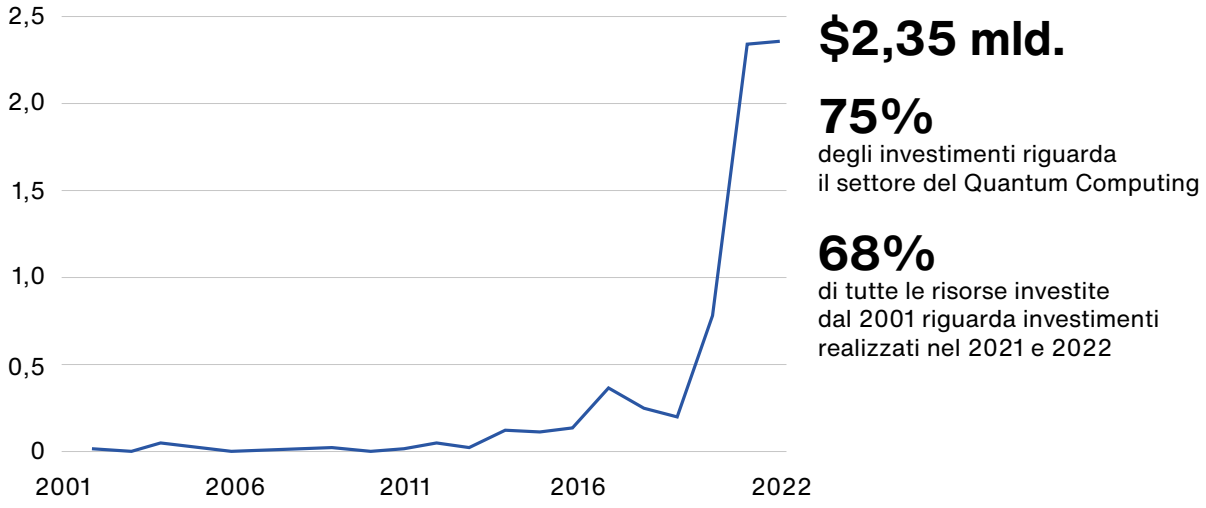
Medicina quantistica: le tecnologie quantistiche possono essere utilizzate per sviluppare nuovi metodi di imaging medico ad alta risoluzione, migliorando la diagnosi e la terapia in campo medico.

Metrologia quantistica: la metrologia quantistica punta a definire standard di misura ancora più precisi sfruttando le caratteristiche intrinseche della meccanica quantistica. Questo ha applicazioni in una vasta gamma di campi, dalla metrologia temporale alla misura delle costanti fisiche fondamentali.

Materiali quantistici: la progettazione e la produzione di materiali con proprietà specifiche sfruttando i principi quantistici sta guadagnando importanza in settori come la nanotecnologia, l'energia o l'elettronica. Ad esempio, in questo campo, di grande interesse è lo sviluppo dei TV quantum dots, ovvero i punti quantici televisivi che possono emettere in modo stabile e preciso ogni colore visibile dello spettro[1].

Nel settore delle Tecnologie Quantistiche, nel 2022 gli investimenti in start-up hanno raggiunto a livello globale i 2,35 miliardi di dollari, con una forte accelerazione negli ultimi anni (Figura 1). Gli investimenti realizzati nel 2021 e nel 2022 ammontano infatti al 68% di tutte le risorse investite dal 2001.

Figura 1. Investimenti in start-up nel settore delle QT, 2001-2022, miliardi di dollari

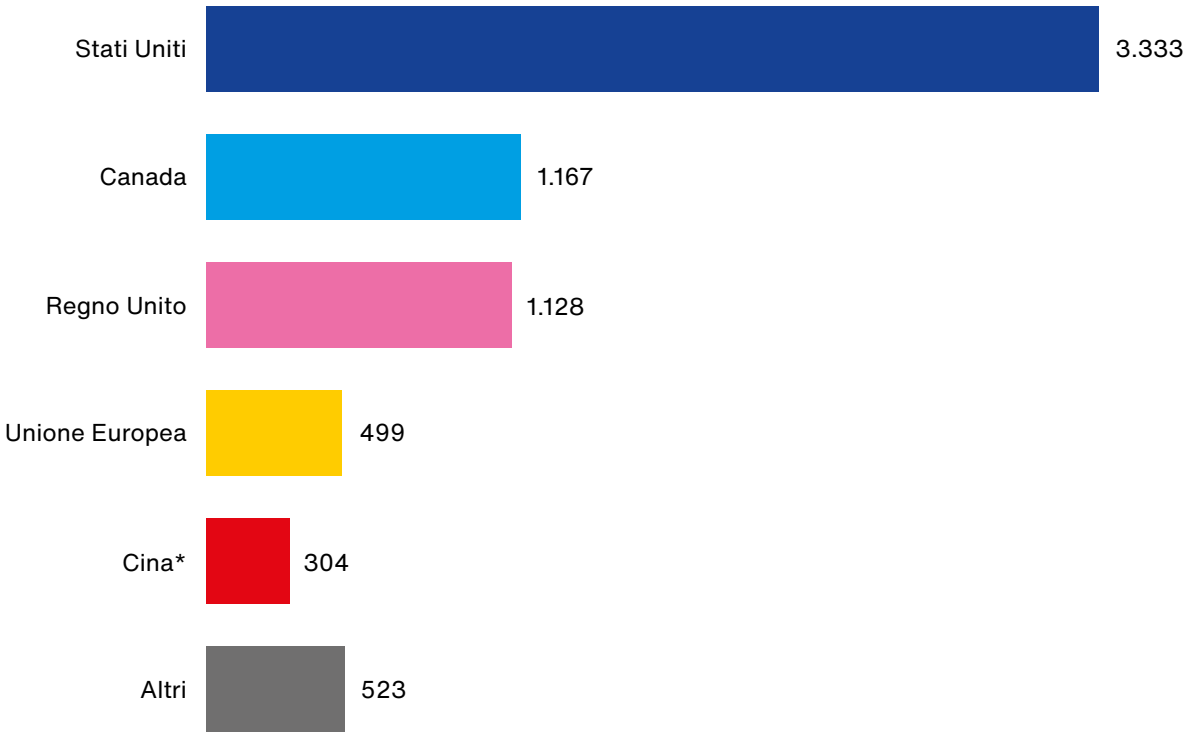


Fonte: Mckinsey, Quantum Technology Report 2023

1 Il premio Nobel 2023 per la Chimica è stato assegnato a Moungi Bawendi, Louis Brus e Alexei Ekimov proprio per la loro ricerca nel campo dei quantum dots.

Di questi, la maggiore quota si concentra negli Stati Uniti, seguiti da Canada e Regno Unito. Seguono i paesi dell'Unione Europea e la Cina, su cui tuttavia esiste un problema di disponibilità di dati rispetto a questo tipo di investimenti.

Figura 2. Investimenti in start-up nel settore delle QT per Paese, 2001-2022, (milioni di dollari)



**La disponibilità di dati sugli investimenti in start-up in Cina è limitata*
Fonte: Mckinsey, Quantum Technology Report 2023

Intelligenza Artificiale

L'intelligenza artificiale (AI) è una tecnologia in grado di portare grandi cambiamenti nella società. L'AI è definita come un sistema in grado di raccogliere dati, apprendere, decidere e intraprendere azioni razionali utilizzando processi come il machine learning, il deep learning e il reinforcement learning. Il machine learning, o apprendimento automatico, si basa sulle analisi statistiche, e permette di sviluppare un sistema che si ricodifica in base ai dati che via via si accumulano, aumentando l'accuratezza del modello. Il deep learning rappresenta un'evoluzione del concetto di machine learning. È un sistema che, tra le varie applicazioni, può anche simulare il linguaggio e l'apprendimento umano con le reti neurali ed è utilizzato in molti campi, come le reti neurali convoluzionali (CNN) e le reti neurali ricorrenti (RNN). Il reinforcement learning è una sottocategoria del machine learning che si applica a contesti in cui non siano presenti i dati e consente a un sistema guidato dall'AI di apprendere attraverso processi di trial and error, sulla base di un meccanismo di premi/punizioni (feedback) delle proprie azioni[2].

Generalmente vengono distinti due tipi di AI. Il primo tipo è chiamato AI debole, o AI ristretta. Questo tipo di AI può essere addestrata a eseguire obiettivi specifici, ed è quella attualmente impiegata in diversi servizi comunemente utilizzati. La seconda è chiamata "AI forte", un tipo di intelligenza artificiale che ha la capacità di comprendere, apprendere e applicare la conoscenza in modo simile a un essere umano. Questo significa che un sistema di AI forte dovrebbe essere in grado di affrontare una vasta gamma di compiti intellettuali, adattarsi a nuove situazioni, apprendere da esperienze passate e dimostrare un ragionamento e una comprensione simili a quelli umani. È' un modello teorico di AI ovvero il tipo di AI che le persone hanno principalmente visto rappresentata nei film di fantascienza[3].
Uno dei campi in cui l'impatto positivo dell'AI appare tra i più promettenti è quello della medicina. Grazie all'AI è, infatti, possibile realizzare diagnosi precoci delle malattie, sviluppare nuovi farmaci, e i dati medici dei pazienti vengono archiviati e analizzati per migliorare il sistema sanitario nel suo complesso riducendo i carichi di lavoro degli operatori sanitari.

D'altra parte, l'applicazione dell'AI riguarda potenzialmente tutti i settori, ed è per questo che può essere considerata una General Purpose Technology. Qui di seguito vengono elencati solo alcuni esempi di applicazione dell'AI nei diversi settori.

- Industria: per l'automazione dei processi di produzione, il monitoraggio degli impianti e la manutenzione predittiva.
- Trasporti: per lo sviluppo di veicoli autonomi e per l'ottimizzazione dei sistemi di trasporto.
- Telecomunicazioni: per ridurre significativamente l'impronta di carbonio delle reti 5G e 6G e delle relative applicazioni.
- Settore militare: per il riconoscimento di pattern, il controllo dei droni e la simulazione di scenari di combattimento.
- Settore energetico: per l'ottimizzazione della produzione e della distribuzione di energia, migliorando l'efficienza e la sostenibilità.
- Finanza: per il supporto alla gestione degli investimenti, l'analisi del rischio e la rilevazione di frodi finanziarie.
- Educazione: per la personalizzazione dell'apprendimento, l'analisi delle prestazioni degli studenti e la creazione di contenuti educativi.

---

2 Ad esempio, un'AI progettata per giocare a scacchi impara dai propri errori, ottimizzando ogni volta le proprie strategie di gioco.

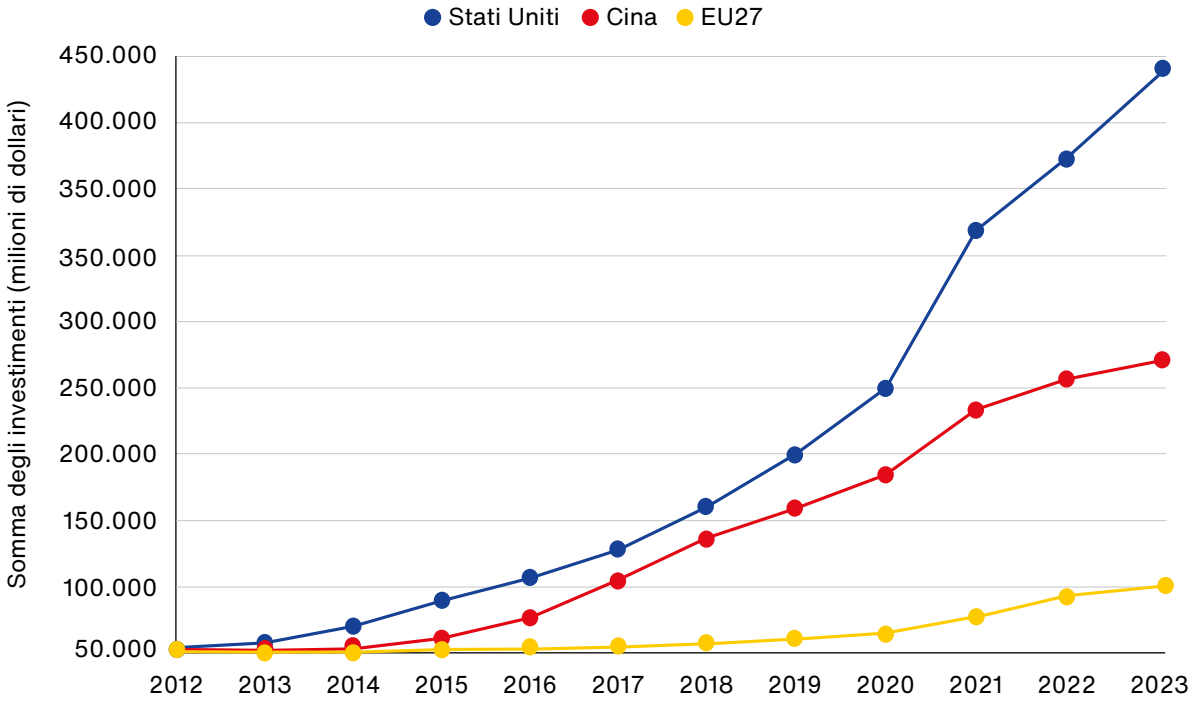
3 Interessante notare che se si chiede a ChatGPT a quale modello di AI appartenga (tra debole o forte), essa risponde appunto di essere un'AI debole.

Grande interesse ha suscitato il progredire dell'Intelligenza Artificiale Generativa che rappresenta una delle aree più promettenti nell'ambito dell'Intelligenza Artificiale. Questa tecnologia è stata sviluppata per generare dati, testo, immagini e altro ancora, simulando la creatività e la capacità di pensiero umano.

L'Intelligenza Artificiale Generativa può creare contenuti originali, spesso indistinguibili da quelli creati da esseri umani ed è dotata di capacità di apprendere dai dati forniti e di migliorare continuamente le proprie capacità generative, adattandosi a nuovi contesti e requisiti. L'Intelligenza Artificiale Generativa ha un'ampia gamma di applicazioni in settori come l'arte, la medicina, il design, i videogiochi, la traduzione, il marketing, la sicurezza e l'intrattenimento, svolgendo ruoli chiave nella produzione creativa, diagnostica medica, progettazione, pubblicità, sicurezza informatica e intrattenimento.

Per quanto riguarda il settore dell'Intelligenza Artificiale è utile analizzare i dati resi disponibili dall'OCSE sugli investimenti Venture Capital (VC) in questo campo. Anche qui l'accelerazione degli investimenti negli ultimi anni è particolarmente rilevante, come mostra la Figura 3 che riporta il valore cumulato in milioni di dollari degli investimenti VC per quanto riguarda Stati Uniti, Cina e Unione Europea. Anche questi dati confermano la forte concentrazione degli investimenti negli USA, seguiti dalla Cina, mentre l'Unione Europea evidenzia un significativo distacco con un rapporto in termini di volumi di investimenti VC pari a quasi 1 a 10.

Figura 3. Investimenti Venture Capital cumulati nel settore dell'AI, Stati Uniti, Cina e aggregato UE, (milioni di dollari)

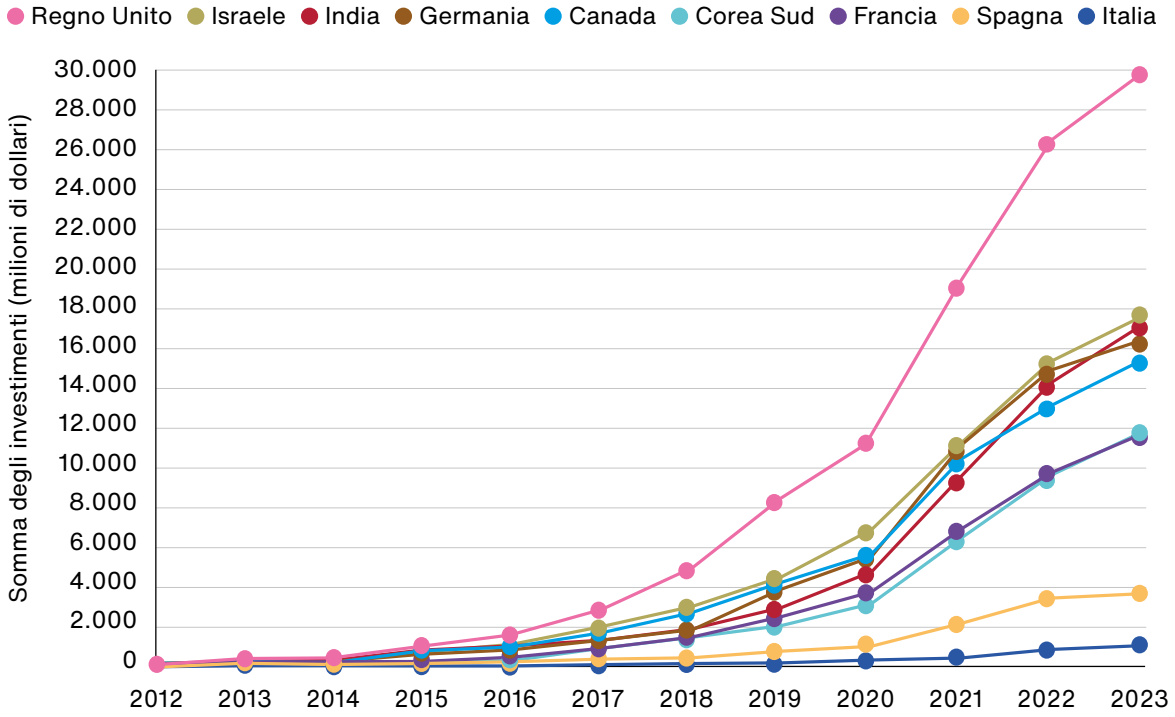


Fonte: OECD.AI (2023), accesso del 2/10/2023

Guardando invece agli altri paesi, il Regno Unito sembra ricoprire un ruolo di primo piano a livello internazionale, seguito da Israele, India e Germania, primo paese dell'Unione Europea (Figura 4). Rimanendo in ambito europeo il dato italiano certifica, pur in presenza di importanti realtà che stanno realizzando rilevanti investimenti in questo campo, un generale ritardo, con investimenti in crescita ma di entità significativamente minori rispetto ai principali paesi

partner. Secondo l'OCSE, infatti, gli investimenti VC cumulati nel settore dell'IA in Italia hanno superato quota un miliardo nel 2023 a fronte dei 3,7 miliardi della Spagna, degli 11,7 miliardi della Francia e i 16,3 miliardi della Germania.

Figura 4. Investimenti Venture Capital cumulati nel settore dell'AI, altri paesi, (milioni di dollari)



Fonte: OECD.AI (2023), accesso del 2/10/2023

Come vedremo nelle pagine che seguono, queste diverse dinamiche di investimento si traducono in forti eterogeneità in termini di capacità scientifiche e tecnologiche tra i vari paesi. È questo l'oggetto dell'approfondimento effettuato, di cui viene qui di seguito esposta la logica e la metodologia.

Metodologia

Le analisi che hanno l'obiettivo di valutare il posizionamento delle diverse nazioni rispetto alle rispettive capacità scientifiche e tecnologiche fanno usualmente riferimento alla quantità di pubblicazioni scientifiche e di brevetti che queste producono in un dato periodo. Tipicamente questi dati vengono analizzati in relazione a fattori di scala come popolazione o Prodotto Interno Lordo al fine di misurare l'intensità dello sforzo innovativo generato nei vari paesi, senza però tenere conto delle differenze qualitative tra i diversi output della ricerca.

L'idea alla base dello studio qui proposto è che considerare il numero di pubblicazioni o di brevetti senza guardare alla qualità degli stessi, non sia sufficiente per stabilire chi stia effettivamente guidando la corsa alla leadership nelle Tecnologie di Frontiera e, in particolare, chi stia producendo scoperte scientifiche e innovazioni tecnologiche in grado di generare un reale impatto trasformativo sull'economia e la società.

Misurare la qualità degli output della ricerca è naturalmente un problema complesso che, in linea di principio richiederebbe una valutazione tra pari di ogni singolo prodotto. Tuttavia, una possibilità individuata dalla letteratura è quella di guardare alle informazioni sulle citazioni che vengono attribuite successivamente alla pubblicazione di un articolo scientifico o di un brevetto.

In questo studio verranno analizzati i dati su pubblicazioni scientifiche e brevetti relativi alle Tecnologie Quantistiche e all'Intelligenza Artificiale. Alle informazioni sulle quote di pubblicazioni/brevetti attribuibili ai diversi paesi, verranno quindi aggiunte informazioni sempre più selettive in termini di citazioni e quindi di qualità e impatto della ricerca e innovazione in essi contenuti.

L'analisi delle pubblicazioni scientifiche è condotta utilizzando una delle principali banche dati dove la produzione scientifica mondiale viene archiviata e indicizzata: 'Web of Science' (WoS). La sua completezza e il grado di aggiornamento sono garantiti dal ruolo di 'archivio globale' che le è riconosciuto dalla comunità scientifica in pressoché tutti gli ambiti scientifico-disciplinari. Tuttavia, vi possono essere delle eterogeneità legate alle specifiche caratteristiche di alcuni settori – ad esempio, il fatto che in alcuni settori non tutti i contributi scientifici rilevanti sono oggetto di pubblicazioni su riviste che implicano la revisione anonima 'tra pari' – tali da richiedere l'integrazione, mediante fonti esterne, delle informazioni derivabili dall'analisi di banche dati quali WoS. Per quanto riguarda le tecnologie quantistiche, WoS può essere considerata una fonte adeguata al fine di fornire una mappatura esaustiva della produzione scientifica e dell'evoluzione del relativo posizionamento dei diversi attori. Nel caso dell'Intelligenza Artificiale è stato ritenuto opportuno integrare i dati WoS con quelli derivanti da fonti più specifiche.

Sul piano operativo, l'analisi condotta in questa sezione segue l'approccio recentemente proposto da Nightingale e Phillips (2023)[4]. Il primo passo consiste nell'esplorazione di tutti gli articoli scientifici 'non di rassegna' – ovvero contributi scientifici originali che non abbiano come oggetto la sintesi di articoli già pubblicati – che contengano un riferimento alle QT o all'AI nel titolo, nell'abstract o tra le 'keywords'.
Sulla base di questo criterio, vengono calcolati i seguenti indicatori utili a ricostruire la gerarchia globale degli autori e, dunque, dei paesi che contribuiscono alla conoscenza su cui si basano le tecnologie esaminate e il loro sviluppo:

(i) La quota di articoli scientifici tra i cui autori ve ne sia almeno uno affiliato a un'istituzione (centro di ricerca, università, impresa) del generico paese *i* sul totale delle pubblicazioni ascrivibili alle tecnologie analizzate.
(ii) La quota di articoli scientifici tra i cui autori ve ne sia almeno uno affiliato a un'istituzione (centro di ricerca, università, impresa) del paese *i* sul totale del 'top 1%' delle pubblicazioni più citate.
(iii) La quota di articoli scientifici tra i cui autori ve ne sia almeno uno affiliato a un'istituzione (centro di ricerca, università, impresa) del paese *i* sul totale delle 100 pubblicazioni più citate.

La logica dell'analisi proposta è quella di partire dall'analisi degli indicatori più generali, per poi passare, in sequenza, all'utilizzo di metriche più selettive in termini di impatto scientifico delle pubblicazioni. In questo modo sarà possibile non soltanto quantificare la rilevanza comples-

4 Paul Nightingale, James W. Phillips (2023), Is the UK a world leader in science? Science Policy Research Unit, University of Sussex Business School and Department of Science, Technology, Engineering and Public Policy (STEaPP), UCL.

siva della produzione scientifica dei diversi sistemi della ricerca, ma anche identificare quei paesi che ricoprono un ruolo di leadership globale nella capacità di produrre grandi avanzamenti scientifici tali da spostare in avanti la frontiera della conoscenza nei domini analizzati.

Per quanto riguarda la metodologia utilizzata per realizzare l'analisi sui brevetti nelle tecnologie relative a QT e AI, questa è stata condotta utilizzando il PATSTAT Global Database (edizione Spring 2023). PATSTAT è il principale fornitore di dati di brevetto utilizzati per le analisi statistiche, in quanto raccoglie informazioni bibliografiche e sugli eventi legali relativi a documenti brevettuali in tutto il mondo. Un vantaggio dell'utilizzo dei dati brevettuali è che ogni brevetto è associato ad almeno una classe tecnologica (solitamente più di una), che indica l'ambito tecnologico a cui tale invenzione appartiene. La classificazione tecnologica, infatti, è stata ampiamente utilizzata come strumento di ricerca efficace per identificare i domini tecnologici pertinenti. In secondo luogo, PATSTAT fornisce informazioni testuali sui titoli e sugli abstract dei documenti di brevetto che possono essere utilizzati, anche in combinazione con le classi tecnologiche, per identificare le invenzioni relative a specifici ambiti e progressi tecnologici.

Il primo passo dell'analisi consiste nel raccogliere tutte le famiglie di brevetti (patent families) tra il 2010 e il 2020. Per i confronti internazionali, l'uso di patent families è generalmente preferito alle domande di brevetto (patent applications) poiché previene il conteggio multiplo della stessa invenzione a causa di applications depositate presso diversi uffici brevettuali. Le patent families, infatti, raccolgono patent applications che coprono lo stesso contenuto tecnico o un contenuto simile tra uffici brevettuali che rivendicano la stessa priorità[5].
Seguendo l'approccio largamente adottato nella letteratura scientifica sulle analisi brevettuali, per eseguire il confronto internazionale nelle tecnologie relative a QT e AI, per ogni paese sono state misurate le rispettive quote di patent families con almeno un inventore residente nel paese sul totale dei brevetti QT e AI. Quindi, sfruttando le informazioni sugli uffici brevettuali in cui vengono depositati i brevetti e il numero di forward citations (ovvero il numero di citazioni ricevute da ciascuna patent families), sono stati calcolati i seguenti indicatori:

I. Quota di patent families con almeno un inventore residente nel paese *i* in cui per almeno una patent application della famiglia è stata richiesta protezione internazionale tramite WIPO (WO families).
II. Quota di patent families con almeno un inventore residente nel paese *i* le cui patent application sono state depositate in almeno tre dei quattro principali uffici brevettuali a livello globale, ovvero EPO Europa, USPTO USA, CNIPA Cina e JPO Giappone (triadic patent families).
III. Quota di triadic patent families con almeno un inventore residente nel paese *i* nel top 10% in termini di citazioni ricevute.
IV. Quota di triadic patent families con almeno un inventore residente nel paese *i* nel top 5% in termini di citazioni ricevute.
V. Quota Top 100 triadic patent families con almeno un inventore residente nel paese *i* in termini di citazioni ricevute[6].

La logica seguita nell'analisi brevettuale è quindi analoga a quella proposta per le pubblicazioni scientifiche. Gli indicatori considerati rappresentano, via via, misure sempre più stringenti in termini di importanza delle innovazioni brevettate. In questo modo il confronto tra i vari paesi

5 In questa sezione del Report i termini brevetto e famiglia di brevetti (patent family) saranno usati in maniera intercambiabile.

6 Per evitare sovrapposizioni si è preferito non utilizzare l'indicatore relativo al Top 1% analizzando direttamente i dati sui Top 100 brevetti in termini di citazioni.

in termini di capacità innovativa nel settore analizzato è effettuato non solo guardando, in generale, al potenziale di innovazione ma anche alla capacità di sviluppare innovazioni radicali capaci di determinare impatti rilevanti dal punto di vista economico e della competizione tecnologica di frontiera a livello internazionale.

Risultati

Tecnologie quantistiche: analisi della produzione scientifica

In questa sezione si riportano i risultati dell'analisi effettuata sulle pubblicazioni scientifiche nel campo delle Quantum Technologies QT. Confrontando l'attività di produzione scientifica tra paesi e periodi, l'obiettivo è quello di identificare i leader e i pattern emergenti nelle gerarchie della ricerca scientifica a livello globale.

L'identificazione delle pubblicazioni rilevanti è stata effettuata attraverso una ricerca basata su una lista di parole chiave costruita in base a recenti lavori di ricerca tesi a definire in modo dettagliato il perimetro delle tecnologie quantistiche[7].

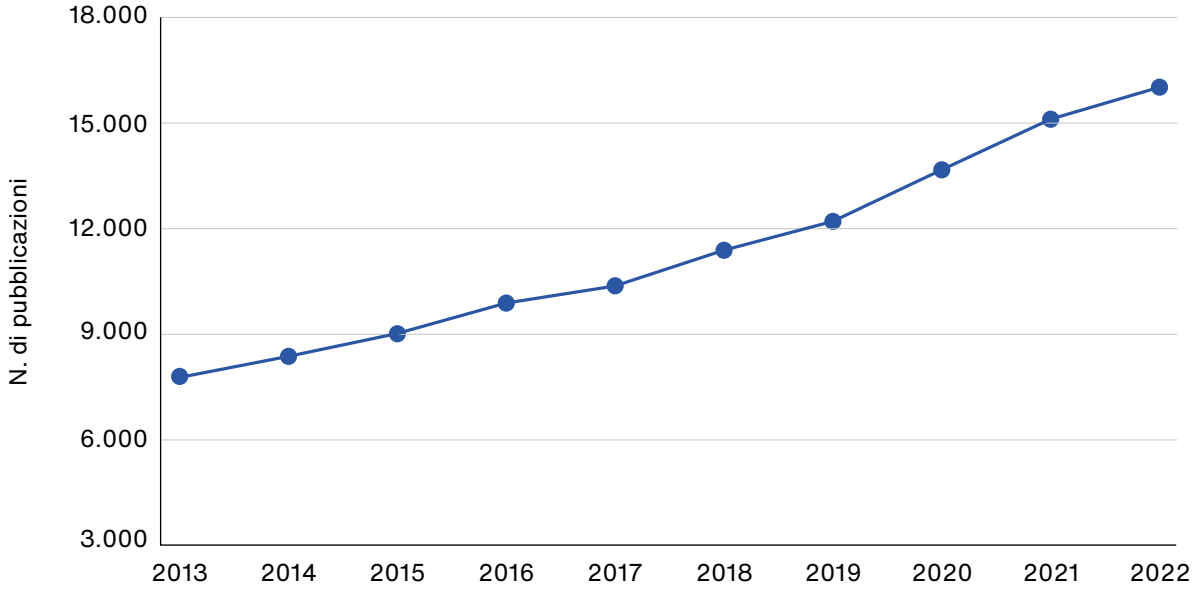
Prima di procedere con la descrizione dei risultati occorre sottolineare che, per come è costruito il database WoS, la somma delle quote ascrivibili ai diversi paesi oggetto di investigazione può dare luogo a valori superiori a 100 poiché, trattandosi delle quote di articoli aventi almeno un coautore di un dato paese, i singoli articoli contenuti nel campione sono spesso riconducibili a più di un autore aventi altrettante affiliazioni/paesi di riferimento[8].

Nel corso del periodo 2013-2022 si è verificata una crescita costante e sostenuta delle pubblicazioni relative alle QT, a testimonianza della sempre maggiore rilevanza del dominio considerato. Da questo punto di vista, è importante menzionare la complementarità tra le tecnologie quantistiche e altri domini scientifici e tecnologici – ad esempio, quelli concernenti la ricerca in ambiti quali quello dei semiconduttori, delle nanotecnologie più in generale o dell'AI, tutti in qualche misura connessi alla ricerca tesa a dare concretezza alle soluzioni computazionali di tipo quantistico – che, nello stesso periodo, hanno sperimentato, come vedremo, un analogo trend di crescita. Ciò, coerentemente con quanto viene postulato dalle teorie che descrivono l'evoluzione delle 'General Purpose Technologies', suggerisce come la maturazione di un contesto tecnologico e di mercato favorevole (ad esempio, la disponibilità di materiali e soluzioni tecnologiche utili ad accrescere la capacità computazionale degli hardware esistenti, la disponibilità di beni complementari, lo sviluppo di ricerche utili a definire ambiti applicativi più concreti per quanto riguarda l'uso delle tecnologie quantistiche) costituisca un elemento decisivo per incentivare l'attività scientifica e, dunque, per favorire l'accelerazione della relativa produzione in specifici domini, in particolare quando questi hanno (o possono avere) uno stretto legame con ambiti applicativi siano essi di natura pubblica (ad esempio, l'ambito sanitario, ambientale o militare) o privata.

7 Si veda https://www.elsevier.com/solutions/scopus/research-and-development/quantum-computing-report. Le parole chiave utilizzate includono termini quali 'quantum comput', 'quantum algorith*', 'quantum simulation*', 'qubit*', 'quantum bit*', 'quantum communication', 'quantum cryptography', 'quantum sensing'.*

8 Per la stessa ragione, al fine di evitare conteggi doppi, non è stato possibile costruire un aggregato UE e UK.

Figura 5. Numero di pubblicazioni nel campo delle QT, 2013-2022



Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati WoS

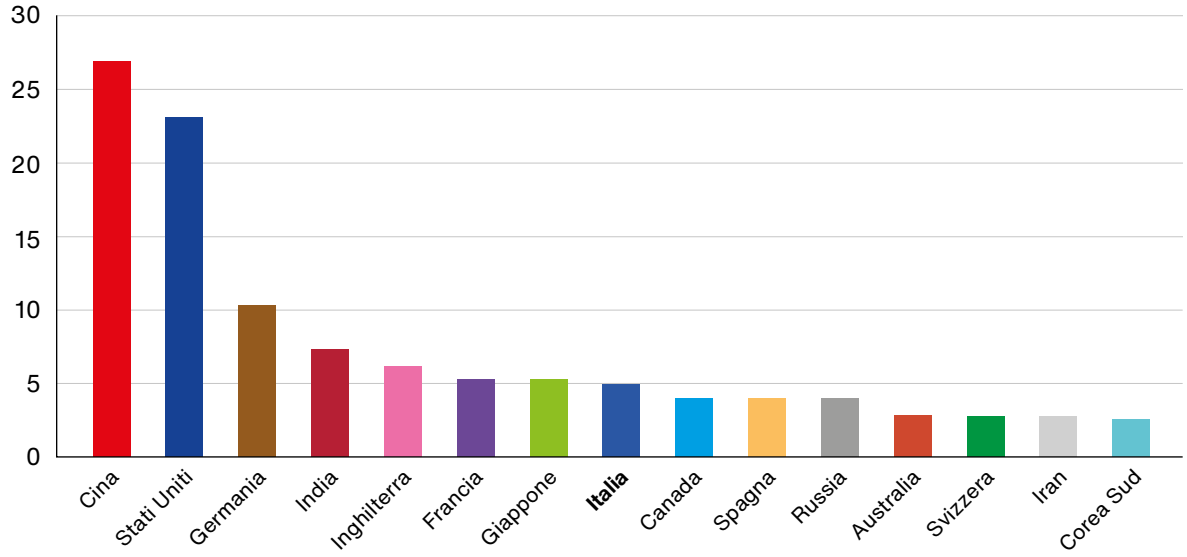
Si passa quindi all'analisi dei diversi indicatori elaborati per definire il posizionamento dei diversi paesi.

Totale delle pubblicazioni

La Figura 6 fornisce una prima evidenza della gerarchia globale per quanto riguarda le pubblicazioni scientifiche relative al dominio delle tecnologie quantistiche. Con riferimento all'indicatore (i) – ordinamento globale riferibile al totale delle pubblicazioni scientifiche afferenti al dominio oggetto di analisi – riportiamo i dati per i principali paesi per numero di pubblicazioni.

Secondo il primo degli indicatori utilizzati, la produzione di conoscenza scientifica riferibile alle tecnologie quantistiche vede al primo posto la Cina (con il 27%), seguita dagli Stati Uniti (con il 23,1%) e dalla Germania (con il 10,4%). Per quanto riguarda le altre economie europee presenti nella classifica, vi sono, al sesto e ottavo posto, la Francia (con il 5,3%) e l'Italia (con il 5%). L'Inghilterra ha un posizionamento migliore rispetto a quello francese e italiano (con il 6,2%), mentre la Spagna (con il 4%) ha una quota di pubblicazioni più contenuto di quello registrato dall'Italia.

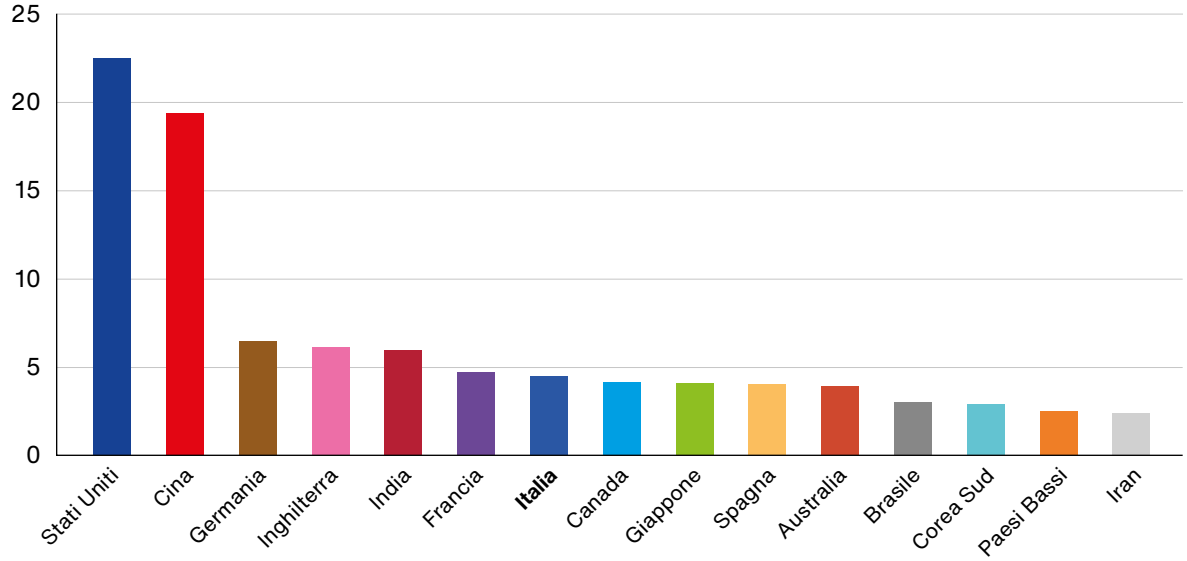
Figura 6. Pubblicazioni scientifiche nelle tecnologie quantistiche, (% paese) 2013-2022



Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati WoS

Confrontando questi dati con quelli relativi alla produzione scientifica complessiva (Figura 7), ovvero relativa a tutte le discipline, è possibile trarre alcune informazioni sui profili di specializzazione dei vari paesi. In particolare, Germania e Cina emergono come i paesi i cui sistemi della ricerca scientifica si sono specializzati maggiormente nel campo delle tecnologie quantistiche, in quanto la loro quota mondiale in questa disciplina eccede significativamente quella conseguita in generale in tutti i campi. Seguono il Giappone e l'India mentre le quote di Stati Uniti, Francia e Italia nel settore delle tecnologie quantistiche sono in linea con quelle complessive, sebbene leggermente superiori.

Figura 7. Pubblicazioni scientifiche in tutte le discipline, (% paese) 2013-2022

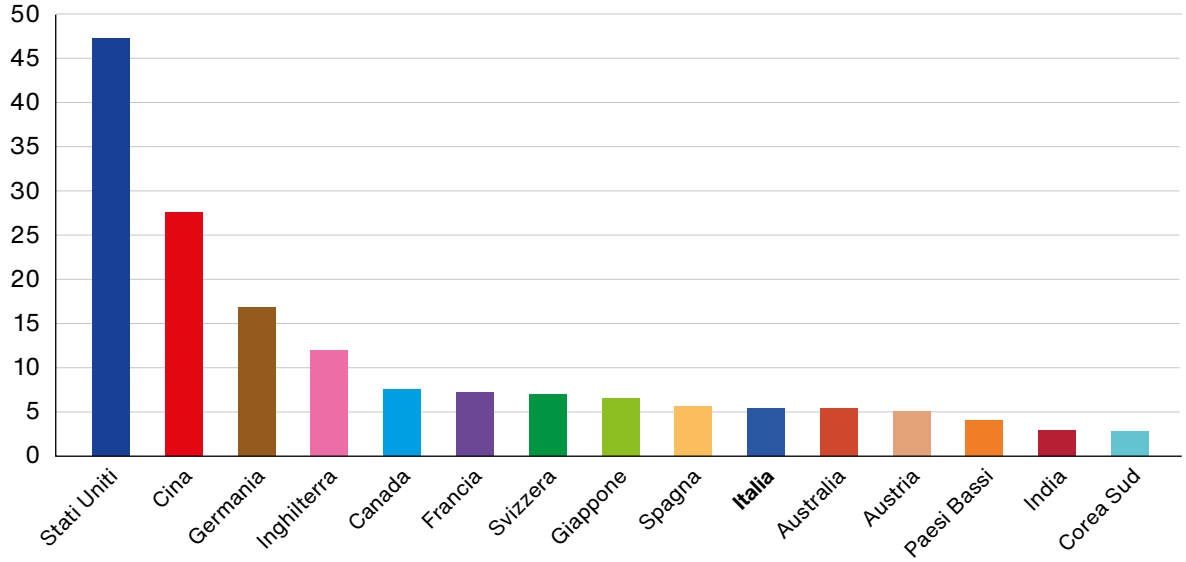


Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati WoS

TOP 1%

La gerarchia fornita dall'analisi dell'indicatore (i) potrebbe tuttavia essere condizionata dall'ampiezza del campione di pubblicazioni considerate e, in relazione a questo, dalla mancanza di vincoli qualitativi circa la rilevanza/impatto delle pubblicazioni. I passi successivi dell'analisi mirano quindi a tenere conto di questo aspetto utilizzando criteri via via più stringenti. L'indicatore (ii) fa riferimento al Top 1% per citazioni ricevute, ovvero al sottoinsieme di quelle che possono essere considerate le pubblicazioni di maggiore impatto per quanto riguarda le innovazioni tecnologiche potenzialmente collegate. La Figura 8 mette in luce in questo caso un avvicendamento al vertice, con gli Stati Uniti (47,3%) che superano la Cina (27,6%) al primo posto della classifica, con un margine significativo. La Germania, d'altra parte, rafforza la terza posizione con il 17% degli articoli scientifici più citati (Top 1%) aventi almeno un autore con affiliazione presso un'organizzazione tedesca.

Figura 8. Pubblicazioni scientifiche nelle tecnologie quantistiche Top 1%, (% paese) 2013-2022



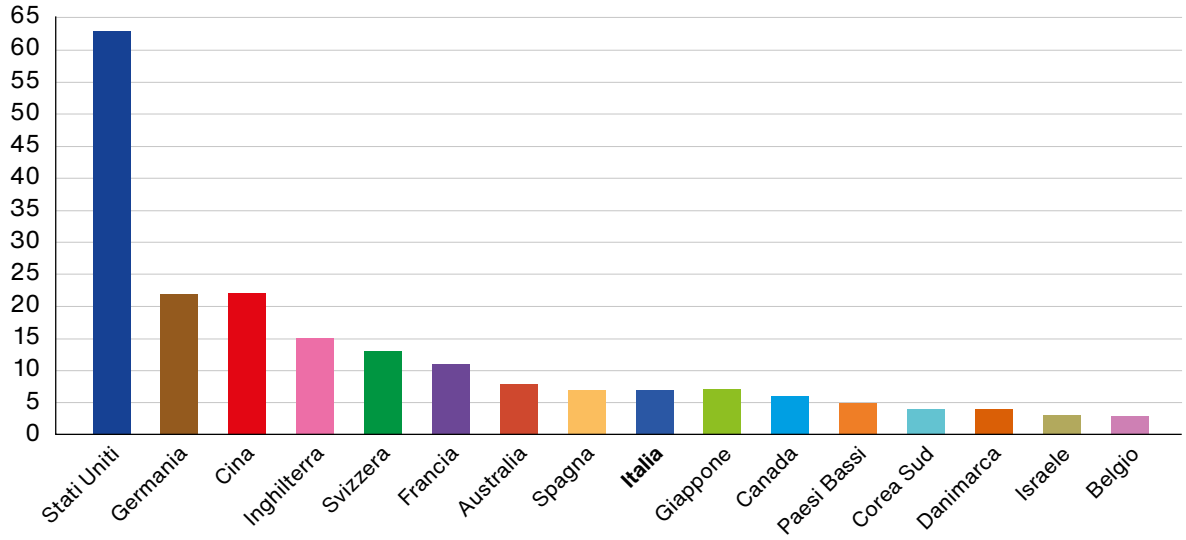
Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati WoS

È interessante notare che, secondo questo indicatore, nel campo delle tecnologie quantistiche il sistema scientifico tedesco mostra una significativa supremazia in Europa. La Germania stacca infatti nettamente le altre economie, Francia (con il 7,4%), Spagna (con il 5,7%) e Italia (con il 5,5%). Buona invece la performance dell'Inghilterra (12,1%), che raddoppia la propria quota guardando alla produzione scientifica di maggiore impatto analogamente a quanto accade per la Svizzera.

TOP 100

Il successivo step dell'analisi restringe ulteriormente il campo e guarda alle pubblicazioni che rappresentano potenzialmente i maggiori sviluppi scientifici nel settore realizzati nel periodo sotto osservazione. A tal fine viene utilizzato l'indicatore (iii), che fa riferimento alle 100 pubblicazioni più citate nel campo delle tecnologie quantistiche (Figura 9). Al restringersi del campione di pubblicazioni preso in considerazione, il dominio in campo scientifico degli Stati Uniti sembra diventare ancora più netto. Con 63 pubblicazioni con almeno un autore con affiliation statunitense, gli USA superano di molto Cina e Germania, entrambe con 22 pubblicazioni tra le Top 100. Questo risultato da un lato conferma il ridimensionamento del peso della Cina nella produzione scientifica quando si guarda agli output di maggiore impatto in assoluto, dall'altro segnala la buona capacità della Germania di produrre scienza di alto livello nel settore delle tecnologie quantistiche. Buono anche il posizionamento di Inghilterra (15 pubblicazioni tra le migliori 100) e Svizzera (13). Tra i paesi dell'UE, la Francia registra nel periodo considerato 11 pubblicazioni tra le Top 100, Italia e Spagna 7[9].

Figura 9. Pubblicazioni scientifiche nelle tecnologie quantistiche Top 100, (% paese) 2013-2022



Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati WoS

L'evoluzione della distribuzione dell'output scientifico nell'ultimo decennio

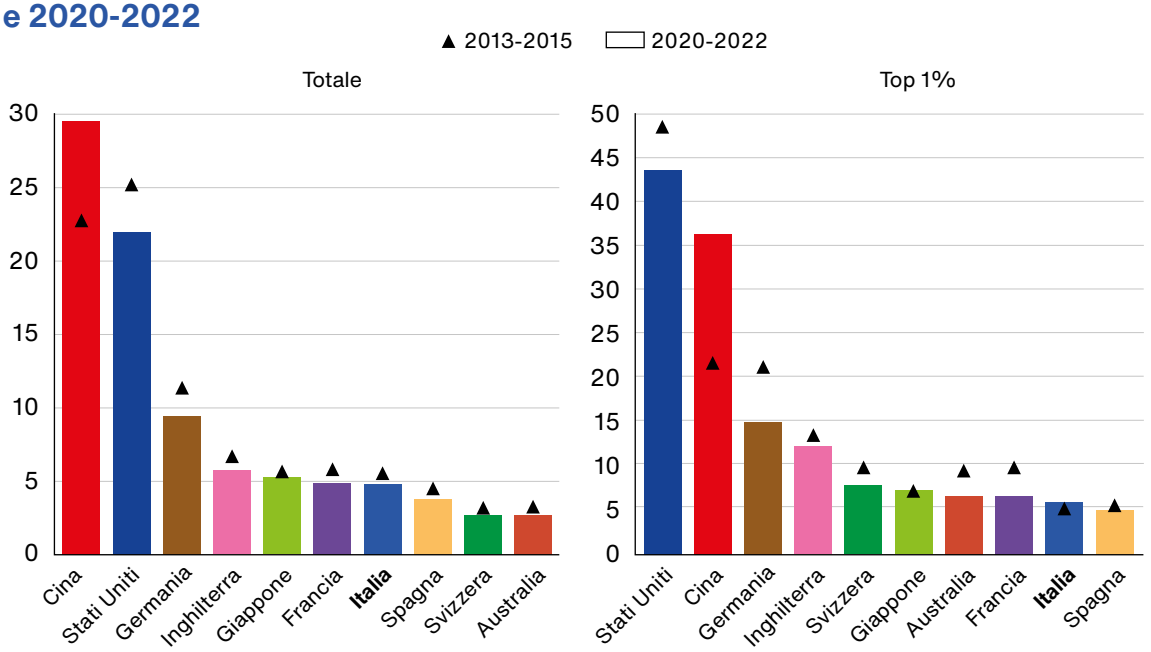
La Figura 10 riporta l'evoluzione delle quote dei principali paesi nelle diverse dimensioni dell'output scientifico nel campo delle tecnologie quantistiche precedentemente considerate. In particolare, vengono considerati i due trienni 2013-2015 e 2020-2022 che rappresentano i periodi iniziali e finali dell'intervallo di analisi complessivo analizzato in questo Rapporto per quanto riguarda la produzione scientifica.

9 Come ulteriore controllo è stato analizzato un campione ulteriormente ristretto considerando tra le prime 100 pubblicazioni per citazioni ricevute solo quelle apparse sulle riviste di massimo prestigio mondiale quali Science e Nature. I risultati evidenziano ancora con più forza la leadership degli Stati Uniti anche se, in questo caso trattandosi di riviste scientifiche occidentali, potrebbe esserci una sottorappresentazione dei relativi contributi scientifici provenienti da paesi non occidentali.

L'analisi della dinamica rivela degli aspetti di interesse. In particolare, da un lato emerge con forza la crescita significativa della Cina rispetto ai maggiori sistemi della ricerca scientifica a livello globale; dall'altro si conferma il ruolo degli USA come superpotenza nel campo della ricerca nelle QT. Nel dettaglio, se si guarda al mero dato quantitativo, ovvero al totale delle pubblicazioni nel triennio più recente, si assiste al sorpasso della Cina rispetto agli USA nella produzione di paper scientifici su QT, con una quota mondiale che passa per la prima dal 22,6% del triennio 2013-2015 al 29,5% del periodo 2020-2022, mentre scende dal 25.1% al 21.9% per i secondi. L'incremento della quota cinese avviene a danno non solo degli USA ma anche degli altri paesi. In particolare, la quota tedesca scende dall'11,2% al 9,4%, quella inglese dal 6,6% al 5,7%, quella della Francia dal 5,7% al 4,9% e quella italiana dal 5,4% al 4,8%.

La dinamica è analoga se si tiene conto dell'impatto delle pubblicazioni in termini di citazioni ricevute, anche se gli USA, in questo caso, mantengono ancora la loro posizione di leadership a livello internazionale.
In particolare, per quanto riguarda i lavori scientifici rientranti nel Top 1% per citazioni, nel triennio 2020-2022 il 43,6% di questi hanno almeno un autore con affiliazione ad una organizzazione statunitense (erano il 48,4% nel triennio 2013-2015), mentre la Cina passa dal 21,3% al 36,2%. Tra i paesi europei scende tra i due intervalli considerati la quota tedesca e francese mentre è in crescita quella italiana che passa dal 4,5% al 5,6%, a segnalare un miglioramento nella capacità del sistema scientifico italiano nel produrre ricerca di qualità nel campo delle QT.

Figura 10. Evoluzione della distribuzione dell'output scientifico nelle QT: 2013-2015 e 2020-2022



Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati WoS

Tecnologie quantistiche: analisi della capacità brevettuale

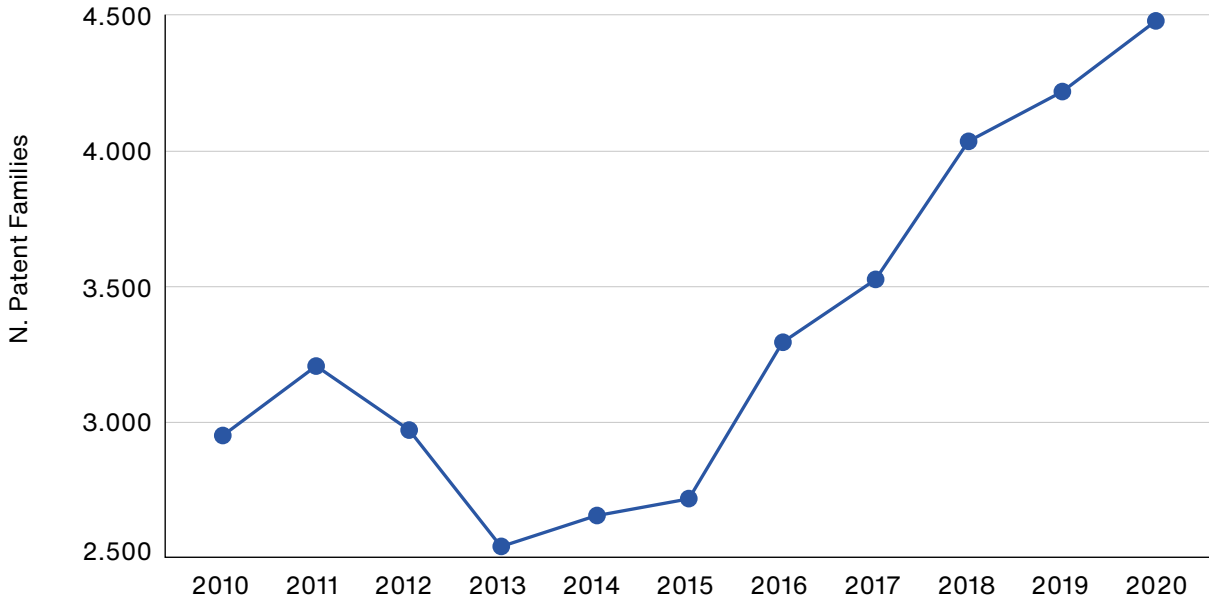
Si presentano qui i risultati dell'analisi sulle dinamiche globali delle capacità innovative e tecnologiche nel campo delle Quantum Technologies basata sui dati brevettuali. Confrontando l'attività brevettuale tra paesi e periodi, l'obiettivo è quello di identificare i leader e i pattern emergenti nelle gerarchie innovative globali.

Al fine di identificare le patent families relative alle QT, è stata utilizzata la classificazione proposta dal European Patent Office (EPO). La strategia di ricerca consiste in due passaggi. Nella prima fase, le patent families sono identificate dal codice tecnologico CPC (Cooperative Patent Classification) introdotto da EPO al fine di tracciare in maniera diretta le QT relative a Quantum Computing Technologies. In particolare, sono identificati come QT i brevetti classificati nella classe tecnologica "G06N 10/00" che include le tecnologie relative a: "Quantum computing, i.e. information processing based on quantum-mechanical phenomena".

Nella seconda fase la classificazione è stata estesa alle QT non esclusivamente relative a quantum computing, seguendo un principio di minimizzazione dei falsi positivi. A tale scopo è stata svolta una ricerca per keywords all'interno della descrizione testuale delle classi tecnologiche che ha portato all'identificazione di codici CPC che sono stati utilizzati per classificare i brevetti come QT[10]. L'insieme finale delle patent families QT è quindi composto dall'unione delle patent families identificate nelle due fasi.

La Figura 11 mostra l'evoluzione del numero totale di patent families nelle QT dal 2010 to 2020. Al netto di una lieve diminuzione tra il 2011 e il 2013, l'andamento è generalmente crescente con una marcata accelerazione dal 2015 in poi, a conferma del significativo aumento degli sforzi innovativi in questo campo[11].

Figura 11. Evoluzione del numero complessivo di QT patent families, 2010-2020



Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

10 La lista completa dei codici CPC e loro descrizione testuale utilizzati nell'identificazione delle tecnologie QT è riportata in Appendice.

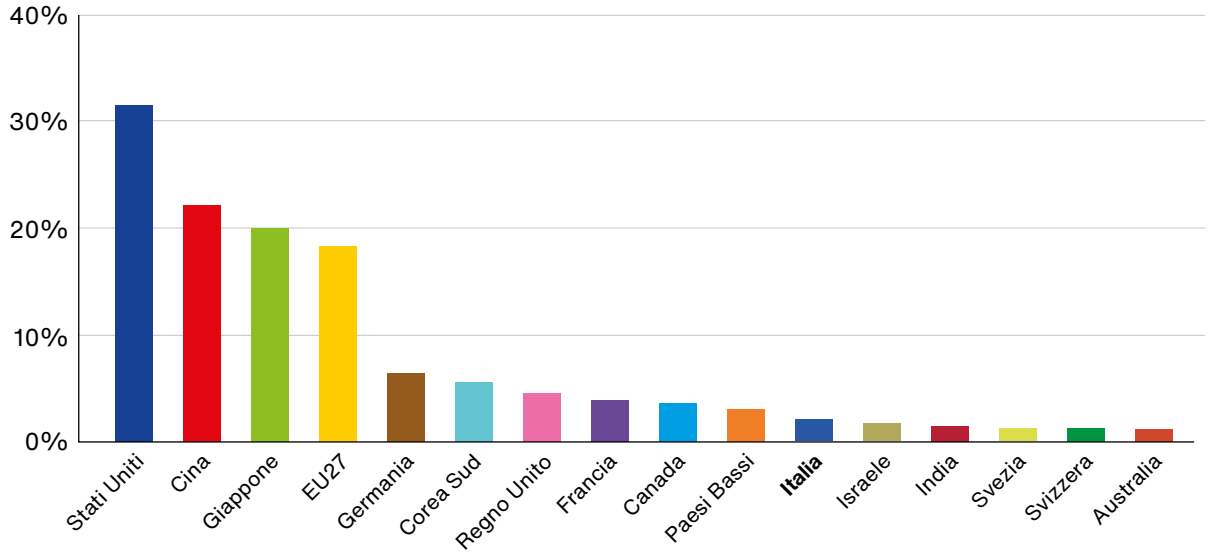
11 L'intervallo temporale analizzato differisce da quello esaminato attraverso i dati relativi alle pubblicazioni scientifiche a causa del consistente lag temporale tra la domanda di brevetto, la sua pubblicazione e inclusione negli archivi utilizzati per la costruzione del dataset. Questi ritardi si riflettono anche sull'analisi delle citazioni e per questo motivo gli anni considerati per analizzare la dinamica nel tempo nelle capacità brevettuali fanno riferimento ad intervalli più ampi 2010-2015 e 2015-2020.

Famiglie di brevetti WIPO

Guardando al primo indicatore considerato nell'analisi, ovvero la quota di patent families nelle QT che hanno cercato protezione internazionale - WO families - osserviamo che Stati Uniti, Cina e Giappone sono i paesi leader (Figura 12). Gli Stati Uniti guidano con un margine significativo, con il 31,5% di tutte le patent families QT in cui almeno un inventore risiede negli Stati Uniti, rispetto al 22,2% della Cina al secondo posto. Nel complesso, sommando gli sforzi innovativi dei 27 paesi EU, si può notare come l'aggregato EU27 raggiunga il quarto posto, con una quota pari al 18,3%, dietro al Giappone (20%).

Il primo paese europeo è la Germania, (quarto posto a livello globale) con una quota vicina al 6,5%. Seguono nella classifica europea Francia (3,8%) e Paesi Bassi (3,1%). L'Italia registra una quota di brevetti modesta pari al 2%, circa la metà di quella di un paese di analoghe dimensioni, la Francia, e un terzo in meno dei Paesi Bassi, paese significativamente più piccolo dell'Italia.

Figura 12. WO QT patent families (% paese), 2010-2020



Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

Famiglie di brevetti triadici

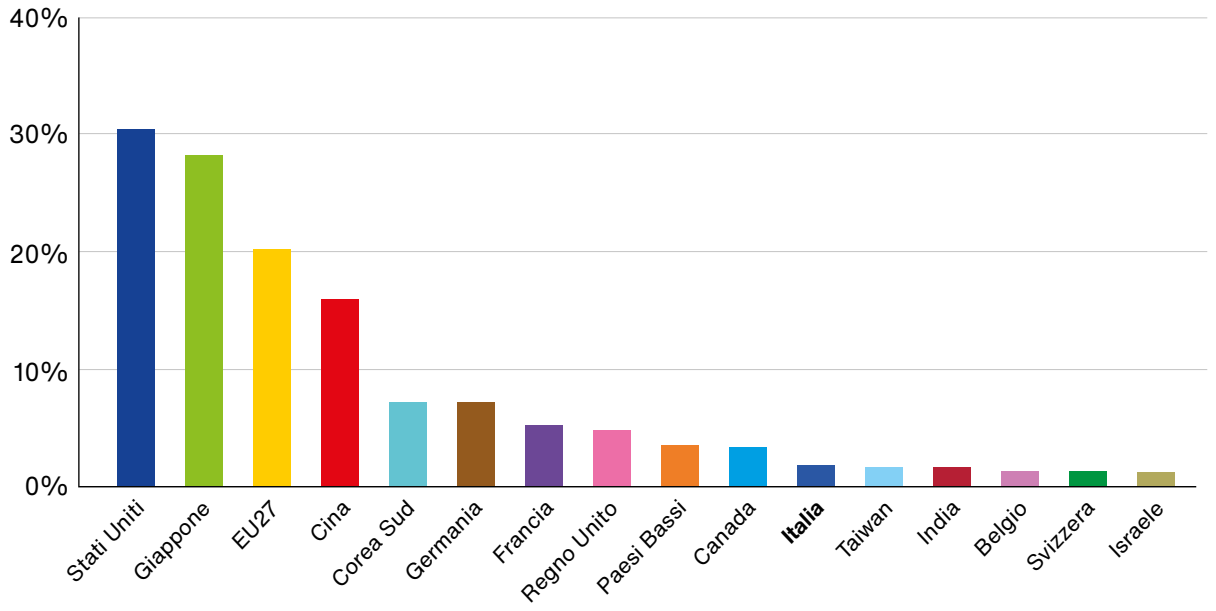
Il secondo indicatore considerato prende in esame le patent families le cui application sono state registrate in almeno tre dei quattro principali uffici brevettuali a livello globale. Si tratta quindi di famiglie brevettuali per cui si cerca una maggiore protezione a livello internazionale, a significare un maggior livello qualitativo (e quindi un maggiore impatto economico e tecnologico) della conoscenza che si intende proteggere.

La Figura 13 mostra come, in questo caso, alcune gerarchie cambino. In particolare, mentre gli Stati Uniti mantengono la loro posizione di leadership, seppur con una quota leggermente ridotta rispetto all'indicatore precedentemente analizzato (30%), la Cina arretra in quarta posizione (15,9%), superata da Giappone (28,3%), al secondo posto, con uno scarto di pochi punti dagli USA. L'EU-27 nel suo complesso mantiene la terza posizione, con una quota leggermente superiore rispetto al precedente indicatore, pari al 20,2%. La Cina è seguita dalla

Corea e dalla Germania entrambe con il 7,2% dei brevetti. È interessante notare che Francia (5,2%), Regno Unito (4,8%), Paesi Bassi (3,5%) mantengono posizioni avanzate, nonostante il divario con i leader del ranking sia rilevante.

Per quanto riguarda l'Italia la quota registrata con questo indicatore è leggermente inferiore (1,8%) rispetto a quella relativa al precedente indicatore, confermando una complessiva posizione di debolezza nella capacità di produrre innovazioni nelle QT.

Figura 13. Triadic QT patent families (% paese), 2010-2020

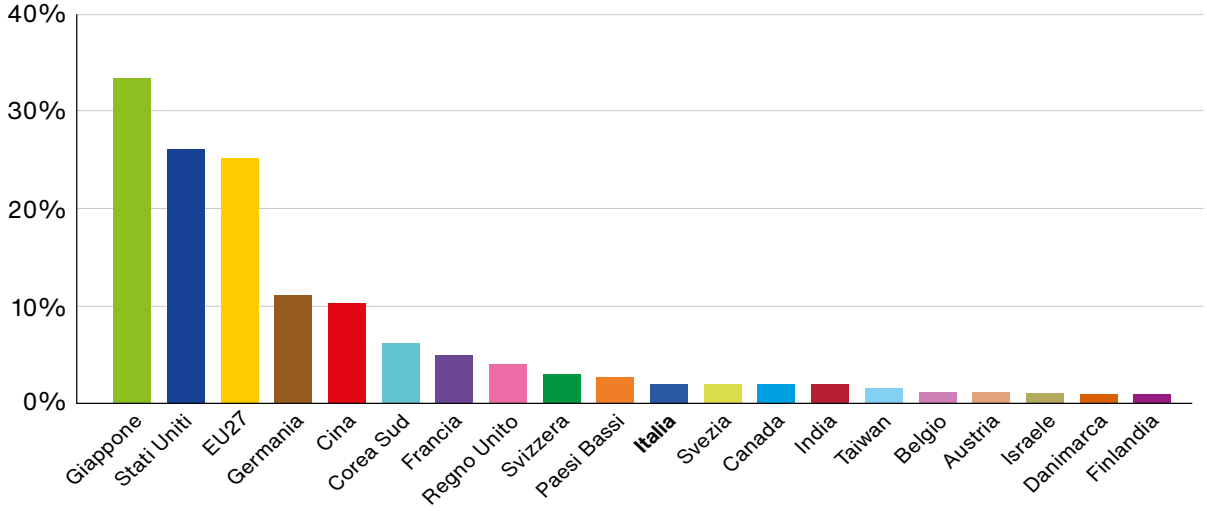


Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

Tenuto conto che l'indicatore basato sulle famiglie di brevetti triadici è il più diffuso per le comparazioni internazionali, è utile avvalersi di questa metrica per confrontare la performance brevettuale nelle QT dei diversi paesi relativamente alla rispettiva performance media in tutte le classi tecnologiche. In questo modo è possibile trarre alcune indicazioni sui profili di specializzazione seguiti dai diversi paesi.

Dal confronto tra la Figura 13 e la Figura 14 emerge come la Cina abbia una forte specializzazione tecnologica nel settore delle QT, essendo la quota cinese in questo settore decisamente superiore a quella media su tutte le tecnologie. Anche Stati Uniti e Regno Unito mostrano una specializzazione positiva. Al contrario l'Unione Europea risulta nel complesso despecializzata nel campo delle tecnologie quantistiche. In particolare la Germania, mentre nel complesso delle tecnologie registra una quota media dell'11%, nel caso delle QT, come sopra evidenziato, si ferma al 7,2%. Anche l'Italia risulta leggermente despecializzata essendo le rispettive quote pari 2% (totale brevetti) e 1,8% (tecnologie quantistiche).

Figura 14. Triadic patent families in tutte le tecnologie (% paese), 2010-2020



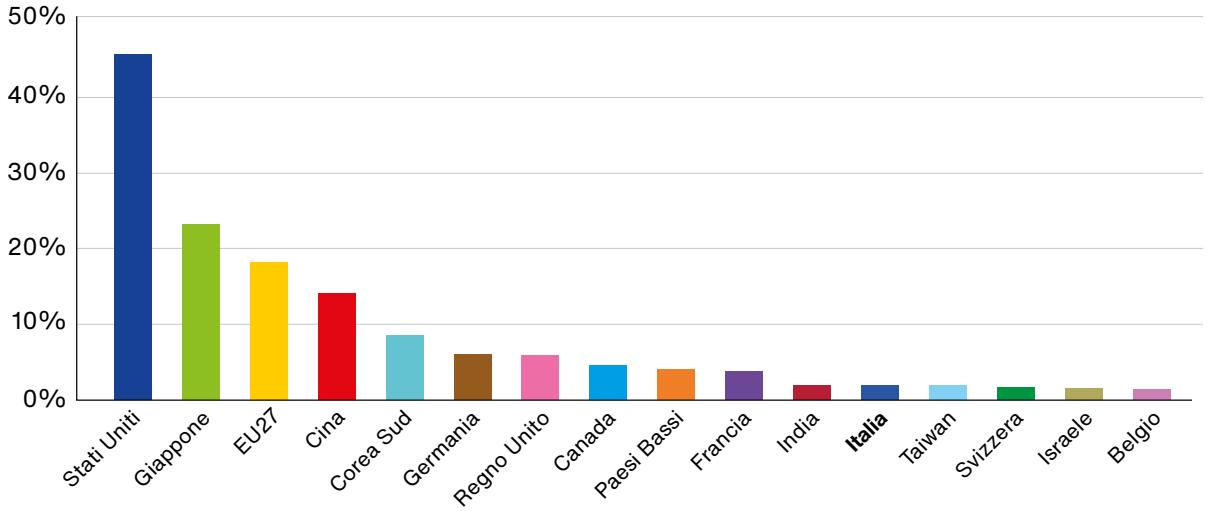
Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

TOP 10%, famiglie di brevetti triadici per citazioni

La seconda serie di indicatori, più restrittivi in termini di qualità e valore dei brevetti, è costruita misurando la quota di triadic patent families che ricevono il maggior numero di citazioni negli anni successivi alla pubblicazione.
Guardando alle triadic patent families nel top 10% in termini di citazioni ricevute (Figura 15) si vede come cresca in maniera rilevante la quota degli Stati Uniti (45,7%). Si conferma la seconda posizione del Giappone con il 23,3%, seguito dall'aggregato Europeo a 27 paesi (18,4%) e dalla Cina, con una quota pari al 14,1%. Si noti che, al contrario degli Stati Uniti e anche del Regno Unito (6%), al restringersi dei criteri di selezione dei brevetti in termini qualitativi diminuisce la quota misurata sia per la Cina sia per l'Unione Europea e il Giappone.

Tra i paesi europei Germania, Paesi Bassi e Francia (con quote rispettivamente pari al 6%, 4,1% e 3,9%) ricoprono le prime tre posizioni, segue l'Italia con una quota pari al 2%.

Figura 15. Triadic QT patent families nel Top 10% per citazioni (% paese), 2010-2020

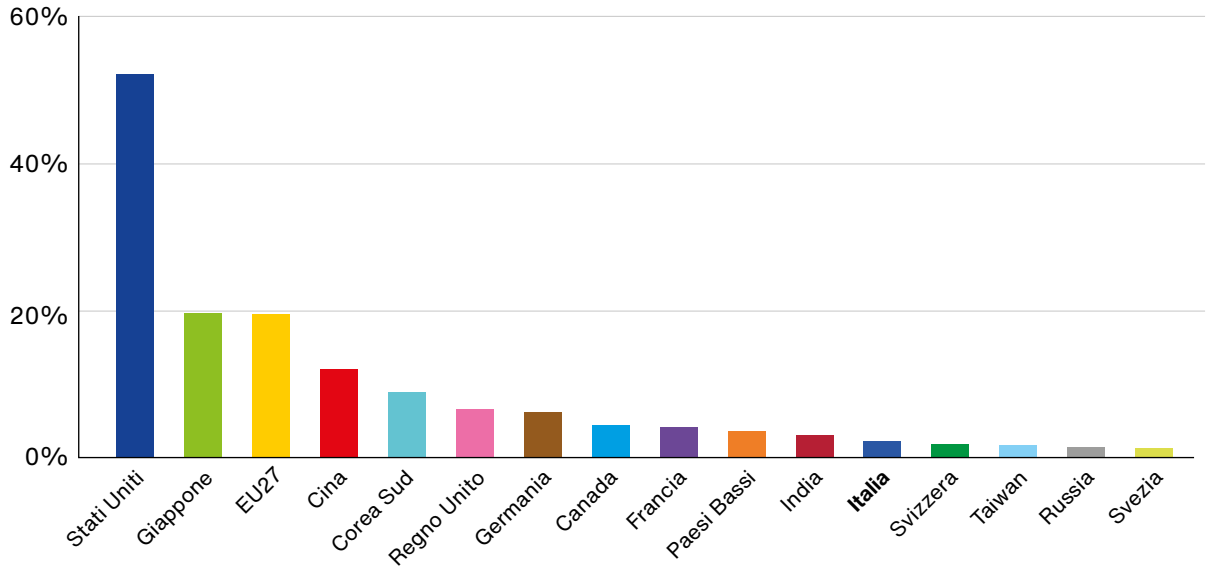


Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

TOP 5%, famiglie di brevetti triadici per citazioni

Il ranking delle triadic patent families nel Top 5% in termini di citazioni restituisce uno scenario simile ma con alcune sostanziali differenze. Restringendo ulteriormente la selezione delle innovazioni brevettate in termini di potenziale impatto, la Figura 16 mostra come gli Stati Uniti rafforzino la loro leadership internazionale, con una quota in aumento al 52,2% rispetto al precedente indicatore. Cresce il gap con il Giappone, in seconda posizione, con il 19,8%. Quote pari al 19,5% e 12% si registrano per l'aggregato EU27 e per la Cina, che confermano la terza e quarta posizione. Interessante notare come, in questo caso, il Regno Unito (6,7%) superi la Germania (6,2%). La Francia con una quota del 4,1% è il secondo Paese europeo, davanti ai Paesi Bassi, che considerata la dimensione inferiore, realizzano comunque un buon risultato (3,6%). Si conferma il posizionamento più arretrato dell'Italia, con una quota che però in questo caso è leggermente superiore e pari al 2,3%. Un dato che sembrerebbe identificare, in un quadro di limitata diffusione complessiva della capacità di generare innovazioni brevettabili nel campo delle QT, la presenza di capacità tecnologiche di alto livello.

Figura 16. Triadic QT patent families nel Top 5% per citazioni (% paese), 2010-2020



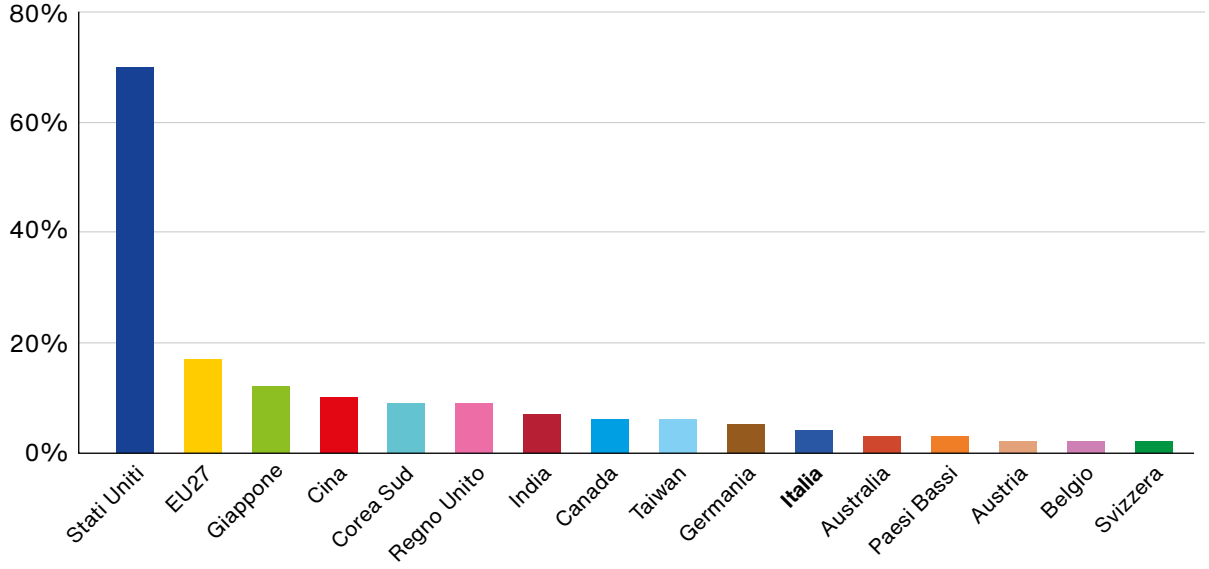
Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

TOP 100, famiglie di brevetti triadici per citazioni

Si riportano qui i risultati dell'analisi condotta sulle Top 100 famiglie brevettuali in termini di citazioni ricevute nel periodo considerato. Questo indicatore mira a intercettare quelle innovazioni radicali in grado di spingere in avanti la frontiera tecnologica e quindi capaci di generare i maggiori impatti sull'economia e sulla società ma anche in termini di leadership tecnologica.

Anche utilizzando questo indicatore si conferma, e anzi si accentua, il ruolo di superpotenza tecnologica degli Stati Uniti. Sui primi 100 brevetti in termini di citazioni 70 hanno almeno un inventore residente negli Stati Uniti. Il distacco con gli altri Paesi è significativo, sebbene l'Unione Europea sembri poter giocare un ruolo di partner rilevante collocandosi in seconda posizione (17 brevetti con almeno un ricercatore europeo), davanti a Giappone (12) e Cina (10). Buono il posizionamento del Regno Unito (9) davanti alla Germania (5), mentre l'Italia conferma l'esistenza di eccellenze nell'innovazione tecnologica in questo campo con 4 brevetti in cui è presente un inventore residente nel nostro Paese.

Figura 17. Triadic QT patent families Top 100 per citazioni (% paese), 2010-2020



Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

Evoluzione della capacità brevettuale nel decennio 2010-2020

La Figura 18 e la Figura 19 riportano l'evoluzione temporale delle quote nazionali nelle diverse dimensioni dell'attività brevettuale nel campo delle QT precedentemente analizzate. In primo luogo, la Figura 18 mostra il confronto secondo gli indicatori I e II relativi ai brevetti internazionali WO e alle triadic families mettendo in relazione, per ciascun paese, la quota di patent families QT nel periodo 2010-2015 con le quote nel periodo 2015-2020. La Figura 19, invece, mostra il confronto in relazione agli indicatori in termini di patent families più citate (Top 10% e Top 5%) tra le triadic patent families.

I dati mostrano che, nel tempo, la leadership tecnologica nel campo delle QT degli Stati Uniti tende a rafforzarsi, sebbene la crescita della Cina sia particolarmente significativa. La dinamica registrata nell'Unione Europea non è invece positiva, con un indebolimento del posizionamento europeo.
Nel dettaglio, partendo dall'analisi del complesso dei brevetti per cui è stata richiesta protezione internazionale tramite WIPO (WO families), si osserva come gli Stati Uniti mantengano pressoché invariata la propria quota, intorno al 31%, mentre la Cina compie un balzo in avanti passando dal 19,1% del periodo 2010-2015 al 24,7% del periodo 2015-2020. Tale dinamica consente alla Cina di superare Giappone e Unione Europea e guadagnare la seconda posizione per quota complessiva di brevetti WO.

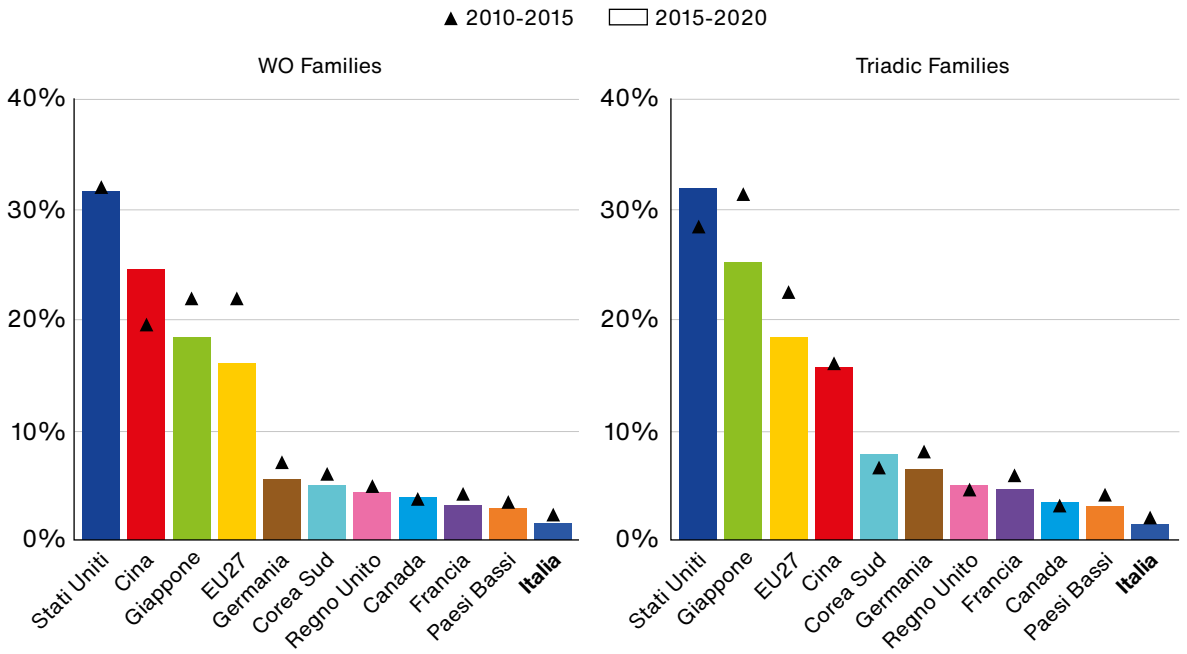
Restringendo tuttavia l'analisi alle famiglie di brevetti triadici, ovvero quelle per cui è stata richiesta protezione in almeno tre dei 4 principali uffici brevettuali a livello globale, si nota come gli Stati Uniti registrino un incremento della propria quota che passa da 28,6% al 32%, consentendogli di superare, secondo questo indicatore, il Giappone, che invece registra un calo della quota dal 31,5% al 25,2%.

Negli intervalli di tempo considerati i paesi dell'Unione Europea mostrano un deterioramento della propria competitività tecnologica a livello globale, con una quota che passa dal 22,6% del periodo 2010-2015 al 18,4% del periodo 2015-2020. Pressoché costante il dato cinese intorno al 16%. Tra i paesi europei Germania e Francia riducono la propria quota passando rispettivamente dall'8,1% al 6,4% e dal 6% al 4,6%. Stessa dinamica negativa per l'Italia che acuisce la propria debolezza con una quota che passa dal 2,1% all'1,5%.

Passando all'analisi dell'evoluzione temporale della quota di triadic patent families maggiormente citate, si trova conferma del processo di rafforzamento in atto da parte degli Stati Uniti nella leadership tecnologica nel campo delle QT. Il trend degli USA è infatti in crescita sia per i brevetti Top 10% che per quelli Top 5% per citazioni. In particolare, nel primo caso la quota degli Stati Uniti cresce dal 43,9% al 53,6%, nel secondo, dal 51,4% al 54,5%.

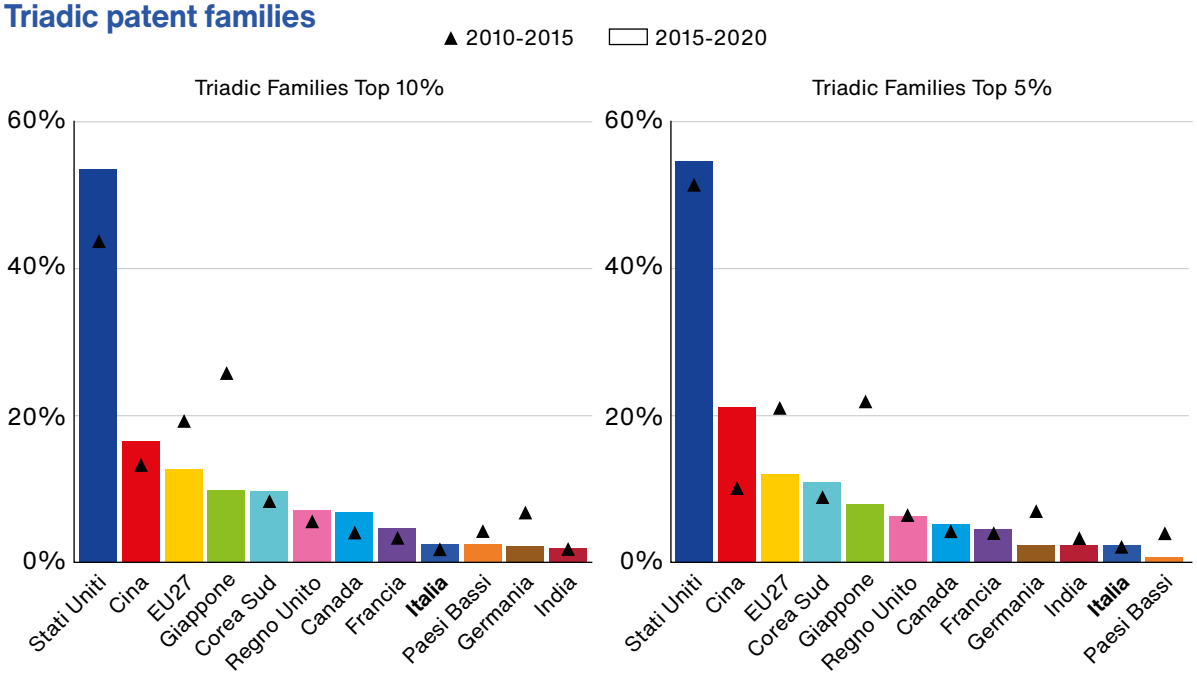
La dinamica nel tempo è favorevole anche alla Cina che compie progressi significativi, tali da consentirle di superare, in termini di quote, sia Giappone che Unione Europea. Questo è vero per entrambi gli indicatori considerati. Per quanto riguarda il Top 10% per citazioni la quota cinese passa dal 13,5% al 16,6%, mentre per il Top 5% la stessa passa dal 10,2% al 21%. Al contrario, l'Unione Europea registra un forte arretramento con un calo dal 19,5% al 12,7% nel primo caso e dal 21,1% all'11,9%. In questo contesto l'Italia mantiene invece la propria quota intorno al 2%.

Figura 18. Evoluzione 2010-2015 e 2015-2020, WO e Triadic patent families



Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

Figura 19. Evoluzione 2010-2015 e 2015-2020, Top 10% e Top 5% per citazioni, Triadic patent families



Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

Intelligenza Artificiale: analisi della produzione scientifica

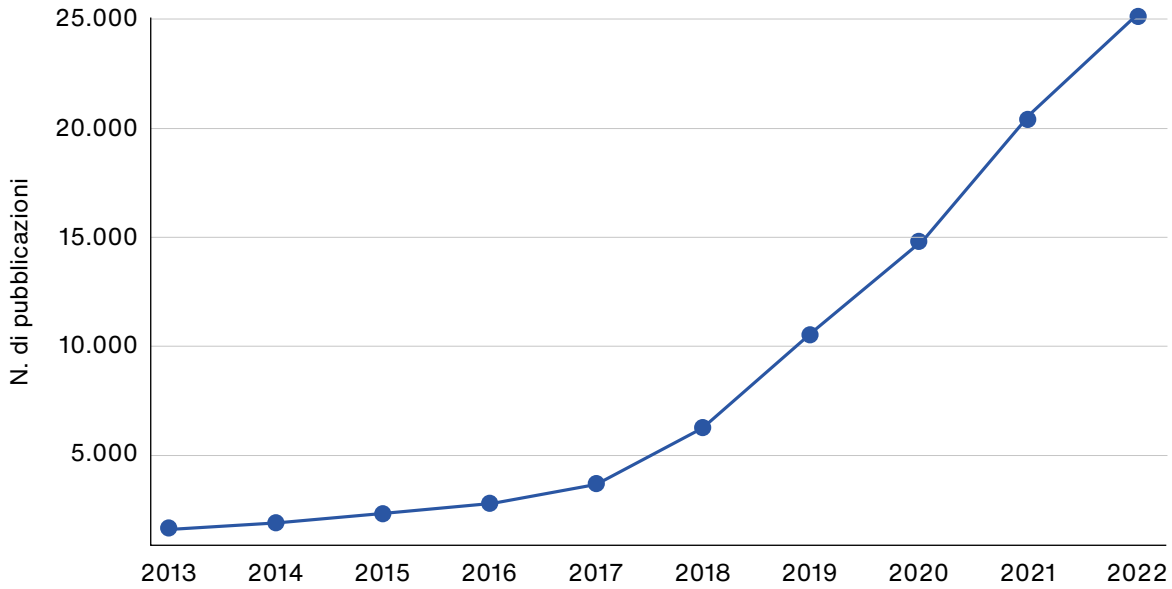
L'analisi della gerarchia globale nel campo scientifico relativo alle tecnologie dell'AI può essere condotta utilizzando diverse fonti di dati. In questo caso, tenuto conto del peso crescente degli investimenti delle aziende private nella ricerca nel campo dell'AI, oltre a considerare la fonte di dati "Web of Science" che indicizza la letteratura accademica nei diversi ambiti scientifico-disciplinari, verrà utilizzata un'ulteriore fonte di dati prodotti dalla società Zeta Alpha. Questo database include dati specifici sulla produzione scientifica nel campo dell'AI, contenendo informazioni non solo sui lavori accademici e i giornali scientifici tradizionali ma anche su canali di diffusione della conoscenza più dinamici e ampi come i conference papers. In questo modo sarà maggiormente possibile tenere conto dell'influenza crescente della ricerca dell'industria privata in questo settore.

L'analisi è quindi divisa in due parti. Inizialmente vengono considerati tutti i paper 'non di rassegna' (si veda la definizione precedente) presenti in WoS, pubblicati dal 2013 al 2022, e contenenti il termine "Artificial Intelligence" nel titolo, nell'abstract o nelle parole chiave inserite dagli autori. Sulla base di questi dati vengono calcolati i tre indicatori utilizzati per l'esame delle QT.

La seconda parte dell'analisi si basa, invece, sui dati della società Zeta Alpha e riguarda i Top 100 paper più citati nel campo dell'IA nel periodo dal 2020 al 2022.

Come nel caso delle pubblicazioni scientifiche riferite alle tecnologie quantistiche, anche per quanto riguarda l'AI si osserva un trend di forte crescita nel periodo compreso tra il 2013 e il 2022, con una intensificazione del numero di pubblicazioni a partire dal 2017 (Figura 20). Sembrerebbe, dunque, che gli sviluppi tecnologici e, soprattutto, il moltiplicarsi dell'interesse nelle applicazioni civili, industriali e militari dell'AI abbia generato un deciso stimolo alla produzione scientifica in questo campo.

Figura 20. Numero di pubblicazioni nel campo dell'AI, 2013-2022



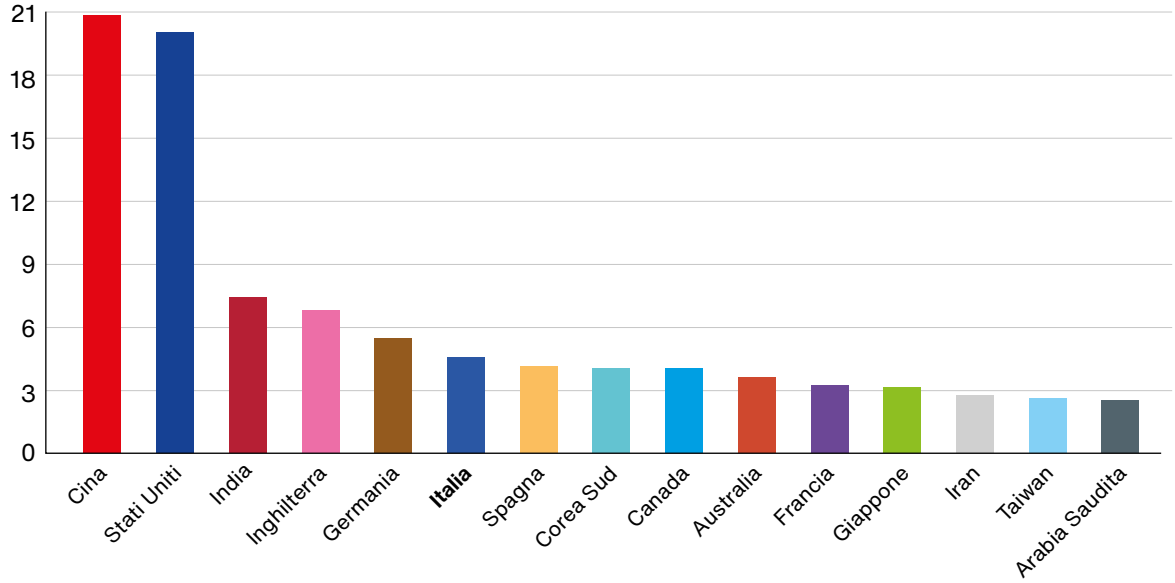
Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati WoS

Totale delle pubblicazioni

Per quanto concerne la gerarchia globale dei principali paesi, la Figura 21 racconta di una situazione non particolarmente dissimile rispetto a quanto osservato nel caso delle tecnologie quantistiche. Nel periodo considerato la Cina (con il 20,8%) si colloca al primo posto testimoniando, nuovamente, lo sforzo senza precedenti che questo paese ha messo in campo per recuperare il gap di produzione scientifica nei confronti delle economie occidentali e, in particolare, degli USA. Gli Stati Uniti con il 20% delle pubblicazioni sono al secondo posto, seguiti da India (con il 7,4%) e Inghilterra (con il 6,8%). Tra i paesi europei Germania (con il 5,5%), Italia (4,5%), Spagna (4,1%) e Francia (3,2%) guidano la classifica.

Anche in questo caso, dal confronto con i dati relativi al complesso delle pubblicazioni in tutti i campi scientifici contenute nel database WoS (riproposti nella Figura 22) è possibile trarre qualche indicazione sulla specializzazione relativa dei diversi sistemi della ricerca, in particolare di natura accademica, nel campo dell'AI.

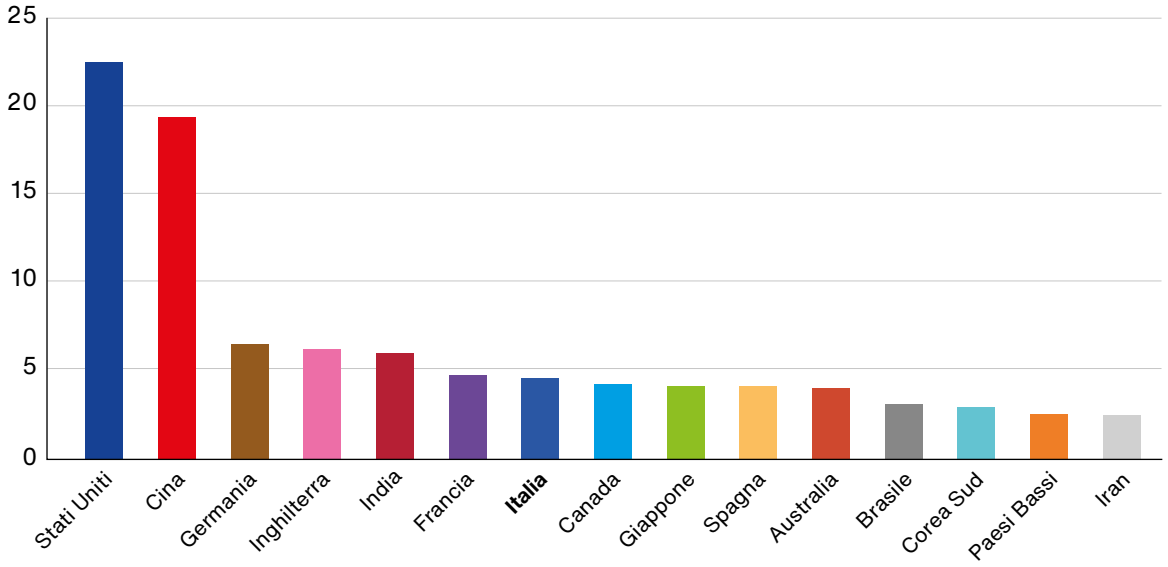
Figura 21. Pubblicazioni scientifiche nell'AI, (% paese) 2013-2022



Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati WoS

Dai dati emerge come, nel periodo considerato, la quota della Cina nel campo dell'AI (20,8%) sia leggermente superiore a quella registrata nel complesso per tutte le aree scientifiche (19,4%), a indicare un certo grado di specializzazione cinese in questo campo. Mentre l'India mostra un livello di specializzazione del proprio sistema della ricerca nel campo dell'IA più pronunciato, dai dati sul complesso delle pubblicazioni scientifiche presenti in WoS non emerge un pattern simile nel caso degli USA e dei principali paesi europei.

Figura 22. Pubblicazioni scientifiche in tutte le discipline (% paese) 2013-2022

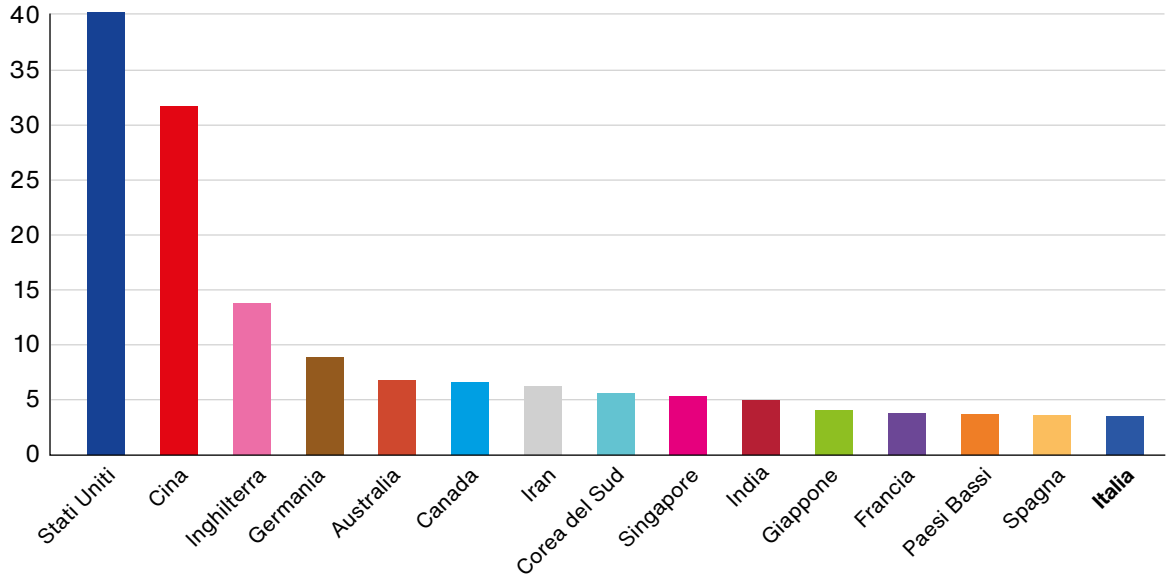


Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati WoS

TOP 1%

Analogamente a quanto mostrato con riferimento alle tecnologie quantistiche, il passaggio a un indicatore più stringente – Top 1% delle pubblicazioni relative alla AI per numero di citazioni – determina alcuni cambiamenti nell'ordinamento. Gli Stati Uniti con il 40,2% superano, nuovamente la Cina (con il 31,5%) che segue al secondo posto, confermando la leadership statunitense nella ricerca scientifica quando si tiene conto della qualità in termini di impatto citazionale dei prodotti scientifici. Il terzo, il quarto e il quinto posto sono occupati, rispettivamente, da Inghilterra (con il 13,8%) che mostra una buona competitività del proprio sistema della ricerca in questo campo, Germania (con l'8,9%) e Australia (con il 6,8%). Per quanto riguarda l'ordinamento interno ai paesi europei, invece, cresce il distacco tra la Germania e gli altri paesi, con Francia (3,9%), Paesi Bassi (3,8%), Spagna (3,7%) e Italia (3,6%). Da notare che, al contrario di USA, Germania e Inghilterra, il passaggio a un indicatore di qualità della produzione scientifica penalizza l'Italia, che vede la propria quota scendere dal 4,5% al 3,6% a livello mondiale.

Figura 23. Pubblicazioni scientifiche nell'AI Top 1%, (% paese) 2013-2022

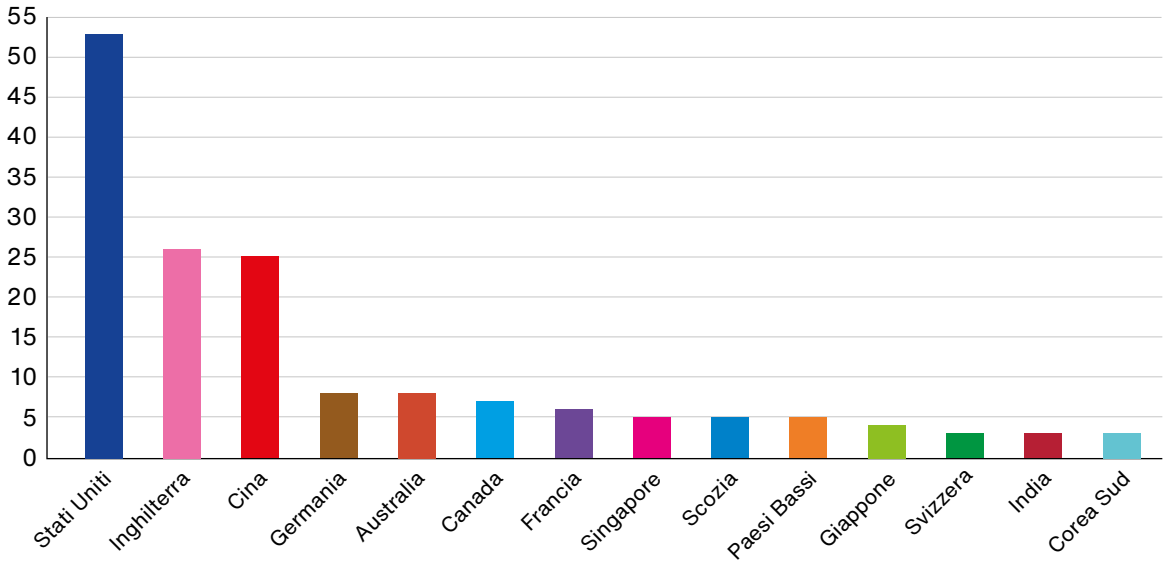


Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati WoS

TOP 100 (WoS)

Utilizzando l'indicatore (iii) – le 100 pubblicazioni scientifiche più citate presenti nel database Web of Science – il risultato precedente si rafforza ulteriormente. In particolare, il distacco degli USA con gli altri paesi aumenta significativamente con 53 pubblicazioni tra le prime 100 per citazioni aventi almeno un autore con affiliazione statunitense. Si consolida inoltre la posizione del sistema della ricerca scientifica inglese, che registra 26 prodotti tra i Top 100, superando, seppur di poco, la Cina che con 25 pubblicazioni tra le prime 100 scende al terzo posto. Tra i paesi europei la prima posizione è della Germania con 8 pubblicazioni con almeno un ricercatore di un'organizzazione tedesca tra gli autori, seguita dalla Francia 6. L'Italia si ferma a 2 pubblicazioni tra le Top 100, superata dai Paesi Bassi (5), confermando, pur in presenza di alcune eccellenze, la debolezza generale del nostro sistema della ricerca scientifica nel campo dell'AI.

Figura 24. Pubblicazioni scientifiche nell'AI Top 100 WoS, (% paese) 2013-2022

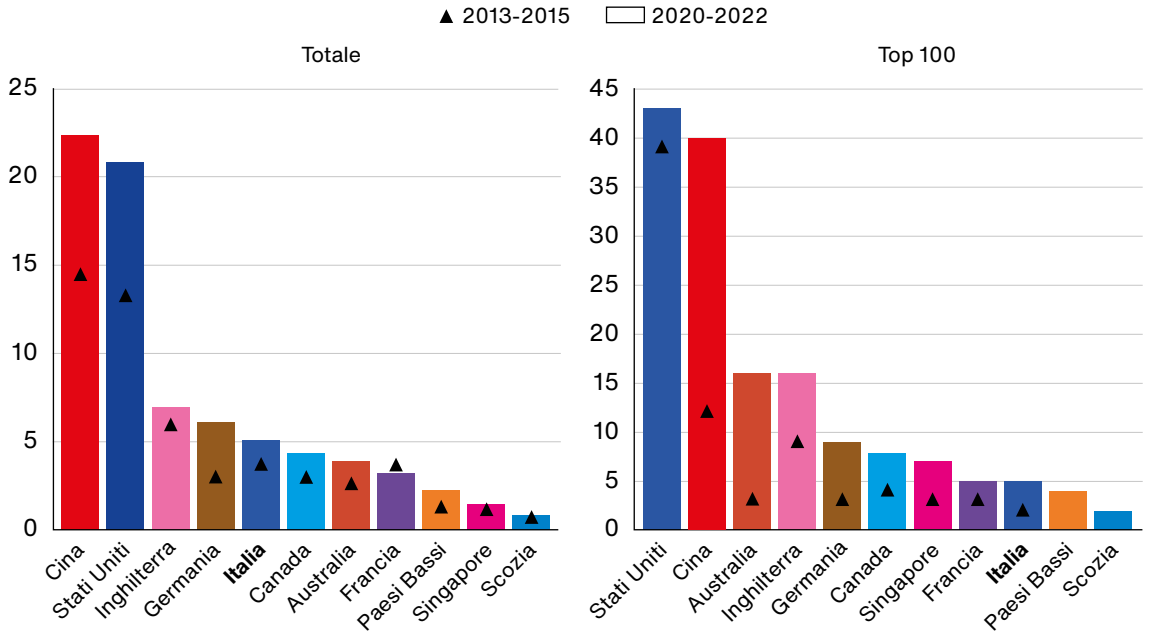


Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati WoS

L'evoluzione della distribuzione dell'output scientifico nell'ultimo decennio

La Figura 25 illustra i cambiamenti nell'ordinamento dei paesi nel corso del tempo, tenendo conto degli indicatori precedentemente considerati[12]. I dati provenienti dall'archivio Web of Science mostrano come nell'ultimo triennio considerato (2020-2022) la Cina abbia realizzato dei progressi particolarmente rilevanti. Cresce la quota totale di pubblicazioni che arriva al 22.3% contro il 20.8% degli USA. Aumenta anche la quota di prodotti scientifici rientranti nel Top 1% per citazioni ricevute, tanto che nel periodo 2020-2022 Cina e USA risultano appaiate con quote rispettivamente del 36.8% e 36.5%. Gli Stati Uniti secondo i dati WoS confermano la posizione di leadership per quanto riguarda i 100 lavori scientifici più citati, ma le distanze tra i due giganti sembrano assottigliarsi. Sono infatti 43 le pubblicazioni tra le prime 100 con almeno un autore con affiliazione USA e 40 con affiliazione cinese.

Figura 25. L'evoluzione della distribuzione dell'output scientifico: 2013-2015 e 2020-2022



Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati WoS

Considerato il crescente ruolo delle aziende private nella ricerca scientifica nel campo dell'AI, le informazioni contenute nel database WoS, che raccoglie prevalentemente informazioni su articoli di natura accademica pubblicati su riviste tradizionali, potrebbero non dare una rappresentazione esaustiva della realtà, sottostimando il peso della ricerca scientifica prodotta dal settore privato.
Per questa ragione, seguendo quanto proposto da Nightingale e Phillips (2023)[13], viene qui considerata un'ulteriore fonte di dati prodotti dalla società Zeta Alpha che ha sviluppato un'analisi più ampia e dettagliata delle pubblicazioni scientifiche a maggiore impatto realizzate nel campo dell'AI, capace di tener conto dell'influenza crescente della ricerca dell'industria privata in questo settore.

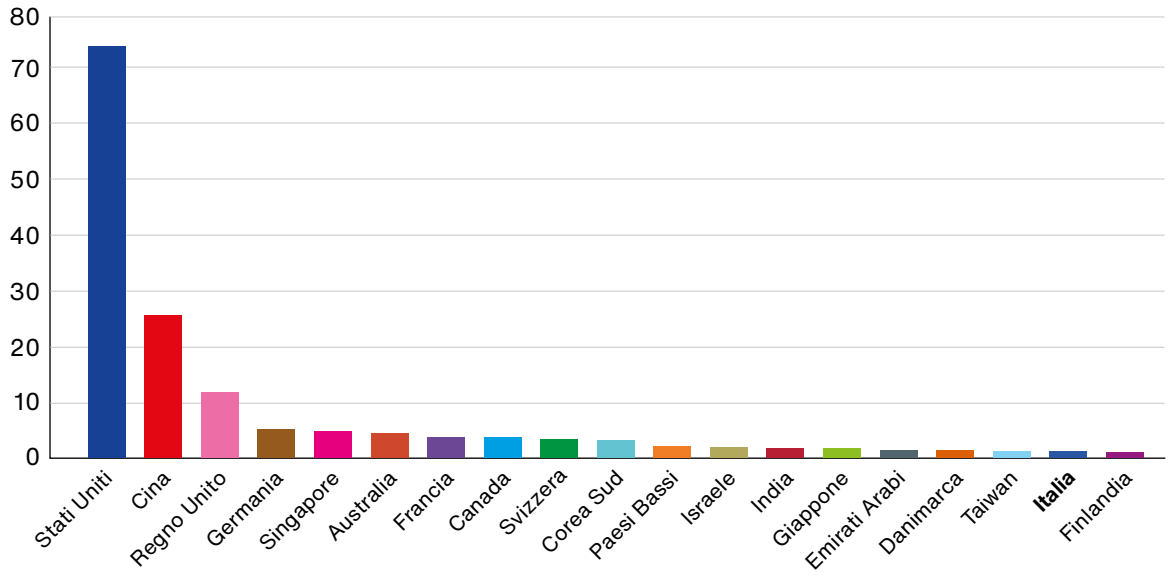
12 Considerato il numero limitato di brevetti nel primo periodo considerato 2013-2015, per evitare sovrapposizioni si riporta esclusivamente il dato complessivo e sui top 100 papers.

13 Op.Cit.

Le elaborazioni effettuate per il periodo 2020-2022 su questi dati fanno emergere un quadro più nitido degli attuali assetti internazionali nel campo dell'AI. In particolare, una volta considerato il contributo di aziende leader nel settore allo sviluppo scientifico della disciplina, il primato degli Stati Uniti emerge con più chiarezza.

La Figura 26 riporta per i principali paesi la media annuale riferita al periodo 2020-2022 degli output scientifici nel campo dell'AI rientranti nel Top 100 per citazioni ricevute. Gli Stati Uniti (con il 73,6%) delle pubblicazioni rimangono ampiamente la nazione leader, seguiti a distanza dalla Cina (con il 25,7%). Buona la performance del Regno Unito con una quota del 12% nel periodo considerato. Tra i paesi UE, secondo questa fonte, la Germania detiene una quota pari al 5,3%, la Francia il 4%, mentre l'Italia si ferma all'1,3%.

Figura 26. Pubblicazioni scientifiche nell'AI Top 100, (% paese) 2020-2022

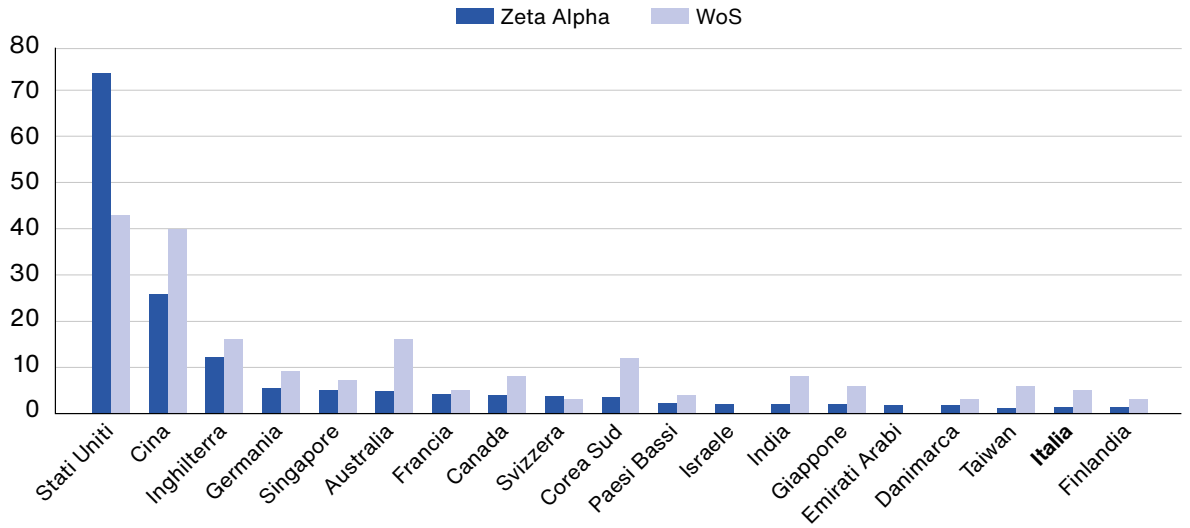


Nota: i valori si riferiscono alla quota media nel periodo 2020-2022
Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati Zeta Alpha

Per completezza di informazione, la Figura 27 riporta il confronto per il periodo 2020-2022 tra le due fonti di dati. I risultati mostrano come il dato WoS, che tende a sottostimare il contributo delle aziende private alla ricerca scientifica nel settore dell'AI, non consenta di cogliere appieno la supremazia degli Stati Uniti, che deriva prevalentemente dagli investimenti in ricerca effettuati dal settore privato. Al contrario, il dato di fonte Zeta Alpha penalizza praticamente tutti gli altri paesi, compresa la Cina, evidenziando come, in questo campo, la complementarità tra ricerca pubblica e privata sia un tratto specifico e di particolare rilievo negli USA. Questo risultato è coerente con quanto evidenziato nel Rapporto del Centro Economia Digitale (2022)[14] sulla capacità degli Stati Uniti di estrarre il massimo valore in termini di impatto economico dagli investimenti sia pubblici che privati in ricerca e innovazione.

14 Centro Economia Digitale (2022), Crescere Insieme, Analisi e proposte per un percorso di crescita economica forte, duratura, sostenibile e diffusa, Roma.

Figura 27. Confronto tra due fonti da dati (Zeta Alpha e WoS) per i primi 100 articoli più citati, 2020-2022



Note: i valori si riferiscono alla media annua nel periodo 2020-2022; il dato sull'Inghilterra, di fonte Zeta Alpha, è riferito al Regno Unito nel complesso.
Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati WoS

Intelligenza Artificiale: analisi dell'attività brevettuale

Questa sezione presenta un approfondimento sulle dinamiche globali delle capacità innovative e tecnologiche nel campo dell'Intelligenza Artificiale basata sull'analisi dell'attività brevettuale tra paesi e periodi.

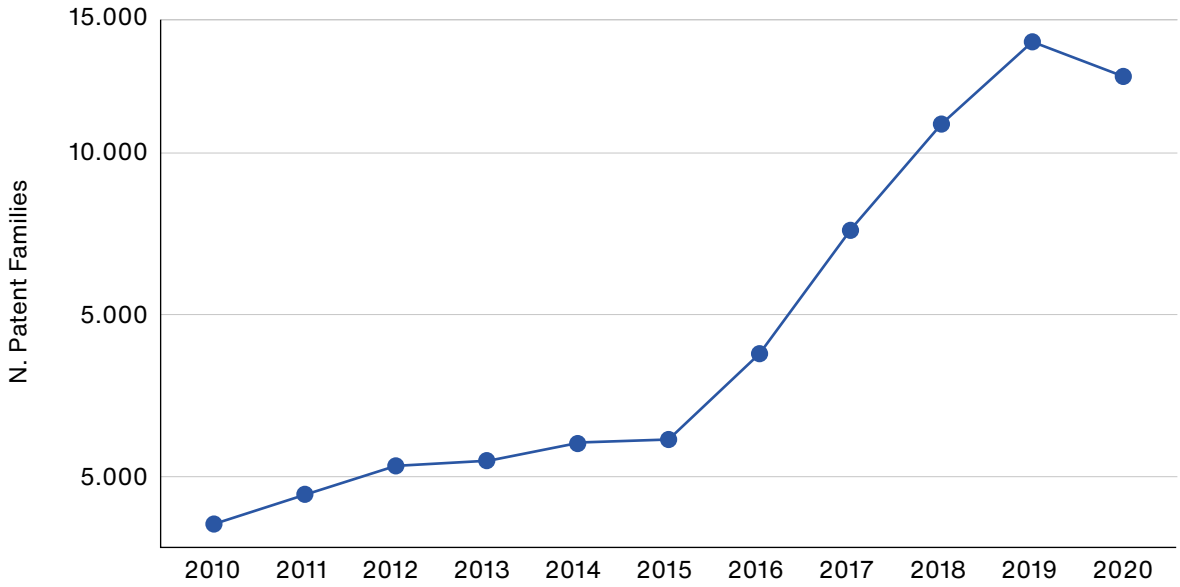
Analogamente a quanto effettuato per il caso delle Quantum Technologies l'analisi della leadership globale nelle tecnologie relative all'AI è stata condotta utilizzando il PATSTAT Global Database (edizione Spring 2023). Nello specifico, al fine di identificare le patent families relative a tecnologie AI, è stata utilizzata la classificazione proposta da WIPO (2019)[15]. La strategia di ricerca è suddivisa in due fasi. Nella prima fase, le patent families sono identificate attraverso classi tecnologiche CPC (Cooperative Patent Classification). A tale scopo, sono stati identificati come pertinenti i brevetti classificati in almeno una delle classi tecnologiche direttamente riconducibili a tecnologie AI fornite da WIPO. La seconda fase consiste invece nella combinazione di classi tecnologiche e ricerca per keywords specifiche all'interno del contenuto testuale di titoli e abstract dei brevetti. In particolare, una volta identificati i brevetti classificati in almeno una delle classi tecnologiche CPC proposte da WIPO in una seconda lista, solo quelli che contengono nel testo del titolo o abstract una o più specifiche keywords sono stati identificati e classificati come relativi a AI. Il set finale di patent families AI è quindi composto dall'insieme delle patent families identificate nei due step[16].

La Figura 28 mostra l'evoluzione del numero totale di patent families nell' AI dal 2010 al 2020. Analogamente al caso delle QT l'andamento è in generale crescente con una marcata accelerazione dal 2015 in poi, a conferma del significativo aumento degli sforzi innovativi in questo campo.

15 WIPO (2019). Technology Trends 2019 – Artificial Intelligence, Data collection method and clustering scheme.

16 I codici CPC e le keywords specifiche impiegate nell'identificazione delle tecnologie AI nei brevetti sono riportati in Appendice.

Figura 28. Evoluzione del numero complessivo di AI Patent Families, 2010-2020

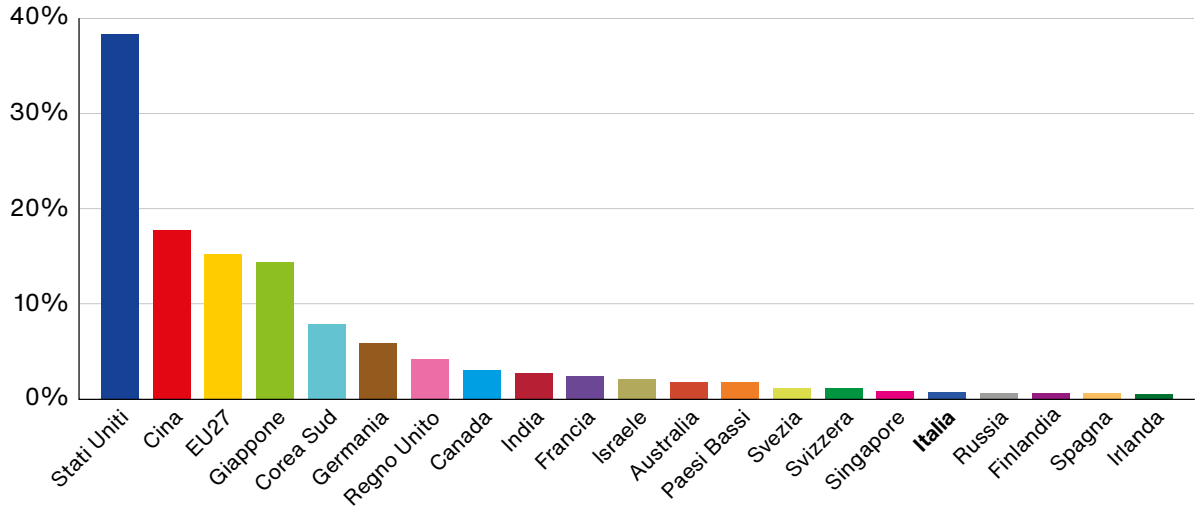


Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

Famiglie di brevetti WIPO

Guardando il primo indicatore relativo ai brevetti in AI cioè le patent families che hanno cercato protezione internazionale – WO families - osserviamo come gli Stati Uniti occupino la prima posizione in termini di quota mondiale (Figura 29). Seguono Cina, l'aggregato EU-27, Giappone e Corea. Gli Stati Uniti guidano con un margine significativo, con il 38,4% di tutte le patent families AI in cui almeno un inventore risiede negli Stati Uniti, rispetto al 17,9% della Cina al secondo posto e il 15,3% dell'Unione Europea.
Il primo paese europeo è la Germania, con una quota pari al 5,9% seguita dalla Francia (2,5%). L'Italia, presenta una quota molto bassa (0,7%), superata da economie di dimensione inferiore come Paesi Bassi (1,8%) e Svezia (1,2%).

Figura 29. WO AI Patent families, (% paese) 2010-2020



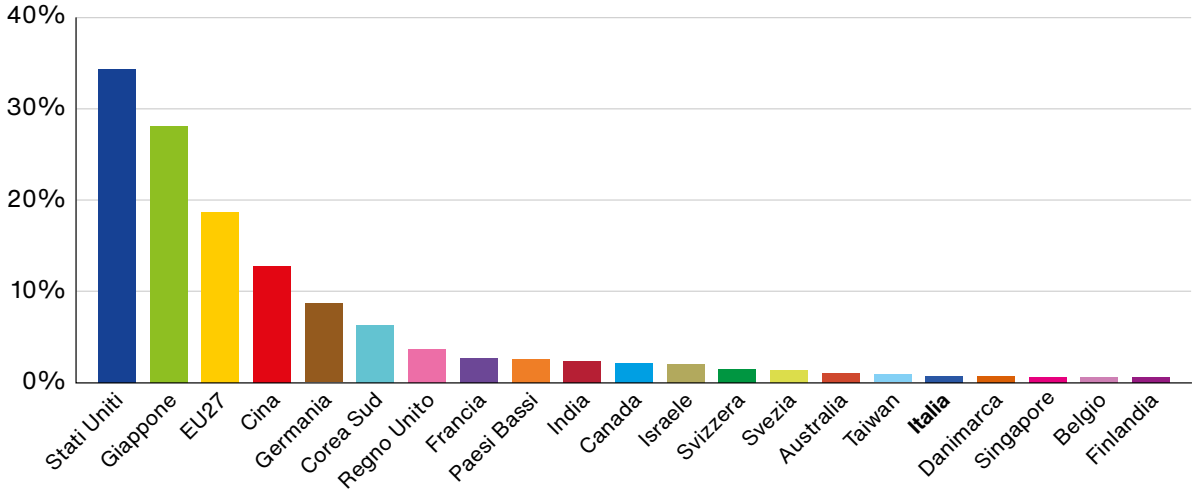
Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

Famiglie di brevetti triadici

Il secondo indicatore considerato prende in esame le patent families le cui application sono state registrate in almeno tre dei quattro principali uffici brevettuali a livello globale. Si tratta, quindi, di famiglie brevettuali per cui si cerca una maggiore protezione a livello internazionale, a indicare un maggior livello qualitativo (e quindi un maggiore impatto economico e tecnologico) della conoscenza che si intende proteggere.

La Figura 30 mostra come, anche utilizzando un indicatore più stringente, gli Stati Uniti mantengano la loro posizione di leadership, sebbene la quota (34,4%) risulti essere leggermente ridotta rispetto all'indicatore precedentemente analizzato. In questo caso in seconda posizione troviamo il Giappone (28,2%), davanti all'Unione Europea (18,8%) e alla Cina in quarta posizione con il 12,8%. Tra i paesi europei, buono il posizionamento della Germania (8,7%) che precede la Corea (6,4%) e il Regno Unito (3,7%). Si conferma il basso posizionamento dell'Italia che con lo 0,8% segue a distanza Francia e Paesi Bassi, entrambe con una quota del 2,7% e altri paesi di dimensione inferiore come Israele, Svizzera e Svezia.

Figura 30. Triadic AI Patent Families, (% paese) 2010-2020



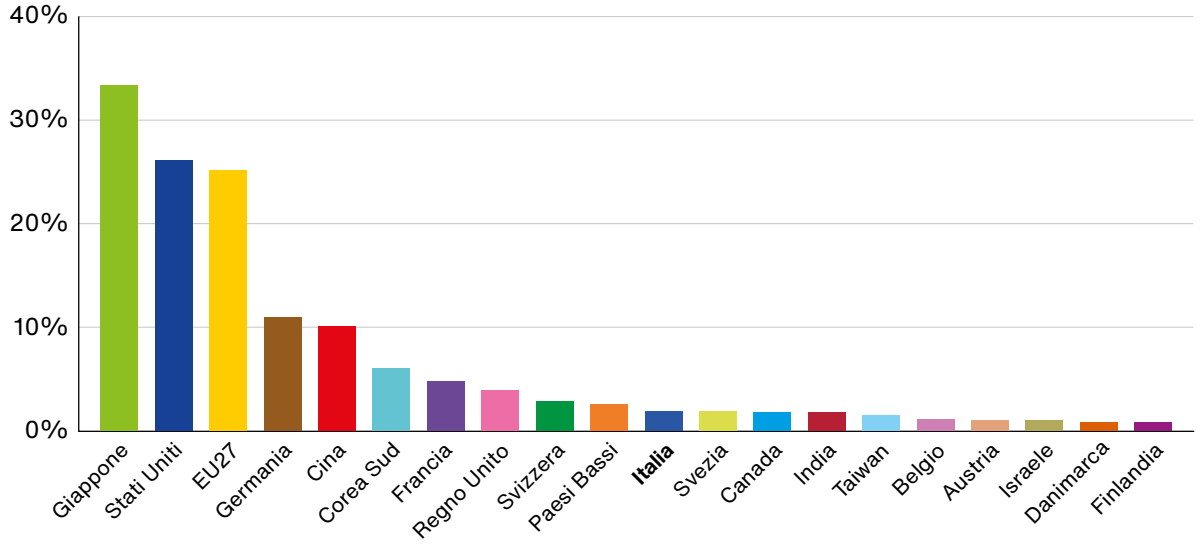
Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

Questi dati complessivi, sulla capacità innovativa nel campo dell'AI misurata in termini di brevetti, forniscono una prima conferma di quanto osservato attraverso i dati sulle pubblicazioni. I dati brevettuali riflettono, infatti, maggiormente i risultati della ricerca promossa dal settore privato che si evidenzia come un punto di particolare forza del sistema dell'innovazione USA.

Anche in questo caso l'indicatore basato sulle famiglie di brevetti triadici viene utilizzato per confrontare la performance brevettuale nell'AI dei diversi paesi relativamente alla rispettiva performance media in tutte le classi tecnologiche.

Dal confronto tra la Figura 30 e la Figura 31 emerge come la Cina e gli Stati Uniti mostrino una decisa specializzazione tecnologica nel settore dell'AI, essendo le rispettive quote in questo settore superiori a quelle medie su tutte le tecnologie. Discorso opposto vale per l'Unione Europea, compresa la Germania, con l'Italia che risulta essere fortemente despecializzata in questo settore essendo la quota generale intorno al 2% dei brevetti mondiali mentre quella nelle tecnologie AI dello 0,8%.

Figura 31. Triadic Patent Families in tutte le tecnologie, (% paese) 2010-2020

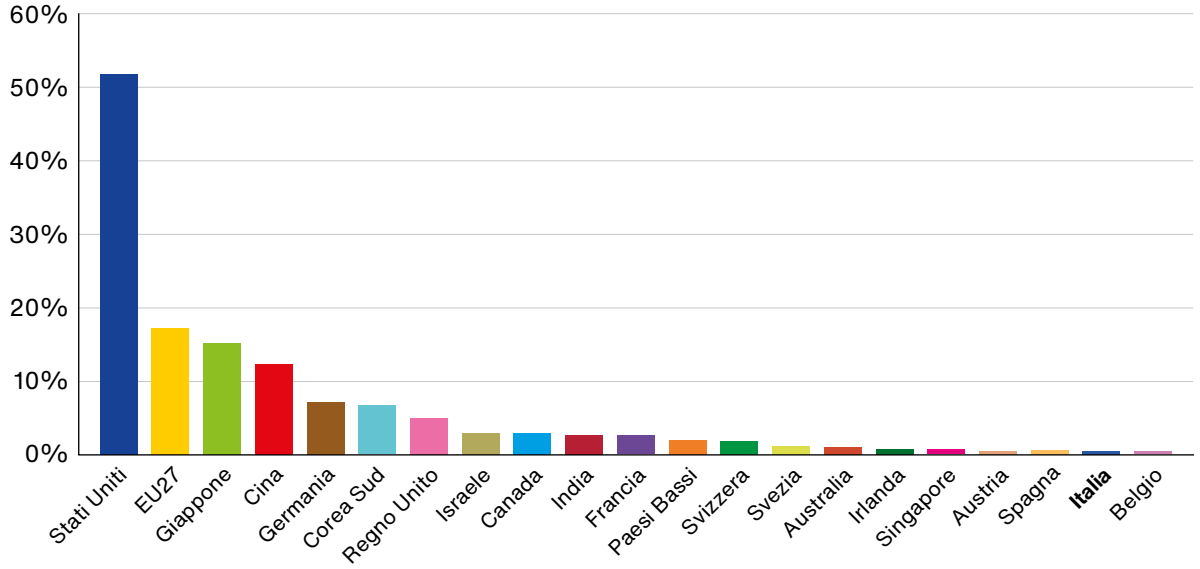


Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

TOP 10%, famiglie di brevetti triadici per citazioni

La seconda serie di indicatori più restrittivi in termini di qualità e valore dei brevetti è costruita misurando la quota di triadic patent families che ricevono il maggior numero di citazioni negli anni successivi alla pubblicazione.
Guardando alle triadic patent families nel Top 10% in termini di citazioni ricevute (Figura 32) si rafforza ulteriormente l'evidenza sul ruolo di leader globale svolto dagli Stati Uniti, con una quota pari al 52%. A distanza segue l'aggregato Europeo a 27 paesi con il 17,5%, seguito dal Giappone (15,3%) e dalla Cina, con una quota pari al 12,6%. Germania, Francia e Paesi Bassi (rispettivamente 7,3%, 2,8% e 2,2%) occupano le prime tre posizioni nel ranking europeo, mentre l'Italia, con una quota pari allo 0,6% segue a distanza.

Figura 32. Triadic AI Patent Families nel Top 10% per citazioni, (% paese) 2010-2020

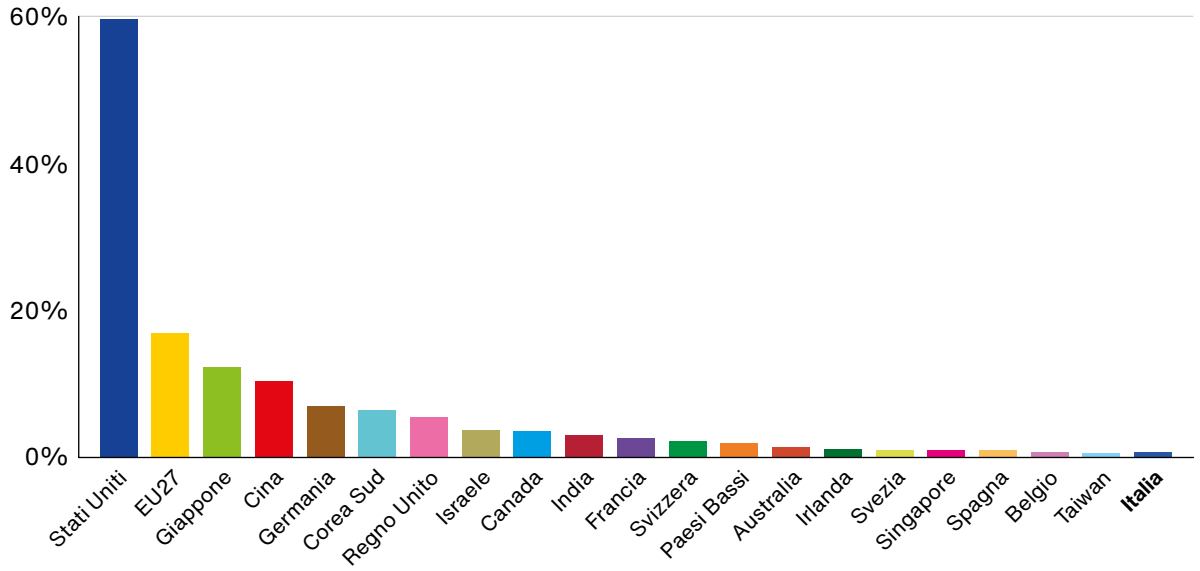


Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

TOP 5%, famiglie di brevetti triadici per citazioni

Il ranking delle triadic patent families nel Top 5% in termini di citazioni restituisce uno scenario qualitativamente simile ma ancor più chiaro. Restringendo infatti ulteriormente la selezione delle innovazioni brevettate in termini di potenziale impatto, la Figura 33 mostra come gli Stati Uniti rafforzino ancora la loro posizione di leadership tecnologica internazionale nel campo dell'AI. Con una quota pari al 59,6%. Con tale risultato si allarga il divario con l'UE, in seconda posizione, con una quota (16,9%), pari a circa un terzo di quella statunitense. Seguono con il 12,4% e 10,5% Giappone e Cina, che si confermano nelle prime posizioni. All'interno dell'Unione Europea Germania, Francia e Paesi Bassi guidano ancora la classifica Europea (con quote rispettivamente del 7%, 2,8% e del 2,1%), mentre l'Italia, conferma il debole posizionamento con una quota pari allo 0,7%.

Figura 33. Triadic AI Patent Families nel Top 5% per citazioni, (% paese) 2010-2020

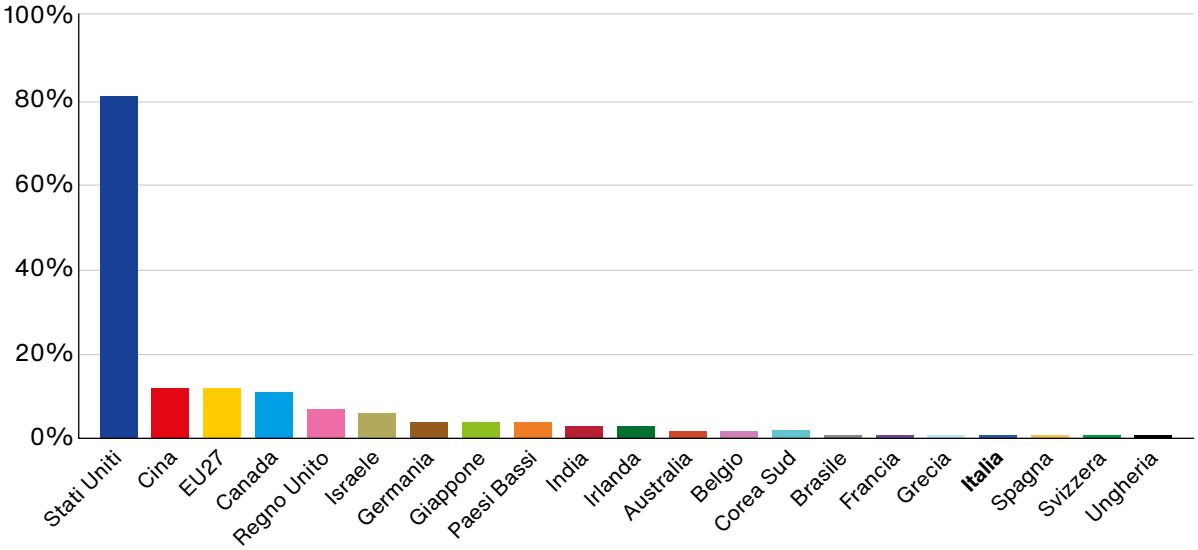


Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

TOP 100, famiglie di brevetti triadici per citazioni

I risultati fin qui presentati sono confermati anche dall'analisi condotta sulle Top 100 famiglie brevettuali in termini di citazioni ricevute nel periodo considerato. Questo indicatore mira a intercettare quelle innovazioni radicali in grado di spingere in avanti la frontiera tecnologica e quindi capaci di generare i maggiori impatti sull'economia e sulla società ma anche in termini di leadership tecnologica globale.
Anche utilizzando questo indicatore si conferma, e anzi si accentua ulteriormente, il ruolo di superpotenza tecnologica degli Stati Uniti. Sui primi 100 brevetti in termini di citazioni 81 hanno almeno un inventore residente negli Stati Uniti. Il distacco con gli altri Paesi è significativo. Secondo questo indicatore Cina e Unione Europea si equivalgono con 12 brevetti in cui almeno uno degli autori risiede in questi paesi. Buono il posizionamento di Canada (11) e Regno Unito (7) davanti alla Germania (4).

Figura 34. Triadic AI Patent Families Top 100 per citazioni, (% paese) 2010-2020



Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

Evoluzione della capacità brevettuale nel decennio 2010-2020

Le Figure 35 e 36 riportano l'evoluzione temporale delle quote nazionali nelle diverse dimensioni dell'attività brevettuale nel campo dell'AI precedentemente analizzate. In primo luogo, la Figura 35 mostra il confronto secondo gli indicatori relativi ai brevetti internazionali WO e alle triadic families mettendo in relazione per ciascun paese la quota di patent families AI nel periodo 2010-2015 con le quote nel periodo 2015-2020. La Figura 36 mostra il confronto in relazione agli indicatori in termini di patent families più citate (Top 10% e Top 5%) tra quelle triadiche.

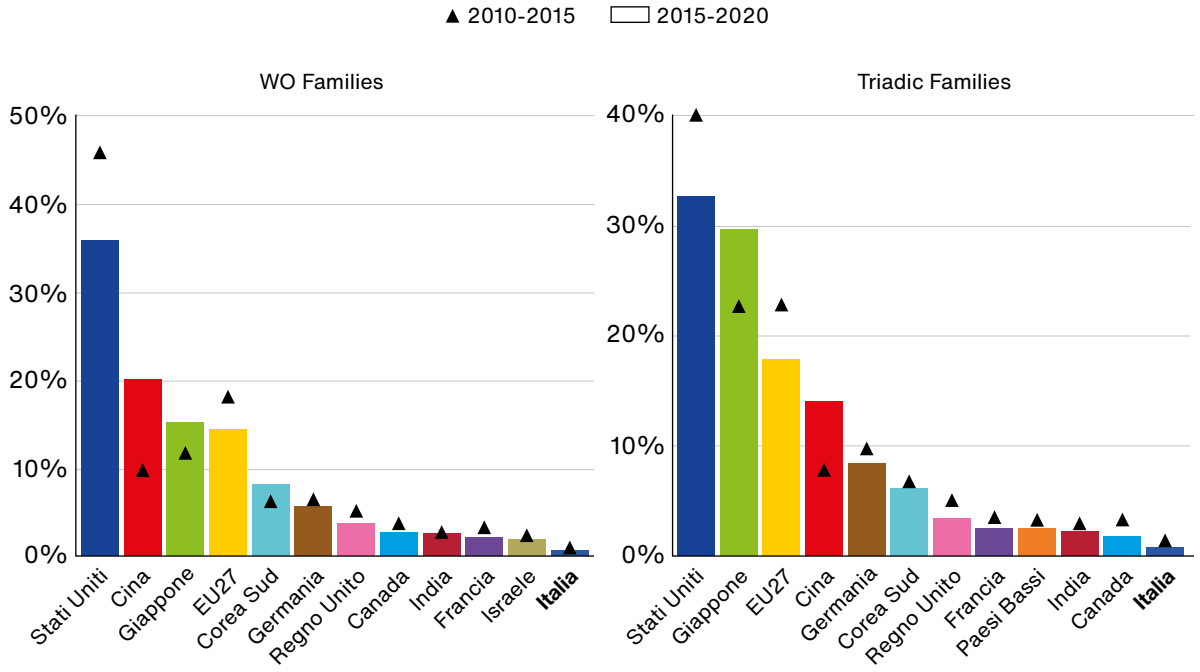
Osservando la dinamica nel tempo della produzione brevettuale la posizione di leadership degli Stati Uniti nel campo dell'AI è confermata anche nel periodo più recente considerato. Interessante notare che guardando agli indicatori meno selettivi la quota degli USA diminuisce a favore di quella di Cina e Giappone. In particolare, la quota di WO patent families passa dal 46% del primo periodo al 36% dell'ultima finestra di osservazione. Una riduzione paragonabile si registra nella quota di triadic patent families per gli Stati Uniti che passa dal 40,1% del periodo 2010-2015, al 32,6% del periodo 2015-2020.

Viceversa, utilizzando gli indicatori in grado di cogliere maggiormente gli aspetti qualitativi delle innovazioni brevettate focalizzandosi sui brevetti a maggiore impatto, si nota come si consolidi nel tempo la leadership tecnologica degli USA. Nel dettaglio, la quota USA di triadic patent families nel top 10% cresce dal 50,5% del 2010-2015 al 52% del 2015-2020 e dal 58% al 60% nel top 5%.

Sebbene il divario con gli Stati Uniti rimanga ancora ampio, nel periodo considerato la crescita della capacità brevettuale della Cina nel campo dell'AI è stata particolarmente rilevante. Questo aumento è evidente nell'evoluzione temporale della quota di WO e triadic patent families che passano rispettivamente dal 9,9% al 20,2% per le WO families, e dal 7,8% al 14% per le triadic. Per quanto riguarda le quote di triadic patent families maggiormente citate, la quota cinese passa dal 7,7% al 16,7% per le families nel top 10% e dal 6,6% al 14,1% per le families nel top 5%, portando la Cina al secondo posto nel ranking internazionale nel periodo 2015-2020 in base a questi due indicatori.

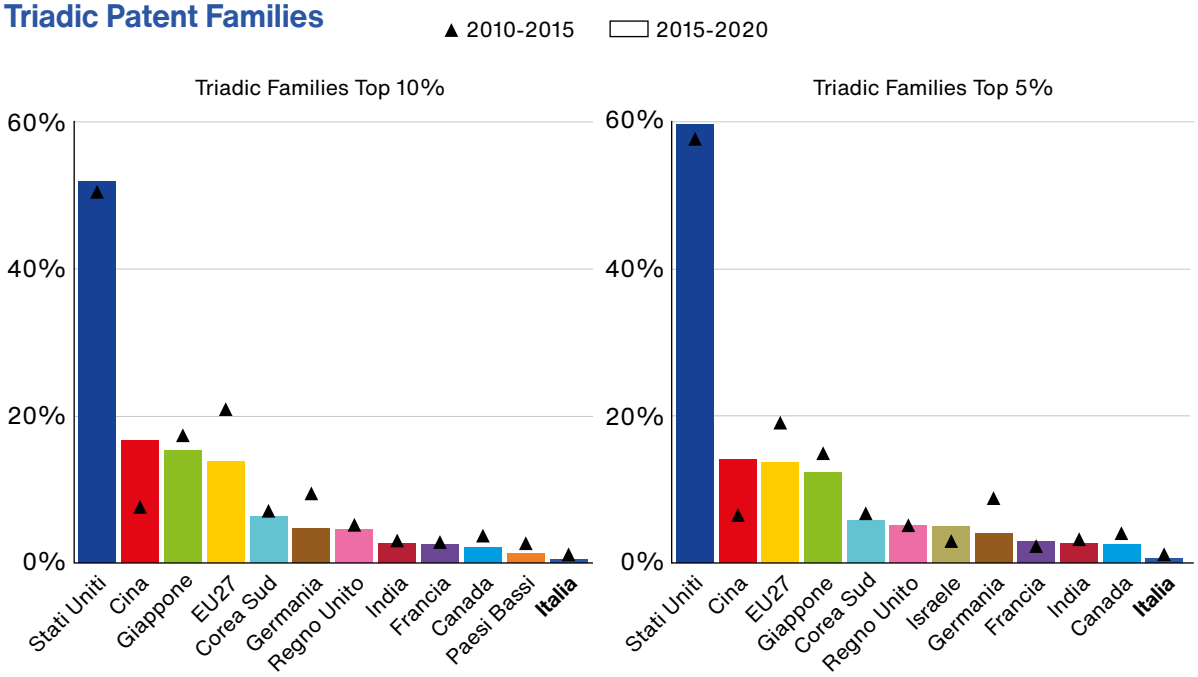
Mentre anche il Giappone aumenta la quota complessiva di brevetti tra i due periodi, un andamento opposto si può rilevare per l'aggregato europeo. Nel complesso l'Unione passa dal 18,2% al 14,5% per quanto riguarda la quota di WO patent families, e dal 22,9% al 17,9% rispetto alla quota di triadic patent families. Nel periodo di osservazione più recente, l'aggregato EU27 perde circa 7,2 e 5,4 punti percentuali, rispettivamente per le triadic patent families nel top 10% (dal 21% al 13,8%), e dal 19,1% al 13,7%). Parte di questo andamento a livello aggregato è ascrivibile alla riduzione della quota della Germania che passa dal 9,5% al 4,7% per i brevetti nel top 10% e dall' 8,9% al 4,1% nel top 5%. L'Italia non va meglio confermando anche nel periodo più recente la propria posizione di debolezza relativa con quote inferiori all'1% in tutti gli indicatori considerati.

Figura 35. Evoluzione 2010-2015 e 2015-2020, WO e Triadic patent families



Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

Figura 36. Evoluzione 2010-2015 e 2015-2020, Top 10% e Top 5% per citazioni, Triadic Patent Families



Fonte: elaborazioni Centro Economia Digitale su dati PATSTAT Global database

PARTE II

IL RUOLO DELLE GRANDI IMPRESE NELLA GENERAZIONE E NELL'UTILIZZO DELLE TECNOLOGIE DI FRONTIERA

Introduzione

Il ruolo delle grandi aziende nella generazione e diffusione/utilizzo delle Tecnologie di Frontiera è di straordinaria importanza. Per quanto riguarda la generazione di innovazioni nelle Tecnologie di Frontiera queste sono, più che in altri settori, strettamente connesse a lunghe e complesse attività di Ricerca e Sviluppo (R&S) che conducono a nuovi risultati scientifici e tecnologici. Questi devono, d'altra parte, essere tradotti in valore economico attraverso altrettanto complessi processi che includono attività come ingegneria, produzione, pianificazione aziendale e marketing[1].

Tali attività necessitano di ingenti risorse finanziarie ma anche di apporti continui in termini di risorse umane, competenze e tecnologie. Su questi aspetti le grandi imprese hanno vantaggi rilevanti, inclusa la disponibilità di talenti e la possibilità di sfruttare le economie di scala nel reperire risorse per le proprie attività produttive e di commercializzazione[2].

Le grandi imprese sono, inoltre, in grado di cooperare meglio con attori all'interno e all'esterno del loro settore, sfruttando così conoscenze esterne cruciali per la commercializzazione dell'innovazione tecnologica[3]. Le aziende di maggiore dimensione hanno, infine, una maggiore conoscenza dei mercati, elemento che consente di massimizzare le opportunità di generare benefici economici dall'innovazione.

Su questo si pensi, ad esempio, al caso dell'Intelligenza Artificiale (AI – Artificial Intelligence). L'AI è più ampiamente utilizzata dalle grandi aziende poiché queste hanno, tra l'altro, maggiori dotazioni o capacità per utilizzare asset intangibili e altri asset complementari necessari per sfruttare appieno il potenziale dell'AI. Questi includono in particolare le competenze e la formazione nelle ICT, le capacità digitali a livello aziendale e l'infrastruttura digitale[4].

Di contro, le piccole e medie imprese (PMI) normalmente sperimentano maggiori difficoltà nell'affrontare questa trasformazione tecnologica, anche per mancanza di adeguate risorse

---

1 Lee Fleming, (2001) Recombinant Uncertainty in Technological Search. Management Science 47(1):117-132.

2 Lewin, A., Massini, S. & Peeters, C. (2009) Why are companies offshoring innovation? The emerging global race for talent. *J Int Bus Stud* 40, 901–925

3 Frank AG, Dalenogare LS, Ayala NF (2019) Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. International Journal of Production Economics 210:15–26

4 Calvino, F. and L. Fontanelli (2023), A portrait of AI adopters across countries: Firm characteristics, assets' complementarities and productivity, OECD Science, Technology and Industry Working Papers, No. 2023/02, OECD Publishing, Paris.

finanziarie[5]. Costruire e mantenere un sistema di AI richiede, infatti, investimenti costosi (ad esempio nell'infrastruttura dei dati); spesso, per realizzare i potenziali benefici dell'AI, sono necessari grandi investimenti immateriali (anche in termini di capitale umano); l'implementazione delle tecnologie dell'AI potrebbe non determinare benefici immediati, con il possibile emergere di costi irrecuperabili prima che le PMI possano avviarsi su un sentiero di crescita sostenuto. Inoltre, le PMI sono, in generale, meno capaci di valorizzare i propri dati. Sebbene le PMI producano e gestiscano un grande volume e una varietà di dati, spesso non dispongono della capacità di raccoglierli, gestirli e proteggerli. Infine, rispetto alle aziende più grandi, i dati raccolti e archiviati potrebbero non essere di quantità e/o qualità adeguate.

È importante sottolineare che le differenze strutturali tra grandi e piccole imprese tendono a influenzare anche la capacità di utilizzare le tecniche e le applicazioni dell'AI nel produrre innovazioni radicali nell'ambito delle altre Tecnologie di Frontiera. L'AI non è solo una nuova tecnologia ma, soprattutto, è uno strumento potenzialmente in grado di cambiare gli stessi processi innovativi. In altre parole, l'AI può rappresentare "l'invenzione di un nuovo modo di inventare"[6]. In particolare, nel caso delle applicazioni dell'AI, le grandi aziende possono ottenere vantaggi significativi nella generazione di innovazioni radicali. L'applicazione dell'AI consente, infatti, di sfruttare al massimo gli effetti di complementarità, abilitando collegamenti tra domini di conoscenza precedentemente non collegati, ma già consolidati, all'interno delle aziende. Tuttavia, ciò richiede una base di conoscenze già diversificata all'interno dell'azienda, condizione che è più probabile che si verifichi in quelle di grandi dimensioni.

D'altra parte, le conoscenze nelle tecniche dell'AI possono favorire l'emergere di innovazioni radicali anche nelle PMI. Se da un lato le aziende di dimensioni maggiori possono, infatti, utilizzare l'AI per massimizzare i benefici della propria base di conoscenze interne e ottimizzare le proprie attività produttive, le piccole imprese sono in grado di utilizzare l'AI, in un ambiente di produzione meno formalizzato, come strumento per aprire nuovi mercati e generare nuovi prodotti. Sebbene le PMI possano mancare di una base di conoscenze interne sufficientemente diversificata, specie le giovani imprese possono essere più flessibili nella loro struttura organizzativa e cognitiva, agili e propense a prendere rischi al fine di utilizzare le tecnologie emergenti per creare innovazioni radicali[7].

La capacità di generare e utilizzare Tecnologie di Frontiera da parte di grandi imprese leader può, quindi, innescare dinamiche capaci di avvantaggiare, in particolar modo, una stretta minoranza di aziende, ampliando ulteriormente e favorendo processi di concentrazione di mercato[8]. Un'adozione polarizzata, principalmente da parte di aziende più grandi e produttive, combinata con un ruolo dell'AI nel rafforzare i loro vantaggi, potrebbe cioè implicare che in futuro le disparità esistenti tra i leader tecnologici e di mercato a livello mondiale e le restanti imprese potrebbero ampliarsi, con implicazioni rilevanti in termini di assetti economici, territoriali, politico-sociali, ma anche geostrategici.

Queste considerazioni appaiono particolarmente rilevanti per il sistema produttivo italiano, caratterizzato da una dimensione media di impresa particolarmente bassa rispetto ai principali paesi competitor, e dove risulta essenziale potenziare le relazioni strutturali tra piccole

5 OECD (2021), The Digital Transformation of SMEs, OECD Studies on SMEs and Entrepreneurship, OECD Publishing, Paris.

6 Cockburn, I. M., Henderson, R., & Stern, S. (2018). The impact of artificial intelligence on innovation: An exploratory analysis. In The economics of artificial intelligence: An agenda (pp. 115-146). University of Chicago Press.

7 Coad A, Segarra A, Teruel M (2016), Innovation and firm growth: does firm age play a role? Research Policy 45:387–400.

8 Boston Consulting Group (2023), Most innovative Companies 2023.

e grandi imprese in una logica di filiera in modo da valorizzare i rispettivi punti di forza. La presenza di grandi imprese in una rete di innovazione può migliorare le prestazioni innovative dell'intera rete. In particolare, le grandi imprese possono svolgere il ruolo di "organizzazione hub" e garantire la creazione congiunta ed estrazione di valore nella rete di innovazione, sfruttando al meglio il potenziale delle Tecnologie di Frontiera. Grandi aziende leader possono efficacemente mettere insieme piccole e medie imprese per raggiungere l'integrazione di conoscenze innovative, tecnologia, capitale e altre risorse, promuovendo così la trasformazione dei risultati scientifici e tecnologici di tutta l'industria ad alta tecnologia in un dato territorio[9].

Per quanto riguarda il caso italiano, uno dei cambiamenti più rilevanti che ha riguardato i distretti industriali è senza dubbio l'integrazione delle aree distrettuali italiane nelle catene globali di approvvigionamento. Nella densa rete regionale e globale di interconnessioni create dall'apertura dei mercati globali, far parte di una rete internazionale rappresenta un fattore cruciale di successo per le imprese, comprese quelle che aderiscono ai distretti industriali. In questi stanno emergendo imprese leader di medie e grandi dimensioni, sia produttrici di beni finali che fornitori specializzati, che assumono un ruolo di organizzazione della produzione nei confronti delle altre imprese del distretto. Queste imprese leader svolgono funzioni strategiche che vanno oltre la sfera produttiva diretta e coinvolgono attività come la progettazione, l'innovazione tecnologica e la commercializzazione.

In tale contesto le aziende multinazionali entrano nei distretti attivando meccanismi di trasferimento di conoscenze tecnologiche o di mercato a beneficio delle imprese locali. In questo modo i distretti possono riconfigurare la propria organizzazione interna assumendo la forma di veri e propri "sistemi di apprendimento aperti", in cui i legami produttivi e di conoscenza all'interno delle catene del valore e l'alta specializzazione delle imprese operanti nelle diverse fasi della filiera sono strettamente collegati all'internazionalizzazione e all'innovazione[10].

Questi effetti si amplificano quando le imprese capofila di reti territoriali formano propri network globali dell'innovazione. Questi ultimi sono composti da imprese multinazionali che, al fine di rafforzare il proprio vantaggio competitivo sullo scenario globale, instaurano forme di collaborazione con leader tecnologici mondiali in alcuni segmenti della produzione di beni e servizi. Tali alleanze permettono alle multinazionali di connettersi ai flussi internazionali di conoscenza, di sviluppare in maniera congiunta innovazioni di prodotto, processo, organizzative e commerciali e di posizionarsi sulla frontiera tecnologica più avanzata.

La realizzazione di partnership strutturate con aziende più grandi possono, quindi, fornire diversi importanti vantaggi alle imprese di minori dimensioni. Attraverso l'attivazione di tali collaborazioni, le piccole imprese possono ottenere l'accesso a quelle risorse che altrimenti non sarebbero disponibili e aumentare le opportunità di instaurare relazioni con enti e organizzazioni di ricerca, partecipare a reti internazionali o aprirsi a nuovi mercati.

Inoltre, la presenza di imprese di maggiori dimensioni in una regione tende a migliorare anche la capacità delle imprese più piccole e finanziariamente limitate, di utilizzare in modo efficace i sussidi governativi per lo sviluppo di applicazioni industriali e commerciali delle Tecnologie di Frontiera. Secondo studi recenti, quando le imprese in una regione sono di piccole dimensio-

9 M.A. Schilling, C.C. Phelps (2007), Interfirm collaboration networks: the impact of large-scale network structure on firm innovation, Management Science, 53, pp. 1113-1126

10 De Marchi, V., Di Maria, E., e Gereffi, G. (2018). Industrial Districts, Clusters and Global Value Chains: Toward in Integrated Framework. In V. De Marchi, E. Di Maria, e G. Gereffi (a cura di), Local Clusters in Global Value Chains: Linking Actors and Territories Through Manufacturing and Innovations, chapter 1, Routledge.

ni, i sussidi governativi hanno un effetto trascurabile sulla trasformazione dei risultati scientifici e tecnologici in valore economico. Al contrario, i sussidi governativi iniziano a esercitare un effetto promozionale sostanziale solo quando le dimensioni medie delle imprese in una regione sono sufficientemente elevate[11].

Da un punto di vista di policy, ciò implica che per aumentare l'impatto economico delle attività innovative, specie nelle Tecnologie di Frontiera, il settore pubblico non dovrebbe limitarsi a fornire sussidi, ma dovrebbe anche cercare di rafforzare la struttura delle relazioni tra le diverse organizzazioni presenti sul territorio nazionale e, in particolare, stimolare le interazioni tra le grandi imprese e tra queste e gli altri attori regionali.

In questo ambito, le cosiddette "politiche di cluster" possono contribuire a favorire la collaborazione tra grandi imprese, start-up, PMI e istituti di ricerca per creare cluster di innovazione in grado di sfruttare gli effetti di spillover di conoscenza localizzata e, allo stesso tempo, raggiungere la dimensione critica necessaria per essere collegati alla catena globale della produzione di conoscenza[12]. Queste politiche includono strumenti standard come incentivi fiscali, sovvenzioni per la ricerca e lo sviluppo, ma anche strumenti di condivisione del rischio, trasferimento di conoscenze dalla ricerca pubblica e accordi di governance per coordinare gli attori pubblici e privati. Esempi di tale approccio di policy, sono diffusi nei paesi industrializzati, ad esempio negli Stati Uniti (Manufacturing USA - 2012), in Canada (Innovation Superclusters Initiative - 2018), e in molti paesi europei (le iniziative go-Cluster, Spitzencluster e Zukunftcluster in Germania; Pôles de compétitivité in Francia; i Cluster Tecnologici Nazionali in Italia).

In passato gli esiti di tali politiche sono stati controversi; tuttavia, la nuova ondata di politiche di cluster potrebbe essere diversa, specie se si andasse nella direzione di concentrare le risorse verso lo sviluppo di Tecnologie di Frontiera e di sviluppare delle relazioni strutturate, anche dal punto di vista gerarchico, in cui le organizzazioni leader nel campo della ricerca e della produzione per il mercato possano svolgere un ruolo di traino per l'intera filiera innovativa.

Con l'obiettivo di far emergere il ruolo delle grandi aziende come hub di generazione e applicazione di innovazioni, nelle pagine che seguono viene fornita una descrizione delle attività realizzate nell'ambito delle Tecnologie di Frontiera dalle aziende socie del Centro Economia Digitale e del ruolo da esse svolto nell'ambito della propria filiera.

---

11 Li, F., Andries, P., Pellens, M., & Xu, J. (2021). The importance of large firms for generating economic value from subsidized technological innovation: a regional perspective. Technological Forecasting And Social Change, 171. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120973

12 Criscuolo, C., et al. (2022), "An industrial policy framework for OECD countries: Old debates, new perspectives", OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 127, OECD Publishing, Paris.

enav

Digitale, realtà aumentata e intelligenza artificiale al servizio di viaggiatori e dell'ambiente

Pensare di poter controllare un aeroporto a distanza sembrava una realtà lontano e difficilmente realizzabile fino a 10 anni fa. Oggi non solo sappiamo essere possibile ma fa parte già del passato.

Digital Tower - La tecnologia digitale a supporto della sicurezza e dell'efficienza operativa. L'introduzione delle remote digital tower sta rivoluzionando la gestione del traffico aereo sugli aeroporti che possono beneficiare di un servizio più efficiente e flessibile, favorendo le esigenze dei territori senza l'aumento dei costi. La torre di controllo fisica è sostituita da una sala operativa digitale dalla quale i controllori del traffico aereo possono operare attraverso l'utilizzo di telecamere e monitor di riproduzione di immagini ad alta definizione. La configurazione digitale migliora la consapevolezza situazionale del controllore, offrendo così vantaggi operativi e di sicurezza.

Human-Machine Interface - Progettata e realizzata ad-hoc per replicare le quotidiane interazioni tra controllore e tecnologia della torre convenzionale.

Realtà aumentata - Utilizzata per supportare il controllore nella visualizzazione completa e dettagliata di aeromobili, veicoli e persone.

Grazie all'Intelligenza Artificiale, il sistema è dotato di un database che viene continuamente arricchito dalle informazioni che il tool utilizza per il riconoscimento dei target d'interesse operativo.

Tecnologie di Frontiera

Le Tecnologie di Frontiera e le innovazioni ad alto impatto, che segnano un salto tecnologico ed in alcuni casi un cambio di paradigma nei servizi e negli schemi utilizzati per la loro fornitura, sono al centro del processo di programmazione e sviluppo del Gruppo ENAV come fornitore di servizi alla navigazione aerea. Presidiare queste tecnologie, identificando le evoluzioni dei sistemi esistenti o nuovi scenari per il loro utilizzo, permette al Gruppo di individuare possibili opportunità, contestualizzando le Tecnologie di Frontiera nel settore ATM, perseguendo quindi l'obiettivo di farsi trovare pronti alle sfide del futuro, con il coraggio e l'ambizione di guidare il cambiamento e l'innovazione di tutto il settore.

Per ENAV è di fondamentale importanza, in questo processo sperimentale, individuare, progettare, sviluppare e programmare soluzioni che aiutino il *core business* ed il miglioramento delle performance nella fornitura dei servizi, come richiesto dallo schema regolato di performance definito per tutti i "service Provider" a livello comunitario (Single European Sky regulatory framework). ENAV intende utilizzare gli strumenti messi a disposizione dalle Tecnologie di Frontiera, concentrando la ricerca sui bisogni del Gruppo e dei suoi stakeholder, per anticipare le tecnologie del futuro e rendere la frontiera dell'innovazione sempre più a portata di mano.
In un mondo regolato, normato e strutturato come quello dell'ATM, il Gruppo ENAV, con le sue società, partecipa ad associazioni, partenariati e progetti comunitari che con un approccio collaborativo (con gli altri attori che presidiano la filiera industriale) esplorano l'utilizzo e l'implementazione di queste tecnologie nel settore. Un esempio concreto di questo concetto è la *SESAR 3 Joint Undertaking*, dove una partnership tra pubblico e privato cerca di accelerare, attraverso la ricerca e l'utilizzo di Tecnologie di Frontiera, l'implementazione ed ottimizzazione del Digital European Sky.

Sin dalla creazione della prima SESAR Joint Undertaking nel 2009, ENAV ha declinato questo principio facendo coincidere le proprie esigenze operative, relative allo sviluppo delle tecnologie e dei sistemi, con i trend internazionali più importanti. In questo contesto ENAV ha testato con successo l'applicazione di tool e sistemi di frontiera all'interno

delle proprie realtà operative ed ha successivamente implementato nell'operatività di tutti i giorni questi tool portando, ai cosiddetti "airspace users" notevoli benefici in termini di riduzione dei ritardi, e contribuendo contestualmente alla sostenibilità ambientale.

È il caso ad esempio dell'**Arrival Manager**, un tool a supporto del controllore del traffico aereo che facilita il sequenziamento degli aeromobili in avvicinamento e permette un'ottimizzazione del profilo di volo degli aeromobili con una importante riduzione dei ritardi e del consumo di carburante. La catena di valore tecnologica adottata da ENAV prevede una ottimizzazione continua dei processi arrivati ad essere implementati in linea operativa, per questo motivo il tool AMAN verrà ulteriormente migliorato utilizzando tecniche di Intelligenza artificiale che saranno in grado, sulla base di un addestramento del tool sui comportamenti adottati in specifiche porzioni di spazio aereo e in specifiche ore del giorno e periodi dell'anno, di fornire al Controllore del Traffico Aereo delle opzioni su scelte strategiche da adottare durante il proprio lavoro.

Caratteristiche e benefici di aman:
È in grado di calcolare gli orari di arrivo ottimali per ciascun volo RIDUCENDO TEMPI DI VOLO E RITARDI:

- Per ciascun volo vengono fornite **informazioni e dati aggiornati dinamicamente** su come può essere effettuata la sequenza di arrivo (numero in sequenza sulla specifica pista; orario calcolato di atterraggio; ritardo o anticipo da smaltire/ottenere; distanza in miglia dalla pista pianificata)
- Gli orari previsti di atterraggio (ELDT – Estimated Landing Time) vengono calcolati utilizzando i dati di traiettoria prevista e gli aggiornamenti forniti dei sistemi radar
- Attraverso **strategie di ottimizzazione dei flussi di traffico** AMAN pianifica una sequenza di arrivo e la determinazione dei tempi target di sorvolo lungo le rotte di arrivo e di atterraggio sulla pista (TLDT – Target Landing Time)
- AMAN genera degli avvisi di tipo "time to lose" (TTL) e "time to gain" (TTG) che indicano ai CTA come lo specifico TLDT possa essere soddisfatto
- AMAN è operativo fino a 180 miglia dalla pista
  - Flight efficiency
  - Predicibilità delle traiettorie di arrivo
  - Riduzione del consumo di carburante > beneficio power l'Enviroment in termini di riduzione delle emissioni. Su Fiumicino è stata stimata una riduzione media di 17 secondi per singolo volo (si passa - in media - da 1:24 min a 1:07 min di intervallo) corrispondenti a circa 1,5 miglia di minore distanza coperta (con conseguente risparmio di carburante stimato in 17 kg, corrispondenti a circa 53 kg di CO_2).

In base a questi dati si stima, per il 2023, una riduzione delle emissioni di CO_2 pari a 1.000.000 di Kg pari a circa 330.000 kg di carburante.

Evoluzione dei sistemi

Seguendo sempre questo approccio che tende a valorizzare una evoluzione dei sistemi e delle tecnologie utilizzate da ENAV che parta dai processi esistenti per innovare tramite nuovi strumenti e tecnologie messe a disposizione dal mondo della ricerca e dell'innovazione, nel giugno del 2022 abbiamo inaugurato, presso l'aeroporto di Brindisi, la prima torre di controllo gestita da remoto in Italia. Grazie ad un mix di sistemi hardware e software all'avanguardia, questa torre "digitale" consente ai controllori del traffico aereo di gestire tutte le operazioni di decollo, atterraggio e movimentazione al suolo da un cosiddetto Remote Tower Modu-

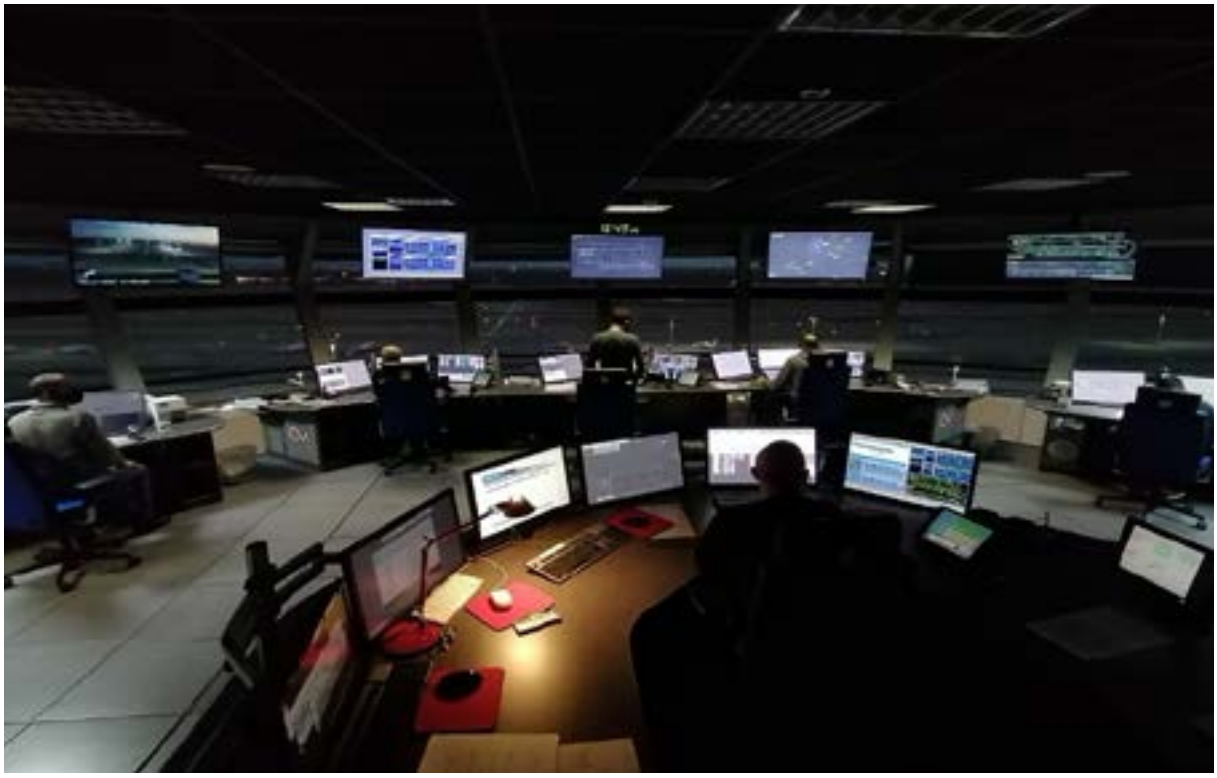
le (RTM) che può essere posizionato anche a molti chilometri di distanza dall'aeroporto.

Il tema delle Torri Remote è un ottimo esempio dell'approccio che ENAV negli anni ha mantenuto per le Tecnologie di Frontiera. La prima attività di sperimentazione, infatti, è stata svolta da ENAV nel 2016, con le tecnologie che in quel momento storico erano ben oltre lo stato dell'arte dei sistemi e degli apparati disponibili sul mercato. Nello specifico, ENAV si è occupata dello scouting a livello globale dei partner con i prototipi che meglio si adattavano alle esigenze operative manifestate dal proprio personale e si è occupata in prima persona di tutte le attività di integrazione necessarie alla materializzazione del "dimostratore" finale. In perfetta analogia, le torri digitali oggi in corso di deployment su scala nazionale, saranno a loro volta soggette ad un processo di evoluzione anch'esso basato sulle Tecnologie di Frontiera oggi in corso di sperimentazione, come la realtà aumentata o la rappresentazione multipla, real-time, del traffico di più aeroporti su un'unica posizione operativa (Multiple Remote Tower).

Tecnologie di Frontiera come la realtà aumentata trovano ampia applicazione in un ambito come quello del controllo del traffico aereo, che richiede l'implementazione di diverse "safety nets" e sistemi di sicurezza automatizzati in tutti gli ambienti popolati da aeromobili. Primo fra questi l'ambiente aeroportuale, all'interno del quale oggi la realtà aumentata permette di rappresentare in maniera fedele, anche se ancora a livello ancora sperimentale, ogni tipo di condizione meteo o di casistica operativa conosciuta.

Per alcune scelte strategiche, legate soprattutto alla modalità di erogazione dei servizi del Gruppo ENAV ed alla necessità di definire tool a supporto del miglioramento delle performance operative nelle Torri di Controllo e nei Centri di Controllo d'Area, si è concentrato lo sforzo nel presidio di alcuni macro-trend tecnologici, come: *Intelligenza Artificiale, Industry 4.0* e *Robotic Process Automation*. In queste tre macroaree sono attive diverse attività sperimentali, che vanno incontro al soddisfacimento delle esigenze operative identificate. Questo approccio sta permettendo al Gruppo ENAV di accrescere il know-how interno, toccare con mano l'applicazione pratica sul campo di strumenti innovativi e comprendere gli attuali limiti delle tecnologie. Nello specifico, abbiamo creato algoritmi e modelli di *anomaly* detection per approcciare il paradigma della manutenzione predittiva, il *machine learning* legato al riconoscimento di determinati fenomeni atmosferici tramite sistemi video e, ancora, modelli di programmazione del linguaggio naturale (Natural Language Processing) di supporto all'operatività aziendale, utilizzo di AI e ML per la detezione e la tracciabilità di oggetti e mezzi in movimento da uno streaming video, nonché piccole applicazioni che supportano il lavoro e la quotidianità aziendale tramite strumenti di *Robotic Process Automation*. Anche la Realtà Aumentata ha dimostrato delle potenzialità promettenti, calata in un ambiente di Torre di Controllo, dove tramite diverse sperimentazioni i controllori del traffico aereo hanno avuto modo di provare la "mixed reality" nell'ambiente di lavoro.

A conferma di quanto sia importante questa attività di presidio delle Tecnologie di Frontiera e con l'obiettivo di produrre anche internamente prodotti immediatamente utilizzabili nel proprio core business, ENAV ha costituito il suo Innovation Lab, acquisendo nuove competenze di data science ed esperti di dominio, per accrescere anche le capacità di analisi e sviluppo su queste attività. La nuova struttura Innovation Lab, con la forte collaborazio-



ne e il supporto che caratterizza le colleghe e i colleghi di tutto il Gruppo Enav, cerca di stimolare la creatività dei colleghi, sfruttando nuove metodologie di lavoro collaborativo e l'utilizzando di queste "tecnologie emergenti - di frontiera". Tutto questo in partnership con la struttura di Open Innovation, per una contaminazione continua con l'esterno, attraverso la collaborazione costruttiva con centri di ricerca, PMI innovative e aziende di settore.

In questo processo di monitoraggio e utilizzo di nuove tecnologie è di vitale importanza creare una "cultura dell'innovazione" in azienda, dar vita ad un ambiente fertile che favorisca e incoraggi continui spunti, lo sviluppo e l'implementazione di nuove idee, processi, prodotti o servizi. Una cultura dell'innovazione ben sviluppata è essenziale per mantenere la rilevanza e la competitività nel mercato in continua evoluzione.

Inoltre, per un Gruppo come ENAV, dove ci sono società che operano in prima linea nello sviluppo di prodotti e servizi commerciali nel settore della sicurezza ed efficienza delle operazioni in volo, occorre comprendere e saper adottare adeguati meccanismi di valorizzazione industriale o commerciale delle soluzioni tecnologiche provenienti dall'ecosistema di innovazione, con l'obbiettivo di promuovere un'innovazione strutturata, sostenibile e resiliente, che non si riduca alle sole fasi iniziali di ricerca e sviluppo o di sperimentazione ma che tenda all'evoluzione della stessa sia in termini industriali che commerciali.

enel

Tecnologie di Frontiera in cui sta operando/investendo l'azienda

La crescente attenzione verso le questioni climatiche e l'emergere di nuove tecnologie a basso impatto ambientale evidenziano la necessità di ripensare il sistema energetico in maniera sostenibile e partecipativa. L'Unione Europea e l'Italia si sono impegnate a raggiungere ambiziosi target di decarbonizzazione al 2030, riconoscendo come il rafforzamento del sistema elettrico e l'accelerazione della transizione energetica siano elementi prioritari nella lotta al cambiamento climatico e nello stimolo della ripresa economica.

L'incremento della domanda di elettricità generata da fonti a basse emissioni, come l'eolico ed il solare, lo sviluppo diffuso dell'elettrificazione dei consumi, l'aumento della generazione distribuita e la necessità di continuare a garantire qualità e resilienza di infrastrutture e servizi, rendono necessario lo sviluppo di una rete di distribuzione innovativa e digitale in grado di gestire in modo proattivo le esigenze dei clienti.

In questo contesto, gli operatori del sistema di distribuzione elettrica (DSO) ricoprono una funzione centrale per gestire la progressiva decarbonizzazione dell'intero settore, svolgendo un ruolo abilitante per l'elettrificazione e l'integrazione delle rinnovabili nella rete. E-distribuzione, in qualità di azienda leader nel settore della distribuzione elettrica, si è posta alla guida di questo grande cambiamento e del percorso di transizione verso un sistema energetico sostenibile.

Grazie ad avanzate tecnologie proprietarie e al ruolo di *first mover* nell'innovazione, il Gruppo Enel sta ridisegnando il sistema energetico nazionale, facendo leva sulla digitalizzazione e sulla decentralizzazione infrastrutturale e favorendo l'integrazione della produzione decentrata e della generazione su piccola scala di energia rinnovabile, l'elettrificazione indiretta e diretta dei consumi energetici, la compartecipazione attiva dei prosumer, lo sviluppo dei sistemi di storage e della mobilità elettrica su larga scala.

SMART GRIDS

La risposta digitale alle nuove esigenze del sistema energetico integrato è la Smart Grid, l'infrastruttura intelligente per la gestione e il monitoraggio della distribuzione di energia elettrica in grado di:

- favorire l'integrazione dei diversi settori energetici in un unico sistema, efficiente e sicuro, capace di garantire la stabilità nelle forniture, l'efficienza dei consumi e l'economicità dei costi. La Smart Grid diviene l'elemento cardine per interconnettere i diversi vettori energetici a basse emissioni e far collaborare attivamente tutti gli attori dell'intero sistema integrato;
- assicurare un servizio affidabile e sicuro in termini di qualità e continuità, attraverso le nuove tecnologie digitali e la flessibilità del sistema. Facendo dialogare gli ambienti Information Technology (IT) e Operational Technology (OT), la Smart Grid consente di prevedere e gestire efficientemente

i picchi di domanda, riducendo le dispersioni di energia e rafforzando le protezioni *cyber* dell'intero sistema energetico;
- fornire una piattaforma inclusiva e partecipativa per il coinvolgimento e l'interazione di tutti gli attori, sbloccando nuove opportunità in termini di modelli di business innovativi, servizi e creazione di valore condiviso. Inoltre, viene promossa la partecipazione attiva degli utenti, l'integrazione dinamica della generazione distribuita e la condivisione dei dati aggregati di monitoraggio e gestione con i diversi operatori del sistema energetico integrato;
- abbracciare nuovi principi di sostenibilità, stimolando l'attivazione di processi di economia circolare e di business innovativi, sostenendo il ruolo attivo dei clienti, prediligendo l'utilizzo di energia rinnovabile e incoraggiando l'utilizzo del vettore elettrico come la scelta più efficiente e semplice per contribuire a un futuro a impatto zero.

Nello specifico, al fine di migliorare gli indicatori di qualità del servizio relativi al numero e alla durata delle interruzioni per i clienti della rete di distribuzione, Enel ha aggiornato il sistema di telecontrollo, protezione e automazione, introducendo dispositivi evoluti e una rete di comunicazione ad elevate performance.

In particolare, le tecniche di automazione evolute, definite "Selettività Logica", si basano sulla comunicazione tra gli apparati di Cabina Primaria e Secondaria e su dispositivi smart grids (IED – Intelligent Electronic Devices). Le peculiarità di tali dispositivi e l'innovazione introdotta sulla rete di distribuzione sono descritte di seguito.

Componenti in cabina primaria

Terminale Periferico di Teleoperazioni (TPT2020)

È un dispositivo elettronico a microprocessore che comunica con protocollo TCP/IP verso lo SCADA e standard di comunicazione IEC 61850 su rete LAN (di Cabina ed estesa su LTE o FO per il colloquio con i dispositivi di CS); costituisce l'RTU dell'impianto primario e si interfaccia al sistema di telecontrollo centrale di E-distribuzione.

Le funzionalità principali del dispositivo sono:
- Acquisire telesegnali e telemisure in arrivo dall'impianto;
- Eseguire localmente elaborazioni di correlazione tra i vari segnali atte a generare eventi sintetici da inviare al Sistema Centrale;
- Elaborare in autonomia sequenze automatiche locali;
- Eseguire comandi remoti, richiesti dal Sistema Centrale;
- Gestire archivi dei dati di esercizio e di registrazione cronologica degli eventi;
- Gestire la funzione di distacco carichi;
- Gestire vari vettori di comunicazione sia verso il centro sia verso IO remoti;
- Elaborare esaustive funzioni di diagnostica disponibili tramite Web Server residente.

I componenti che comunicano in 61850 con il TPT2020 sono, per la cabina primaria:
- Protezione Integrata di Trasformatore (PIT).
- Pannelli Multifunzione di Protezione (MFP).

Protezione Integrata di Trasformatore (PIT)

Il pannello PIT incorpora tutte le funzioni di protezione e controllo presenti sui pannelli tradizionalmente di protezione degli stalli AT e MT del Trasformatore AT/MT presente in Cabina Primaria, e del Variatore Sotto Carico.

Pannello Multifunzione di Protezione (MFP)

Il Pannello Multifunzione di Protezione è un dispositivo unico integrato che, a seconda della programmazione software, può svolge-

re una serie di funzioni che in origine erano svolte da dispositivi diversi, quali:

- protezione linea MT;
- protezione congiuntore sbarre MT;
- protezione banchi di rifasamento MT;
- protezione trasformatore Formatore del Neutro TFN;
- protezione traslazione;
- protezione linea AT.

Tale soluzione è pertanto molto più flessibile e scalabile rispetto alle tecnologie più datate.

Architettura smart grid della cabina secondaria

La disponibilità di una rete *broadband* diffusa capillarmente sul territorio apre la strada a nuove funzioni basate sulla comunicazione tra gli apparati in campo.

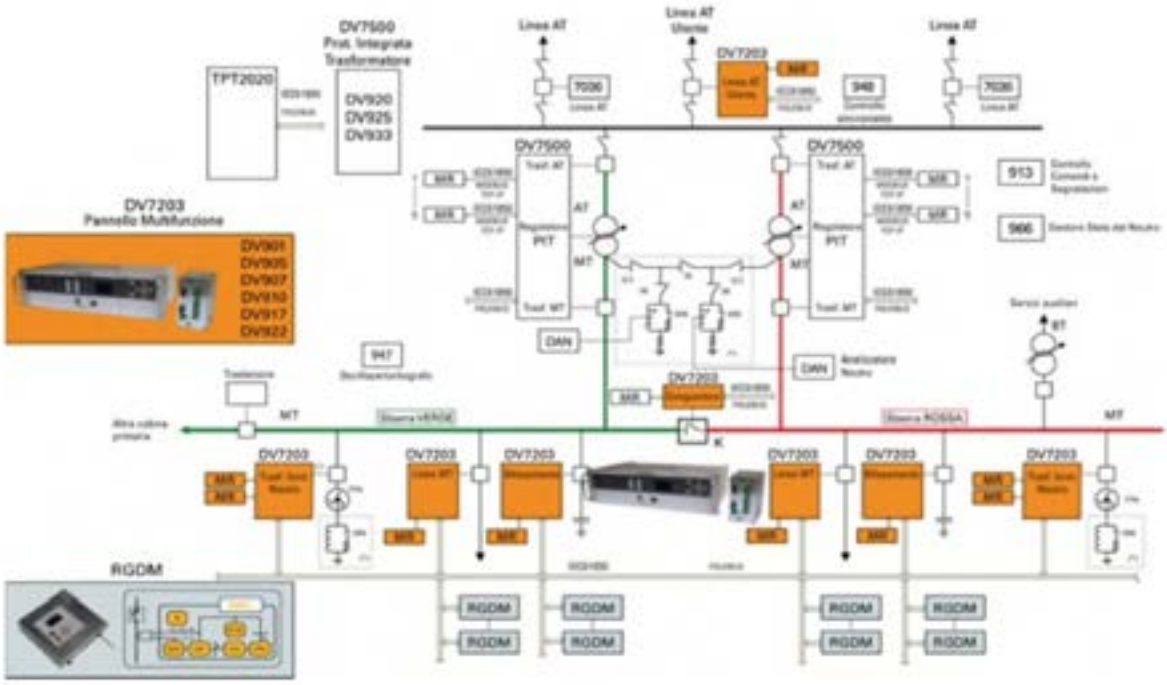
La nuova rete è di tipo IP e pertanto può supportare protocolli di comunicazione di nuova generazione, tra cui i protocolli IEC61850 e MQTT.

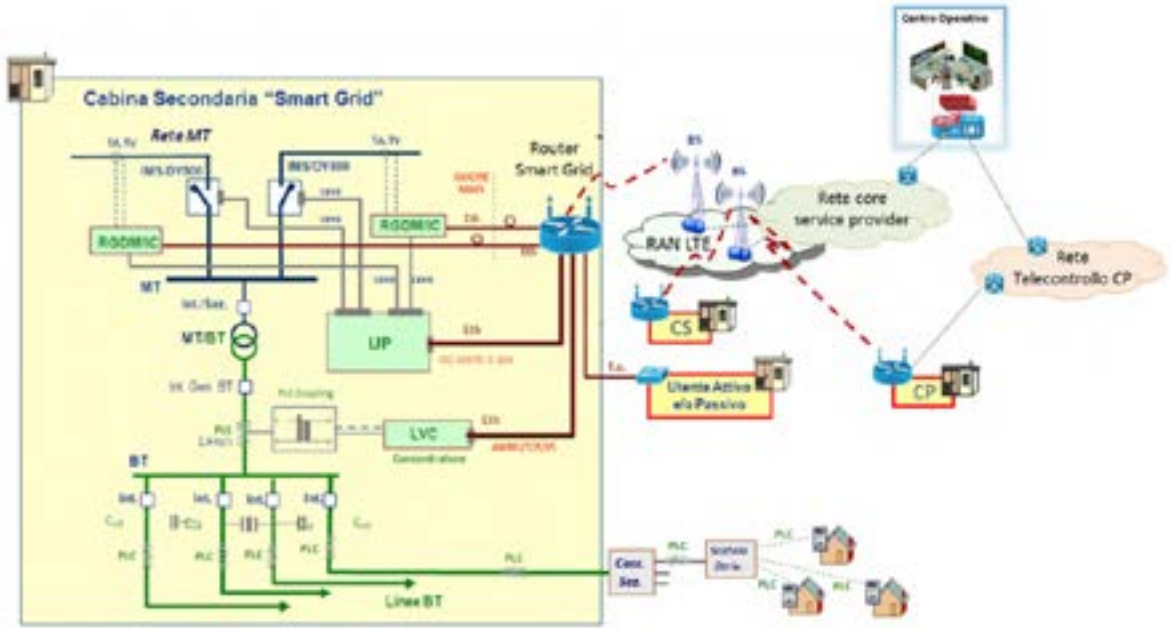
La nuova architettura di cabina secondaria prevede l'installazione di:

- un apparato Router con le seguenti funzionalità operative
  - connessione tra le cabine secondarie e con lo SCADA
  - connessione degli IED di cabina secondaria
  - funzioni di trasporto del protocollo IEC61850 per la comunicazione tra IED
- una nuova apparecchiatura in grado di rilevare i guasti, la presenza/assenza della tensione, la misura delle tensioni e delle correnti ed attuare cicli di richiusura, denominata RGDM.

Tutti gli apparati sono connessi ad una LAN di cabina secondaria.

Il protocollo IEC61850 viene utilizzato tra le CS ed in CP, per il colloquio tra gli apparati di protezione installati in cabina secondaria e primaria, oltre che con l'RTU di cabina primaria.





Componenti in cabina secondaria

Unità Periferica (UP2020 "lite")

Le Unità Periferiche assolvono il compito di gestione della Cabina Secondaria, svolgendo un ruolo analogo a quello del TPT2020 in CP. Nello specifico, le unità periferiche attualmente utilizzate sono le UP2020 "lite" che sono in grado di:

- comunicare con le apparecchiature centrali e provvedere all'inoltro verso il campo, costituito da sezionatori sotto carico, interruttori, *reclosers* e dagli interruttori BT motorizzati della Cabina Secondaria, dei comandi remoti ricevuti dal Centro;
- rilevare lo stato degli organi di manovra e la diagnostica di apparato e renderli disponibili al centro;
- acquisire gli interventi dei dispositivi di rilevazione del guasto installati in corrispondenza degli organi di manovra dei tronchi da monitorare e memorizzarli, corredati di data/ora di insorgenza, per renderli disponibili al centro;
- attuare procedure automatiche per la selezione del tronco guasto;
- acquisire le misure del campo (temperatura interna di cabina, correnti, etc.) e renderle disponibili al centro.

Le UP2020 "lite" inoltre possono essere utilizzate nell'ambito dei Centri Satellite o Cabine di Smistamento MT/MT, telecontrollandone gli interruttori e acquisendo le segnalazioni e le misure dai relativi pannelli di protezione e controllo.

Protezione RGDM

Il dispositivo RGDM (Rilevatore di Guasto Direzionale e Misure) è un dispositivo di rilevazione guasti evoluto che implementa una serie di funzioni tra cui:

- protezione e registrazione degli oscillogrammi di guasto;
- misura dei parametri elettrici di rete (tensione e corrente di linea MT);
- controllo;
- automazione;
- connettività evoluta con protocollo IEC61850;
- gestione della Generazione Distribuita.

In particolare, l'RGDM è in grado di rilevare la presenza di guasti polifase e monofase a terra, rilevare l'assenza di tensione sulla linea, misurare la tensione e la potenza attiva e reattiva sulla linea di Media Tensione (MT), comandare in occorrenza di guasto o su telecomando da UP2020 "lite", l'apertura e la chiusura degli interruttori, interfacciarsi con

i generatori presenti sulla rete MT al fine di coordinare la regolazione di tensione lungo linea ed i segnali di teledistacco.

L'RGDM viene installato all'interno delle cabine secondarie telecontrollate e si interfaccia per quanto riguarda l'acquisizione delle grandezze elettriche con dei sensori integrati di tensione e corrente evoluti, detti "Smart Terminations", per le funzioni di automazione con l'UP2020 "lite" e per l'estinzione dei fenomeni di guasto con gli interruttori di cabina secondaria.

Smart Terminations

I circuiti d'ingresso dell'RGDM acquisiscono le misure delle grandezze elettriche mediante sensori integrati di corrente-tensione di fase; il dispositivo è in grado, mediante selezione software, di acquisire i segnali di misura di corrente da sensori attivi (segnale proporzionale al valore di corrente trasdotto dal sensore) o da sensori passivi (segnale proporzionale al valore della derivata di corrente rispetto al tempo). Le grandezze omopolari sono ricavate mediante calcolo vettoriale dalla misura delle correnti e delle tensioni di fase.
Inoltre, tali sensori possono anche essere integrati direttamente negli scomparti degli interruttori di Cabina Secondaria.

Interruttori di Cabina Secondaria

Gli interruttori di Cabina Secondaria sono interruttori automatici, in vuoto o in SF6, in grado di interrompere correnti di cortocircuito elevate e di estinguere il guasto in tempi molto rapidi. Hanno un'affidabilità superiore rispetto ai più comuni sezionatori di manovra di Cabina Secondaria e consentono lo sviluppo delle logiche avanzate di selezione del guasto e di automazione.

Interruttori telecontrollati e automatizzati di Bassa Tensione

Tradizionalmente, gli organi di manovra (OdM) installati sulla rete BT non prevedevano il funzionamento automatico o il controllo remoto. Al fine di migliorare la qualità del servizio in termini di continuità, qualità percepita dagli utenti della rete di Bassa Tensione (BT) e contenimento del rischio di funzionamento incontrollato di porzioni di rete di bassa tensione, è stato avviato un piano di installazioni di interruttori di linea BT che interfacciandosi con il sistema di telecontrollo, possono effettuare l'apertura e chiusura da remoto così come le richiusure automatiche.

Tale funzionalità è realizzata mediante un interruttore motorizzato dotato di specifico connettore per l'interfacciamento con l'apparato di telecontrollo di cabina secondaria, qualora la cabina secondaria sia già dotata di RTU.

Si stanno inoltre sperimentando, in Cabine Secondarie selezionate, nuovi quadri di bassa tensione motorizzati e telecontrollati equipaggiati con sensori, protezione e comando unipolare, per valutarne le potenzialità in termini di miglioramento della qualità del servizio. Le prime installazioni sono state programmate e in parte già eseguite in aree strategiche ad alta densità, che si stima possano trarne maggiore beneficio.

Quantum Edge Device

Il Quantum Edge Device (QEd) è un nuovo dispositivo che integra all'interno di un unico hardware le funzionalità di comunicazione, telecontrollo, protezione, automazione e raccolta delle misure dei contatori, grazie alla virtualizzazione dei dispositivi presenti in Cabina Secondaria (UP, RGDM, Router, Concentratore di Bassa Tensione).

Nell'ottica di costruire la Smart Grid del futuro, nella Cabina Secondaria sarà presente

un unico dispositivo che sostituirà dispositivi quali la RTU, l'RGDM, il router ed il Concentratore e prevederà tutte le loro funzionalità, con la possibilità di ulteriori sviluppi.

Infatti, con la costante crescita delle connessioni degli impianti di generazione distribuita sulla rete di Media Tensione, il QEd potrà provvedere anche al monitoraggio delle misure elettriche in relazione agli impianti DERs, nonché alla gestione remota del carico per aumentare la *hosting capacity* della rete. A tal fine, l'operatore del sistema di distribuzione elettrica (DSO) svolge un ruolo cruciale al fine di supportare il processo di trasformazione della rete elettrica in una rete interattiva, in modo da integrare correttamente le esigenze dei consumatori e dei produttori.

Apparati di comunicazione negli impianti periferici

Apparati di comunicazione in Cabina Primaria Nelle Cabine Primarie telecontrollate è presente nell'impianto un router dedicato al Telecontrollo che garantisce, attraverso collegamenti su rete WAN, la connettività "always on" per il telecontrollo dell'impianto primario.

Di norma, al router standard per il telecontrollo si affianca il "router smart grid" per le comunicazioni di tipo smart grid che assolve ad una duplice funzione:

- garantire le comunicazioni smart grid, attraverso la rete LTE, con le cabine secondarie afferenti alla stessa cabina primaria, tramite l'hub normalmente installato nel Centro di Controllo;
- eseguire il *routing* del traffico dal TPT2020 verso il router di telecontrollo.

È presente inoltre uno *switch*, vale a dire un componente della rete LAN della cabina che consente il dialogo su protocollo IEC 61850 tra i pannelli di protezione e l'apparato periferico TPT2020, nonché la connessione al Router.

Lo switch viene utilizzato per i collegamenti a:
- Protezione Integrata del Trasformatore;
- Pannello Multifunzione di Protezione;
- Patch panel.

Apparati di comunicazione in Cabina Secondaria

In Cabina Secondaria è previsto l'utilizzo di un "router smart grid" che ha una doppia funzione:
- garantire le comunicazioni smart grid, attraverso la rete LTE, con le altre cabine secondarie afferenti alla stessa cabina primaria, tramite l'HUB normalmente installato nel Centro di Controllo;
- garantire le comunicazioni smart grid, attraverso la rete LTE, con la cabina primaria di riferimento, tramite l'HUB normalmente installato nel Centro di Controllo.

TECNOLOGIE DI PIANIFICAZIONE BASATE SU MODELLI DI ANALISI PREDITTIVA

L'analisi e la pianificazione della rete costituiscono per Enel un elemento chiave, anche in considerazione degli importanti obiettivi che esse perseguono: supervisionare gli interventi sulla rete al fine di ridurre le interruzioni e garantire una sempre più elevata qualità del servizio ai clienti.

L'introduzione di modelli e algoritmi intelligenti, in grado di analizzare grandi quantità di dati storici e di apprendere dall'esperienza precedente per identificare gli elementi di rete più critici in termini di probabilità di interruzione e impatto, contribuisce all'approccio *data-driven*, che rende possibile un'allocazione delle risorse e delle attività basata sui dati, riducendo le complessità del processo di pianificazione della rete.

Tool di analisi e pianificazione rete: elaborazione dei dati con algoritmi di intelligenza artificiale

E-Distribuzione è impegnata con successo nella risoluzione dei guasti sulla rete nel più breve tempo possibile al fine di assicurare ai suoi clienti la continuità del servizio elettrico. Negli ultimi anni, il grande impegno in questa direzione ha portato all'introduzione di una metodologia innovativa con l'obiettivo di prevedere in anticipo le interruzioni di rete, comprendere il loro impatto e prevenirle attraverso interventi mirati. Il metodo sfrutta modelli di Intelligenza Artificiale e algoritmi deterministici per stimare la probabilità di interruzione degli elementi della rete e determinarne l'impatto in termini di durata e di clienti interessati, al fine di suggerire i migliori interventi sulla rete per ridurre al minimo la probabilità di interruzione.

Lo strumento si basa, in prima istanza, sull'individuazione degli elementi di rete che potrebbero subire un'interruzione attraverso un processo di apprendimento automatico ("machine learning") finalizzato alla definizione di una sempre più affidabile stima della probabilità di interruzione degli elementi di rete in riferimento ad un determinato orizzonte temporale.

Al fine di simulare un'interruzione reale, un algoritmo deterministico stima l'impatto di un'interruzione sulla rete sulla base di un indicatore di performance della rete – DIL - che considera il numero di clienti interessati e la durata dell'interruzione, simulando fedelmente la sequenza di tutte le operazioni eseguite su una linea elettrica per individuare e risolvere l'interruzione.

Infine, è stato sviluppato un ulteriore algoritmo che suggerisce le azioni di manutenzione o sostituzione di elementi di rete finalizzate a ridurre la probabilità di interruzione.

Metodologie predittive per la Resilienza della rete

La resilienza della rete elettrica è la capacità della rete di resistere a sollecitazioni estreme e di ripristinare, nel più breve tempo possibile, la propria operatività.

Al fine di innalzare la capacità di risposta del sistema ad eventi meteo estremi, E-distribuzione ha implementato la strategia delle "4 R", così articolata:

- *Risk prevention* (prevenzione dei rischi), mediante azioni in grado di minimizzare la probabilità di accadimento degli effetti negativi sulla rete;
- *Readiness* (prontezza), mediante azioni per aumentare la capacità di previsione e monitoraggio della rete in condizioni metereologiche estreme;
- *Response* (risposta), tramite la pianificazione, esecuzione e comunicazione delle attività sul campo anche grazie all'interazione con la cittadinanza;
- *Recovery* (ripristino), capacità della rete elettrica di distribuzione di tornare rapidamente in condizioni di funzionamento ordinarie, nei casi in cui l'evento meteo estremo abbia comunque determinato interruzioni del servizio nonostante tutte le misure di incremento della resilienza già adottate.

Gli interventi che perseguono l'obiettivo di contenere il rischio di disalimentazione, a fronte dei principali fattori meteorologici critici che possono avere impatto sulla rete, afferiscono agli interventi di "Resilienza" della

rete e vengono pianificati mediante un'analisi basata su modelli predittivi.

Tra le principali cause di guasto della rete elettrica, le cause di maggiore impatto sono legate ad eventi meteorologici nelle loro manifestazioni estreme, quali ad esempio:

- intense nevicate con formazione di neve o ghiaccio sui conduttori nudi delle linee aeree;
- tempeste di vento che possono impattare le linee aeree direttamente o indirettamente, a causa ad esempio della caduta di piante di alto fusto sulle linee aeree o del distacco di rami di alberi, anche relativamente distanti dalle linee stesse;
- ondate di calore estreme, caratterizzate da temperature elevate per più giorni consecutivi, associate a fenomeni di prolungata siccità, che impediscono lo smaltimento del calore nelle linee interrate provocando guasti diffusi su cavi e relativi giunti.

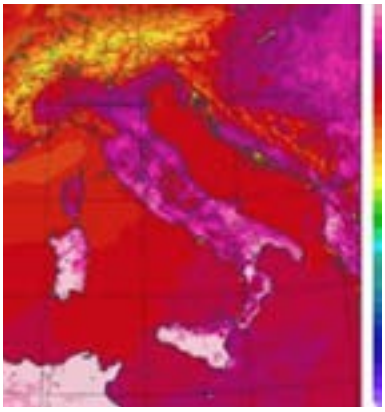
Il grado di resilienza della rete a fronte dei fenomeni eccezionali sopradescritti viene calcolato in una determinata area con un modello di tipo predittivo, in particolare con un indice di rischio che è inversamente proporzionale al prodotto tra probabilità "P" di cedimento delle linee elettriche MT in una certa area geografica e danno "D" provocato dall'evento con probabilità P sulla fornitura di energia elettrica, valutato in funzione del numero dei clienti che restano disalimentati.

A fronte del rischio legato a manicotto di ghiaccio e tempeste di vento e/o caduta alberi ad alto fusto, vengono quindi individuate le leve di intervento per incrementare la resilienza delle linee MT aeree in conduttore nudo impattate da questi fenomeni:

- al fine di ridurre la probabilità "P" dell'evento,
  - potenziamento meccanico delle linee elettriche prevedendo la sostituzione del conduttore nudo con cavo aereo elicord (intrinsecamente resiliente);
  - interramento delle linee elettriche;
- al fine di ridurre l'impatto o danno "D" sui clienti alimentati dalla linea,
  - richiusura di derivazioni non rialimentabili al fine di incrementare la controalimentabilità della rete.

Per quanto concerne il rischio legato a ondate di calore, questo impatta sulle linee in cavo interrato e la leva di intervento consiste nella realizzazione di collegamenti "trasversali" tra linee esistenti, per incrementare la "magliatura" della rete, incidendo su entrambi i fattori del modello di individuazione del rischio. Per consentire la massimizzazione dei benefici degli interventi di incremento della magliatura, i nuovi tratti di linea da prevedere devono essere telecontrollati, per consentire le manovre da remoto.

Un'altra tecnologia di rilievo a supporto della resilienza del sistema elettrico è rappresentata dalla sensoristica avanzata Internet of Things (IoT), utilizzata da E-distribuzione nell'ambito del progetto "Newman" che si propone di utilizzare modelli analoghi a quelli già utilizzati per valutare la resilienza della rete, ma con l'obiettivo di disporre di una rete di monitoraggio e allarme in grado di prevedere l'approssimarsi di condizioni meteorologiche



suscettibili di mettere a rischio l'infrastruttura elettrica e di prevederne le conseguenze.

La finalità è quella di ottimizzare la capacità di reazione del sistema, predisponendo per tempo le risorse necessarie a contenere il disservizio e a recuperare l'operatività della rete nel minore tempo possibile. Newman, infatti, sta ad indicare "Near-real-time Weather condition MANagement".

Al fine di monitorare le condizioni climatiche che interessano la rete e di fornire supporto utile a migliorare la previsione dei fenomeni atmosferici estremi, il progetto Newman prevede l'installazione di una rete di stazioni di rilevamento atmosferico. Inoltre, la sensoristica IoT lungo la linea ha lo scopo di rilevare lo stato della rete ed i principali parametri climatici in più punti strategici della rete di distribuzione.

Come massimizzare le opportunità per il sistema: quattro fattori abilitanti

Per massimizzare l'impatto positivo del piano di investimenti per le smart grids e l'innovazione tecnologica e generare opportunità per l'intero sistema energetico italiano, sarà fondamentale promuovere il rafforzamento della collaborazione tra tutti gli stakeholder coinvolti.

In particolare, E-Distribuzione ha identificato quattro fattori abilitanti, che costituiscono precondizioni necessarie per la completa realizzazione dei benefici del piano di investimenti stesso sull'economia italiana:

- Capacità della catena di approvvigionamento di soddisfare la domanda e adattarsi alle evoluzioni del mercato
- Capacità della filiera di soddisfare la domanda in maniera sostenibile
- Circolarità, quale fattore di successo per limitare gli shock esogeni e geopolitici nella catena di approvvigionamento
- Disponibilità di manodopera qualificata.

Capacità della catena di approvvigionamento di soddisfare la domanda

La concomitanza della crescente domanda globale di componenti e di servizi per l'industria della distribuzione elettrica e la necessità di individuare soluzioni tecnologiche all'avanguardia rappresenta una fondamentale occasione di crescita per tutta la catena del valore. Investire oggi nel miglioramento delle capacità produttive, migliorando la flessibilità e la resilienza dell'offerta, diventa fondamentale per cogliere le opportunità presenti e future della transizione energetica.

A partire dalla metà del 2020 si è assistito ad un generale *shortage* della componentistica elettronica che ha rallentato la catena di fornitura in molteplici settori.

In particolare, alcuni componenti necessari per la buona riuscita dei progetti del gruppo Enel presentano un'evidente differenza tra la crescente domanda e le limitate capacità produttive dei fornitori. Se da un lato la mancanza di componenti rappresenta un rischio per i progetti e gli investimenti; dall'altro lato, essa apre nuove opportunità di business per le aziende anche in un'ottica di sviluppo di catene di fornitura nazionali ed europee. In tal senso, promuovere le "catene corte" permetterebbe di ridurre non soltanto i rischi logistici e di spedizione, ma anche le emissioni e i costi connessi al trasporto.

Un esempio di componenti critici a rischio *shortage* sono i componenti per il telecontrollo Media Tensione/Bassa Tensione (MT/BT), elementi essenziali nei processi di automazione della rete. Le difficoltà di reperimento di telecontrolli MT/BT sono dovute non soltanto alle componenti elettroniche che li compongono, ma anche al fatto che la loro domanda di mercato è in rapida espansione non solo in Italia ma in tutto il mondo.

In questo contesto, le azioni messe in campo dal Gruppo Enel rappresentano un'importante leva di crescita economica in Italia e un fattore abilitante per lo sviluppo di una filiera agile e resiliente, capace di adattarsi alle fu-

ture esigenze di mercato. Per la realizzazione del massimo impatto positivo per il Sistema Paese sarà necessario che la catena del valore investa nel soddisfare la crescente domanda sia in termini quantitativi che qualitativi, ampliando la capacità produttiva nazionale e incentivando lo sviluppo di tecnologie all'avanguardia. Tali investimenti consentiranno ai fornitori e alle aziende innovative di sviluppare nuove competenze e di cogliere le sfide della transizione energetica, assumendo una posizione privilegiata a livello europeo e internazionale.

Capacità della filiera di soddisfare a domanda in maniera sostenibile

Negli ultimi anni la sostenibilità della filiera produttiva si è affermata come fattore di successo nella governance delle aziende. La filiera riveste un ruolo fondamentale nel processo di ottimizzazione degli impatti e di mitigazione dei rischi dovuti ai cambiamenti climatici, geopolitici ed economici ed è pertanto necessario che la filiera sia in grado di predisporre un'offerta sostenibile ed in linea con le esigenze del mercato.

Se gli investimenti rappresentano un'opportunità di crescita per la filiera, chiamata ad espandere la produzione per rispondere all'incremento della domanda, è altresì necessario che tale espansione avvenga nel massimo rispetto dell'ambiente, della biodiversità e delle persone, per massimizzare gli impatti positivi del piano di investimenti stesso sul territorio.

Per favorire la capacità della filiera di mettere in campo una offerta sostenibile, E-distribuzione promuove la sostenibilità anche nel rapporto con i propri fornitori ed appaltatori, trainando lo sviluppo di pratiche sostenibili all'interno della propria filiera e abilitando la competitività della stessa. A tal proposito, sono state emesse delle linee guida che delineano un percorso di *sustainable procurement*, un insieme di modelli e requisiti per orientare gli acquisti verso appaltatori e fornitori che adottano al proprio interno criteri di sostenibilità. Le prestazioni dei fornitori, oltre a garantire i necessari standard qualitativi, devono andare di pari passo con l'impegno di adottare le migliori pratiche in termini di diritti umani e condizioni di lavoro, di salute e sicurezza sul lavoro, di responsabilità ambientale. E-distribuzione ha quindi istituito dei sistemi di qualificazione per fornitori e appaltatori attraverso l'adozione di fattori K di sostenibilità, quali fattori premianti. Tali fattori sono catalogati in una library declinata su più livelli:

Ambiente

Salute e Sicurezza

Responsabilità sociale

Cantiere Sostenibile

Ciò assicura che il piano di investimenti crei valore per il territorio garantendo la massima qualità e il rispetto di pratiche sostenibili in ogni fase della catena del valore.

Circolarità come fattore di successo per limitare gli shock esogeni e geopolitici nella catena di approvvigionamento

La necessità di sviluppare tecnologie pulite e di rinnovare le infrastrutture elettriche per abilitare la transizione energetica avrà conseguenze di vasta portata sulla domanda di minerali nei prossimi 20 anni.

L'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) prevede che per raggiungere gli obiettivi *Net Zero* al 2050 la domanda totale di minerali

per la produzione delle tecnologie energetiche potrebbe quadruplicare entro il 2040[1]. L'approvvigionamento delle materie prime si caratterizza così come uno dei principali rischi per l'affidabilità, accessibilità e sostenibilità della transizione energetica nel lungo periodo.

L'importante sviluppo delle reti elettriche richiede la disponibilità di una grande quantità di minerali e metalli. La rete elettrica da sola rappresenta il 70% della domanda totale di minerali dalla tecnologia energetica. Rame, alluminio, e cemento sono alcuni dei principali materiali dell'infrastruttura di distribuzione caratterizzati da un elevato rischio di *shortage* e di inflazione.

La complessità delle problematiche nell'approvvigionamento di materie prime rappresenta un rischio reale per il futuro della transizione energetica e degli investimenti, ma anche un'inedita opportunità di sviluppo per gli attori che saranno capaci di adeguarsi alle dinamiche di mercato innovando processi e prodotti.

Un fattore di successo in questo senso è rappresentato dalla capacità di migliorare i livelli di circolarità nei processi di produzione e di sostenere il riciclo dei materiali, una soluzione ambientale ed economica di grande portata. L'IEA stima che implementando la circolarità e il riciclo si possa coprire fino al 10% del fabbisogno di approvvigionamento primario, con una riduzione della dipendenza da forniture extra-UE e un impatto positivo anche sulle tematiche ESG e sulle emissioni di gas serra[2]. Alluminio, rame, plastica sono ottimi candidati per progetti di recupero e riciclo, capaci di generare prodotti grezzi riciclati da reinserire nel ciclo produttivo. In tale contesto, il gruppo Enel è impegnato a promuovere la circolarità e il riciclo lungo la propria catena del valore.

Una serie di documenti pubblicati dalla Commissione Europea hanno l'obiettivo di rendere l'approvvigionamento di materie prime dell'Europa più sicuro e sostenibile, incentivando diversificazione, estrazione e riciclaggio a livello comunitario, in linea con le nuove ambizioni climatiche 2030 e 2050. Il piano d'azione dell'UE incoraggia gli usi circolari delle risorse, compresa la creazione di una capacità di riciclaggio avanzata, il rafforzamento degli sforzi per un approvvigionamento sostenibile dei prodotti e la promozione dell'innovazione tecnologica per la sostituzione dei materiali.

Disponibilità di manodopera e mestieri qualificati

In considerazione dell'aumento di spese e investimenti da parte di tutti gli operatori del settore energetico italiano, si registra un alto rischio che la domanda di manodopera qualificata superi l'offerta.

Con le risorse previste dal PNRR, soprattutto nell'ambito dei settori *green* e *digital*, questo fenomeno rischia paradossalmente di acuirsi ulteriormente nei prossimi anni. All'interno del PNRR sono infatti previsti missioni e componenti volti ad accelerare la transizione verde, soprattutto in campo energetico, così come quella digitale. Questa evoluzione nel panorama economico e nel settore energetico comporta la necessità di disporre di competenze e di orientamenti nuovi.

La disponibilità e diversità di manodopera specializzata costituiscono alcuni dei principali fattori abilitanti per la piena realizzazione del piano di investimenti e conseguentemente per il raggiungimento degli obiettivi di transizione energetica, ecologica e digitale. Date tali premesse, e anche al fine di ridurre i rischi collegati alla carenza di manodopera specializzata, è sempre più urgente investire sul piano della formazione e del rafforzamento delle competenze attraverso misure volte a:

- supportare interventi dedicati di *reskilling* ed *upskilling*, per diffondere e potenziare nuove competenze strategiche;
- rafforzare le reti di istituti tecnici specializzati e promuovere l'adesione delle nuove

1 https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf

2 https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf

generazioni al percorso formativo di specializzazione di operatori per attività di rete;
- favorire l'incontro tra domanda e offerta di manodopera attraverso la predisposizione di piattaforme e iniziative di sistema.

In questo contesto, è importante promuovere il cambiamento e facilitare l'incontro tra formazione e mercato del lavoro attraverso programmi di formazione costruiti sulle esigenze delle imprese che operano in tutta Italia per gestire reti elettriche sempre più smart e digitali.

Conclusioni

Il Gruppo Enel sta attuando e continuerà a mettere in campo ogni sforzo utile volto all'efficientamento e al potenziamento della rete di distribuzione, in particolare con interventi di connessione di impianti di generazione alla rete di distribuzione, incremento della *hosting capacity*, miglioramento della qualità del servizio e rafforzamento della resilienza della rete di fronte ad eventi climatici estremi.

Un'importante componente negli investimenti sulla rete è costituita dai progetti di digitalizzazione e innovazione tecnologica. Con tali investimenti, l'azienda rivolge alla propria filiera industriale, composta prevalentemente da PMI ed eccellenze tecnologiche nazionali, una domanda importante di fornitura e servizi, ponendosi quindi come motore di crescita economica e di innovazione per l'intero Paese.

Inoltre, l'applicazione di modelli predittivi, facendo leva sulle potenzialità crescenti offerte dagli algoritmi di Artificial Intelligence (AI) e di Machine Learning (ML), rappresenta un'opportunità unica per innovare ed efficientare molti processi. Come appena rappresentato e anche alla luce dei risultati promettenti nell'ambito delle previsioni della guastabilità della rete e nella quantificazione dei suoi effetti, sarà fondamentale continuare ad investire in queste applicazioni innovative.

L'ambito delle valutazioni climatiche in chiave prospettica, ai fini di prevenire gli impatti sulla rete e quindi intervenire preventivamente in termini di incremento di resilienza del sistema, è sicuramente un promettente perimetro di applicazione per modelli evoluti di AI e ML, sui quali è necessario operare nel prossimo futuro.

eni

Il ruolo delle grandi aziende come hub di generazione e applicazione di conoscenza di frontiera

Eni - Energia da Fusione

L'energia da fusione promette una vera e propria rivoluzione in campo energetico perché, una volta sviluppata a livello industriale, permetterebbe di avere a disposizione una fonte di energia a zero emissioni di carbonio che utilizza un processo sostenibile, sicuro e praticamente inesauribile; la combinazione di queste tre caratteristiche ha in sé il potenziale di fare della fusione un punto di svolta nel percorso globale verso gli impegni di decarbonizzazione.

La fusione è la reazione fisica, naturale, che alimenta il Sole e le altre stelle. Un processo che è molto complesso da riprodurre artificialmente sulla Terra. Per questo, secondo la comunità scientifica, ottenere energia dalla fusione è una delle più grandi sfide tecnologiche che l'umanità abbia mai affrontato.

La fusione è un processo completamente differente dalla fissione; infatti, mentre nel processo di fissione, che fa funzionare le attuali centrali nucleari, abbiamo produzione di energia dalla "rottura" di un atomo pesante (ad esempio di uranio), nel processo di fusione due atomi leggeri, come gli isotopi dell'idrogeno (deuterio e trizio) sotto opportune condizioni (nelle stelle favorite dall'enorme forza di gravità presente nel loro nucleo), possono superare le loro forze repulsive e fondersi dando origine a un elemento (l'elio) più leggero della somma dei due atomi iniziali. Questa reazione libera un'enorme quantità di energia, secondo la famosa equazione di Einstein (E=mc2).

La quantità di energia generata in questo processo è davvero immensa: a titolo di esempio la fusione potrebbe generare circa quattro milioni di volte più energia per chilogrammo di combustibile rispetto alla combustione del carbone (Fonte: IAEA - International Atomic Energy Agency).

Se però nel Sole la reazione di fusione è favorita dalle immense forze gravitazionali della stella, sulla Terra è molto difficile da replicare artificialmente. In particolare, per arrivare alla reazione di fusione occorre trovare un compromesso tra forze gravitazionali, alte temperature, e tempo di confinamento.

In base a queste premesse, il mondo dell'innovazione sta lavorando a diverse tecnologie e una delle più studiate ed applicate è quella del confinamento magnetico che, come suggerisce il nome, utilizza potenti campi magnetici per controllare il plasma (il gas ionizzato costituito dalla miscela dei due isotopi di idrogeno) in cui avviene la fusione.

In particolare, la macchina che abilita la fusione a confinamento magnetico è il Tokamak, una camera in alto vuoto a forma di ciambella (geometricamente, un toroide) che permette di mantenere le diverse condizioni estreme necessarie per il processo, tra cui ad esempio una temperatura pari ad oltre 100 milioni di gradi (circa dieci volte quelle del nucleo del Sole). Si sfruttano, per questo, grandi bobine realizzate con magneti superconduttori, che hanno la capacità di creare forti campi magnetici, i quali contribuiscono a generare,

confinare e sostenere la reazione di fusione nonostante le temperature elevatissime.

L'energia generata dalla reazione di fusione sotto forma di calore è poi convertita, attraverso processi noti, in energia elettrica, che potrà essere inserita nella rete di distribuzione già esistente, rendendo questa tecnologia altamente vantaggiosa per l'integrazione con l'intero sistema energetico e sinergica alle rinnovabili intermittenti.

Se guardiamo alle caratteristiche di questa forma di energia, per quanto riguarda la sicurezza proprio la difficoltà nell'ottenere e mantenere le condizioni necessarie per ricreare il plasma sulla Terra rende la fusione a confinamento magnetico "intrinsecamente sicura"; infatti, il processo si estingue spontaneamente nel momento in cui anche una sola delle condizioni necessarie per la reazione di fusione venisse a mancare.

Un altro grande vantaggio della fusione è che il suo processo non emette gas a effetto serra; ciò la rende una fonte energetica estremamente interessante.

Inoltre, l'energia che verrà prodotta potrà essere considerata virtualmente inesauribile, perché, oltre alla grande densità energetica citata in precedenza, utilizzerà come combustibile, nell'implementazione oggi prevalente, i già menzionati due isotopi dell'idrogeno: il deuterio, che sarà ricavato dall'acqua di mare, e il trizio, che potrà essere prodotto come parte del processo all'interno della macchina Tokamak, tramite una reazione fisica con il litio.

Infine, il processo di fusione non genererà rifiuti radioattivi a lunga vita (centinaia di migliaia di anni).

La produzione di rifiuti radioattivi consisterà infatti, nel caso della fusione, in materiale attivato che si limiterà a porzioni interne del "Tokamak" e che sarà principalmente costituito da materiale di prima parete esposto al plasma. Tali porzioni d'impianto potranno essere periodicamente sostituite in sicurezza con metodi robotizzati attualmente già in corso di realizzazione.

Detto ciò, e sebbene sia innegabile che debbano essere ancora superate notevoli complessità tecniche prima di poter arrivare ad un utilizzo su larga scala di questa fonte di energia, è anche vero che specialmente negli ultimi due anni si è assistito ad una notevole accelerazione del progresso tecnico e scientifico.

Eni è stata promotrice di questa accelerazione sulla strada dell'industrializzazione dell'energia della fusione, perché è stata tra le prime aziende energetiche a credere e a investire in un settore che oggi vede la presenza di forti capitali privati e la nascita di società altamente innovative[1], in un campo che tradizionalmente era stato appannaggio di grandi programmi pubblici.

La traiettoria attuale dell'industria della fusione viene spesso accomunata a quella del settore spaziale, nel quale l'ingresso dei privati e di una mentalità più orientata ai risultati e alla ricerca di soluzioni particolarmente efficienti ed innovative sta portando ad una pluralità di offerta e a una trasformazione profonda del settore.

Pur evidenziando il ruolo dei privati, Eni non nega e anzi ritiene imprescindibile il contributo che viene fornito dalla ricerca e dai grandi programmi nazionali ed internazionali e con essi dialoga per portare una spinta alle sfide che ancora sono presenti sulla strada dell'industrializzazione dell'energia da fusione.

Le basi dell'impegno di Eni sulla fusione si innestano nella collaborazione di lunga data con il MIT di Boston su nuove fonti energetiche, che risale al 2008.

Tra il 2017 e il 2018, pochi mesi dopo il ritiro dei finanziamenti del Governo americano al progetto sulla fusione che il Massachusetts Institute of Technology (MIT) stava portando avanti, un gruppo di scienziati di tale ateneo, che credeva fortemente nella fusione, diede vita ad una start-up, chiamata Commonweal-

1 Secondo l'ultimo report FIA (Fusion Industry Association) l'ammontare di investimenti privati nel settore della fusione, che ad oggi comprende più di 40 aziende e startup private, è intorno ai 6 miliardi di dollari.

th Fusion Systems (CFS). Nel 2018 Eni è entrata nel suo capitale, condividendo l'obiettivo di CFS di sviluppare un impianto industriale che produrrà energia grazie alla fusione a confinamento magnetico.

Il rapporto tra Eni e CFS è stato rafforzato, a marzo 2023, dalla firma di un accordo che ci vede protagonisti non solo a livello finanziario ma come attori di una partnership tecnologica per una collaborazione sempre più attiva nel campo della fusione.

La fusione a confinamento magnetico, che possiamo considerare come uno degli esempi più avanzati ad oggi del modo di Eni di lavorare sull'innovazione scientifica e tecnologica, è entrata quindi a fare parte delle opzioni che la nostra Società sta mettendo in campo per realizzare il proprio obiettivo strategico della piena neutralità carbonica al 2050.

In tale contesto, che vede proprio nell' innovazione profonda dei processi e del modo di creare valore un pilastro fondamentale della propria trasformazione, Eni ha dato forma da tempo ad un programma articolato e strutturato che prevede impegni su più fronti con alcune delle più importanti realtà sia internazionali sia italiane.

A livello internazionale, come già citato, Eni ha attiva una partnership strategica con CFS, che mira a realizzare il primo impianto su scala industriale in grado di immettere in rete elettricità da fusione e a zero emissioni di CO_2 entro i primi anni del 2030.

Oltre a fornire il proprio sostegno finanziario, Eni fa parte del Consiglio di Amministrazione di CFS e assicura il proprio contributo anche in termini di risorse e know-how industriale e scientifico. La roadmap di CFS prevede la costruzione del primo impianto pilota a produzione di energia netta, che si chiamerà SPARC, nella metà di questo decennio. Un primo grande avanzamento tecnologico è stato già raggiunto nel settembre del 2021, con la realizzazione e validazione di magneti superconduttori innovativi utilizzati per il confinamento del plasma da fusione, che permetteranno di costruire impianti più compatti ed efficienti.

Eni ha inoltre integrato la propria collaborazione scientifica con il MIT in un programma denominato LIFT (Laboratory for Innovation in Fusion Technology) volto ad accelerare l'individuazione di soluzioni innovative per la fusione.

In Italia, Eni partecipa al progetto DTT (Divertor Tokamak Test facility) di ENEA per l'ingegnerizzazione e la costruzione di una macchina Tokamak dedicata allo studio della gestione del calore generato dal processo di fusione. DTT in particolare sarà tra i più grandi esperimenti scientifici mai realizzati in Italia e rappresenta un esempio virtuoso di partenariato pubblico-privato nel mondo della fusione. Il progetto è in fase di realizzazione presso il Centro di Ricerche di ENEA di Frascati (Roma).

Infine, Eni collabora con le eccellenze in campo accademico e della ricerca scientifica, che fanno parte da lunga data del network Eni, quali il CNR ed i principali atenei coinvolti in questo campo. Tale collaborazione si realizza anche attraverso la creazione del Centro di Ricerca congiunto Eni-CNR per lo sviluppo di competenze sulla fusione e la messa a disposizione dei ricercatori della grande potenza di calcolo del Green Data Center di Eni.

Lavorare per portare la fusione a confinamento magnetico da materia prevalentemente "accademica", come lo è stata per decenni, a una reale opzione per la trasformazione radicale ed epocale dei nostri sistemi energetici è per Eni un modo di integrare Tecnologie di Frontiera nella propria filiera caratteristica, quella dell'energia, al contempo agendo come "catalizzatore" e riferimento per nuove opportunità per interi settori industriali italiani, ad esempio quelli dei materiali, della robotica di precisione, dell'elettronica di potenza, della sensoristica in condizioni estreme e molti altri, che già oggi stanno dimostrando le proprie capacità e che potranno generare occupazione di altissima qualità e specializzazione e una crescita complessiva in conoscenza, competenze e produttività per l'intero sistema-Paese.

Infatti, l'Italia in tutto questo gioca già oggi un

ruolo importante: il tessuto industriale italiano è uno dei maggiori contributori al progetto intergovernativo ITER, con commesse che ad oggi hanno raggiunto un valore di oltre 1,5 miliardi di euro. Un impegno importante che dà materialità a questo campo di innovazione e che fa capire le potenzialità di un mercato in continuo sviluppo.

Per Eni innovazione, collaborazioni e sinergie sono la chiave per lo sviluppo dell'energia da fusione. Eni è parte di questo processo, scegliendo di impegnarsi in modo sostanziale in questo percorso.
Con l'obiettivo di raggiungere la neutralità carbonica, Eni sostiene lo sviluppo di tecnologie fortemente innovative, come la fusione, in grado di generare una svolta nella transizione energetica.

Tecnologie robotiche sviluppate per supportare le attività operative

In Eni il centro di competenze in ambito robotica cura l'intera catena delle tecnologie: dai sensori distribuiti e mobili con la propria rete di raccolta dati, alla flotta robotica terrestre, marina ed aerea, fino al sistema di elaborazione dati per allarmi e raccomandazioni di intervento, possibilmente in tempo reale.

L'utilizzo di robot e droni, infatti, può dare vantaggi significativi in termini di accuratezza, ripetibilità e frequenza di acquisizione dei dati ed è un fattore chiave per il processo di transizione energetica in atto.

Come Eni, quindi, puntiamo a sfruttare le nostre competenze consolidate nel settore attraverso iniziative di vario tipo da applicare nei nostri impianti per migliorarne le prestazioni, aumentare la sicurezza delle persone e delle strutture, proteggere l'ambiente e ridurre i costi operativi, con l'ulteriore obiettivo che questi sistemi possano essere valorizzati attraverso operazioni di outbound di tecnologia e servizi specializzati offerti ai nostri peers e più in generale al mercato della robotica.

A tal proposito, l'attenzione attuale è rivolta a disporre di un gruppo di lavoro che collabori in modo sinergico e mirato, per sviluppare soluzioni tecnologiche innovative grazie a competenze interne multidisciplinari, e al tempo stesso specializzate.

Abbiamo collaborazioni attive con alcuni fornitori di tecnologie strategiche per avere una maggiore flessibilità produttiva ed un accesso diretto al mercato. Le tecnologie oggi presenti sul mercato presentano infatti alcune lacune, sulle quali è possibile lavorare, sfruttando le nostre competenze, per ottenere vantaggi competitivi.

Abbiamo individuato alcuni esempi che spaziano dall'ambito più tradizionale alla transizione energetica come: l'utilizzo di robot "residenti" negli impianti, la trasmissione e l'analisi dei dati acquisiti in tempo reale per l'identificazione automatica delle anomalie, il rilascio di certificazioni che ne consentano l'utilizzo negli impianti, come la certificazione ATEX per operare in presenza di atmosfere potenzialmente esplosive, l'ispezione degli asset nell'ambito del monitoraggio dei siti di stoccaggio della CO_2, la trasmissione dati wireless sottomarini, i sistemi di manipolazione remota per la manutenzione negli impianti di confinamento a fusione magnetica, il monitoraggio forestale e l'agricoltura di precisione.

Le prime attività di robotica in Eni sono nate per l'automazione e la digitalizzazione dell'ispezione e del monitoraggio nel settore tradizionale dell'Oil & Gas, per tutelare l'ambiente e la sicurezza degli operatori ed aumentare la produttività degli impianti; il patrimonio di competenze specifiche sviluppate è stato messo altresì a servizio di nuovi campi di applicazione, in continuità con le tematiche della transizione energetica.

Nell'ambito della cattura e stoccaggio della CO_2, Eni prevede anche una fase di monitoraggio da effettuarsi sui sistemi di iniezione, sul complesso di stoccaggio e sull'ambiente circostante gli hub CCS. Lo scopo di questa attività è l'identificazione di eventuali anomalie rispetto a quanto previsto dai modelli predittivi ed il monitoraggio dei parametri ambientali peculiari con continuità durante il periodo di stoccaggio ed oltre.

La strategia di Eni sul monitoraggio degli hub CCS è adattata all'ambiente specifico in cui deve essere effettuata.

Per quanto riguarda l'impianto di cattura della CO_2, l'attività di monitoraggio può essere svolta con l'integrazione di elementi sensibili alla CO_2 nei sensori già esistenti sviluppati per il monitoraggio del metano. Questi sensori integrano sonde di temperatura, pressione e umidità e raccolgono energia in loco attraverso un pannello fotovoltaico e la accumulano attraverso supercondensatori, non richiedendo quindi la connessione alla rete del sito.

In Eni stiamo portando avanti test e sviluppi di tecnologie robotiche per applicazioni di monitoraggio su aree di maggiore estensione, includendo l'uso di robot quadrupedi e droni aerei dotati di sensoristica per il monitoraggio della CO_2 su larga scala.

I piani di monitoraggio nei casi di giacimenti depleti offshore prevedono l'uso di tecnologie subacquee con lo scopo di monitorare i principali parametri dell'ambiente marino durante il periodo di attività del sito di stoccaggio. La strategia di Eni, per il monitoraggio dello stoccaggio offshore, prevede due soluzioni principali: un veicolo subacqueo avanzato, Clean Sea, da utilizzare per missioni di ispezione, ed una stazione fissa, Lander CCS, da posizionare in prossimità del punto specifico oggetto del monitoraggio.

Clean Sea è l'avanzata tecnologia robotica subacquea sviluppata da Eni, che consente l'esecuzione simultanea di indagini di monitoraggio dell'integrità degli asset e dell'ambiente in scenari offshore.

Clean Sea si basa sull'utilizzo di un AUV commerciale (Autonomous Underwater Vehicle) dotato di un sistema modulare di dispositivi (sensori, strumenti acustici, campionatori, analizzatori, ecc.) intercambiabili in base alle specifiche missioni da svolgere.

Eni dispone di due sistemi Clean Sea: uno per operazioni fino a 1200 metri di profondità, l'altro per operazioni fino a 3000 metri.

Clean Sea è pienamente operativo dal 2016 ed è stato utilizzato con successo in diverse campagne nel Mar Mediterraneo, nel Mare di Barents, nel Mar Caspio e nel Mare del Nord, sostituendo tecnologie più tradizionali come i ROV (Remotely Operated Vehicle).

A settembre 2022 il Clean Sea è stato utilizzato per eseguire un'indagine sperimentale insieme all'Istituto nazionale di oceanografia e geofisica applicata (OGS) in un sito al largo dell'isola di Panarea, in Sicilia. Il mare intorno all'isola di Panarea è caratterizzato dalla presenza di continue emissioni di fluidi vulcanici ricchi di CO_2 dai fondali marini. Questo laboratorio naturale con sfiato attivo di CO_2 dal fondale marino è stato ideale per testare le capacità di Clean Sea di monitoraggio della CO_2: sono state effettuate 10 missioni per valutare l'efficacia di diverse tecnologie nell'identificare la presenza di CO_2 nella colonna d'acqua, includendo misurazioni acustiche, osservazioni con telecamera ad alta definizione, monitoraggio in tempo reale (ad es. pH e pCO_2) dei parametri chimici dell'acqua e campionamento dell'acqua.

La campagna ha dimostrato che le tecniche selezionate sono in grado di rilevare chiaramente la presenza di CO_2 che può essere attribuita a fughe di gas in condizioni ambientali nella colonna d'acqua. I risultati ottenuti ci hanno permesso di affinare le capacità attuali del Clean Sea aggiungendo metodologie complementari per migliorare complessivamente il futuro programma di monitoraggio degli impianti CCS offshore. In particolare, è stato dimostrato che è necessario l'uso di più tecniche per monitorare un'ampia area attorno a un sito di stoccaggio offshore per identificare la fonte di qualsiasi CO_2 rilevata nella colonna d'acqua (ad esempio, biogenica contro antropica).

Per soddisfare sempre maggiori requisiti stiamo introducendo nuove funzionalità nella piattaforma Clean Sea, realizzando anche un nuovo modulo strumentale (e-pod) specificamente progettato per CCS. Questo sistema aggiornato sarà in grado di fornire misure dirette della concentrazione di CO_2 attraverso sensori dedicati e misure indirette utilizzan-

do una sonda specifica munita di un sensore di pH. La strategia di monitoraggio proposta comprende anche l'acquisizione di parametri oceanografici in situ (temperatura, profondità, conducibilità, torbidità, clorofilla, materia organica disciolta colorata CDOM, pH/redox, CO_2 disciolta, ossigeno disciolto), rilievi bentonici con telecamere ad alta risoluzione, rilievi geofisici, e la raccolta di campioni d'acqua discreti per successive analisi di laboratorio.

La seconda tecnologia di monitoraggio offshore è stata concepita per coprire il monitoraggio a lungo termine sul fondo del mare: si tratta di un nuovo concetto di stazione bentonica chiamata Lander, dotata di sensori all'avanguardia per il monitoraggio ambientale dei parametri chimici e fisici della colonna d'acqua.

La stazione Lander CCS è una piattaforma flessibile che trasporta sensori con capacità di registrazione dei dati e comunicazione acustica per memorizzare e recuperare i dati dal fondale marino. Il Lander CCS, costruito su un resistente telaio in alluminio, integra diversi sensori per l'ispezione ambientale, come richiesto dai piani di monitoraggio. Il Lander CCS è alimentato a batteria e progettato con un'elettronica a basso consumo che permette di raccogliere dati per circa dieci mesi. È stato progettato per un impiego sottomarino a lungo termine fino a 100 metri di profondità ed è inoltre dotato di un avanzato sistema di recupero a fune che utilizza un transponder acustico con un sistema di rilascio meccanico, per consentire l'installazione e il recupero senza l'ausilio di sommozzatori.

Per quanto riguarda le comunicazioni, la stazione si affida a un modem acustico che può essere interrogato da una nave in superficie per accertare lo stato della stazione e scaricare i dati raccolti.

Le interrogazioni acustiche possono avvenire anche tramite il Clean Sea opportunamente dotato di un modem acustico dedicato. Dopo i test funzionali in ambiente controllato, sono state completate le attività di assemblaggio finale del sistema CCS Lander ed il sistema completo è operativo al largo di Ravenna da Giugno 2023.

Eni e le tecnologie quantistiche

Le tecnologie quantistiche rappresentano una delle frontiere più affascinanti della ricerca di base di questo secolo. Centinaia di laboratori in tutto il mondo studiano discipline emergenti come il calcolo quantistico, i sensori quantistici e le reti quantistiche di comunicazione (giusto per citare le tre applicazioni più importanti).

In particolare, il calcolo quantistico è un paradigma di calcolo emergente che negli ultimi anni ha attirato l'attenzione non soltanto della comunità scientifica, ma anche delle grandi aziende in ambito informatico e delle corporate in generale per l'enorme valore aggiunto che promette nella soluzione di problemi complessi, intrattabili perfino dai supercalcolatori tradizionali.

Al momento, si stima che in tutto il mondo vi siano più di 200 start-up attive nell'ambito, oltre a diverse grandi società internazionali di settore (IBM, Amazon, Google, ecc.) che hanno creato dei gruppi di ricerca dedicati allo sviluppo di calcolatori quantistici.

Gli investimenti globali fatti solo nell'ultimo anno nelle start-up operanti nel settore sono pari a 2.35 B$, su complessivi 5.4 B$ investiti a partire dal 2001 e con una concentrazione del 68% di tali investimenti negli ultimi 2 anni (2021-22).

Da citare inoltre gli ulteriori investimenti pubblici ad oggi dedicati a tale cluster tecnologico, che continuano ad essere importanti e significativi in tutti i paesi industrialmente avanzati (guida la Cina, con ben 15B$, a seguire Stati Uniti con 1,8 B$ e Unione Europea con 1,2 B$).

Lo scenario di mercato è ancora estremamente indeterminato e presenta un range ancora molto ampio, sia in termini di potenziale dimensione del mercato medesimo (9B$ – 93B$ al 2040) sia in termini di potenziale impatto economico generato sulle 4 industrie clienti principali (chimica, scienze della vita, finanza e settore auto: 620B$ - 1,270 B$ sempre al 2040).

Tale incertezza nella definizione di scenari di mercato solidi è dovuta principalmente alla mancanza ad oggi di use case industriali "provati" su cui costruire la proposizione commerciale della tecnologia.

La principale incognita dietro il calcolo quantistico risiede nel fatto che al momento non è chiara, tecnologicamente parlando, quale sarà l'architettura hardware su cui si baserà il computer quantistico e se ve ne sarà una o più.

Infatti, ad oggi sono almeno 6 le differenti architetture più promettenti allo studio, che si differenziano per il tipo di qubit[2] implementato:

- qubits a superconduttore
- qubits a spin dot
- qubits con i fermioni di Majorana
- qubits agli ioni intrappolati
- qubits agli atomi freddi
- qubits a fotoni.

Ognuna di queste possibili architetture ha caratteristiche peculiari con conseguenti elementi di unicità e non è facile prevedere se queste architetture si imporranno come acceleratori "specializzati" o piuttosto come computer "universali" tolleranti agli errori[3].

Soprattutto, nessuno ad oggi è in grado di prevedere quando e se una o più di queste architetture si affermeranno per risolvere problemi di rilevanza industriale e di taglia almeno paragonabile a quanto viene svolto sui moderni supercalcolatori classici.

Parallelamente allo sviluppo dell'hardware, stanno proliferando gli strumenti middleware e software per controllare e lavorare su questi computer; in particolare, librerie che implementano algoritmi inspirati dal quantum o pienamente quantum che riescono a emulare il comportamento quantistico dei qubits ed eventualmente a implementare veri e propri algoritmi quantistici, utili per esempio per l'intelligenza artificiale, la simulazione, l'ottimizzazione combinatoriale ed altri problemi generalmente ritenuti 'tough' dalla comunità scientifica e tecnologica internazionale.

Il ruolo di Eni

L'obiettivo di Eni in tema di quantum computing può essere sintetizzato in 4 filoni strategici:

- esplorare possibili applicazioni industriali dove potersi posizionare anticipatamente in vantaggio rispetto ai nostri peers,
- fare hedging rispetto alle proprie attività nel supercalcolo tradizionale,
- esplorare il mercato per l'individuazione di nuovi "processori" di calcolo,
- anticipare eventuali disruption tecnologiche.

L'approccio di Eni a tale filone tecnologico è quindi basato su due direttive di attività, strettamente interconnesse fra di loro: sperimentazione e investimento.

Quanto alle attività di sperimentazione, Eni ha cominciato molto in anticipo rispetto alle società energetiche, avviando, già a partire dal 2017, diversi "proof of concept" con vari attori nazionali e internazionali, sia in ambito startups sia università e hyperscalers, che hanno dimostrato a livello pre-prototipale l'ampio spettro di possibili applicazioni del calcolo quantistico in ambito energetico, come ad esempio l'ottimizzazione, il machine learning quantistico e la crittografia.

Altri "proof of concept" sono al momento in corso di avvio, anche attraverso il Centro Nazionale HPC, Big Data e Quantum Computing, recentemente inaugurato e di cui Eni è membro privato fondatore; essi sono in particolare relativi a sistemi di calcolo avanzato e alla chimica quantistica.

---

2 Il "bit quantistico", vale a dire l'unità minima di informazione che, al contrario del "bit" dei computer tradizionali, può assumere, in determinate circostanze, infiniti stati tra quelli binari 1 e 0, dando origine quindi ad un paradigma computazionale totalmente nuovo e dalle enormi potenzialità.

3 La natura intrinseca dei qubits e le leggi che governano la materia a livello quantistico, rendono il comportamento e lo stato dei qubits stessi estremamente sensibile alle condizioni dell'ambiente circostante. Ad esempio, è necessario che la temperatura di esercizio delle macchine quantistiche sia prossima allo zero assoluto e che esse siano schermate da altri tipi di interferenza non termici. Il problema della gestione degli "errori" indotti nei qubits dall'ambiente è uno dei più impegnativi che tutt'ora affliggono questa modalità di calcolo e che ne rendono complessa l'industrializzazione.

Eni al contempo monitora il mercato nazionale ed internazionale delle start-up e scale-up per lanciare nuove sperimentazioni ad alto valore aggiunto.

Quanto alle attività di investimenti, Eni è stata, attraverso il suo veicolo Eni Next, la prima società energetica a investire nel calcolo quantistico, acquisendo nel 2021 una quota nella società francese PASQAL, a valle di un processo di Due Diligence tecnico e di compliance che ha preso in considerazione circa 30 start-up attive in tutto il mondo.
Inoltre, Eni, anche attraverso le sue società Eni Next e Eniverse, è costantemente alla ricerca di opportunità nel settore a livello globale, tenendo in considerazione anche altri sottosettori delle tecnologie quantistiche, come ad esempio la sensoristica quantistica.

Eni e le filiere industriali

Le filiere industriali, il loro sviluppo sostenibile a tutto tondo e il loro efficientamento sono elementi-chiave per rendere concreta la nostra strategia di trasformazione e conseguire la neutralità carbonica al 2050 su tutti e tre gli "scopes" emissivi classificati.

Siamo infatti presenti, con un'ampiezza di spettro che ci contraddistingue nell'intero panorama italiano, in tutta la catena del valore energetico; Eni è coinvolta sia in processi industriali sia con i clienti finali, occupandosi dell'intero ciclo di vita dei prodotti, dall'approvvigionamento delle materie prime alla produzione, fino all'utilizzo finale.

Proprio per attuare un approccio di filiera alla sfida del cambiamento climatico, crediamo fortemente nel principio della neutralità tecnologica, cioè nel fatto che non esista una soluzione unica, una tecnologia o una fonte "silver bullet" per la transizione energetica, ma che sia necessario adottare un mix di tecnologie adatte a diverse applicazioni ed esigenze, ancor più se consideriamo la varietà - in termini geografici, di mercato e di contesto - nella quale operiamo.

Questa visione neutrale, che considera i meriti specifici di ciascuna fonte energetica o processo industriale invece di adottare un atteggiamento ideologico, preconcetto o "di tendenza", si riflette nel modo integrato con il quale sviluppiamo un ventaglio di soluzioni, validate e opportunamente industrializzate, per raggiungere i nostri obiettivi di decarbonizzazione.

Parlando in termini più concreti, una possibile classificazione semplificata delle principali filiere nelle quali Eni è coinvolta, e che la nostra ricerca e le nostre tecnologie sono impegnate a migliorare, è la seguente:

- **Energia da fonti rinnovabili: sole, vento, onde marine**:
  - per la generazione di elettricità da queste fonti, la nostra ricerca lavora su sistemi CSP (Concentrating Solar Power) per la concentrazione della radiazione solare con specchi parabolici, sul fotovoltaico tradizionale al silicio, su quello innovativo (per esempio sulle celle fotovoltaiche a perovskiti), sul fotovoltaico e sull'eolico offshore e su sistemi di conversione inerziali del moto ondoso. Per lo stoccaggio di energia elettrica la nostra ricerca è focalizzata sulle batterie a flusso.
  - Per la generazione di calore da fonti rinnovabili abbiamo sviluppato tecnologie per la concentrazione e conversione in calore della radiazione solare attraverso specchi parabolici (CSH-Concentrating Solar Heat).
  - Per l'accumulo del calore, stiamo sviluppando un sistema di stoccaggio termico che si basa su materiali cementizi che accumulano e rilasciano calore attraverso un fluido che scorre al loro interno.
  - Monitoriamo i nostri impianti produttivi con sistemi robotizzati e di controllo remoto.
  - Gli utenti finali di questa filiera sono l'industria, il residenziale e i trasporti (mobilità individuale e pubblica).

- **Economia circolare:**
  - da fonti di origine biologica: le nostre bioraffinerie utilizzano come materia prima bio-oli ottenuti da coltivazioni in terreni marginali, scarti dell'industria agro-

alimentare, oli da frittura esausti, scarti agroforestali, rifiuti organici residenziali;
- di origine sintetica: i nostri processi di chimica circolare trattano scarti polimerici (ad esempio rifiuti da plastiche miste e non riciclabili meccanicamente, il cosiddetto Plasmix, o Combustibile Solido Secondario (CSS), Pneumatici a Fine Uso – PFU;
- prodotti a fine vita: i processi di recupero dei materiali critici trattano il fine vita di pannelli fotovoltaici, RAEE (Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche), batterie agli ioni di litio, turbine eoliche.

- Ambiente:
  - interveniamo, per utenti finali del settore industriale e agro-forestale, su terreni e falde che hanno subìto l'impatto di precedenti attività industriali (anche di altre aziende) studiando il tipo di contaminanti presenti nei terreni o nelle falde attraverso sistemi di modellazione avanzata e tecnologie non invasive per il campionamento.
  - Per la fase di recupero ambientale dei terreni e delle falde, attraverso Eni Rewind, abbiamo sviluppato tecniche per la bonifica di terreni contaminati (fitorimedio) e tecnologie per il recupero di inquinanti dalle acque, come e-lorec (per l'eliminazione di idrocarburi pesanti) ed e-hyrec (per l'eliminazione di idrocarburi leggeri).

- Cattura, stoccaggio e utilizzo dell'anidride carbonica:
  - studiamo, sviluppiamo e mappiamo sistemi per catturare la CO_2 basati su concetti innovativi.
  - Per il trasporto della CO_2 verso i siti di stoccaggio, possiamo avvalerci di impianti, competenze e tecnologie che già possediamo nel campo del gas naturale.
  - Propedeutica alla fase di stoccaggio della CO_2 è quella dell'individuazione di siti geologici adatti, per la quale utilizziamo avanzate tecnologie di modellizzazione del sottosuolo, che attingono ai campi delle geoscienze sperimentali e digitali e si avvalgono dei nostri sistemi di high performance computing, come il supercomputer HPC5.
  - Sul fronte dell'utilizzo della CO_2, per trasformarla in risorsa, stiamo sviluppando una nuova tecnologia per la sua mineralizzazione e il suo utilizzo nella formulazione di cementi per l'edilizia.
  - Infine, lato monitoraggio dei futuri siti di stoccaggio offshore, abbiamo sviluppato il sistema robotico subacqueo Clean Sea, che è in grado di eseguire anche il monitoraggio della CO_2, e Il CCS Lander, una stazione fissa disposta sul fondale marino per eseguire analisi ambientali in àmbito CCS.
  - Questa filiera, una volta a regime, avrà impatti nel settore industriale (per la compensazione delle emissioni scope 1,2), in quello residenziale e dei trasporti (contribuendo alla compensazione delle emissioni scope 3) e nell'edilizia (tramite l'utilizzo di prodotti derivati dalla CO_2).

- Fusione:
  - nella ricerca sulla fusione a confinamento magnetico collaboriamo con CFS (Commonwealth Fusion Systems), con il MIT (Massachusetts Institute of Technology), il CNR ed Enea e con un network di università e aziende, nazionali e internazionali.
  - Grazie alle nostre competenze a livello di ingegneria di impianto, di gestione di progetti complessi e di sviluppo della supply chain, ci impegniamo affinché l'energia da fusione possa raggiungere una fase di sviluppo che la porti quanto prima a livello industriale e commerciale; a tal fine supportiamo lo sviluppo delle macchine SPARC e, in futuro, ARC, di CFS e siamo parte, con ENEA e con le principali università italiane, del progetto Divertor Tokamak Test - DTT, che realizzerà un impianto sperimentale a Frascati, utilizzato per studiare lo smaltimento del calore in eccesso in future centrali a fusione.
  - Il nostro impegno sulla fusione a confinamento magnetico inoltre si concentra sullo sviluppo di alcuni elementi di natura scientifico-tecnologica che sono di fatto funzionali alla creazione di una filiera

per l'industrializzazione di questa fonte energetica potenzialmente game-changer: ne sono un esempio i superconduttori, che grazie a nuovi materiali sono in grado di assicurare le condizioni necessarie al processo di fusione e per la gestione del plasma, ma anche il cosiddetto "blanket" (lo strato di materiale che circonda la prima parete dell'impianto e che dovrà generare il trizio dal litio) e i sistemi di gestione del ciclo del trizio.

Oltre a questa complessa ed articolata matrice di filiere negli àmbiti delle energie rinnovabili, dell'economia circolare, dell'ambiente e della fusione, Eni rimane presente e innovativa in tutta la catena del valore degli idrocarburi, dall'esplorazione e produzione, alla raffinazione e distribuzione.

Questa filiera è quella che ci vede protagonisti dell'innovazione da sempre, con decine di soluzioni che, sin dagli inizi della nostra storia, sono state concepite grazie alle competenze e all'esperienza "sul campo" delle nostre persone in tutto il mondo, per aumentare sia l'efficienza sia la sostenibilità ambientale delle nostre operazioni.

Nel passato questo grado di innovazione era forse meno evidente verso l'esterno, perché considerato molto settoriale; oggi, la consapevolezza dell'indissolubilità nella relazione tra sviluppo tecnologico, sostenibilità dei processi e creazione di valore duraturo per la Società e per tutti i suoi stakeholders, rende di particolare importanza anche quest'area, nel quadro di un approccio di filiera all'innovazione.

Vanno quindi in questa direzione tutte le soluzioni che ci consentono di utilizzare al meglio gli asset esistenti, ritardando la necessità di nuove perforazioni e nuovi sviluppi: ad esempio, l'elevata automazione e sensorizzazione dei nostri impianti produttivi (che consentono sia maggiore sicurezza per le nostre persone in loco sia di ridurre i consumi e le emissioni di processo degli impianti stessi), i sistemi di manutenzione predittiva, i "gemelli digitali" e il machine learning, utilizzati, i primi, nell'addestramento del nostro personale e, i secondi, per ridurre i tempi di fermata degli impianti.

L'impegno Eni in ottica di filiera in questi molteplici settori ha conseguenze positive, a livello di sistema-Paese, di varia natura.

Ad esempio: se nei nostri processi di ricerca e innovazione tecnologica da un lato ci avvaliamo delle competenze delle nostre persone e della conoscenza maturata da Eni in diverse aree ingegneristiche e scientifiche, dall'altro siamo storicamente aperti alla collaborazione con organizzazioni esterne di varia natura, quali università, centri di ricerca e imprese tecnologiche.

Negli ultimi anni Eni è stata sempre più aperta al mondo esterno per individuare soluzioni altamente innovative nel mercato nazionale ed internazionale, comprese quelle offerte da aziende piccole ma dinamiche come le start-up.

Questo contribuisce direttamente sia all'evoluzione (di efficienza, di grado di innovazione, di sostenibilità) delle filiere nelle quali operiamo, sia alla crescita[4] delle realtà produttive nelle quali siamo inseriti.

Le Tecnologie di Frontiera, come quelle descritte in questo Rapporto, si innestano su un processo di trasformazione già pienamente in atto e contribuiscono ad accelerarlo.

In tale contesto, l'adozione di Tecnologie di Frontiera come quelle che descriviamo in questo Rapporto diventa un fattore di ulteriore e importante abilitazione del processo di trasformazione del nostro business, delle nostre attività e dei nostri prodotti, già da tempo intrapreso e profondamente innervato alle nostre scelte strategiche.

La robotica, ad esempio, descritta in questo Rapporto principalmente in merito al suo contributo per il monitoraggio di futuri siti di stoccaggio della CO_2, viene già oggi applicata o testata anche in molte altre nostre attività, come nel monitoraggio autonomo di impianti industriali, nell'ispezione tramite dro-

4 "Crescere insieme", un concetto di fondamentale importanza, trattato nella precedente edizione di questo Rapporto.

ni di parchi solari o di condotte, nel settore dell'agri-feedstock.

Rispetto all'High Performance Computing (HPC), stiamo già applicando metodi computazionali ad una grande varietà di applicazioni, tra cui la simulazione numerica di bacini e giacimenti, la fusione a confinamento magnetico e le energie rinnovabili.

L'utilizzo di algoritmi quantistici potrà consentirci di accelerare questi e altri campi di ricerca, integrando i flussi di lavoro convenzionali in aree come l'ottimizzazione, l'apprendimento automatico e la ricerca di nuove soluzioni ai problemi pressanti che caratterizzano il settore energetico. Inoltre, riteniamo che l'applicazione della tecnologia quantistica al settore energetico abbia il potenziale di accelerarne ulteriormente la transizione, consentendo la creazione di nuove linee di business a supporto del nostro obiettivo di decarbonizzazione.

L'energia da fusione – una volta portata a livello industriale - potrà rappresentare una fonte rivoluzionaria in campo energetico, del quale potrà rappresentare un vero punto di svolta, coniugando ideali di continuità di fornitura, sostenibilità, integrazione con le altre fonti e, una volta diffusa ampiamente, economicità di scala.

Per riuscire a far sì che la fusione possa materialmente incidere sul mix energetico sarà necessario stabilire una supply chain robusta, un impegno a cui Eni vuole continuare a contribuire.

In questo campo riteniamo infatti che sia necessario valorizzare l'eccellenza tecnologica e la capacità di ricerca che il nostro Paese ha sviluppato negli anni, in dialogo con le realtà internazionali che stanno riversando notevoli energie sugli aspetti tecnologici della fusione, e non più solo su quelli scientifici.
Si tratta di una filiera che già è un riferimento a livello mondiale; ne è un esempio il fatto che per quanto riguarda il progetto intergovernativo ITER le industrie italiane sono state tra le maggiori assegnatarie delle commesse, seconde solo alla Francia, Paese in cui l'impianto è in costruzione.

Un impegno importante che dà materialità a questo campo di innovazione e che fa capire le potenzialità di un mercato in continuo sviluppo, che ha l'occasione unica di creare grande valore per la propria industria e di raccogliere notevoli soddisfazioni per i talenti che sa esprimere.

Eni vuole giocare da protagonista questa come tante altre partite, sempre con un approccio concreto, industriale e di grande fiducia nelle nostre possibilità.

Proposte di Policy

CCS

Il ricorso alla *Carbon Capture*, *Utilization and Storage* (CCUS) è riconosciuto come indispensabile a livello internazionale, europeo e nazionale per traguardare l'obiettivo di contenimento del riscaldamento globale. Ad esempio, l'International Energy Agency (IEA) stima che la cattura di oltre 6 miliardi di tonnellate di CO_2 all'anno al 2050 attraverso CCS e *Carbon Dioxide Removal* (CDR)[5] sia necessaria per il raggiungimento del target della neutralità carbonica[6].

In Europa la proposta di Regolamento Net *Zero Industry Act* ha introdotto per la prima volta uno specifico obiettivo di capacità di iniezione di CO_2 in stoccaggio entro il 2030 (50 Mton/anno), indicando inoltre che, per raggiungere la neutralità carbonica al 2050, nell'Unione dovranno essere catturate fino a 550 Mton di CO_2 l'anno a regime.

Inoltre, entro la fine del 2023, è attesa la pubblicazione da parte della Commissione di una Comunicazione sulla visione strategica sullo sviluppo della CCUS al 2030[7]. Stando alle anticipazioni riportate nella *Call for Evidence "Industrial carbon management – carbon capture,*

5 Processo di rimozione e stoccaggio permanente della CO_2 presente in atmosfera

6 IEA, World Energy Outlook

7 Communication on an EU strategy to create a single market for CO_2 transport and storage services by 2030

utilisation and storage deployment"[8], nella Comunicazione la Commissione dovrebbe valutare l'inserimento di obiettivi al 2040 e 2050 di sviluppo delle infrastrutture di stoccaggio, individuare eventuali esigenze di armonizzazione della regolazione delle infrastrutture e vagliare l'opportunità di introdurre finanziamenti coordinati dell'UE e degli Stati membri che stimolino gli investimenti privati e altre misure che possano favorire la diffusione della CCS.

L'apporto della CCS sarà fondamentale anche nel percorso di decarbonizzazione italiano. Come evidenziato dalla recente proposta di aggiornamento del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC), inviata a luglio 2023 dal Governo italiano alla Commissione europea, la CCS sarà strumento imprescindibile per la decarbonizzazione dei settori industriali in cui l'emissione di CO_2 è parte inevitabile del processo produttivo, degli usi termici non elettrificabili e anche del comparto elettrico (insieme alle rinnovabili).

La CCS consentirà inoltre un più rapido sviluppo del settore dell'idrogeno, mediante integrazione dell'idrogeno da rinnovabili con idrogeno *low carbon*, e il conseguimento di emissioni negative (attraverso ricorso alla bioenergia associata alla CCS-BECCS e alla cattura diretta del carbonio presente nell'aria-DACCS).

L'Italia dispone del potenziale per abilitare questa opzione di decarbonizzazione, grazie alla presenza di diversi giacimenti di gas esauriti o in via di esaurimento e utilizzabili per lo stoccaggio della CO_2, peraltro vicini ai principali poli di produzione industriale.

A dicembre 2022, Eni e Snam hanno costituito una *Joint Venture* paritetica per lo sviluppo del Progetto Ravenna CCS. L'hub di Ravenna, facendo leva su un potenziale di stoccaggio stimabile in oltre 500 milioni di tonnellate, si candida a divenire un punto di riferimento per la decarbonizzazione dei settori *hard-to-abate* italiani e, in aggiunta, dell'intera area del Mediterraneo, anche attraverso la realizzazione di progetti transfrontalieri.

La definizione di *policy* abilitanti rappresenta un tassello fondamentale per consentire un pieno e rapido sviluppo della filiera CCS. A livello nazionale, un passaggio imprescindibile per l'attuazione di progetti su scala industriale è il completamento del quadro normativo definito dal decreto legislativo 162/11, che ha recepito nell'ordinamento italiano la Direttiva europea 2009/31/CE.

Inoltre, laddove le condizioni di mercato lo richiedano, sarà necessario introdurre meccanismi di supporto a sostegno dello sviluppo dell'intera filiera CCS, soprattutto in una fase iniziale, riducendo i rischi in capo agli investitori, in particolare *first mover*, come già avvenuto con successo in diversi Paesi europei.

La diffusione della CCS potrà inoltre essere favorita da una chiara *roadmap* di sviluppo, che potrà trovare il suo puntuale delineamento a livello nazionale nella proposta definitiva di aggiornamento del PNIEC che sarà presentata alla Commissione europea entro giugno 2024, anche attraverso la definizione di specifici obiettivi da conseguire.

Per la realizzazione di progetti transfrontalieri di CO_2 sarà infine necessario il superamento del divieto all'esportazione di CO_2 posto dal Protocollo di Londra. Come evidenziato nella recente proposta di aggiornamento del PNIEC, l'Italia intende depositare una dichiarazione formale di applicazione provvisoria dell'emendamento all'articolo 6 del Protocollo e avviare discussioni con Francia e Grecia al fine di concludere accordi bilaterali sul trasporto transfrontaliero di CO_2.

Fusione a confinamento magnetico

L'energia da fusione è una delle Tecnologie di Frontiera potenzialmente più rilevanti per il nostro futuro e potrà rappresentare una vera e propria rivoluzione in campo energetico.

L'impegno nel campo della fusione a confinamento magnetico si inquadra nella visione

8 https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13848-Industrial-carbon-management-carbon-capture-utilisation-and-storage-deployment_en

strategica di Eni e occupa un ruolo centrale nell'innovazione tecnologica finalizzata al percorso di decarbonizzazione, perché – una volta portata a livello industriale – permetterà di generare grandi quantità di energia a zero emissioni e con un processo sicuro, non intermittente e virtualmente inesauribile.

Lavorare quindi per contribuire a portarla dal dominio della scienza sperimentale a quello del suo utilizzo industriale rappresenta una sfida da affrontare prontamente, perché ancora molti sono i nodi da affrontare e risolvere.

In Ue, la proposta di Regolamento *Net Zero Industry Act* della Commissione europea ha riconosciuto le *"tecnologie avanzate per la produzione di energia mediante processi nucleari con una quantità minima di scorie durante il ciclo del combustibile"* fra le tecnologie Net Zero necessarie per conseguire l'obiettivo di neutralità climatica entro il 2050.

A livello nazionale, la recente proposta di aggiornamento del Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC) individua le tecnologie nucleari tra gli ambiti prioritari di ricerca e riconosce, nel lungo termine, il ruolo essenziale dell'energia da fusione per soddisfare la rapida crescita della domanda globale di energia in prospettiva del traguardo di zero emissioni nette.

La proposta di PNIEC sottolinea la necessità di favorire la partecipazione italiana a programmi internazionali ed europei per lo sviluppo di soluzioni innovative di generazione elettro-nucleare e di prevedere specifiche politiche e misure di incentivazione.

Di fatto, l'Italia – come riconosce lo stesso PNIEC – è sempre stata all'avanguardia, svolgendo un ruolo di primo piano nell'innovazione nucleare. Per conservare questo primato, sarebbe necessario compiere ulteriori sforzi, affiancando al sostegno ai programmi di ricerca, la definizione di condizioni abilitanti che favoriscano il passaggio alla fase di realizzazione industriale.

La definizione di *policy* abilitanti è quindi essenziale e assume carattere prioritario per consentire il dispiegamento delle potenzialità di questo settore, imprimere un'accelerazione allo sviluppo tecnologico e permettere la realizzazione industriale dei progetti in un orizzonte temporale di medio-lungo periodo, incrementando gli investimenti privati.

Necessario, pertanto, continuare a sostenere i programmi specifici di ricerca e innovazione, stimolando al contempo la partecipazione privata in programmi sperimentali di investimento sulla fusione e rafforzando le *partnership* con università ed enti di ricerca. Ancor più, in vista di un eventuale sviluppo commerciale dell'energia da fusione, è essenziale - come sta accadendo in US e UK - avviare una riflessione, con il coinvolgimento di tutti gli stakeholder interessati, sulla definizione di un quadro legislativo e regolatorio a livello nazionale che consenta e favorisca la realizzazione e la gestione di tali impianti industriali sul territorio nazionale.

Adottare misure aderenti alle caratteristiche della tecnologia e funzionali alla definizione di un framework favorevole per sostenere e consentire la successiva fase di commercializzazione stimolerebbe gli investimenti nazionali e favorirebbe l'attrazione di quelli esteri, gettando le basi per la creazione di una filiera tecnologica e industriale strategica. Inoltre, di pari passo, è importante aumentare l'accettabilità sociale.
Infatti, pur riconoscendo il significato storico dei referendum che in Italia in passato hanno decretato l'insuccesso della adozione delle tecnologie di fissione, e tanto più alla luce di quella esperienza, è importante favorire la conoscenza dei progressi tecnologici nel frattempo intercorsi e soprattutto della diversa tecnologia, impatto e valenza dell'energia da fusione attraverso la messa a disposizione di informazioni affidabili e specialistiche. Per contribuire a formare l'opinione pubblica e alimentare il dibattito, è quindi importante sostenere campagne specifiche di informazione e stabilire da subito canali di comunicazione aperti.
In tale direzione, il Governo ha lanciato la Piattaforma nazionale per il nucleare sostenibile. Il tavolo rappresenta un'occasione importante per favorire il coordinamento tra tutti i diversi attori nazionali che si occupano di energia nucleare e rafforzare gli sforzi per consentire il pieno dispiegamento di questa tecnologia.

LEONARDO

Leonardo e le Tecnologie di Frontiera

Leonardo, con il 14% dei ricavi investiti in ricerca e sviluppo, e le oltre 12.000 risorse dedicate all'innovazione delle tecnologie e dei prodotti[1] è da sempre un *champion* nazionale dell'evoluzione tecnica ed industriale. Non può essere diversamente per un gruppo che opera in un settore di frontiera quale l'Aerospazio, Difesa e Sicurezza e che rappresenta un'eccellenza nazionale ed europea in settori che vanno dal trasporto aereo con ala rotante, alla difesa aerea, navale e terrestre, all'elettronica ed allo spazio.

La capacità di innovazione e la capacità di *governance* della stessa, ben possono essere rappresentate anche da altri indicatori, come il numero di collaborazioni con Università e Centri di ricerca, con oltre 250 relazioni attive ogni anno tra progetti finanziati da vari fondi di provenienza istituzionale e progetti direttamente finanziati da Leonardo e dalle sue Divisioni. Queste collaborazioni avvengono anche attraverso il finanziamento (o in alcuni casi al co-finanziamento, come nel caso dei fondi PNRR) di dottorati di ricerca (circa novanta quelli attualmente attivi, oltre ai cinquanta su cui il Gruppo si è impegnato all'interno del 39° ciclo) su tecnologie digitali ma non solo.

Dal punto di vista tecnologico l'eterogeneità dei settori e la complessità dei prodotti e delle soluzioni di Leonardo sono rappresentate da oltre 470 tecnologie suddivise in 14 aree tecnologiche che periodicamente vengono analizzate e valutate per definire le diverse strategie che il Gruppo intende perseguire e per indirizzare gli investimenti sulle aree che rappresentano e rappresenteranno gli elementi distintivi del portafoglio prodotti attuale e futuro.

Nel contesto di questa fondamentale attenzione all'innovazione un ruolo particolare è riservato ai **Leonardo Labs**, Laboratori dedicati alla ricerca di lungo periodo e allo sviluppo delle tecnologie più innovative a basso TRL (Technology Readiness Level) con l'ottica di presidiarle, svilupparle e diventarne punto di riferimento non solo nazionale, ma internazionale, sulle rispettive aree di frontiera e in particolare sulle tecnologie digitali.

I Leonardo Labs sono una rete che opera attraverso centri distribuiti in Italia, connessi all'ecosistema della ricerca a livello globale attraverso un network internazionale diffuso di collaborazioni con partner industriali, Università e centri di ricerca. La ricerca nei Leonardo Labs e nel network in costante evoluzione viene sviluppata grazie all'apporto fondamentale di ricercatori con esperienza in organismi di ricerca sofisticati ed internazionali, apporto che favorisce quella capacità di "immaginare" e realizzare soluzioni innovative in un contesto come quello di Leonardo, in cui è sempre più indispensabile l'osmosi e la contaminazione con approcci, metodologie e soluzioni provenienti da settori differenti.

Su questi fattori chiave della capacità di innovare e governare l'innovazione frontiera sarà realizzato il nuovo piano industriale di Leo-

1 Fonte: Bilancio Integrato 2022 - Leonardo

nardo, che basato sullo sfruttamento su larga scala delle Tecnologie di Frontiera, in particolar modo di quelle digitali.

Le tecnologie digitali mostrano un'evoluzione continua e soluzioni innovative in continua accelerazione e tutti i settori industriali, incluso quello di Aerospazio, Difesa e Sicurezza (AD&S), affrontano un'integrazione sempre più stretta con le capacità digitali. La digitalizzazione è ormai condizione indispensabile per progettare nuovi prodotti che soddisfino requisiti sempre più impegnativi.

I pilastri generali della tecnologia digitale che stanno avendo un profondo impatto sul settore AD&S e su cui Leonardo focalizza in particolare la sua attenzione sono:

- DIGITAL TWIN o GEMELLO DIGITALE
- DEEP TECH TECHNOLOGIES[2]
- CALCOLO QUANTISTICO
- INTELLIGENZA ARTIFICIALE

La combinazione di questi elementi sta trasformando radicalmente molti scenari industriali e attività economiche, consentendo allo stesso tempo lo sviluppo di altre tecnologie dirompenti di livello superiore.

Leonardo ha deciso di intensificare l'impegno aziendale sulle tecnologie digitali potenziando le sue attività in queste aree per accelerare il completamento della propria Trasformazione Digitale, espandendo le proprie conoscenze e capacità attraverso un piano globale di ricerca e sviluppo, con l'obiettivo di sviluppare una consolidata leadership nella tecnologia digitale a livello mondiale.

Tra le tecnologie sopra indicate approfondiremo quelle che risultano particolarmente rilevanti in questo periodo nel dibattito pubblico e che sono funzionali alla realizzazione di applicazioni industriali nei settori presidiati da Leonardo: **Intelligenza artificiale, Tecnologie Quantistiche e Digital Twin**.

La sfida dei Labs per queste tecnologie è, in sintesi, non solo quella di gestirne la comprensione e l'adozione, ma anche, se non soprattutto, quella di immaginare soluzioni che non esistono ma che sarà necessario possedere a breve e medio termine.

Pensiamo ad esempio ai vantaggi ed alle ricadute che comporta la realizzazione di una qualsiasi piattaforma o prodotto, sia in fase di progettazione che successivamente, quando il prodotto avrà bisogno di manutenzione e di aggiornamenti tecnologici. La possibilità di ragionare su un modello digitale complessivo è, ad esempio, alla base dello sviluppo della nuova generazione di velivoli concepiti come 'sistema di sistemi', nati cioè per operare in condizione di elevata interconnessione ed interoperabilità con altri sistemi ed anche con piattaforme *unmanned*.

La simulazione numerica combinata con l'analisi dati nella prospettiva del digital twin interessa non solo il prodotto, ma anche le filiere produttive e in questa direzione Leonardo sta, ad esempio, conducendo un progetto di digitalizzazione e interconnessione dei processi di progettazione e produzione della linea di produzione dei velivoli ATR dello stabilimento di Pomigliano d'Arco.

La frontiera delle frontiere è poi, ovviamente, l'applicazione dei principi della meccanica quantistica all'informatica, alla sensoristica e al calcolo di precisione. In questo ambito siamo agli inizi di una nuova era ed è importantissimo capire e dominare questi nuovi paradigmi.

L'obiettivo di Leonardo non è ovviamente la costruzione di un computer quantistico – che ci si attende possa diventare una risorsa a cui attingere, secondo principi di servitizzazione delle infrastrutture di calcolo a cui siamo ormai pienamente abituati. Strategico per Leonardo risulta invece lo studio delle applicazioni delle tecnologie quantistiche: dall'utilizzo dell'entanglement per realizzare sensori capaci di aggirare gli ostacoli e, per fare un esempio, ricostruire l'immagine di una persona dietro un angolo senza poterla osservare, alla possibilità di operare in ambienti altamente degradati con molta più sicurezza, al

2 HPC, Cloud e Edge come enabler della digitalizzazione di prodotti, servizi e processi

quantum clock per rendere le piattaforme satellitari sempre più precise fino, ovviamente, alla comunicazione quantistica, attraverso la distribuzione di chiavi criptate a prova di attacchi informatici.

Un importante fattore abilitante e un insieme fondamentale di tecnologie sono le infrastrutture computazionali e di dati all'avanguardia che vanno oltre le tradizionali soluzioni IT aziendali, fondendo High Performance Computing (HPC), Edge Computing e Cloud Computing. Questo mix tecnologico è al centro della generazione di nuove opportunità di business ed è fondamentale per realizzare le più avanzate strategie di *Digital Twinning* e sfruttamento dei dati, per sviluppare una solida capacità interna legata alle deep tech tecnologies, come:

- Accelerated computing, advanced processor technologies, confidential computing, parallel computing, high performance storage technologies, ...
- Evoluzione futura del Cloud, Edge, Big Data, Object Storage, Distributed Data Storage, Internet of Things, ...
- Green computing per l'efficienza energetica

Abilitante a questi sviluppi è la capacità di calcolo e storage assicurata dall'HPC davinci-1 installato nel sito di Genova che garantisce e accelera lo sviluppo delle tecnologie digitali fornendo un boost altrimenti non ottenibile.

Scendiamo ora nel dettaglio delle tre aree menzionate:

Artificial Intelligence

L'intelligenza artificiale (AI) sta rivoluzionando tutti i settori tecnologici, creando discontinuità rispetto alla precedente era di interazione uomo-macchina. Per la prima volta nella storia emerge la concreta possibilità che macchine (*computer*) possano svolgere compiti complessi, che normalmente richiedevano capacità di livello cognitivo umano. In effetti, in molti processi industriali, l'AI può superare le capacità umane ed ha un potenziale ancora in sviluppo.
Per un'azienda che opera nel settore dell'aerospazio, difesa e sicurezza, come Leonardo, questo scenario è una grande opportunità, che richiede di diventare *owner* della tecnologia AI, ovvero un contributore effettivo, innovatore e fornitore di capacità basate sull'AI e non solo un utilizzatore di capacità sviluppate da altri *player*.
È quindi di importanza strategica avere il pieno controllo delle applicazioni AI che possono operare sui dati specifici dei prodotti e servizi dell'azienda, così da poter aprire la strada ad una rapida ed efficace integrazione all'interno delle soluzioni di Leonardo.
Tre aree costituiscono l'interesse primario dell'attività aziendale:

- Dati testuali: addestramento di *Large Language Model* per prodotti, servizi e procedure, a supporto predittivo verso i clienti
- Analisi di segnali ed immagini: per radar, monitoraggio e sorveglianza, addestramento e tutte le applicazioni che si possono basare sull'elaborazione di immagini
- *Forecasting* su serie temporali: per analisi di minacce in ambito cyber, prevenzione, identificazione di anomalie, manutenzione predittiva e tutti i servizi che si basano sulla gestione di dati nel tempo.

La AI sta già diventando un *game-changer* in molte delle aree di attività dell'azienda, tra cui, ad esempio: Cloud Operations, IoT/OT, AR/VR, Cyber, *Predictive Analytics*, *Manned-Unmanned Teaming*, Robotica, *Additive manufacturing*, ecc.

Nello specifico del mercato della difesa e sicurezza l'AI è emersa come una forza trasformativa offrendo capacità senza pari nel migliorare ed ottimizzare le soluzioni disponibili. Sfruttando gli algoritmi di apprendimento automatico, la visione artificiale, l'elaborazione del linguaggio naturale e l'analisi predittiva, l'intelligenza artificiale consente ai professionisti della sicurezza e alle organizzazioni di difesa di:

- rilevare e rispondere alle minacce con maggiore velocità, precisione ed efficienza.
- analizzare grandi quantità di dati in tempo reale, identificare modelli e rilevare anomalie, consentendo il rilevamento proattivo delle minacce, l'intelligence predittiva e un'efficace mitigazione del rischio.

- proteggere le infrastrutture critiche, combattere le minacce informatiche ed ottimizzare le operazioni di difesa

L'integrazione dell'AI nei vari *stream* applicativi sta rivoluzionando il modo con cui tuteliamo le nostre nazioni e manteniamo la sicurezza globale, ma allo stesso tempo genera nuove sfide e nuovi rischi per il potenziale uso improprio di queste tecnologie.

Per Leonardo la sfida fondamentale sarà trovare il giusto equilibrio tra diversi obiettivi:
1. lo sfruttamento del potenziale dell'AI;
2. lo sviluppo di una tecnologia nazionale/aziendale;
3. la regolamentazione dell'uso della tecnologia di AI nei settori di riferimento;
4. la salvaguardia degli interessi nazionali.

Leonardo sta affrontando questa sfida perseguendo linee di azione chiaramente individuate:

- **Accelerazione di uso e adozione dell'IA:** abbiamo introdotto e introdurremo la AI in modo sempre più pervasivo nei prodotti per la difesa e la sicurezza, per poterli mantenere competitivi e per poter sfruttare al massimo le potenzialità offerte dall'enorme mole di dati che essi generano e gestiscono. L'obiettivo di Leonardo è, come detto in apertura, essere *owner* e *master* di tecniche e strumenti di AI per le proprie soluzioni
- **Investimento in Ricerca sui temi AI:** per poter rimanere competitivi e aggiornati sulle tematiche di AI e per poter massimizzare l'adozione di questa tecnologia nel settore Difesa e Sicurezza è necessario investire in ricerca e sviluppo di soluzioni innovative che possano identificare e superare gli attuali limiti dell'AI. Le principali aree di ricerca riguardano:
  - Rappresentazione e scoperta della conoscenza;
  - Metodi di apprendimento continuo;
  - Incremento della robustezza e dell'affidabilità dell'AI;
  - Creazione e messa in sicurezza dei sistemi basati su AI;
  - Verificabilità e certificazione dei sistemi basati su AI (applicazioni Safety-Critical);
  - Portabilità della tecnologia AI vicino alle sorgenti dati (on the edge)
  - Sviluppo di modelli nazionali specifici (Large Language Models nazionali)

Per perseguire queste aree di intervento Leonardo si è dotata di laboratori di ricerca propri, in cui l'area AI è quella più estesa in termini di dimensioni.

I particolari settori in cui opera l'azienda, pongono un accento fondamentale sulla garanzia di sicurezza (intesa come *safety*, richiesta ad esempio da mezzi di trasporto ad ala fissa e rotante), sulla certezza di affidabilità e resilienza (ad esempio per sistemi mission-critical nel settore della sicurezza o delle infrastrutture critiche) e sulla *freedom of operations* (requisito indispensabile per i sistemi di difesa). In tutti questi casi è necessario disporre del pieno controllo delle tecnologie applicate per non correre gravi rischi, in quanto sistemi ormai pienamente digitali con funzionalità di AI a supporto sono interamente dipendenti dalla *performance* del software di controllo, che determina le prestazioni dei prodotti/servizi ed è suscettibile di attacchi o malfunzionamenti che potrebbero artatamente degradare le prestazioni dei sistemi stessi.

La possibilità di introdurre nei sistemi di AI schemi occulti, impossibili da scoprire poiché la parametrizzazione di un sistema AI non è "verificabile", è stata peraltro ampiamente dimostrata, ad esempio in campi come quello del riconoscimento delle immagini, in cui l'inserimento di specifiche informazioni visuali in specifiche posizioni può inibire o completamente fuorviare i meccanismi di riconoscimento adottati.

Per evitare questi rischi e garantire le corrette prestazioni dei sistemi dell'azienda è quindi indispensabile presidiare la competenza su tutti gli aspetti ed impieghi dell'AI per poter sviluppare sistemi e servizi di difesa e sicurezza che siano allo stato dell'arte e non facilmente aggirabili da terzi (anche da attori qualificati ed attrezzati a questo scopo, quali potrebbero essere attori statuali). Questo è altresì fondamentale non solo per proteggere i sistemi messi in campo dall'azienda, ma an-

che per fronteggiare ad armi pari la capacità di attori terzi (in ambito sia civile che militare) che, come si può facilmente intuire, ricorrono sempre più a loro volta a tecniche di AI per raggiungere i propri obiettivi.

Leonardo ritiene quindi indispensabile essere in grado di sviluppare capacità AI proprietarie, fornendo così un contributo a quello che ritiene dover essere un adeguato livello di sovranità tecnologica nel settore. La capacità di sviluppare ed operare strumenti basati sull'AI per scopi di sicurezza è infatti un'essenziale componente di un deterrente a livello nazionale ed europeo contro l'intenzione di applicare queste tecnologie per scopi malevoli per attacchi o violazioni delle risorse digitali.

Per perseguire tale scopo Leonardo si è dotata:

- **di Infrastrutture per l'AI:** è vitale disporre di capacità *hardware* in grado di addestrare e operare gli algoritmi di AI, senza dover ricorrere ad infrastrutture computazionali e di sorgenti dati di terzi. L'architettura dell'High Performance Computing davinci-1, piattaforma integrata di supercalcolo e cloud computing che coniuga flessibilità e potenza di calcolo, consente l'impiego di algoritmi (dal deep learning all'Intelligenza Artificiale), la personalizzazione per piattaforma tecnologica e il calcolo delle innumerevoli interazioni tra i dati generati (data analysis e big data). Il davinci-1 rappresenta un abilitatore in chiave digitale in grado di migliorare la legacy di prodotto e accelerare l'evoluzione dell'ecosistema delle tecnologie di Leonardo.
- **di un'etica per sviluppo responsabile di AI:** è per Leonardo fondamentale capire e indirizzare le implicazioni che questa tecnologia ha rispetto ai temi etici, legali e sociali. Essendo la tecnologia in rapida evoluzione è importante affiancare ai temi tecnologici le valutazioni che questi hanno nel rispetto dei regolamenti, delle norme e delle leggi democratiche, considerando che gli avversari o chi vuole attentare alla sicurezza nazionale non sarà limitato delle stesse. Per raggiungere questo scopo stiamo investendo nella comprensione dei rischi "etici" associati a questa tecnologia, in collaborazione con i clienti e sfruttando anche le opportunità di confronto con fondazioni e analisti esterni, con l'obiettivo di mitigarli e indirizzare lo sviluppo nel rispetto della varietà di regolamenti che si stanno definendo (es. AI Act). Queste analisi sono particolarmente rilevanti se si considerano destinate all'applicazione dell'AI nell'ambito di prodotti e servizi di Leonardo, dove la permanenza del *man-in-the-loop* è comunque una condizione ad oggi imprescindibile nelle dottrine di sicurezza e difesa.
- **di soluzioni per scambio di dati:** essendo l'AI fortemente basata sui dati è fondamentale la capacità di raccoglierli, centralizzarli e garantire un accesso condiviso e federato agli stessi. Per raggiungere l'obiettivo di sviluppare AI sempre più avanzate a supporto di prodotti e servizi per Difesa e Sicurezza, è in corso una centralizzazione di dati e modalità di accesso per creare ambienti comuni di addestramento e verifica. Un simile approccio, se esteso a tutto il sistema nazionale, potrebbe abilitare le sinergie tra diversi entità e campi di applicazione e accelerare i relativi sviluppi.
- **di una rete di ricerca e sviluppo nazionale:** per rimanere al passo dei ritmi che la tecnologia AI impone è infatti fondamentale costruire e mantenere accordi di collaborazione strutturate tra end-user in ambito Difesa e Sicurezza e con l'Accademia. Questi modelli di collaborazione trilaterali sono quelli che anche altre nazioni stanno adottando e che permetteranno di:
  - Definire strategie comuni a tutti i livelli;
  - Concentrare ed efficientare gli sforzi di ricerca e sviluppo;
  - Attrarre i migliori talenti nazionali e internazionali;
  - Coordinare le interazioni e le collaborazioni con altri enti di ricerca internazionali;
  - Facilitare lo scambio di idee e esperienze;
  - Supportare lo sviluppo di standard, framework e regolamenti sull'AI.

Per sintetizzare, in accordo alle considerazioni espresse, l'AI Lab di Leonardo è stato creato per costituire il centro di competenza aziendale per la ricerca nel campo del AI e

delle sue applicazioni, dove si studiano e si ricercano nuovi modelli di AI e tecniche di analisi per monitorare le infrastrutture critiche, per applicazioni di sicurezza e per applicazioni di comando e controllo. Vengono inoltre eseguite ricerche sulle tecniche per rendere questa tecnologia certificabile e affidabile, come è richiesto dalle applicazioni mission critical e safety critical realizzate dell'azienda e si lavora anche sul porting di queste tecnologie su dispositivi "leggeri" in termini di dimensioni e capacità di calcolo

Le principali attività in corso sono:
- AI a supporto dei sistemi C2 *(es. Ships Detection Classification and Tracking, ABT/TBM Classification)*
- Soluzioni per *Natural Language Processing* per scopi multipli
- Analisi di serie temporali (es. Nowcast short time forecast model from meteo radar data)
- Computer Vision Analysis (es. Human Behaviour Classification, Reldentification, *feature extraction* da immagini satellitari)
- Embedded AI
- Sistemi AI per la classificazione dei rischi e l'estrazione di informazioni da fonti eterogenee
- AI per Predictive Maintenance (es. RUL estimation e HNH Status estimation)

Alcune delle applicazioni in fase di realizzazione / applicazione sono, ad esempio:
- *AI-Based Virtual Assistant* per uso nei sistemi di supporto al cliente e nei sistemi di analisi
- Supporto alla redazione di documentazione tecnica
- Rilevamento anomalie su serie temporali per manutenzione predittiva
- Estrazione dell'informazione dai documenti e per la classificazione
- Soluzione per l'analisi delle immagini e dei video per scopi di sorveglianza e intelligence ed altre applicazioni connesse con l'image processing
- Sistema per il rilevamento di malware con tecniche di computer vision
- Analisi sui possibili approcci alla robustezza delle reti e dei modelli
- *Porting* di reti e modelli su dispositivi *embedded* per l'installazione su sistemi autonomi, IoT
- Analisi e selezione di modelli e paradigmi di addestramento non supervisionato, autonomo e continuo
- *Proof of Concept* per applicazioni avanzate di AI in supporto alle attività di ingegneria
- Soluzioni per sistemi basati su AI per la gestione rischi
- *Textual data:* addestramento di modelli linguistici di grandi dimensioni per i prodotti, servizi e procedure per diventare più efficaci nella previsione e nel supporto ai clienti
- Cyber threat analysis
- *Proof of Concept* di sistemi basati su AI per l'ottimizzazione logistica

Quantum Technologies

Una delle differenze fondamentali tra le tecnologie digitali ed altre tecnologie è la rapidità del ciclo di innovazione delle stesse. Negli ultimi 40 anni innovazioni dirompenti si sono generate ogni 5 anni, con cambiamenti massicci del mercato, dell'industria e spesso della società.

È quindi strategico investire in tecnologie che potranno cambiare d'improvviso il panorama industriale e un esempio significativo è fornito dal *Quantum Computing*. Le basi teoriche e matematiche del *Quantum Computing* sono solide e l'attuale limitazione nella loro adozione deriva da limiti ingegneristici nella costruzione dei sistemi di calcolo quantistico, non da limiti scientifici. Non esiste infatti ancora un'architettura vincente tra le molte testate, ma questo non impedisce di iniziare a sviluppare algoritmi e software pronti per essere utilizzati nel momento in cui un sistema hardware adatto sia disponibile. Leonardo può in effetti simulare, grazie alla propria architettura di supercalcolo proprietaria, le architetture di *Quantum Computing* in fase di studio, costruendo così in anticipo le proprie competenze nella realizzazione di software *quantum-ready*, adatto alle proprie necessità, tra cui:
- L'evoluzione del continuum digitale, ovvero l'applicazione del *Quantum Computing* a prodotti e servizi dell'azienda
- Le tecnologie *Crypto*, ovvero lo studio del-

la minaccia alle attuali tecniche di cifratura e le relative implicazioni di cyber security
- Il Quantum Inspired Computing, ovvero la revisione degli algoritmi sinora utilizzati in soluzioni esistenti o l'approccio alla risoluzione di problemi irrisolti

In aggiunta al calcolo quantistico le proprietà e i principi della meccanica quantistica trovano specifica applicazione anche in altre aree di applicazione, tra cui, ad esempio, i sensori quantistici, la crittografia quantistica e l'imaging quantistico. Queste aree sono esempi di tecnologie in cui i principi di sovrapposizione, l'entanglement (la connessione e l'"intreccio" dei fenomeni fisici che caratterizzano gli stati quantici della materia tra loro interagenti) ed il tunneling (probabilità di attraversare spontaneamente una barriera di energia potenziale), costituiscono fenomeni fisici abilitanti un'evoluzione tecnologica ed operativa che potrà interessare i futuri sistemi dell'azienda.

Il progresso delle tecnologie quantistiche risulta infatti promettente oltre che in termini di capacità computazionali anche nelle comunicazioni sicure, oltre a miglioramenti nel campo dei sensori e dell'imaging, promettendo di costituire un *game changer* per il mercato spaziale e della difesa.

Missione del laboratorio di "Quantum Technologies" è quella di essere un avamposto per l'innovazione accelerando lo sviluppo delle tecnologie quantistiche, al fine di consolidare la leadership aziendale nel campo dell'elettronica, creando le basi per i processi di maturazione e trasferimento verso le Divisioni.

La scelta operata è verso i filoni di attività più promettenti in termini di possibili applicazioni nei nostri prodotti, anticipando i requisiti dei clienti e la futura domanda di mercato: una chiave importante, infatti, per permettere l'implementazione della visione aziendale in questo ambito tecnologico sono le collaborazioni con gli end-user (es. Stato Maggiore Difesa, ESA, ASI) oltre che con università ed enti di ricerca.

Tra i principali *stream* di attività identificati spiccano i seguenti:

- Communication (futuri sistemi di comunicazioni terrestri e spaziali, sia civili che militari):
  - generatori di numeri casuali quantistici (Quantum Number Generator);
  - soluzioni architetturali (trusted node free, quantum memory-based, multidimensional encoding) per implementare reti quantistiche che consentano soluzioni alla connettività multiutente;
  - collegamenti Quantum Key Distribution terrestri ad alta velocità superando la barriera velocità/distanza.

La roadmap di breve termine prevede attività di ricerca su:
- Point-to-Point secure communications
- Quantum Number Generator

mentre la roadmap di lungo termine prevede lo studio di reti sicure complesse.

- Imaging:(studio di nuovi sottosistemi e dispositivi per imaging e rilevamento avanzato):
  - Quantum Imaging e tecniche di elaborazione per raccogliere e sfruttare le informazioni da fotoni multi-sparsi (capacità di vedere "dietro gli ostacoli");
  - Imaging 3D con capacità di *Seeing-Through-Oscurants* (ambiente visivo degradato) mediante il rilevamento di fotoni singoli otticamente correlati al tempo (OTCSPD);
  - Ghost Imaging per il rilevamento di più fotoni sparsi per la ricostruzione di un oggetto nascosto.

Tra le principali potenziali applicazioni nei settori di interesse di Leonardo possiamo annoverare: Handheld imaging systems, Imaging Sensors for Unmanned systems e Panoramic multisensors imaging systems for land / urban situational awareness.

- Computing/Processing: (valutazione delle funzioni / performance di computer quantistici):
  - Quantum Inspired Computing: simulazione del funzionamento di computer quantistici mediante lo HPC davinci-1 e comparazioni con computer quantistici reali. I casi d'uso in valutazione riguardano la classificazione avanzata delle

immagini e l'ottimizzazione delle funzioni di costo nella logistica.
- Sviluppo/Sfruttamento di Algoritmi Quantum Machine Learning per addestrare modelli AI più complessi e più velocemente.

La roadmap del Quantum computing è considerata di più lungo periodo, ma tramite il suo laboratorio Leonardo intende comunque essere attore primario nelle iniziative europee in relazione al quantum computing.

- Quantum Sensing for Positioning Navigation and Time: (studio di nuovi dispositivi per PNT -Posizione Navigazione e Temporizzazione):
  - Orologi quantistici per GNSS per sensori di navigazione, reti di comunicazione
    - Atoms Laser cooling techniques per aumentare la precisione riducendo rumore termico e di collisione
    - Tecnologia ottica integrata per aumentare la compattezza
  - Quantum Gyros and Accelerometers per navigazione in ambienti GPS-denied dovuto a jamming o per operazioni sottomarine sfruttando la maggiore precisione nel posizionamento mediante l'uso dell'interferometria atomica.

- Quantum Cryptography: (studio di codici avanzati):
  - implementazione di codici proprietari basati su algoritmi noti come "Topological Codes". L'obiettivo è di disporre di know-how e codici da applicare a prodotti civili e militari.
  - La Quantum Cryptography è un'attività di ricerca su cui Leonardo sta lavorando da diversi anni e l'azienda continua ad investire nell'ambito della roadmap complessiva della ricerca di Leonardo e di attività già in corso con le Divisioni.
  - Focalizzandosi sulle applicazioni di Difesa e Sicurezza, le due aree di ricerca che avranno implicazioni significative nel breve e medio termine si ritiene siano:
    - sensori quantistici che potrebbero essere utilizzati per rilevazione di velivoli stealth e per PNT senza necessità di GPS;
    - comunicazioni e crittografia quantistica.

Per sintetizzare, gli interessi dei Leonardo Lab in questo settore saranno declinati principalmente nelle possibili applicazioni delle tecnologie quantistiche alle comunicazioni, sia nei segmenti di terra che nel segmento spaziale, allo scambio di chiavi crittografiche in modo sicuro, a tecniche avanzate di imaging in ambienti rumorosi e con turbolenze e alla ricerca di applicazioni del calcolo quantistico.

Le principali attività in corso sono:
- Studio e ricerca di nuove soluzioni per i collegamenti in fibra ottica quantistica per il segmento di terra di un'infrastruttura di comunicazioni quantistiche
- Studio e ricerca nel campo dell'imaging quantistico, per migliorare il rilevamento di oggetti in condizioni difficili, come turbolenze, ambienti rumorosi, ostacoli
- Studio e ricerca di possibili applicazioni di calcolo quantistico

Alcune delle applicazioni in fase di realizzazione / applicazione sono, ad esempio:
- Soluzione QKD Qcomm in laboratorio
- Test indoor delle capacità di imaging "non-line-of-sight"
- Test Quantum Machine Learning
- Emulazione di computer quantistico su da-vinci-1

Digital Twin

Il termine Digital Twin nasce nell'ambito strettamente ingegneristico, nei documenti sul Product Lifecycle Management della NASA all'inizio degli anni 2000, un periodo in cui si affermavano nell'ambito dell'Aerospazio - anche nell'allora Finmeccanica - tecniche di progettazione CAD-based con i relativi sistemi a contorno che costruivano progressivamente un percorso dal *digital design*, al *digital prototyping*, al *digital manufacturing*, al *digital testing*, passando attraverso il Modeling & Simulation in ambiente operativo.

Il termine Digital Twin sta quindi oggi ad indicare un sistema di simulazione digitale, alimentato con dati raccolti da un sistema reale, ed in grado di rappresentare in modo sintetico, ma fedele (spesso attraverso visualizzazioni con modelli 3D, grafici, curve

e cruscotti) lo stato complessivo del gemello reale. Semplificando potremmo dire che il gemello digitale è l'equivalente di una centrale di controllo del gemello reale, implementata all'interno di un software e che può funzionare anche senza il sistema controllato.

Di recente il concetto di Digital Twin sta anche assumendo nuovi significati in senso di modello digitale olistico di un sistema reale, ovvero di una sua rappresentazione virtuale (sempre all'interno di un sistema di elaborazione) che ne replica lo stato ed i cambiamenti di stato, grazie all'utilizzo combinato di dati, simulazioni ed intelligenza artificiale.

Il modello olistico come estensione del Digital Twin è uno strumento incredibilmente potente perché consente di essere predittivi, come meglio descritto in seguito, ed è reso possibile in gran parte dalla potenza di calcolo e di analisi dati oggi disponibili, nei supercalcolatori o in cloud. La potenza è tale da poter calcolare modelli numerici molto complessi ma accurati, in grado di rispondere sempre meglio alla necessità di prevedere il comportamento di un sistema sotto diverse condizioni di funzionamento, sia esso un'auto un aereo, una nave, un impianto industriale fino ad arrivare al corpo umano o all'intero pianeta (gli ultimi due casi sono ancora progetti di ricerca).

Questa è l'ambizione di Leonardo, per cui realizzare un Digital Twin significa costruire un sistema digitale avanzato, in grado di colmare il divario che esiste tra il mondo fisico e la sua rappresentazione digitale con un'accuratezza senza precedenti.

Per raggiungere lo scopo l'approccio di Leonardo combina tecniche avanzate di simulazione, Big Data e Intelligenza Artificiale in un singolo modello convergente di integrazione di piattaforme HPC, Cloud ed Edge. Per aziende *asset-intensive* un Digital Twin può rispecchiare l'intero ciclo di vita del prodotto, dalla progettazione al test, alla costruzione e messa in produzione, alla manutenzione ed operatività. Il Digital Twin ha già mostrato di essere una tecnologia efficace a raggiungere obiettivi di sostenibilità, di ottimizzazione di risorse e di miglioramento generale dell'efficienza dei processi di business e dello sviluppo di nuovi prodotti e servizi.

I Digital Twin, quindi, nell'accezione utilizzata in Leonardo, combinando un approccio *data-driven* e *model-driven*, possono essere predittivi del comportamento del prodotto modellizzato attraverso il suo intero ciclo di vita, oltre che rinforzare efficienza ed efficacia della produzione negli stabilimenti e nell'intera *supply chain*.

La necessità dell'impiego del gemello virtuale nei processi produttivi è amplificata dal progressivo aumento dell›automazione dei processi stessi, dove tutto è gestito da sistemi di telerilevamento, e le azioni operative, di cambiamento della configurazione, di manutenzione devono spesso avvenire senza un intervento umano diretto. La disponibilità di un gemello virtuale accurato e predittivo è fondamentale anche per prevedere l'effetto di un cambiamento di stato, voluto o non voluto (ad esempio a causa di condizioni ambientali alterate), evitare malfunzionamenti, ridurre i costi di produzione e operatività, in virtù di azioni preventive, fare valutazioni what if, addestrare gli operatori, ecc.

Più nel dettaglio vediamo ora quali sono le caratteristiche e gli ingredienti del gemello virtuale. Come anticipato l'elemento principale è il software, che elabora i dati ed implementa le funzioni i cui valori replicano i valori caratteristici di ogni parte del sistema reale (posizione, temperatura, pressione, tensione, ecc.). Il software solitamente non è un programma monolitico, ma implementa modelli multicomponente (es. nel caso di un mezzo aereo o navale: il motore, la struttura, l'aria, l'acqua, ecc.) e multi-scala (es.: le componenti metalliche, un aereo completo, una squadriglia di areoplani, ecc.), che vengono valutati in modo accoppiato, ovvero i cui valori si influenzano a vicenda. È dunque necessaria una particolare funzione che descrive lo stato interno del sistema e mantiene sincronizzate tutte le componenti. Tale funzione, perché il Digital Twin si possa chiamare tale, deve mantenere la sincronizzazione anche con i valori dei sensori installati nel gemello reale.

Non meno importanti però sono altri due elementi del gemello virtuale: i dati, raccolti dai sensori o simulati, ed i modelli numerici con cui simulare il comportamento delle diverse componenti del sistema. I modelli possono essere basati su principi primi ovvero la conoscenza delle equazioni costitutive che descrivono il comportamento del sottosistema/componente (ad esempio legge di gravità, equazioni di Maxwell, equazioni di Navier Stokes, etc...), e la cui risoluzione consente di predire l'evoluzione del sistema; oppure i modelli numerici possono essere guidati dai dati ,"data driven", ovvero i dati stessi raccolti dai sensori vengono utilizzati per definire un modello implicito del comportamento, attraverso procedure più o meno complesse. Si va dalla semplice interpolazione, per capire se i dati descrivono una retta o una curva (ad esempio curve di carico, relazione temperatura/calore di un componente, ecc.), all'intelligenza artificiale che, attraverso procedure computazionalmente onerose, è in grado di replicare fedelmente gli stati di un sottosistema al cambiare dei dati di input (in questo caso la AI riesce, ad es., a riprodurre una curva di carico senza l'uso di nessuna equazione).

Tutto ciò, per essere realizzato richiede grandi moli di dati, una infrastruttura computazionale adeguata, software specifico e soprattutto competenze trasversali, che vanno dall'esperto del sistema reale (che può anche non avere alcuna esperienza di computer e software), all'ingegnere di processo e di progettazione, all'informatico per la scrittura del software e la gestione dei dati, al matematico o al fisico per i modelli, all'esperto di infrastrutture di calcolo.

Se il software che implementa il gemello digitale di un sistema è stato realizzato in modo opportuno, è possibile anche combinarlo con altri gemelli digitali, dando così origine ad un sistema di sistemi, che possiamo individuare come uno dei requisiti per l'attribuzione dell'aggettivo "Smart". Ad esempio, una "Smart Factory" (letteralmente fabbrica intelligente), è una fabbrica dove più macchinari sono modellati con gemelli digitali, ed i gemelli digitali dei macchinari hanno la possibilità di interagire tra loro, in un super gemello digitale di tutta la fabbrica. Grazie a questi la fabbrica può interagire con il personale attraverso un flusso di informazioni utili a massimizzare l'efficacia delle attività lavorative e, sempre più spesso, utili per la sicurezza e la sostenibilità. Ad esempio, il gemello digitale potrebbe individuare un componente che sta performando sotto le attese (senza che un operatore faccia controlli periodici), e suggerirne la sostituzione.

Una situazione analoga si può determinare per le "Smart City", dove si possono mettere a sistema i gemelli digitali della metropolitana, dei bus e del controllo del traffico, per fare previsioni sui tempi di spostamento ed ottimizzarli in tempo reale attraverso suggerimenti mirati inviati agli utenti.

Affinché si arrivi ad una adozione su larga scala di questa tecnologia occorreranno ancora diversi anni, ma il problema più che tecnologico appare essere di processo. Occorre che le aziende abbiano la capacità di accettare il cambiamento, che talvolta richiede una riorganizzazione del lavoro e nuove competenze, attualmente difficili da reperire sul mercato del lavoro, e che quindi richiederanno interventi di re-skilling e upskilling della forza lavoro esistente oltre che una consistente spinta per l'aumento delle professionalità che emergono da corsi STEM. È ipotizzabile che chi riuscirà per primo ad introdurre queste metodologie ne avrà un grande beneficio in termini di competitività e di sostenibilità, quest'ultima sempre più centrale anche per attrarre investitori. Già oggi alcune imprese che hanno approcciato l'innovazione di processo in ottica Industria 4.0, sono in una fase di adozione avanzata dei Digital Twin e delle altre tecnologie a supporto della fabbrica intelligente, come i dispositivi collegati in rete (Internet of Things).

Riprendendo l'osservazione che il concetto di gemello digitale sta evolvendo, si possono già vedere le direzioni di sviluppo di questa tecnologia. In particolare, grazie anche alla potenza di calcolo e l'intelligenza artificiale si può pensare ad un gemello digitale di un sistema virtuale, non ancora divenuto reale, da utilizzarsi già nella fase di progettazione. In questo caso è possibile verificare il funzionamento di molte "versioni" del sistema virtuale che simulano diversi sistemi reali che voglio valutare in sede di

progettazione. In questo modo potrò correggere gli errori di progettazione ed ottimizzare le funzionalità del sistema reale, senza realizzare prototipi fisici molto costosi. Questo tipo di Digital Twin è utile per realizzare una progettazione attraverso la simulazione (design by simulation), e una certificazione attraverso la simulazione (certification by simulation), che consentono di abbattere tempi e costi.

Date queste caratteristiche appare chiaro che questa è una tecnologia che sarà sempre più utilizzata in tutte le attività umane, non solo nell'industria (si pensi alle già citate Smart City), che producono direttamente o indirettamente grandi moli di dati. Questo perché permette di rendere i sistemi più resilienti, più efficienti, più sicuri e più economici, oltre a sollevare l'uomo dai compiti più faticosi o tediosi.

Si tratta sicuramente una tecnologia dalle enormi potenzialità, e come tale irrinunciabile, ma allo stesso tempo bisogna resistere alla tentazione di assuefarsi ad un uso acritico dell'AI e dei sistemi di analisi di dati empirici, rinunciando alla ricerca della comprensione dei fenomeni, ovvero alla ricerca della relazione tra i fenomeni ed alla modellazione fisico-matematica degli stessi.

Questa attenzione non è solo una questione teorica, ma ha anche risvolti eminentemente pratici. Se non si conoscono le relazioni tra i fenomeni e le leggi che regolano l'effettivo funzionamento di un sistema, come si può studiarne o valutarne il comportamento in condizioni al di fuori dei dati raccolti e dalle altre condizioni al contorno? Il rischio è di ignorare parametri che potrebbero guidare a soluzioni molto più semplici o che possono determinare eventi critici non previsti e non riscontrati nel modello empirico. Non è infatti detto che la descrizione di un fenomeno complesso non possa basarsi su relazioni molto semplici. A volte relazioni semplici tra le parti di un sistema, come, a titolo di esempio, quelle dei vetri di spin[3], possono spiegare l'insorgere di un comportamento complesso e caotico.

Sulla base di tutte le considerazioni precedenti, la tecnologia dei Digital Twin risulta sicuramente da presidiare e sviluppare all'interno dei Leonardo Labs attraverso:

- modellizzazione multifisica e multiscala, utilizzando a pieno l'infrastruttura HPC davinci-1
- un'infrastruttura big data per IoT analytics e algoritmi di AI-based predictive maintenance
- un framework per le attività di design di prodotto in ottica computational engineering
- simulazione avanzata e parallela per virtual testing ottimizzando le attività di certificazione
- simulazione numerica per prototipazione avanzata basata sulle enormi moli di dati acquisiti da sensori di bordo e ciclo manifatturiero

Il Digital Twin è, infatti, uno degli ambiti di impiego più concreti per l'utilizzo di modelli software multicomponente che integrano elementi d'Intelligenza Artificiale e di simulazione. Risultati significativi sono già stati raggiunti in Leonardo, tra cui il porting in ambiente HPC di strumenti di ingegneria, la creazione di nuovi codici per solutori strutturali, algoritmi di valutazione per la compatibilità elettromagnetica, nuovi workflow per la fluidodinamica, interazione tra Digital Twin per accoppiamento multi-fisico, e potranno costituire la base per future evoluzioni.

I prossimi passi saranno focalizzati su applicazioni disruptive, ancora non pienamente utilizzate nei settori dell'aerospazio e difesa, in particolare:

- Physics Informed Neural Networks: un approccio che combina le reti neurali profonde più avanzate con modelli fisici affidabili per produrre risultati numerici significativi quasi in tempo reale
- Model Based Systems Engineering, con l'obiettivo di abilitare l'integrazione di

3 I vetri di spin sono definibili come dei magneti che scambiano fra loro interazioni disordinate, ferromagnetiche ma anche antiferromagnetiche; rappresentano il primo prototipo di sistema studiato e poi utilizzato per capire i meccanismi di tutte le organizzazioni complesse disordinate.

software e dati su diversi fattori di scala, attraverso modelli indipendenti di sotto-componenti di un digital twin complessivo
- High Fidelity Numerical Simulation, basata sulle leggi della fisica con l'obiettivo di consentite esperimenti virtuali basati su dati sintetici quando i dati reali non sono disponibili

Per sintetizzare, la visione tecnologica in relazione a questa specifica area prevede l'estensione delle attuali tecniche di progettazione e modellazione digitale verso un sistema pienamente integrato ed automatizzato per la progettazione dei prodotti (ecosistema di applicativi e manifattura basato su simulazione avanzata su HPC) con il fine di:
- ridurre i costi e i tempi dei cicli di progettazione
- automatizzare ed ottimizzazione le prestazioni dei prodotti tramite simulazione avanzata e dati di servizio
- minimizzare l'infrastruttura fisica necessaria per la certificazione e i test

Conclusioni

Il breve excurusus di questo contributo mette in evidenza il numero estremamente rilevante di opportunità offerte dalle sole tre Tecnologie di Frontiera che si è scelto di commentare. Se si estendesse l'analisi all'intero spettro delle tecnologie *disruptive* ed all'intero perimetro delle applicazioni possibili il numero di opportunità da analizzare sarebbe elevatissimo e richiederebbe sia spazi che approfondimenti tecnico-scientifici non certamente compatibili con questo rapporto.

Questa considerazione è però emblematica della rilevanza che le Tecnologie di Frontiera assumono nello sviluppo dell'economia e della società: in precedenti rapporti il Centro Economia Digitale ha già messo in evidenza come le tecnologie avanzate svolgano un ruolo trainante e moltiplicatore per l'intera economia e come sia necessario un adeguato livello di "sovranità tecnologica" su quelle più critiche, per evitare che il sistema paese non riesca a perseguire con efficienza le opportunità disponibili o, peggio, venga inibito nel farlo.

La tecnologia è sempre più nettamente al centro della competizione geostrategica e l'UE, con i suoi Stati membri, vuole esserne (o, in alcuni casi, tornare ad esserne) uno dei player principali.

Questa volontà è alla base delle recenti iniziative che allocano fondi alla costruzione di capacità europee, come ad esempio il Chips Act, o che intendono promuovere le condizioni per la nascita di un mercato europeo in grado di stimolare competizione e sviluppo, come ad esempio il Data Act o dell'ancora più recente "Raccomandazione della Commissione Europea sui settori tecnologici critici per la sicurezza economica dell'UE" che promuove un'analisi dei rischi per mitigare e ridurre le vulnerabilità e le dipendenze tecnologiche.

In questo contesto il ruolo dell'industria, in particolare dell'industria di Aerospazio, Difesa e Sicurezza, è fondamentale in un duplice ruolo: quello di attore dell'alta tecnologia, in grado di sviluppare soluzioni avanzate basate su Tecnologie di Frontiera ed agire da catalizzatore e traino non solo per il proprio ecosistema, ma in modo più ampio per il sistema paese; ma anche quello di fornitore delle soluzioni e delle capacità industriali necessarie per supportare i governi nazionali e continentali nella garanzia di sicurezza e difesa offerta ai cittadini, che costituisce, ancor di più in questo periodo, uno dei compiti fondamentali delle istituzioni.

In questo breve contributo abbiamo descritto fondamentalmente la presenza di Leonardo nel primo ruolo, ma il gruppo è presente con le sue attività in entrambi, a fianco dei suoi clienti istituzionali e privati, e continua a sviluppare in modo armonico le sue attività, secondo il proprio percorso di crescita industriale e tecnologica, in qualità di *champion* nazionale e di grande *player* internazionale del proprio settore.

open fiber

Le Tecnologie di Frontiera per la realizzazione di reti evolute e sicure

L'Innovazione e la digitalizzazione attraverso il modello wholesale-only di Open Fiber

Il settore delle TLC sta vivendo una svolta epocale. Il mondo che abbiamo conosciuto negli ultimi decenni, caratterizzato dal rame come architrave dell'infrastruttura di comunicazioni elettroniche, è ormai arrivato al capolinea. Le applicazioni più recenti, e quelle che verranno sviluppate in futuro, necessitano infatti di una rete ultraveloce e stabile per offrire il massimo della performance. Questa rete è interamente fibra ottica, che a differenza delle infrastrutture in rame o miste fibra-rame, è a prova di futuro: è in grado cioè, per caratteristiche intrinseche, di accogliere tutte le successive evoluzioni della tecnologia, aumentando progressivamente la sua velocità di trasmissione che già oggi può raggiungere e superare i 10 Gigabit al secondo.

L'Italia, che era precipitata in fondo alle classifiche europee per reti ultraveloci, ha intrapreso negli ultimi anni un percorso che l'ha portata a ridurre in maniera significativa il gap digitale con gli altri paesi UE. Gli ultimi dati ufficiali dell'Unione Europea mostrano infatti come l'Italia abbia una copertura FTTP del 54% a fronte di una media UE del 56%. Un progresso significativo tenendo in considerazione che nel nostro Paese non ci sono reti VHCN che utilizzino il cavo. Grazie al piano Italia 1 Giga, che punta ad anticipare al 2026 gli obiettivi di connettività europei previsti per il 2030, il nostro Paese intende assumere un ruolo di leadership nel continente. L'innovazione e la digitalizzazione sono dunque un binomio inscindibile da cui il nostro Paese ha scelto di ripartire per affrontare l'inevitabile transizione dei processi che interessano a 360 gradi il nostro sistema produttivo. Non a caso, il PNRR ha destinato alla digitalizzazione circa 40 miliardi di euro, di cui 6.7 per le reti ultraveloci (banda ultra larga e 5G). In questo scenario, Open Fiber gioca un ruolo chiave. L'azienda è innovativa fin dalla sua fondazione, perché ha scelto di realizzare un'infrastruttura *green field*, senza tratti in rame, e perché ha puntato con decisione sul modello *wholesale only*: un operatore all'ingrosso, che mette a disposizione la sua autostrada digitale ultraveloce, in fibra ottica FTTH (Fiber To The Home, la fibra che arriva all'interno delle case), a tutti gli operatori interessati a parità di condizioni, per sviluppare servizi digitali all'avanguardia per gli utenti finali. Open Fiber procede su un doppio binario: da una parte l'infrastrutturazione di base (case, uffici, sedi della Pubblica Amministrazione), dall'altra la sperimentazione di una serie di applicazioni che nasceranno in digitale, proprio perché esiste un'infrastruttura in grado di abilitarle, e con un potenziale in grado di rivoluzionare la quotidianità delle nostre città, borghi e campagne.

Architetture, tecnologie e servizi di frontiera

Edge computing. Sempre più applicazioni quali l'Industrial automation, la guida autonoma, la realtà aumentata, la realtà virtuale, il

Massive Iot, il Pervasive internet richiedono architetture di edge computing in cui l'elaborazione del dato avvenga in prossimità dell'utente finale. I benefici che derivano dall'adozione di tali soluzioni sono molteplici. Tra questi: riduzione della latenza; ottimizzazione dei costi operativi, grazie alla riduzione del volume di traffico trasportato nelle reti di telecomunicazione; miglioramento della resilienza e della sicurezza dei dati; miglioramento dell' efficienza computazionale.

OF ha sviluppato in questi anni il più grande progetto di infrastrutturazione in fibra ottica FTTH del Paese. Grazie alla penetrazione capillare sul territorio di una rete interamente in fibra, è possibile sviluppare una rete di edge computing che sfrutti le sinergie con i Point of Presence (POP) ed i Punti di Consegna Neutri (PCN) distribuiti su tutto il territorio nazionali. La rete di edge computing potrà raccogliere dati provenienti da sensori presenti, ad esempio, su un territorio comunale, elaborarli localmente e metterli a disposizione della pubblica amministrazione locale e/o della comunità.

Fiber sensing. Fiber Sensing è una tecnologia avanzata che sfrutta la naturale sensibilità della fibra ottica ai cambiamenti fisici, come deformazioni e vibrazioni, per monitorare e rilevare con precisione eventi vibrazionali e perturbazioni nell'ambiente. Questo approccio amplia notevolmente le potenzialità dell'infrastruttura in fibra ottica preesistente, consentendo il monitoraggio di una vasta gamma di parametri fisici e ambientali. Tra le sue diverse applicazioni, rientrano il monitoraggio delle infrastrutture civili, come palazzi, ponti e viadotti, e la rilevazione di eventi sismici. La versatilità di Fiber Sensing lo rende un prezioso strumento per migliorare la sicurezza e l'efficienza in molteplici contesti.

La rete di Open Fiber, che copre decine di migliaia di chilometri in tutto il territorio nazionale con ampia capillarità e distribuzione, può quindi diventare un abilitatore fondamentale per lo sviluppo di nuovi servizi di pubblica utilità.

Architetture di rete innovative a supporto della transizione energetica. L'obiettivo di transizione energetica fissato dalle Nazioni Unite sancisce l'impegno a raggiungere entro il 2050 la cosiddetta Carbon Neutrality. Un grande contributo alla decarbonizzazione arriva dall'utilizzo sempre più esteso dell'elettricità generata da fonti rinnovabili, in luogo di quella prodotta da fonti fossili, e dalla digitalizzazione delle reti al fine di migliorare l'efficienza energetica. L'utilizzo della fibra ottica diventa pertanto fondamentale per la gestione intelligente delle reti elettriche, anche denominate Smart grid, poiché garantisce: resilienza, sicurezza dei dati trattati, bassa latenza ed elevate prestazioni (per lo scambio di informazioni fra le control room e territorio). In questo contesto, Open Fiber sta già collaborando con alcuni Energy Provider per il rilegamento in fibra ottica delle sottostazioni di energia primaria e secondaria, secondo un'architettura di rete funzionale alla gestione e al controllo della distribuzione elettrica.

In parallelo, nell'ambito del Progetto Telesmeg, rientrante nel Programma Restart "Partenariati estesi" finanziato con i fondi del PNRR, si stanno studiando soluzioni innovative di connettività che agevolino il controllo *end to end* dei flussi di energia nelle reti elettriche di distribuzione. In particolare, saranno approfondite nuove soluzioni architetturali in fibra ottica e/o 5G che favoriscano lo sviluppo di Comunità energetiche, nonché l'implementazione di una Control Room per un più efficiente monitoraggio dei flussi energetici. Questi progetti contribuiscono alla definizione di un percorso che nel medio termine porterà a nuovi modelli gestionali, con un impegno concreto verso la transizione energetica a vantaggio non solo dei Distribution System Operator (DSO) ma di tutto il sistema Paese.

Il Borgo Digitale – Pitigliano Laboratorio a cielo aperto

Il progetto, svolto in collaborazione con ENEA, ha l'obiettivo di favorire l'innovazione dei modelli gestionali urbani con riferimento ai piccoli Comuni. In particolare, si vuole promuovere lo sviluppo del Borgo Digitale implementando servizi di utilità per il Comune ed i cittadini tenendo conto del contesto del territorio e delle sue peculiarità. Premessa fondamentale è l'infrastruttura in fibra ottica FTTH

(Fiber To The Home), realizzata da Open Fiber in qualità di Concessionario di Infratel Italia, che permetterà di sviluppare servizi digitali e tecnologie che potranno poi essere replicate su altri comuni italiani con caratteristiche simili (e quindi su migliaia di piccoli comuni).

Si va dalla sperimentazione della realtà aumentata per valorizzare il patrimonio culturale, al Digital Twin del Comune, fino all'applicazione del progetto PELL (Public Energy Living Lab) di ENEA a scuole, ospedali e impianti d'illuminazione pubblica, passando per edge computing ed efficientamento energetico. Di particolare rilevanza il monitoraggio del territorio da parte dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, che prevede l'utilizzo della fibra ottica posata da Open Fiber come sensore distribuito per raccogliere informazioni tramite strumenti di precisione utilizzati da ENEA. Innovativa è anche la metodologia che viene utilizzata, sviluppata dall'Università dell'Insubria, che a partire dall'Urban Check Up Model permette di definire in modo puntuale le peculiarità e le esigenze del singolo Comune, andando quindi ad individuare lo standard minimo di innovazione che lo specifico Comune deve avere.

Quantum Key Distribution. Il progetto di Quantum Key Distribution (QKD) rappresenta un notevole passo avanti nella creazione di un'infrastruttura di comunicazione altamente sicura. Questa tecnologia all'avanguardia si basa su principi della meccanica quantistica per garantire comunicazioni estremamente protette. Utilizzando chiavi segrete composte da qubit, codificati su singoli fotoni, la QKD consente la creazione di chiavi crittografiche che sono immuni agli attacchi di intercettazione. Qualsiasi tentativo di intercettazione delle chiavi risulta sempre rintracciabile, garantendo un livello di sicurezza senza precedenti.

Anche in questo caso, un fattore chiave per abilitare il progetto è la fibra ottica presente in un'infrastruttura di rete come quella di Open Fiber. La fibra ottica offre infatti bassa attenuazione e bassa interferenza elettromagnetica, preservando l'integrità delle chiavi quantistiche durante la trasmissione.

Inoltre, la QKD su fibra ottica è cruciale in settori come la cybersecurity per la pubblica amministrazione, la protezione dei dati sensibili e la sicurezza delle transazioni finanziarie. La sua implementazione contribuirà a migliorare la sicurezza delle comunicazioni e la resilienza delle infrastrutture digitali, con benefici tangibili per il sistema economico del Paese.

La Data Driven Company

Nel corso dello sviluppo della propria rete, Open Fiber ha raccolto informazioni dettagliate sul territorio, sulle infrastrutture esistenti di altri operatori, delle utility, della pubblica amministrazione, ed ha svolto rilievi puntuali su abitazioni, civici, aziende, disponendo oggi di un considerevole patrimonio informativo. Lo sviluppo di algoritmi di Artificial Intelligence, insieme all'utilizzo di blockchain, può portare allo sviluppo di servizi innovativi di grande utilità.

Location Intelligence. Il Progetto di Location Intelligence rappresenta l'evoluzione della business intelligence per le TELCO. Utilizzando dati geospaziali di dettaglio ed applicando algoritmi di AI/ML è possibile massimizzare gli investimenti da effettuare andando a ridurre al minimo i rischi, supportando il business nelle decisioni critiche in diversi ambiti. Utilizzando i dati socio demografici (ad esempio età, sesso, stato civile, reddito, istruzione e occupazione) relazionati alla presenza della rete OF e a quella dei competitor è possibile assegnare un punteggio alle aree di maggior interesse, e quindi indirizzare gli investimenti su infrastrutture, quali quelle di telecomunicazione, nel modo più efficiente. Questa gestione avanzata del dato proietta Open Fiber verso un'azienda "data driven", ponendola al vertice del settore abilitando attività di Digital Marketing evolute come le seguenti:

- **Network Planning - Site Selection** - permette di progettare e realizzare la rete individuando le aree con un punteggio migliore (incrociando dati di traffico, socio demografici e le infrastrutture di rete) in modo da ridurre costi e massimizzare gli investimenti. Gli algoritmi di Machine Learning (ML) basati sui Big Data collezionati possono identificare sia le aree di interes-

se attuale, ma soprattutto prevedere le zone che diventeranno profittevoli nel breve/medio termine.

- **Delivery Peak management** - anticipare picchi di richieste di attivazione in zone mirate, andando a verificare e completare la copertura di rete in maniera capillare, in modo da efficientare il processo e ridurre costi di attivazione ed inoltre valutare le performance interne del settore di delivery.
- **Campagne mirate** - utilizzare le zone identificate per concentrare campagne di marketing altamente mirate, sfruttando le informazioni storiche raccolte e quelle real-time.
- **Data Monetization** - le compagnie telefoniche stanno utilizzando la monetizzazione dei dati sia per scopi interni che esterni. La monetizzazione interna dei dati elaborati attraverso l'uso di dati geospaziali contribuisce allo sviluppo di nuovi servizi altamente localizzati, migliora la fedeltà dei clienti e fornisce una migliore comprensione dei clienti stessi. D'altra parte, la monetizzazione esterna, con i dati dei clienti anonimizzati e aggregati, è diventata una fonte redditizia per il settore delle telecomunicazioni, dato che c'è una crescente domanda per questa tipologia di dati.

Health Assurance - Machine Learning applicato alle reti ottiche FTTH. L'evoluzione dei sistemi di machine learning e riconoscimento automatico delle immagini sta portando ad un cambio di paradigma nelle attività legate alle verifiche infrastrutturali. Il progetto di Machine Learning applicato alle reti in fibra ottica FTTH prevede la realizzazione di un sistema automatico di riconoscimento ed interpretazione dello stato della rete in fibra ottica mediante l'analisi automatica delle immagini dei singoli elementi di rete fisica passiva, quali a titolo di esempio i Box di connessione, gli armadi situati all'interno del central office e gli armadi stradali, i cavi etc.. Il target nell'utilizzo di tali tecnologie è costituito dall'impiego di sistemi di autoapprendimento basati su reti neurali che operino in modo completamente automatico e storage con capacità di geolocalizzazione, riconoscimento e certificazione del risultato, orientati alla certificazione del Capex senza intervento attivo di un operatore umano. A tal fine, sono già stati effettuati con successo test finalizzati alla verifica dell'idoneità tecnica e dell'efficacia di una particolare tipologia di sistemi di apprendimento automatico applicati ai sistemi ottici che Open Fiber utilizza per fornire connettività in modalità wholesale ai diversi operatori TLC sul territorio nazionale. L'obiettivo finale delle applicazioni previste dal progetto è quello di verificare e migliorare lo stato e la qualità della rete ottica installata, avendo da un lato la possibilità di intervenire al miglioramento della qualità del servizio offerto agli operatori (sviluppando ad esempio modelli di manutenzione preventiva), dall'altro quello di valorizzare il Capex aziendale in campo conferendogli un valore certificato.

Data Mining. Gli algoritmi di analisi di dati anche non strutturati, come le immagini, stanno subendo una notevole evoluzione per effetto delle nuove scoperte nell'ambito del Machine e Deep Learning e dalle nuove disponibilità tecnologiche, soprattutto in termini di capacità computazionale. D'altra parte, Open Fiber è alla continua ricerca di tecniche innovative di elaborazione e analisi del patrimonio dati raccolto nel tempo come, a titolo di esempio, quello derivante dalle rilevazioni effettuate sul territorio nazionale, effettuato tramite tecniche di frontiera quali droni, foto 360 e lidar. Per questo motivo, in Open Fiber sono in fase di studio algoritmi diversificati, rispettivamente per detection e segmentazione semantica di dati fotografici e delle nuvole di punti, basate su tecniche di data mining, AI e Machine Learning. L'obiettivo è quello di riuscire ad individuare elementi di interesse quali edifici, civici, pozzetti e/o altri elementi civili. La realizzazione di tali algoritmi permetterà di valorizzare un set informativo eterogeneo, consentendo di realizzare sia uno stradario aggiornato, disponibile in modo strutturato, che un elenco delle infrastrutture riutilizzabili per la fibra ottica per raggiungere le sedi cliente in modo più veloce e a minor impatto sia economico che ambientale. La correlazione con fonti dati esterne, in particolare gli open data, viene infine sfruttata per arricchire il dato così da dare una visione quanto più possibile completa dell'area geografica oggetto di analisi.

Il ruolo delle grandi aziende nella ristrutturazione e l'upgrade delle filiere attraverso le tecnologie di frontiera

Edge computing e Borghi Digitali. Open Fiber sta lavorando su possibili nuove strategie commerciali che traguardino lo sviluppo e l'implementazione di nuovi servizi orientati verso l'edge computing, in modo da estendere la propria offerta e diversificare i mercati di riferimento nei quali operare. La disponibilità di una rete integralmente in fibra ottica, unita allo sviluppo dei "*DataEdger*" e all'integrazione con reti wireless per l'accesso ai dati provenienti da reti di sensori, abiliterà nuovi servizi. In tale ambito, Open Fiber ha avviato il progetto "Laboratorio a cielo aperto" nel Comune di Pitigliano, dove collabora con PMI innovative e enti di ricerca quali ENEA e INGV, per lo sviluppo di servizi di pubblica utilità e valorizzazione del territorio, che utilizzano la rete BUL in fibra ottica realizzata da Open Fiber e il PCN come elemento DataEdger che permetterà la elaborazione dei dati localmente, abilitando così servizi innovativi come il monitoraggio del territorio e la realtà aumentata.

Fiber sensing. Open Fiber sta adottando una strategia ambiziosa, focalizzandosi sull'implementazione delle Tecnologie di Frontiera nel contesto del Fiber Sensing per il monitoraggio di eventi sismici, edifici, ponti, traffico e altre possibili applicazioni. Questa strategia dimostra il ruolo trainante dell'azienda e i benefici tangibili che essa offre. In particolare la strategia aziendale prevede:

- Implementazione progressiva del Fiber Sensing nella filiera
- Collaborazioni strategiche con esperti del settore e aziende specializzate
- Monitoraggio costante delle tendenze tecnologiche per rimanere all'avanguardia

Impatti Chiave:

- Miglioramento della Sicurezza: il Fiber Sensing può consentire il monitoraggio in tempo reale di eventi sismici, migliorando la sicurezza strutturale degli edifici e delle infrastrutture.
- Efficienza Operativa: Open Fiber può ottimizzare le operazioni di produzione, manutenzione e gestione del traffico, riducendo i costi operativi e aumentando l'efficienza.
- Innovazione Settoriale: l'azienda promuoverà l'innovazione nell'industria delle costruzioni e delle infrastrutture, offrendo soluzioni di monitoraggio avanzate.
- Sostenibilità: attraverso il monitoraggio accurato, Open Fiber può contribuire alla sostenibilità ambientale, riducendo gli impatti negativi delle infrastrutture.
- Servizi Avanzati: l'azienda può offrire servizi basati sul Fiber Sensing ai clienti, come il monitoraggio delle infrastrutture o la gestione intelligente del traffico.

Queste strategie e impatti evidenziano il ruolo pionieristico di Open Fiber nell'adozione delle Tecnologie di Frontiera e il suo impegno per una filiera più sicura, efficiente ed ecologicamente sostenibile.

In tale ambito Open Fiber sta collaborando con Enti di ricerca, Operatori, fornitori di tecnologia quali INRIM, INGV, Politecnico Torino, Politecnico Milano, Windtre ed altri.

Architetture di rete innovative a supporto della transizione energetica. Ad oggi la rete in fibra ottica di Open Fiber collega oltre 20.000 cabine elettriche di trasformazione distribuite su tutto il territorio nazionale, abilitando l'automazione della rete (Self Healing Automation), riducendo i tempi di risposta e di disservizio e migliorando così la qualità del servizio verso l'utente finale. La transizione energetica non può prescindere dalla connettività: l'incremento del numero di impianti di generazione da fonti rinnovabili (50% al Sud Italia e Isole), dei punti di ricarica, delle comunità energetiche, comporta la necessità di un'accelerazione sulla digitalizzazione. Per regolare i flussi di energia nella rete elettrica di trasmissione e di distribuzione è sempre più importante disporre di una rete pervasiva in fibra ottica: fibra fino alla centrale di distribuzione, agli impianti di produzione, ai punti di ricarica. In tale ambito Open Fiber collabora con Enti di ricerca e Aziende, tra cui Università di Firenze, Windtre, Athonet, ma anche distributori di energia quali E-Distribuzione.

Quantum Key Distribution. Open Fiber sta pianificando un'iniziativa che mira a implementare la Quantum Key Distribution (QKD) nella sua filiera produttiva al fine di offrire servizi di sicurezza delle comunicazioni all'utilizzo pubblico. Questo progetto rappresenta un passo significativo verso l'upgrade delle Tecnologie di Frontiera e il rafforzamento del ruolo trainante di Open Fiber nella filiera, con l'obiettivo di mettere a disposizione soluzioni avanzate per la protezione delle comunicazioni in settori chiave.

Open Fiber ha già delineato una serie di strategie per prepararsi efficacemente all'implementazione futura della QKD. Queste strategie comprendono:

- Studio di Fattibilità: Open Fiber condurrà uno studio dettagliato per valutare l'applicabilità della tecnologia QKD alla sua filiera, analizzando costi, benefici e sfide tecniche.
- Collaborazioni e Partnership: Open Fiber prevede di stabilire collaborazioni con aziende specializzate in QKD e istituti di ricerca per accelerare lo sviluppo tecnologico e condividere conoscenze.
- Formazione e Sensibilizzazione: sarà condotta una campagna di formazione per il personale aziendale per garantire la comprensione della QKD e dei suoi benefici.
- Pianificazione Strategica: Open Fiber svilupperà un piano strategico che definirà tempi, obiettivi e risorse necessarie per l'implementazione della QKD.
- Coinvolgimento delle Parti Interessate: Open Fiber coinvolgerà partner nella filiera, fornitori e altre parti interessate per garantire il supporto necessario.
- Monitoraggio delle Tendenze: l'azienda osserverà attentamente le tendenze tecnologiche nella QKD e si adatterà di conseguenza.
- Comunicazione e Coinvolgimento delle Parti Interessate: Open Fiber comunicherà chiaramente la sua visione e strategia per il progetto QKD alle parti interessate, compresi investitori e clienti chiave.

Questa iniziativa rappresenta l'impegno di Open Fiber nell'innovazione e nella protezione dei dati sensibili all'interno della filiera produttiva, dimostrando la sua leadership nel settore e la volontà di rimanere all'avanguardia nelle tecnologie di sicurezza delle comunicazioni di frontiera.

Location Intelligence. L'impegno di Open Fiber nell'uso avanzato dei dati geospaziali altamente localizzati e l'attenzione ai maggiori standard di protezione dei dati stessi pone Open Fiber come leader nella filiera, promuovendo collaborazioni ed iniziative per diffondere nuovi standard di efficienza. La Data Monetization dei dati raccolti rappresenta un acceleratore unico rispetto a nuove opportunità e alla scoperta di Tecnologie di Frontiera ed un traino nel coinvolgimento dei propri partner e/o investitori.

Health Assurance - Machine Learning applicato alle reti ottiche FTTH. L'inserimento di tale tecnologia all'interno della filiera produttiva legata alla realizzazione e manutenzione della rete ottica passiva consentirebbe una più efficace e puntuale esecuzione delle attività, ad esempio nelle fasi di delivery, riconfigurazione e manutenzione, e contestualmente un migliore utilizzo della forza lavoro specializzata, di cui il mercato sta sperimentando proprio in questa fase una grande carenza rispetto alla domanda.

Tali effetti sarebbero inoltre accompagnati da un conseguente efficientamento delle verifiche ed un miglioramento del controllo della qualità dell'operato in fase esecutiva e di installazione e un più efficace indirizzamento delle attività di manutenzione preventiva della rete.

Data Mining. In ottica di un approccio data-driven, la realizzazione di algoritmi in grado di estrarre, analizzare e rendere facilmente fruibili informazioni da basi dati non strutturate ed eterogenee quali foto, foto 360 e ortofoto potrà supportare il processo di progettazione e realizzazione di servizi al cittadino, anche al di fuori del settore delle TLC.

Artificial Intelligence. Il ricorso a modelli di AI in ambito industriale è sempre più frequente in virtù delle elevate potenzialità di questo strumento per l'ottimizzazione delle attività e soprattutto per il forecasting, grazie alla

possibilità di utilizzare i relativi algoritmi per elaborare automaticamente dati storici che spiegano determinati fenomeni del processo produttivo e identificare un legame tra le variabili significative (domanda di prodotto, evento di guasto su una linea di produzione, lead time di consegna del fornitore, etc.). L'utilizzo dell'AI nella supply chain è generalmente associato alla sua capacità di anticipare i comportamenti anziché rilevarli a posteriori. La previsione che si ottiene è quindi più reattiva e più accurata. Gli ambiti di utilizzo possono essere: i) manutenzione predittiva; ii) previsione della domanda; iii) automazione del processo produttivo; iv) Data Location Intelligence.

Proposte di policy

Edge computing. La rete di edge computing o "Data Edger" proposta da Open Fiber si basa su tecnologie che comportano bassi consumi energetici e costi di implementazione ridotti, rispetto a quelli legati alle tecnologie convenzionali che si trovano invece nei comuni data center e nel cloud. L'abbattimento dei costi e dei consumi dovrebbe favorire la nascita di servizi orientati all'edge, che potranno essere forniti agli utenti finali con costi più bassi rispetto a quanto accade oggi con i servizi in cloud. La distribuzione dei dati verso i DataEdger installati sui nodi della rete in fibra ottica di Open Fiber garantisce inoltre un maggior livello di sicurezza e prossimità agli utenti finali. Si propone di utilizzare e valorizzare l'infrastruttura pubblica realizzata nell'ambito del Piano BUL, sviluppando servizi di edge computing sfruttando i PCN (da 500 a 1000 punti) quali elementi edge in grado di ospitare ed elaborare localmente i dati.

È di grande interesse per il mercato, e potrebbe pertanto rappresentare un'opportunità per OF, la possibile sinergia individuabile tra le tecnologie dell'Edge Computing e le soluzioni del Digital Twin (ie. soluzioni tramite le quali è possibile la realizzazione di alter-ego digitali di processi automatici per farli dialogare tra loro). I Digital Twins, in particolare, fanno ricorso all'AI per diversi aspetti e stanno conoscendo una spinta in diversi settori, come lo Smart Manufacturing e le Smart Cities, nonché nella progettazione e prototipizzazione, nella manutenzione predittiva degli impianti e molto altro.

Fiber sensing. Le seguenti proposte di policy mirano a creare un ambiente favorevole allo sviluppo e all'adozione della tecnologia Fiber Sensing per il monitoraggio sismico e infrastrutturale, contribuendo alla competitività italiana ed europea nel campo delle Tecnologie di Frontiera per la sicurezza e il monitoraggio.

Programmi di Formazione Specializzata: promuovere programmi di formazione specializzata nel campo del Fiber Sensing per formare una forza lavoro altamente qualificata nel settore del monitoraggio sismico e infrastrutturale.

- Standard e Regolamentazioni: definire standard e regolamentazioni specifiche per l'uso della tecnologia Fiber Sensing nel monitoraggio sismico e infrastrutturale. Questi standard dovrebbero garantire l'efficacia, la sicurezza e l'interoperabilità delle soluzioni implementate.
- Iniziative di sensibilizzazione: realizzare campagne di sensibilizzazione per educare il pubblico e le aziende sull'importanza del Fiber Sensing nel garantire la sicurezza strutturale e il monitoraggio degli eventi sismici.
- Impianti multiservizio: prevedere la posa di fibra ottica contestualmente alla realizzazione di nuovi edifici o infrastrutture. Ricerca Applicata e Sperimentazione: sostenere la ricerca applicata e i progetti di sperimentazione che dimostrano l'efficacia della Fiber Sensing nel monitoraggio sismico e infrastrutturale.

Architetture di rete innovative a supporto della transizione energetica

Le seguenti proposte di policy mirano a creare un ambiente favorevole allo sviluppo della transizione energetica:

1) Favorire la sinergia tra i diversi programmi di infrastrutturazione presenti;
2) Promuovere l'utilizzo della fibra sia per i nuovi impianti di produzione che per storage e comunità energetiche.

Quantum Key Distribution. Il progetto QKD

rappresenta un'imponente iniziativa finalizzata a favorire la competitività italiana ed europea nelle Tecnologie di Frontiera, con un focus specifico sulla sicurezza delle comunicazioni quantistiche. Il progetto mira a promuovere la ricerca e lo sviluppo di sistemi QKD avanzati e alla loro successiva implementazione in settori critici come il settore finanziario, la sanità, le istituzioni e la difesa.

In questo ambito possono essere considerate alcune policy come ad esempio:

- Normative per la Sicurezza delle Comunicazioni Quantistiche: elaborare e implementare normative specifiche per la sicurezza delle comunicazioni quantistiche, stabilendo standard di sicurezza chiari e requisiti di conformità per l'uso della QKD nelle reti TLC. Questo garantirà un alto livello di sicurezza per le comunicazioni.
- Standard Europei per la QKD: lavorare a livello europeo per definire standard QKD comuni che favoriscano l'interoperabilità tra paesi membri, agevolando così l'adozione su vasta scala della QKD in Europa.
- Promozione dell'Adozione nei Settori Critici: Identificare settori critici come la sanità, la difesa e le infrastrutture nazionali e incentivare fortemente l'adozione della QKD in questi settori attraverso finanziamenti agevolati e partnership strategiche.

Location Intelligence. Il Progetto di Location Intelligence nasce in un contesto di ottica "data driven": Open Fiber promuove l'adozione di standard che favoriscano l'uso dei dati (Open Data) per migliorare la competitività a livello nazionale ed europeo. La ricerca e la sperimentazione delle tecniche più evolute di algoritmi di ML e di IA basate su dati geografici - anche grazie alla collaborazione con aziende esperte del settore e al contributo di enti universitari - promuove la formazione e la crescita del personale sulle tecniche più moderne di analisi del territorio. L'analisi del territorio permette inoltre di avere un'attenzione particolare all'argomento ambiente: attraverso Location Intelligence si raggiungono notevoli risparmi in termini di impatto ambientale e di riduzione di consumi energetici, utilizzando gli algoritmi di ML per scegliere percorsi e zone più favorevoli per la realizzazione della rete. Tali soluzioni potrebbero essere adottate anche da parte di soggetti terzi.

Health Assurance - Machine Learning applicato alle reti ottiche FTTH. Attualmente l'utilizzo di tecnologie di machine learning non risulta ancora pienamente normato. Sarebbe utile in questa fase aprire un tavolo tecnico e normativo congiunto per discutere tali tematiche e le relative applicazioni sul mercato europeo e nazionale, definendo i perimetri di utilizzo e le relative modalità al fine di prevedere in modo più puntuale ed ampliare l'ambito delle applicazioni verso le quali indirizzare gli sviluppi.
Inoltre, l'acquisizione, lo storage e le interfacce verso la rete neurale di interpretazione di informazioni sensibili per l'azienda e per gli operatori telco potrebbe richiedere una riflessione sulle strategie da adottare, sia in termini di sicurezza informatica dei flussi che del mantenimento dei dati, e prevedere l'introduzione di nuovi sistemi, policy e livelli di riservatezza all'interno dei sistemi aziendali.

Data Mining. Il progetto mira a sostenere la competitività italiana ed europea sfruttando quanto più possibile il grande patrimonio informativo disponibile nelle diverse basi dati, con particolare focus all'utilizzo di informazioni deducibili dalle immagini raccolte sul territorio. In particolare, diventa fondamentale promuovere policy che favoriscano:

- la collaborazione tra università / enti di ricerca e le imprese, unendo l'utilizzo di tecniche di analisi all'avanguardia con la disponibilità di basi di dati;
- lo studio e la realizzazione di algoritmi di intelligenza artificiale e di nuovi standard nell'elaborazione dei dati;
- la diffusione di una cultura data-driven;
- la disponibilità di banche dati aggregate e anonimizzate rese open.

Artificial Intelligence

Per sfruttare l'opportunità derivante dall'AI, sarebbe opportuno un approccio regolamentare e di policy che ne mitighi i rischi e prevenga l'uso improprio della tecnologia, ma che al contempo incoraggi le aziende tecnologiche a sviluppare e utilizzarne i relativi modelli per competere con gli attori globali e promuove-

re la competitività in questo campo. Si rende necessario costruire un clima di fiducia intorno all'AI e impostare "guardrail" per garantire sicurezza e trasparenza nei sistemi critici, senza "soffocare" l'innovazione e l'affidabilità delle infrastrutture che nei sistemi critici potrebbero essere due facce della stessa medaglia. A tal fine, si propongono alcuni spunti:

1. riconoscere le applicazioni a più elevato potenziale, ad esempio per la sicurezza e l'efficienza delle infrastrutture, e definire misure proporzionate al livello di rischio e ai casi d'uso identificati;
2. elaborare una chiara distinzione tra sicurezza e protezione da un lato e resilienza di un servizio critico dall'altro;
3. evitare di ostacolare l'innovazione nel segmento, facendo sì che la regolamentazione si concentri solo sui risultati dei sistemi di AI, sul potenziale uso improprio e sui casi d'uso che potrebbero rappresentare un rischio significativo.
4. la tecnologia in quanto tale non dovrebbe essere oggetto di regolamentazione aprioristica e questa dovrebbe piuttosto promuovere e non ostacolare l'AI, contribuendo in larga misura a migliorare le prestazioni, la stabilità e la robustezza delle infrastrutture critiche, come le reti di comunicazione.

La nostra economia, e più in generale la nostra società, sta affrontando un momento di profonda evoluzione che prosegue ancorché minacciata da grandi crisi internazionali. Due degli architravi di questo cambiamento sono la transizione energetica e quella digitale, che sono naturalmente intrecciate, perché le reti di TLC sono abilitatori per raggiungere gli obiettivi del Green Deal per il clima e l'ambiente. Inoltre, al contrario di altri progetti di decarbonizzazione tacciati di bassa sostenibilità economica, la fibra coniuga sostenibilità ambientale – perché abilita tutta una serie di processi che consentono la riduzione di inquinamento, CO2 e impatto sul suolo – ed economica, perché non solo è più efficiente, ma costa meno in termini di esercizio e consente un notevole risparmio di energia rispetto alle tradizionali reti in rame. In un orizzonte di breve periodo, la rete in rame non sarà più in grado di sopportare il peso in termini di banda delle applicazioni più avanzate. È necessario dunque elaborare un piano di spegnimento della rete in rame, progressivo e coordinato da tutti gli attori, che consenta la migrazione su rete in fibra ottica FTTH di tutti gli utenti che ancora non possono beneficiare di un'infrastruttura a prova di futuro.

TIM

Le Tecnologie di Frontiera per la realizzazione di reti evolute e sicure

L'innovazione in un settore in trasformazione continua

In un settore in continuo cambiamento, in cui il processo di aggiornamento tecnologico delle infrastrutture di rete, sia fisse, sia mobili è continuo e costante TIM considera da sempre l'innovazione un asset strategico e presta estrema cura nel governarne i singoli aspetti in termini di ruolo strategico, responsabilità, obiettivi, policy.

Un impegno continuo e significativo che si misura nei numeri: da almeno un decennio il Gruppo TIM primeggia nelle classifiche delle imprese nazionali, sia in quelle per volume di investimenti realizzati in Italia, sia per spesa in R&S. Peraltro, tale sforzo avviene ai ritmi sostenuti con cui nei mercati delle comunicazioni digitali la tecnologia individua nuove soluzioni e nuovi sviluppi. Per dare un'idea della velocità del cambiamento e del modo in cui ha accelerato nel corso dell'ultimo quarto di secolo, si consideri che tra il lancio della prima generazione mobile e la seconda in Italia sono passati più di 10 anni, tra la seconda e la terza circa un decennio, ma già dopo pochi anni si affacciava sulla scena mondiale il 4G. E mentre il 5G muove da poco i primi passi, il 6G è già sul punto di iniziare la sua traiettoria di sviluppo (la Corea del Sud si è già posta l'obiettivo di lanciare le prime reti commerciali nel 2028).

È anche questo processo di cambiamento rapido ed intenso a divaricare orizzonti temporali e obiettivi di business dei diversi segmenti di attività presenti nel Gruppo, spingendo TIM verso un percorso di trasformazione basato sul *delayering*, un modello operativo che permette di differenziare i percorsi di sviluppo in modo coerente con i ritmi e le richieste dei singoli mercati in cui il Gruppo opera, distinguendo ad esempio tra infrastruttura passiva ed intelligenza di rete, tra fornitura dell'accesso alla rete e offerta di servizi.

Questa trasformazione è necessaria per poter continuare a sostenere il processo di innovazione. L'evoluzione del mercato negli ultimi decenni, i risultati ottenuti dal processo di liberalizzazione e la crescita della concorrenza hanno spinto verso il basso i prezzi e messo a rischio margini e ricavi. Il settore delle telecomunicazioni in Italia ha perso 14 miliardi di ricavi in 11 anni, una caduta superiore a quella fatta registrare in altri Paesi europei nello stesso periodo. Tuttavia, la digitalizzazione richiede investimenti crescenti e continui per adeguare reti e sviluppare nuovi servizi, con ricadute e benefici per tutto il sistema economico-produttivo. Solo attraverso un rinnovamento profondo, ottenuto tramite scelte coraggiose e dirompenti in grado di far evolvere il settore ed i modelli di business degli operatori, si potrà continuare a garantire le risorse necessarie a favorire la digitalizzazione del Paese.

Gli Investimenti di ieri, la frontiera di oggi

La frontiera di oggi nasce dal lavoro sviluppato nell'ultimo decennio e ci porta in dote reti più flessibili, performanti e sicure rispetto al passato, in grado di adattarsi alle necessità

degli utilizzatori finali. Infrastrutture in grado di sfidare la crescita esponenziale di dati a cui si assiste anno dopo anno, attraverso un percorso di rinnovamento che va programmato per tempo, per non correre il rischio che eventi improvvisi – come nel caso della pandemia – o nuovi modelli di business possano metterne in pericolo la tenuta.

Lo sviluppo del 5G. Una delle leve che hanno stimolato l'innovazione negli ultimi anni è stata senza dubbio la rivoluzione del 5G che non rappresenta solo un'evoluzione rispetto alle generazioni precedenti, ma un vero e proprio salto di scala. Questa tecnologia non ha solo performance superiori in termini di velocità di download (nell'ordine dei Gbps, gigabit al secondo, sulle frequenze millimetriche), ma presenta la possibilità di operare con un'interazione immediata (latenza nell'ordine dei millisecondi), nonché di gestire moli di dati enormi. Quest'evoluzione tecnologica apre quindi la strada a nuovi servizi, solo immaginabili nel recente passato (dalla realtà estesa e virtuale alla guida autonoma); allo stesso tempo, richiede una trasformazione delle architetture di rete grazie anche all'evoluzione delle tecnologie cloud, un ingrediente fondamentale per permettere lo sviluppo dei servizi 5G che apporta benefici anche alle reti fisse. Per estendere tale evoluzione ed abilitare i servizi in tutto il Paese, serve una rete capillare e continua anche nelle aree più periferiche del territorio nazionale che non possono garantire ritorni adeguati. Da questo punto di vista TIM può disporre anche delle risorse del PNRR che si è aggiudicata tramite bandi pubblici per rilegare le stazioni radio base in fibra ottica e aumentare la copertura della rete 5G in queste aree. Va comunque sottolineato che l'acquisto delle licenze ha rappresentato un esborso nettamente superiore a quello che si è registrato negli altri Paesi europei, sottraendo parte delle risorse alla realizzazione delle reti. Certamente l'innalzamento dei limiti elettromagnetici – oggi ampiamente al di sotto di quelli indicati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità e dalle istituzioni europee ed internazionali - potrebbe accelerare il dispiegamento della rete, estendendo le aree di copertura di ciascuna cella.

Verso il Network as a Service. La necessità di "spostare" intelligenza e contenuti dal centro alla periferia della rete, per garantire risposte in tempo reale ed una maggiore affidabilità dei servizi "sensibili alle temporizzazioni" (come, ad esempio, la guida autonoma), ha spinto la direzione del cambiamento verso un modello di rete nuovo, basato sull'Edge Cloud Computing. Con questa soluzione architetturale le funzioni di rete vengono realizzate attraverso sistemi software che operano su piattaforme cloud poste nelle centrali nazionali e – progressivamente – nelle centrali regionali e/o locali, in cui saranno ospitate le applicazioni sia di TIM che di terze parti. Questo rende l'architettura versatile ed aperta in modo da consentire agli altri principali attori del settore, agli sviluppatori, ai grandi operatori internet ed alle startup di sviluppare e proporre nuovi servizi per il mercato. Un modello che rende pertanto l'infrastruttura di TIM un Network as a Service (NaaS).

La sostituzione delle tecnologie obsolete. Tra i benefici compresi nell'ammodernamento delle infrastrutture di rete del Gruppo TIM va incluso quello della maggiore sostenibilità delle nuove soluzioni. La sostituzione delle tecnologie tradizionali – le cosiddette reti ed infrastrutture *legacy* – con le nuove piattaforme permette infatti di ridurre la carbon footprint dell'azienda; dal momento che le nuove soluzioni sono progettate per utilizzare in modo più efficiente l'energia e integrarsi con applicazioni software basate su algoritmi di *machine learning* in grado di ottimizzarne il consumo.

Anche la dismissione di una tecnologia obsoleta è quindi un compito che rientra nell'attività che un operatore di telecomunicazioni deve gestire nell'ambito del processo di innovazione. Le nuove tecnologie devono essere introdotte nelle infrastrutture di rete in modo trasparente, evitando malfunzionamenti e disservizi, affiancandosi alle vecchie soluzioni fintanto che l'affermazione nel mercato delle novità (tecnologiche, di servizi, di applicazioni) non impone di superare i modelli precedenti. Un esempio tangibile risale alla fine del 2022 quando è stata spenta la rete 3G.

I progetti di oggi, la frontiera di domani

Mentre questo processo di trasformazione è in corso, gli operatori lavorano oggi per costruire la frontiera del futuro, definendo insieme ai produttori di apparati le specifiche delle tecnologie che ci accompagneranno nel prossimo decennio. Le immagini dal futuro che ci arrivano dai gruppi di standardizzazione internazionale mostrano infrastrutture più performanti, basate su concetti innovativi che potranno abilitare servizi più evoluti rispetto a quelli che oggi non sono ancora arrivati nel mercato.

I nuovi protocolli di rete. Per la rete fissa l'evoluzione si indirizza verso velocità e capacità superiori, in modo da garantire la gestione di un traffico più sostenuto nel tempo. Gli enti di standardizzazione hanno da poco rilasciato le soluzioni 25GS-PON e 50GS-PON e TIM è stato uno dei primi operatori europei ad avviare la sperimentazione di questi protocolli nell'ambito della propria rete[1]. L'acronimo PON (Passive Optical Network) identifica l'infrastruttura che "lega" fisicamente le abitazioni alle centrali dell'operatore tramite i collegamenti in fibra, mentre il prefisso identifica la tipologia di PON e ne caratterizza le performance[2]. Lo sviluppo della rete in fibra fino alle abitazioni (FTTH Fiber to the Home) è stato realizzato adottando i paradigmi GPON e XGS-PON con velocità nominali di 2,5 Gbps in downstream e 1,25 Gbps in upstream, per la prima soluzione e di 10 Gbps (identica sia in download che in upload) per la seconda[3]. Le soluzioni allo studio prevedono, rispettivamente, velocità nominali di 25 Gbps e 50 Gbps simmetrici e si sta avviando lo studio delle possibili soluzioni per la successiva generazione di sistemi PON con capacità di 100Gbit/s o superiore.

Soluzioni per centrali più sostenibili. Tra le innovazioni che TIM adotta per migliorare la qualità del servizio vanno inclusi anche i progetti per centrali più sostenibili. Il primo progetto prevede l'ottimizzazione delle temperature delle sale di centrale, realizzato attraverso un sistema di sensoristica IoT che svolge un monitoraggio near-real-time; il secondo è rivolto all'ottimizzazione ragionata dei sistemi di raffrescamento di centrale, grazie ad algoritmi di Intelligenza Artificiale che elaborano modelli previsionali e si adattano al carico di traffico e ai parametri ambientali rilevati.

Verso il 6G. Per quanto riguarda la rete mobile, il 3GPP (Third Generation Partnership Project), una partnership che coinvolge sette diverse organizzazioni internazionali per la messa a punto di standard condivisi e globali di telecomunicazioni, ha approvato a luglio 2022 la release 17 del 5G, con cui tale tecnologia ha raggiunto il livello di maturità che era atteso all'avvio del processo di standardizzazione. Il focus del lavoro nei tavoli di standardizzazione è oggi sul 5G Advanced, la release 18 che dovrebbe vedere la luce nel 2024. L'importanza di tale sviluppo risiede nel fatto che questa versione pone le basi per lo standard 6G, le cui specifiche sono attese per il 2027-2028 (release 21). Al momento possiamo solo definire i contorni e le attese che ne indicano la direttrice di sviluppo: velocità che può raggiungere i Terabit al secondo (Tbps), latenza ancora più ridotta con risposte inferiori ai millisecondi, rilevazione del posizionamento degli oggetti al centimetro. Lo sviluppo più interessante sembra essere il progresso in campo sensoriale, che permetterà di avvicinare ancora di più la dimensione fisica a quella virtuale, anche grazie all'ausilio di sensori sempre più precisi ed interfacce uomo-macchina innovative, con benefici per le soluzioni che ricorrono alla realtà immersiva e alla telepresenza olografica. Le reti mobili terrestri potranno integrarsi con reti satellitari a bassa ed alta quota e con reti aeree basate su droni. Tale progresso potrà espandere le performance della nuova tecnologia da uno spazio 2D (le reti terrestri) ad uno

1 Le soluzioni a 25 XGS-PON e 50G-PON sono state testate su rete live nelle centrali di Roma Nord, Bologna Pallone, Vicenza Borgo Padova e Ancona Montagnola.

2 Nell'ambito della PON si individuano delle componenti "passive" (l'infrastruttura fisica costituita da cavi in fibra, box stradali, splitter, connettori, ecc.) e delle componenti "attive" (gli apparati posti in centrale e in casa del cliente che generano il segnale ottico e "illuminano" la fibra). È questa seconda componente che caratterizza la tipologia di PON.

3 Le velocità sono nominali perché condivise tra i vari utenti collegati allo stesso albero ottico (sino a 64 clienti nel caso della rete TIM), da cui si dipartono le singole fibre che arrivano nelle abitazioni dei clienti.

3D (reti terrestri e aeree). L'integrazione dell'Intelligenza Artificiale e delle soluzioni Cloud più evolute potrà migliorare il livello di sicurezza per le applicazioni industriali.

Oltre alla maggiore banda e minore latenza, una caratteristica rivoluzionaria della tecnologia 6G consiste nel nuovo spetto nel campo dei Terahertz, che abilita il paradigma dell' "Integrated Sensing and Communication": le onde radio, oltre a trasportare le comunicazioni verso persone e server di Internet, potrebbero essere impiegate anche per captare stati dell'ambiente circostante (ad esempio, la situazione meteorologica, oggetti non percepibili in visibilità ottica fotografati tramite tecniche radaristiche) tramite una semplice elaborazione in parallelo del segnale, senza dover ricorrere a nuovo spettro.

Nel percorso di sviluppo verso il 6G, TIM è presente con un ruolo da protagonista. Nell'ambito delle iniziative Hexa-X e Hexa-X-II, patrocinate dalla Commissione Europea, TIM con altri 25 partner europei che operano nei campi della tecnologia, delle telecomunicazioni e della ricerca, è attiva nel definire le caratteristiche tecniche abilitanti della nuova tecnologia in un'ottica di pre-standardizzazione. Il primo progetto ha definito anche obiettivi di tipo quantitativo in termini di sostenibilità sociale, ambientale ed economica del 6G. Il tema della sostenibilità ambientale è invece il cuore del progetto 6Green, in cui TIM ed altri 14 partner puntano a ridurre di almeno 10 volte l'impronta di carbonio delle reti 5G e 6G, nonché delle relative applicazioni, grazie al monitoraggio continuativo degli algoritmi di Intelligenza Artificiale. TIM è anche presente nel Board dello European Smart Networks and Services Joint Undertaking (SNS JU), un partenariato pubblico-privato che mira a introdurre e consolidare una leadership industriale europea nelle reti e nei servizi 5G e 6G, finanziando diversi progetti e definendo un'agenda per la ricerca e l'implementazione della tecnologia.

La frontiera delle tecnologie quantistiche. Un'altra delle frontiere della ricerca applicata – nel settore delle telecomunicazioni e non solo – è rappresentata dalle tecnologie quantistiche[4]. L'utilizzo dei computer quantistici abilita nuove modalità di elaborazione delle informazioni attraverso processi paralleli e probabilistici e permette di risolvere famiglie di problemi complessi in maniera più efficiente rispetto ai computer classici[5]. Le aree di applicazione del quantum computing sono quindi molteplici ed investono tutte quelle attività in cui è necessario governare l'interazione di un numero elevato di variabili (ottimizzazione, pianificazione, simulazione ecc.).

Le stime del mercato globale dell'ecosistema predicono un valore di 106 miliardi di dollari nel 2040, con il valore economico generato dai soli computer quantistici che raggiungerà, nelle proiezioni migliori, circa 1.3 miliardi di dollari entro il 2035 nei principali settori applicativi, quali automotive, chimica, servizi finanziari e scienze della vita[6]. Nel settore

4 La comprensione della fisica dei quanti non è intuitiva. L'esplorazione del mondo sub-atomico ci ha reso consapevoli del fatto che i principi che sono validi nella fisica tradizionale non lo sono più per gli oggetti microscopici. Il principio di indeterminazione per il quale non si può allo stesso tempo conoscere la posizione e la velocità di una particella ha aperto la strada al Quantum Computing che trae la sua forza dal fatto che l'unità di calcolo utilizzata non è più il bit tradizionale che può assumere solo due stati (0 oppure 1) ma è il qubit che ne può assumere un terzo in misura probabilistica compresa tra 0 e 1. I computer quantistici sfruttano anche la correlazione tra due particelle (entaglement) tra le quali l'informazione si trasmette in maniera istantanea ad una velocità maggiore di quella della luce. I computer quantistici, si definiscono tali perché i principi della meccanica quantistica, oltre a governarne il funzionamento, sono a tutti gli effetti utilizzati come operatori elementari di calcolo che vanno a comporre il flusso di processamento di un algoritmo.

5 L'attività di ricerca sui computer quantistici ha indotto un corrispondente studio degli algoritmi adatti per il "quantum" sia per trattare problemi non risolvibili in tempi umani dai computer attuali, sia per rivisitare alcuni algoritmi "classici" che in precedenza si pensava fossero ottimali per la risoluzione di casi di studio tipici. Uno dei problemi classici di ottimizzazione è quello del cosiddetto "commesso viaggiatore", in cui si deve individuare il percorso più breve – tra tutti quelli possibili – passando per un determinato numero di città senza passare mai per la stessa. Il costo computazionale ed il tempo di risoluzione aumentano al crescere del numero di variabili. L'approccio quantistico consente di rendere la soluzione del problema accessibile anche per un gran numero di variabili, portando da anni/mesi a minuti il tempo di elaborazione.

6 Si veda McKinsey&Company, Quantum Technology Monitor, reperibile all'indirizzo https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20technology%20sees%20record%20investments%20progress%20

delle telecomunicazioni, gli operatori si attendono un impatto significativo nei prossimi 5 - 10 anni e in una prospettiva ancora più a lungo termine è possibile ipotizzare lo sviluppo di una vera e proprio "Quantum Internet", in cui tali tecnologie potranno integrare il "teletrasporto" dell'informazione – in particolare per applicazioni di sicurezza e calcolo distribuito – nelle tradizionali reti ottiche e radio.

Altre evoluzioni sono rappresentate dallo sviluppo di Reti e Cloud ibridi (digitali e quantistici) che potranno abilitare nuove tipologie di servizi, con altissimi livelli di prestazioni, sicurezza e privacy. Inoltre, la grande capacità computazionale offerta dal quantum computing, ci fornirà nuovi strumenti per ottimizzare l'uso delle risorse e per il risparmio energetico.

Tecnologie quantistiche e reti mobili. Anche sul fronte dell'impiego del calcolo quantistico TIM si pone all'avanguardia dell'innovazione del nostro Paese. Il primo ambito di applicazione delle tecnologie quantistiche è riferito alla pianificazione delle reti, in particolare quelle mobili, per le quali interessa individuare la migliore soluzione possibile per minimizzare l'utilizzo delle risorse e massimizzare la qualità del servizio. Nel 2020, in piena pandemia, TIM è stata la prima tra le Telco europee a integrare algoritmi di Quantum Computing nella propria infrastruttura per pianificare le reti mobili di nuova generazione. Nello specifico, il modello algoritmico QUBO (Quadratic Unconstrained Binary Optimization) è stato impiegato per definire parametri delli reti 4.5G e 5G che favoriscono una rapidissima identificazione delle celle radio da parte degli smartphone, aumentando di dieci volte la velocità di esecuzione dell'ottimizzazione in tempo reale, offrendo in questo modo un servizio di gran lunga più performante e affidabile.

Altri sviluppi basati su tecnologie quantistiche. Un'altra area di interesse è quella del machine learning, al fine di processare grandi quantità di dati e derivare analisi predittive di evoluzione dello stato della rete mobile.

Anche lo sviluppo di componenti per apparati e terminali potrà beneficiare delle nuove tecnologie, soprattutto se riuscirà ad affermarsi lo sviluppo di soluzioni OpenRAN – nuovi standard di realizzazione di reti di accesso radio aperte, basate su specifici protocolli e standard in grado di rendere interoperabili, aperti e multi-fornitore i dispositivi hardware e software commercializzati dai diversi attori del mercato. In tale contesto, TIM sta lavorando su un algoritmo quantistico – al momento ancora in versione prototipale - che permetterà di realizzare un'applicazione in grado di massimizzare la velocità di download dei terminali.

Un ulteriore promettente ambito di applicazione è quello dell'ottimizzazione del traffico veicolare in un contesto urbano che, utilizzato per elaborare dati reali della città di Torino, ha evidenziato la possibilità di una riduzione della congestione del traffico di alcune decine di punti percentuali.

La sicurezza delle reti e delle infrastrutture

La realizzazione di nuove reti più evolute e performanti procede parallelamente con la necessità di aumentare i livelli di sicurezza. Reti e cloud sono già oggi delle piattaforme essenziali per il funzionamento dei nostri sistemi sociali ed economici e nel futuro diventeranno ancora più vitali e critici. Ne deriva l'esigenza di garantire adeguata sicurezza e protezione a tali infrastrutture che possono diventare un bersaglio per azioni dimostrative, criminali, terroristiche e perfino belliche.

Tecnologie quantistiche e cybersecurity. Anche il settore della cybersecurity, come altri segmenti che appartengono all'ecosistema dell'industria digitale, sarà investito dall'evoluzione delle tecnologie quantistiche. Se da una parte l'elevata capacità di elaborazione delle tecnologie quantistiche apre nuove frontiere della conoscenza e abilita nuovi paradigmi e nuove tipologie di servizi, pone però anche un grande problema relativo alla sicurezza delle comunicazioni. Lo sviluppo di processori quantistici e di sistemi di sicurezza adeguati devono necessariamente andare di pari passo.

on%20talent%20gap/quantum-technology-monitor-april-2023.pdf

Le potenzialità di calcolo del Quantum Computing mettono a rischio gli attuali sistemi di crittografia adottati per comunicare in modo sicuro.

In considerazione della vulnerabilità degli attuali sistemi di crittografia e degli avanzamenti del computer quantistico, le "iniziative quantum" adottate in tutto il mondo, oltre a prevedere strategie e finanziamenti per lo sviluppo dei computer quantistici, includono azioni volte a proteggere dalle minacce che queste stesse tecnologie possono portare. Negli Stati Uniti, nel 2022 sono state adottate due direttive Presidenziali che promuovono le tecnologie quantistiche, tra cui – di fondamentale importanza – è il Memorandum sulla sicurezza nazionale, che prevede l'obiettivo di migrazione dalla crittografia convenzionale a quella quantum-resistant entro il 2035 e richiede ai responsabili delle agenzie governative di implementare soluzioni di Quantum-Resistant Cryptography (QRC) a seguito della pubblicazione degli standard del National Institute of Standard and Technology (NIST), prevista nel 2024.

In Europa, l'iniziativa della Commissione Europea per progettare, sviluppare e distribuire l'infrastruttura di comunicazione quantistica dell'Unione (l'Euro-QCI, Quantum Communications Infrastructure) prevede tra i suoi principali progetti l'implementazione di un'infrastruttura di distribuzione di chiavi quantistiche (QKD, Quantum Key Distribution) per crittografia sicura nello scambio tra agenzie governative e autorità degli Stati membri e dell'UE che richiedono un elevato livello di sicurezza per trasmettere informazioni riservate.

La QKD è, insieme alla Post-Quantum Cryptography (PQC), il principale approccio adottato a livello mondiale per la transizione a sistemi crittografici *quantum-resilient*. Mentre l'approccio della PQC prevede il design di schemi crittografici classici, la cui sicurezza si basa su problemi particolarmente complessi e considerati resistenti anche ai computer quantistici, la QKD è un metodo di livello fisico basato sulla meccanica quantistica che fornisce sicurezza incondizionata, ovvero indipendente dal modello di calcolo considerato.

Gli sviluppi QKD e QRNG. La potenza di calcolo rappresenta inoltre una straordinaria opportunità di difesa. Per contrastare le future minacce ed elevare gli standard di sicurezza al massimo livello, la fisica dei quanti consente di implementare chiavi di cifratura basate sui fotoni, come il già citato QKD, che consiste in un sistema sincrono di scambio di chiavi simmetriche destinato ad avere rilevanti ricadute sui principali ambiti applicativi, tra cui la protezione dei dati sanitari, dei backbones nazionali e transnazionali, la governmental e financial data security, la sicurezza delle infrastrutture critiche come porti, aeroporti e delle reti di distribuzione energetica (gas, power-grids). Grazie ai sistemi di sicurezza quantistici come la QKD l'eventuale violazione della chiave è immediatamente rilevata da coloro che si scambiano i dati crittografati, che quindi possono interrompere lo scambio e generare una nuova chiave.

Infine, nel panorama dei sistemi di sicurezza quantistici su cui si sta investendo in Europa, va annoverata anche la Quantum Number Random Generation (QRNG), un'applicazione per la generazione di numeri casuali che consente di superare il limite degli attuali algoritmi adottati sui computer tradizionali, dove la generazione avviene attraverso un innesco numerico in base al quale l'algoritmo genera il numero in maniera deterministica. Se il cybercriminale riesce a replicare l'innesco, l'algoritmo è in grado di individuare il numero generato per la cifratura del messaggio e di violare la sicurezza. Il QNRG, per generare numeri casuali, sfrutta le proprietà fisiche dei fenomeni naturali che generano entropia e che sono replicabili dalla tecnologia quantistica.

Per entrambi tali percorsi di sviluppo, TIM ha iniziato a depositare delle domande di brevetto fin dal 2018.

Inoltre, allo scopo di rafforzare la propria presenza in questo ambito così strategico TIM, attraverso Telsy – il centro di competenza del Gruppo per la sicurezza delle comunicazioni, la cybersecurity e la quantum security – ha effettuato un primo ingresso nel capitale di QTI (Quantum Telecommunications Italy) nel 2021 e un aumento del 49% nel 2022. Tale

società è uno spin-off del CNR ed è nata a settembre 2020 all'Interno dell'Istituto Nazionale di Ottica di Firenze e rappresenta un leader nel campo della Quantum Key Distribution (QKD).

In linea con gli sviluppi nel settore a livello mondiale, e specialmente all'interno dell'Unione europea, la QKD si presenta come un'eccellenza italiana che appare vantaggioso sostenere strategicamente e promuovere con adeguate azioni in ambito economico e politico-istituzionale, al fine di rendere la *quantum resilience* un nuovo standard di sicurezza delle comunicazioni.

L'approccio richiesto per accogliere la sfida e sviluppare un solido ecosistema digitale quantum resistant deve essere dunque proattivo, agile e innovativo e prevedere chiare direttrici di azione a livello nazionale ed europeo.

A livello nazionale appaiono prioritarie le seguenti azioni:

- porre attenzione alla creazione di connessioni tra gli attori dell'ecosistema, in particolare tra il mondo accademico, l'industria e i governi;
- investire sul capitale umano e sulla formazione di figure dotate delle competenze tecniche richieste, nonché sulle attività di ricerca e sviluppo;
- garantire la scalabilità della produzione, ad esempio facendo in modo che il governo e/o la difesa agiscano come early adopter per sostenere le startup e le imprese orientate alla ricerca;
- considerare e supportare l'intera catena di approvvigionamento;
- perpetuare le attività di consapevolezza e valutazione del rischio posto dai computer quantistici.

Per quanto riguarda invece l'ambito europeo, l'inclusione di iniziative come Euro-QCI nel progetto Quantum Flagship lanciato dall'Unione europea nel 2018 è un chiaro segnale circa la necessità di guardare alla sicurezza delle infrastrutture critiche con uno sguardo sempre verso il futuro e, soprattutto, garantire un'autonomia strategica nel settore tramite una forte integrazione dei Paesi UE.

I progetti europei per una cybersecurity quantistica. Insieme ad altre società del Gruppo (Sparkle e Telsy), TIM partecipa ai progetti europei DEP EQUO (European QUantum ecOsystems) e QUID (Quantum Italy Deployment) per lo sviluppo e la sperimentazione di soluzioni di rete QKD in ambito Euro-QCI. In particolare, il progetto DEP EQUO, di cui TIM è primo contraente, ha come principale obiettivo di portare a maturazione la tecnologia QKD sviluppata ed integrata da QTI. Il progetto DEP QUID intende invece portare a compimento la realizzazione dell'Italian Quantum Backbone, ovvero la rete nazionale quantistica che farà parte dell'infrastruttura pan-europea Euro-QCI.

A tali progetti si affiancano inoltre le partecipazioni ai due partenariati europei FPA (Framework Partnership Agreement) QIA e QNSP finanziati dal programma Horizon Europe ed entrambi finalizzati a sviluppare le infrastrutture che costituiranno la base del futuro ecosistema europeo delle comunicazioni quantistiche.

La diffusione della conoscenza nelle filiere

Come si riflette l'innovazione sulla filiera

Certamente l'attività di ricerca e gli investimenti realizzati da TIM per l'innovazione tecnologica portano benefici all'azienda in termini di vantaggio competitivo, di crescente utilizzo e sicurezza delle reti, di flessibilità e reattività ai cambiamenti repentini dello scenario internazionale. Tuttavia, in un settore fortemente interconnesso come quello digitale, il successo dell'innovazione si amplifica quanto più questa si mostra coerente con gli sviluppi di altri attori della filiera a monte come a valle. Non a caso si ragiona ormai in termini di ecosistema, con la consapevolezza che un ambiente forte e sempre più aperto e innovativo è un fattore di vantaggio competitivo e permette di accelerare la trasformazione digitale della società.

La collaborazione genera opportunità, ma governare tale processo diventa sempre più

complesso perché occorre lavorare verso più direzioni, affiancando alle linee di innovazione interne all'azienda – nei laboratori e nei centri di ricerca del Gruppo – un'intesa attività di interazione con l'ecosistema digitale - nei progetti di collaborazione internazionale, negli hub di innovazione, attraverso lo scouting e l'affiancamento di aziende innovative piccole e medie, startup e scaleup - contribuendo a sperimentare, in collaborazione con aziende partner o clienti, nuovi casi d'uso delle tecnologie, intensificando i rapporti con gli atenei ed i centri di ricerca.

La collaborazione internazionale attraverso gli enti di standardizzazione, i progetti open source e i progetti collaborativi europei. Le reti sono intrinsecamente sistemi globali e TIM ha una lunga tradizione di presenza a livello internazionale nei consorzi e all'interno delle iniziative si settore. TIM partecipa attivamente alla stesura degli standard per le reti fisse e mobili attraverso enti come ITU, dipendente dall'ONU, e ETSI, l'ente che per l'Europa produce norme e standard tecnici per il funzionamento delle reti e dei sistemi e che ospita il progetto 3GPP che ha uniformato tutti gli standard mobili a livello mondiale compreso il 5G. Complessivamente TIM partecipa con propri rappresentanti in oltre 20 enti internazionali, collaborando con decine di operatori e costruttori. Parallelamente alla attività di standardizzazione TIM è membro di importanti organizzazioni per lo sviluppo di soluzioni open source, quali Linux Foundation, TIP – Telecom Infra Project - e ORAN-Alliance. Molte attività sono svolte attraverso progetti collaborativi europei che godono dei finanziamenti dei programmi Horizon Europe, CEF (Connecting Europe Facility) e DEP (Digital Europe Programme). TIM è attiva in oltre 15 progetti sulle tecnologie ottiche, quantistiche, sull'evoluzione verso il 6G che si svolgono in collaborazione con le principali università italiane ed europee. Di seguito riprendiamo alcuni di questi progetti.

Le sperimentazioni delle tecnologie avanzate di rete nei Competence Center. Il 5G, abilitando classi di nuovi servizi, rappresenta un importante trial per testare nuovi use cases in collaborazione con altri attori della filiera, pubblici e privati. Uno degli ambiti più interessanti di sperimentazione, volto a favorire il trasferimento di competenze tecnologiche e l'innovazione nei processi produttivi, nei prodotti e nei modelli di business, è quello dei Competence Center ad alta specializzazione promossi dal Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) nel 2018, e oggi gestiti dal Ministero delle Imprese e del Made in Italy (MIMIT). TIM è presente fin dall'avvio in 5 Competence Center (BI-REX di Bologna, CIM 4.0 di Torino, Smact di Padova, Cyber 4.0 di Roma e Meditech di Napoli).

Nell'ambito del CIM 4.0 (Competence Industry Manufacturing 4.0) i TIM Innovation Labs offrono competenze e tecnologie di rete avanzate – in particolare 5G ed Edge Computing - per lo studio, la sperimentazione e la diffusione di soluzioni di Industria 4.0. La collaborazione iniziata nel 2019 si avvale delle connessioni ultraveloci in fibra XGS-PON e prevede che TIM metta a disposizione una banda pari a 10 Gigabit al secondo in modalità simmetrica, la rete 5G e l'utilizzo delle infrastrutture di Edge Cloud. I casi d'uso delle tecnologie sperimentati in questo ambito, in particolare dedicati all'Additive Manufacturing, hanno offerto informazioni e dati sull'impiego delle macchine di una linea produttiva e innescare azioni indipendentemente dalla posizione degli operatori e delle macchine. Questa innovazione è in grado di migliorare la flessibilità nella produzione ed apre nuovi scenari operativi legati alla interazione remota tra uomo e macchina.

Nel Big data Innovation-Research EXcellence (BI-REX), il centro di competenza di Bologna, focalizzato sulle aree di sviluppo Big Data, Additive Manufacturing, Robotica, finitura e metrologia, TIM ha messo a disposizione una rete dedicata 5G Non Stand Alone alle frequenze mmWave (26 Ghz). Si tratta di una rete privata virtuale in cui il traffico termina sul Data Center del cliente, garantendo la sicurezza del dato e le migliori performance di throughput e latenza, consentendo lo sviluppo di applicativi in ambito Industry 4.0. La rete privata 5G di TIM diventa quindi un abilitatore tecnologico per sperimentare nuovi use cases in ambito industriale e manifat-

turiero, come, ad esempio, il controllo di qualità realizzato attraverso un robot mobile, le applicazioni che aumentano la sicurezza sul lavoro e le applicazioni di realtà aumentata e virtuale per gli interventi di manutenzione.

Le collaborazioni con il sistema delle imprese. Secondo gli analisti di mercato le reti private virtuali 5G o Mobile Private Network (MPN) rappresentano una delle evoluzioni più dirompenti di tale tecnologia. Le MPN possono essere realizzate sulla base di diverse architetture e consentono di creare un ambito di connettività separato dalla rete pubblica – virtualmente (es. slicing) o fisicamente (es. on premises) - accessibile soltanto a coloro che dispongono delle relative autorizzazioni, come ad esempio i dipendenti di un'impresa dislocati in diverse sedi. La disponibilità di una rete cellulare a loro uso esclusivo migliora le performance della connessione e permette di abilitare applicazioni di Industria 4.0 per la smart factory del futuro. La prima Smart Factory in Italia è stata realizzata a Verona nel 2021 per l'Azienda Exor International grazie a una rete privata 5G di TIM e ad applicazioni di Intelligenza Artificiale fornite da Intel, seguita poi a dicembre 2022 dalla MPN per la Ilmea, un'azienda metalmeccanica del Salento. L'intento di TIM è mettere questo modello di business a disposizione di tutte le imprese presenti nei distretti industriali del Paese. I vantaggi sono molteplici: in tutta l'area di pertinenza del cliente la copertura 5G è garantita con prestazioni uniformi e superiori rispetto a quelle della rete pubblica, poiché opera evitando congestioni di traffico e consente ad addetti, macchinari e sensori di scambiare dati e informazioni in maniera diffusa (in sinergia con altre tecnologie come l'Edge Computing e l'Intelligenza Artificiale), con bassissima latenza, elevata sicurezza e velocità compresa tra 600Mbits e 800Mbits. La flessibilità di un sistema basato su una connessione wireless inoltre consente sviluppi, adeguamenti e interventi di manutenzione molto più rapidi ed efficienti.

Un'interessante applicazione delle reti mobili private riguarda i porti, che rivestono un ruolo fondamentale nel commercio e nel turismo. Per far fronte all'aumento dei volumi di merci e passeggeri che transitano via mare, la connessione 5G si rivela preziosa nel monitoraggio delle operazioni portuali per una loro più efficiente organizzazione e sicurezza, consentendo una gestione centralizzata con un modello simile alla "cabina di regia" della Smart City di arrivi e partenze, carichi e scarichi, logistica e movimentazioni.

Nell'ambito del progetto europeo Horizon 2020 "Corealis – The Port of the Future", nel 2019 TIM ha progettato insieme ad Ericsson, Autorità Portuale di Livorno, Consorzio Nazionale Interuniversitario delle Telecomunicazioni (CNIT) e Fondazione Eni Enrico Mattei una MPN 5G Non-Standalone supportata da applicazioni di AI, IoT, AR/VR e Digital Twin, oltre ad apparati quali macchine, telecamere, sensori e altri dispositivi. Il progetto, che ha reso Livorno il primo porto smart italiano, è stato incluso tra le 10 solution initiatives di eccellenza presentate al Global Solutions Forum del 2019 organizzato dal Network per lo Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (SDSN).

Rimanendo nell'ambito delle comunicazioni marittime, anche altri ambienti ristretti possono beneficiare dei vantaggi delle reti private: le navi o altri tipi di imbarcazione e le piattaforme offshore. Per i servizi e le applicazioni che non necessitano di collegarsi alla rete terrestre tramite connettività satellitare, una rete dedicata a bordo offre notevoli vantaggi e risparmi.

Grazie all'interazione tra le tecnologie di rete presenti nel porto e quelle installate sulle navi, Livorno sperimenterà per prima la navigazione autonoma, grazie al coinvolgimento nel progetto denominato "5G-assisted Maritime Autonomous Surface Ship" (5G MASS) bandito dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA). Il consorzio include, oltre TIM CNIT, Fly Sight, Cetena-Fincantieri e Grimaldi Lines.

Le iniziative di Open Innovation: le TIM Challenge. Una delle iniziative più efficaci messe in campo da TIM negli ultimi anni per intercettare sviluppi promettenti ed innovativi è quella delle Challenge, attività che rientrano nel programma Open Innovation "TIM Growth Platform", basato sulla collaborazione indu-

striale con società ad alto potenziale. Il programma mette a disposizione delle imprese partecipanti alla Challenge le risorse necessarie per crescere velocemente e condividere reciprocamente i benefici della cooperazione. Le Challenge facilitano l'incontro tra le soluzioni innovative sviluppate da imprese piccole e medie, startup ma anche scale-up con un percorso di crescita più definito, e soluzioni più mature e le risorse e il supporto del brand TIM, con l'obiettivo di far crescere tutta la filiera e accelerare la digitalizzazione e l'innovazione del Paese. Le aziende vincitrici della Challenge (una o più a seconda delle classi di concorso) hanno l'opportunità di continuare a sviluppare i propri servizi, integrarli nell'offerta di TIM ed entrare in contatto con altre realtà partner dell'iniziativa, quali incubatori ed istituti di ricerca universitari e industriali, anche a livello europeo.

Nell'ultimo anno sono state lanciate Challenge per individuare soluzioni e servizi per il Cloud, le Smart City, la Cybersecurity, l'Intelligenza Artificiale e nei prossimi mesi si continuerà ad operare lungo queste linee di sviluppo, espandendo progressivamente ad altri segmenti promettenti. Su ciascuno degli ambiti esplorati sono stati riscontrati grande interesse e un'intensa vivacità. Alla call lanciata nella scorsa estate per il cloud hanno risposto oltre 600 aziende con soluzioni indirizzate verso i segmenti di intervento individuati dalla gara: e-health, sostenibilità, CaaS (Container as a Service), ossia modelli progettati per sviluppare e distribuire applicazioni cloud native che possono essere eseguiti su qualsiasi sistema e quindi favorire ulteriori evoluzioni. Anche per le call lanciate per ambiti ancora più specialistici o che richiedono la capacità di gestire una molteplicità di sviluppi tecnologici paralleli, la partecipazione è stata significativa. Alla call per le Smart City hanno risposto circa 170 imprese, di cui oltre il 70% italiane. Circa 3 aziende su 10 hanno presentato soluzioni basate sull'utilizzo di dati raccolti da sistemi video in ambito cittadino attraverso cui organizzare meglio la gestione urbana e la sicurezza. Ai vincitori della Challenge, per ciascuno degli ambiti di concorso, TIM ha messo a disposizione il servizio di "cabina di regia" virtuale implementato per gestire i flussi di dati provenienti da sistemi urbani di analisi e video-analytics. Ciascuna delle imprese avrà quindi la possibilità di sviluppare ulteriormente il proprio prodotto per migliorare la viabilità e la gestione dei parcheggi, la sicurezza cittadina, organizzare in modo più smart la raccolta dei rifiuti e migliorare l'efficienza energetica e la gestione degli edifici.

La TIM Cybersecurity Made in Italy Challenge, conclusa lo scorso giugno, è nata con lo scopo di individuare imprese innovative dotate di soluzioni proprietarie che possono essere sviluppate. Il mercato delle imprese cyber risulta oggi polarizzato: da un lato vi sono tante piccole realtà, molto specializzate nell'offerta di soluzioni di sicurezza informatica, che fanno però fatica a crescere anche per la scarsa visibilità; dall'altro, vi sono i grandi gruppi ICT il cui portafoglio di offerta a 360° include anche i servizi cyber. Tra questi due poli opposti si colloca un numero ristretto di imprese di media dimensione specializzate in cybersecurity che in alcuni casi sono riuscite a rafforzare il proprio percorso anche grazie alla capacità di sviluppare prodotti e tecnologie proprietarie. Lo scopo della "Cybersecurity Made in Italy Challenge" è stato quello di consolidare la crescita delle piccole realtà, particolarmente attive nel mercato nazionale, che vantano prodotti all'avanguardia tecnologica e che sono ancora alla ricerca di un solido percorso di crescita. Hanno risposto alla call oltre 50 realtà italiane con soluzioni di grande potenziale, un numero importante considerata la complessità del settore.

La diffusione di competenze avanzate. La diffusione di conoscenza nella filiera si concretizza anche nelle attività di formazione avanzata realizzata in collaborazione di alcune Università di eccellenza, con le quali si costruiscono percorsi su alcune direttrici di ricerca, si avviano Open Lab, si finanziano master e dottorati di ricerca. Su questo fronte TIM collabora con numerosi Atenei in tutto il Paese su diversi temi come, ad esempio, l'Università S. Anna di Pisa sul progetto Edge & Cloud, il Politecnico di Milano con un'attività del programma Digital Environment Ecosystem di Service Innovation, il Politecnico di Torino con il quale ha un accordo quadro

per 18 progetti di ricerca su diverse linee di sviluppo di tecnologie digitali (AI&Big Data, Edge&Cloud, IoT, Mobility, Industry, SDN&Optics, Quantum&CyberSec, Radio Evolution). Sulle tecnologie quantistiche vanno citate la sponsorizzazione e partecipazione all'attività di docenza del master "Quantum Communication and Computing" del Politecnico di Torino, la partecipazione all' "Osservatorio Quantum Computing & Communication" del Politecnico di Milano e due Dottorati di Ricerca su comunicazioni e algoritmi quantistici presso rispettivamente l'Università di Napoli Federico II e il Politecnico di Torino.

Un altro canale per poter diffondere conoscenza è rappresentato dalle iniziative di trasferimento tecnologico - le case delle tecnologie emergenti realizzate con il supporto dei Comuni – che hanno l'obiettivo di coniugare le competenze scientifiche delle Università e degli enti di ricerca con le esigenze delle imprese. In questo quadro, TIM – in quanto partner e socio di alcuni Competence Center Nazionali Industria 4.0 – si è aggiudicata il bando lanciato dal Ministero delle Imprese e del Made in Italy nel 2022 «Case delle tecnologie emergenti», con 6 progetti rivolti ai Comuni di Bologna, Napoli, Taranto, Genova, Pesaro e Cagliari. Le proposte, di supporto alla diffusione della rete 5G, riguardano le tecnologie Blockchain e Crypto Asset, Internet of Things (IoT), Intelligenza Artificiale, 6G e tecnologie quantistiche.

Conclusioni

Il settore delle telecomunicazioni è uno dei pilastri della trasformazione digitale della Società. Già oggi lavoro, svago, occasioni di incontro avvengono in un ambiente ibrido, in cui la distinzione tra dimensione fisica e virtuale trascolora e diventa sempre più trasparente. Il domani ci annuncia novità ancora più grandi, al punto che quelle che stiamo assaporando oggi sembrano già una soluzione di compromesso tra il vecchio ed il nuovo. Diventa quindi imperativo investire nella realizzazione e nell'aggiornamento continuo delle reti, per avere infrastrutture sempre più performanti, sicure e resilienti.

Per continuare a mantenere elevato il ritmo di questa rincorsa tecnologica è fondamentale un settore delle telecomunicazioni forte, con attori in grado di continuare a competere da protagonisti nello scenario internazionale. Il modello europeo è tuttavia molto differente rispetto a quelli che vediamo affermarsi in altre aree del mondo, negli Stati Uniti, in Asia e in molti mercati emergenti. In Europa si è deciso di stimolare eccessivamente la concorrenza, con l'idea che prezzi più bassi potessero accelerare la diffusione delle tecnologie digitali nell'economia e nella Società. Ma la competizione in un mercato europeo costituito da 27-28 realtà nazionali è diventata rapidamente una iper-competizione distruttiva e la caduta dei prezzi ha sottratto gradualmente risorse agli investimenti ed all'innovazione, mettendo a rischio la tenuta dei modelli di business. Questo è un fatto che emerge con chiarezza guardando ai conti dei maggiori operatori europei, da cui risulta evidente che una gran parte, se non la maggioranza, dei ricavi e del valore proviene dai mercati "non domestici" extra-europei.

Anche l'Italia non fa eccezione ed anzi rappresenta un caso ancora più paradigmatico. Nel mercato mobile, la concorrenza tra cinque operatori ha spinto i prezzi più in basso che altrove, mentre nel fisso la fibra non gode di un premium price rispetto alle altre tipologie di connessione, come invece avviene negli altri mercati europei. Questo porta un beneficio immediato ai consumatori nel breve termine, ma fa soffrire l'intero comparto se, come indicato dall'AGCOM, il prezzo delle comunicazioni elettroniche ha segnato un -11,4% in Italia negli ultimi 5 anni rispetto ad un -1,1% in Europa che diventano rispettivamente -28,5% e -10,1% in un arco temporale di 10 anni. Un gap strutturale e crescente nel tempo che si riflette sui ricavi - come già evidenziato all'inizio di questo documento- : 14 miliardi di euro persi in Italia in 11 anni (un terzo dei ricavi del 2011), una caduta rovinosa confrontata ai 9 miliardi della Spagna, agli 8 della Francia, ai circa 4 della Germania.

I fatti dovrebbero spingerci ad interrogarci sul modo in cui le scelte politiche e regolamentari possano incidere profondamente sulla soste-

nibilità di un settore chiamato a supportare lo sviluppo del Paese attraverso ingenti investimenti. In Europa ed in Italia si è preferito seguire un modello che porta benefici immediati (i prezzi bassi per i consumatori finali) valutando meno l'impatto sul medio periodo (le risorse da liberare per gli investimenti). A livello di scelte di policy e regolamentari, riguardo al settore delle telecomunicazioni italiano, è stata in altri termini preferita quella che gli economisti chiamerebbero efficienza statica a spese di quella dinamica oppure, per dirla seguendo la saggezza popolare, più intuitiva ed immediata, l'uovo oggi invece della gallina domani.

Così mentre in alcune aree del mondo le frequenze 5G sono state date in uso a basso costo a fronte dell'impegno degli operatori per una copertura rapida della rete, in Europa le aste hanno scatenato una guerra tra i tanti (troppi) operatori presenti nel mercato, con un rialzo eccessivo dei prezzi. Ovviamente, in Italia, dove c'è una competizione ancora più forte, il costo della banda pregiata delle onde millimetriche a 3.6 GHz - frequenze fondamentali per alcuni servizi 5G - è stato tra il doppio o il triplo di quanto pagato dagli operatori in Francia, Germania e Regno Unito. E costi ancora più alti dovranno essere sostenuti dal mercato italiano per realizzare una copertura di rete al pari delle altre nazioni europee, visto che i limiti di emissione più stringenti adottati in Italia hanno come unica conseguenza quella di imporre agli operatori di utilizzare un maggior numero di antenne per garantire il servizio. Eppure, come abbiamo avuto modo di approfondire sopra, il 5G è un salto tecnologico importante soprattutto per il mondo delle imprese, perché è una tecnologia che abilita nuove soluzioni e permette quindi di sperimentare nuovi prodotti e servizi che possono aumentare la capacità competitiva e di mercato delle nostre filiere anche a livello internazionale.

In questo scenario, gli operatori di telecomunicazione hanno continuato a mantenere il presidio del processo d'innovazione e d'investimento, ad esplorare e sperimentare tra i primi le potenzialità portate dalle novità tecnologiche, a costruire ed aggiornare costantemente l'infrastruttura tecnologica per abilitare la Digitalizzazione del nostro Paese e dar modo alle persone e alle imprese, grandi e piccole, di usufruire degli sviluppi che trasformeranno lavoro e modo di produrre, città e territorio, servizi pubblici e sanità, trasporto e abitazioni.

Oggi è il momento di guardare avanti e attraverso scelte coraggiose, innovative e dirompenti liberare quell'energia necessaria a sostenere questo processo, con la consapevolezza che un settore delle telecomunicazioni forte, robusto e sostenibile, supportato da policy che guardano al futuro più che al passato rappresenta una garanzia di presidio dell'innovazione per le nazioni europee, impegnate a confrontarsi con Stati Uniti e Paesi asiatici nello sviluppo delle Tecnologie di Frontiera.

PARTE III

CONCLUSIONI
E PROPOSTE DI POLICY

Conclusioni

Questo Rapporto ha evidenziato come nei prossimi 20 anni, assisteremo allo sviluppo convergente di diverse nuove tecnologie che rivoluzioneranno profondamente l'economia e la società. Questa straordinaria accelerazione è il risultato di una combinazione di fattori, tra cui l'interconnessione globale, il potenziamento endogeno dell'attività innovativa e la crescente domanda di soluzioni tecnologiche per affrontare le sfide del nostro tempo.

Il quadro che emerge dall'analisi suggerisce che siamo di fronte allo sviluppo concomitante di un vero e proprio Sistema articolato di nuove tecnologie legate allo sviluppo digitale che, messe insieme, possiedono un potenziale trasformativo di straordinaria importanza. Per questo, il ruolo, anche geostrategico, che i diversi paesi saranno in grado di ricoprire in futuro nel contesto internazionale sarà strettamente legato alla capacità di generare, avere accesso e utilizzare le tecnologie 'di frontiera' che sono state qui descritte e analizzate.

L'analisi effettuata mostra come la leadership tecnologica degli Stati Uniti nei settori chiave delle Tecnologie Quantistiche e dell'Intelligenza Artificiale sia ancora ben salda, e che i progressi realizzati dalla Cina nell'ultimo decennio sono particolarmente significativi.
Ciò si traduce nella necessità di accelerare ulteriormente sul fronte delle politiche industriali e dell'innovazione, sfruttando il potenziale di competenze e tecnologie di cui la UE dispone. In uno scenario internazionale dominato dalla competizione tecnologica tra Stati Uniti e Cina, l'Unione Europea sta invece perdendo terreno. Una tendenza che, se non invertita con urgenza, rischia di compromettere in maniera difficilmente reversibile la competitività del sistema europeo della ricerca e dell'innovazione nei confronti dei sistemi più dinamici. Ciò si traduce nella chiara necessità di accelerare ulteriormente sul fronte delle politiche industriali e dell'innovazione, sfruttando il potenziale di competenze e tecnologie di cui la UE dispone.

In questo quadro, le evidenze riportate nel Rapporto suggeriscono che l'Italia, pur trovandosi in una posizione di debolezza come sistema nel suo complesso, mostra di possedere le potenzialità per accrescere la propria competitività tecnologica se sarà capace di fare leva sulla presenza sul territorio nazionale di grandi eccellenze sia nella generazione sia nell'utilizzo delle Tecnologie di Frontiera.

Nel dettaglio, nella prima parte del Rapporto è stato identificato un set di Tecnologie di Frontiera ritenute tra le più rilevanti. Su due di queste, Tecnologie Quantistiche e Intelligenza Artificiale, è stata realizzata un'analisi dettagliata concentrando l'attenzione su due dimensioni chiave: la conoscenza scientifica, contenuta nelle pubblicazioni più rilevanti a livello internazionale, e le innovazioni tecnologiche che hanno dato luogo a brevetti. Utilizzando una pluralità di indicatori, è stato mappato il posizionamento delle principali economie mondiali fornendo evidenza circa il mutamento delle gerarchie internazionali.

L'analisi mostra chiaramente come per stabilire chi stia effettivamente guidando la corsa alla leadership nelle Tecnologie di Frontiera e, in particolare, chi stia producendo scoperte scientifiche e innovazioni tecnologiche in grado di generare un reale impatto trasformativo sull'economia e la società non sia sufficiente considerare semplicemente il numero di pubblicazioni o di brevetti ma occorre cercare di tenere conto della diversa qualità degli stessi.

Nell'ultimo decennio (2013-2022) se ci si limita ad analizzare il numero complessivo di pubblicazioni scientifiche presenti nel database Web of Science nel campo delle "tecnologie quantistiche", la Cina occupa la prima posizione con il 27% delle pubblicazioni aventi almeno un autore appartenente a un'organizzazione cinese. Seguono gli Stati Uniti con il 23,1%, mentre tra i paesi dell'Unione Europea il primo posto spetta alla Germania (con il 10,4%), segue la Francia (con il 5,3%) e l'Italia (con il 5%).

Ma attenzione, quando si restringe l'analisi alle pubblicazioni con il maggiore impatto scientifico le gerarchie cambiano notevolmente.
Con riferimento alle pubblicazioni "Top 1%" per citazioni ricevute, gli Stati Uniti con il 47,3% superano la Cina (27,6%) al primo posto della classifica, con un margine molto significativo.

La Germania, con il 17% degli articoli scientifici più citati aventi almeno un autore con affiliazione presso un'organizzazione tedesca stacca nettamente le altre economie UE, tra cui Francia (7,4%), Spagna (5,7%) e Italia (5,5%) che passa al quarto posto. Di rilievo, infine, la performance dell'Inghilterra (12,1%) e del Canada (7,7%).

Al restringersi del campione di pubblicazioni preso in considerazione, il dominio in campo scientifico degli Stati Uniti, inoltre, sembra diventare ancora più netto. Con 63 pubblicazioni con almeno un autore con affiliation statunitense, gli USA superano di molto Cina e Germania, entrambe con 22 pubblicazioni tra le Top 100.

Guardando alla dinamica nel tempo per quanto riguarda i lavori scientifici rientranti nel Top 1% per citazioni, nell'ultimo triennio (2020-2022) il 43,6% di questi hanno almeno un autore con affiliazione a una organizzazione statunitense (erano il 48,4% nel triennio 2013-2015), mentre la Cina passa dal 21,3% al 36,2%.

Tra i paesi europei scende tra i due intervalli considerati la quota tedesca e francese mentre è in crescita quella italiana che passa dal 4,5% al 5,6%, a segnalare un miglioramento nella capacità del sistema scientifico italiano nel produrre ricerca di qualità nel campo delle QT.

Anche nel campo dell'Intelligenza Artificiale, se si guarda semplicemente al numero di pubblicazioni scientifiche presenti su Web of Science nel periodo considerato la Cina (con il 20,8%) si colloca al primo posto testimoniando, nuovamente, lo sforzo senza precedenti che questo paese ha messo in campo per recuperare il gap di produzione scientifica nei confronti delle economie occidentali e, in particolare, degli USA.

Tuttavia, il passaggio a un indicatore più stringente – Top 1% delle pubblicazioni relative alla AI per numero di citazioni – determina cambiamenti significativi nell'ordinamento. Gli Stati Uniti con il 40,2% superano, nuovamente, la Cina (con il 31,5%) che segue al secondo posto, confermando la leadership statunitense nella ricerca scientifica quando si tiene conto della qualità in termini di impatto citazionale dei prodotti scientifici. Il terzo, il quarto e il quinto posto sono occupati, rispettivamente, da Inghilterra (con il 13,8%), Germania (con l'8,9%) e Australia (con il 6,8%). Per quanto riguarda l'ordinamento interno ai paesi europei, dietro la Germania ci sono Francia (3,9%), Paesi Bassi (3,8%), Spagna (3,7%) e Italia (3,6%).

Inoltre, considerando una fonte di dati specifica prodotta dalla società Zeta Alpha più capace di tener conto dell'influenza sempre più rilevante della ricerca dell'industria privata in questo settore, il distacco degli USA con gli altri paesi aumenta significativamente. Le elaborazioni effettuate per il periodo 2020-2022 su questi dati fanno emergere un quadro più nitido degli attuali assetti internazionali della ricerca scientifica nel campo dell'AI.

Nel dettaglio, considerando la media annuale riferita al periodo 2020-2022 degli output scientifici nel campo dell'AI rientranti nel "Top 100" per citazioni ricevute gli Stati Uniti con il 73,6% delle pubblicazioni rimangono ampiamente la nazione leader, seguiti a distanza dalla Cina con il 25,7%. Buona la performance del Regno Unito con una quota del 12% nel periodo considerato. Tra i paesi UE, secondo questa fonte, la Germania detiene una quota pari al 5,3%, la Francia il 4%, mentre l'Italia si ferma all' 1,3%.

Il dato di fonte Zeta Alpha penalizza praticamente tutti gli altri paesi, compresa la Cina, evidenziando come, in questo campo, la complementarità tra ricerca pubblica e privata sia un tratto specifico e di particolare rilievo negli USA.

Questo risultato è coerente con quanto evidenziato nel Rapporto "Crescere Insieme" del Centro Economia Digitale (2022)[1] sulla capacità degli Stati Uniti di estrarre il massimo valore in termini di impatto economico dagli investimenti sia pubblici che privati in ricerca e innovazione.

I risultati di questa ricerca avevano infatti evidenziato come in risposta a un incremento di spesa totale in R&S, il moltiplicatore medio negli Stati Uniti risulti essere pari a 9,6; ovvero per ogni Dollaro aggiuntivo speso in R&S il PIL aumenta di 9,6 Dollari. Nei paesi europei dell'area Euro il moltiplicatore è invece pari a 5,29 e, nel dettaglio, risulta essere pari a 4,29 nel caso dell'Italia, 4,89 nel caso della Francia e 6,08 in Germania.

Tabella 1. Moltiplicatori medi R&S totale sul PIL

	Impatto medio
USA	9,60
Paesi UE-Euro	5,29
ITALIA	4,29
GERMANIA	6,08
FRANCIA	4,89

Fonte: Elaborazioni Centro Economia Digitale

Inoltre, analizzando la ripartizione tra spesa pubblica e privata in R&S l'analisi aveva evidenziato come il modello statunitense fosse quello più capace di attivare un circolo virtuoso tra investimenti pubblici e privati. Negli Stati Uniti il moltiplicatore della Ricerca e Sviluppo pubblica è pari a 10,88 mentre è 6,18 in Europa. Parallelamente, il valore del moltiplicatore medio degli investimenti privati in R&S è infatti pari a 9,09 negli Stati Uniti, mentre è 3,81 nei paesi europei dell'area Euro.

1 Centro Economia Digitale (2022), Crescere Insieme, Analisi e proposte per un percorso di crescita economica forte, duratura, sostenibile e diffusa, Roma.

Tabella 2. Moltiplicatori medi R&S pubblica e R&S privata sul PIL

	Impatto medio
R&S Pubblica	
USA	10,88
Paesi UE-Euro	6,18
R&S Privata	
USA	9,09
Paesi UE-Euro	3,81

Fonte: Elaborazioni Centro Economia Digitale

La forza del sistema statunitense si conferma nell'analisi brevettuale effettuata sulle Tecnologie Quantistiche e l'Intelligenza Artificiale.

Per quanto riguarda la produzione di brevetti triadici (ovvero quelli per cui è stata richiesta protezione in almeno tre dei 4 principali uffici brevettuali a livello globale) nelle QT, gli Stati Uniti nel periodo 2010-2020 detengono una posizione di leadership, con una quota mondiale di brevetti pari al 30%. Segue il Giappone (28,3%), l'Unione Europea (20,2%) e la Cina (15,9%).

La Cina è seguita dalla Corea e dalla Germania entrambe con il 7,2% dei brevetti. Francia (5,2%), Regno Unito (4,8%), Paesi Bassi (3,5%) mantengono posizioni avanzate, nonostante il divario con i leader del ranking sia rilevante. L'Italia registra una quota di brevetti modesta pari al 1,8%, poco più di un terzo di quella di un paese di analoghe dimensioni, la Francia, e poco più della metà dei Paesi Bassi, paese significativamente più piccolo dell'Italia.

Restringendo poi l'analisi ai brevetti con maggiore impatto, ad esempio guardando quelli appartenenti al "Top 10%" in termini di citazioni ricevute, si vede come cresca in maniera rilevante la quota degli Stati Uniti (45,7%). Si conferma la seconda posizione del Giappone con il 23,3%, seguito dall'aggregato Europeo a 27 paesi (18,4%) e dalla Cina, con una quota pari al 14,1%. Tra i paesi europei Germania, Paesi Bassi e Francia (con quote rispettivamente pari al 6%, 4,1% e 3,9%) ricoprono le prime tre posizioni, segue l'Italia con una quota pari al 2%.

Al contrario degli Stati Uniti e anche del Regno Unito (6%), al restringersi dei criteri di selezione dei brevetti in termini qualitativi diminuisce la quota misurata sia per la Cina sia per l'Unione Europea e il Giappone. Il ruolo di superpotenza degli Stati Uniti nel campo delle QT si conferma, infine, guardando ai primi 100 brevetti in termini di citazioni. Di questi 70 hanno almeno un inventore residente negli Stati Uniti.

Confrontando i dati sui brevetti nelle QT con quelli relativi alla produzione brevettuale complessiva, ovvero relativa a tutte le classi tecnologiche, emerge come la Cina abbia sviluppato nel tempo una forte specializzazione tecnologica nel settore delle QT, essendo la quota cinese in questo settore decisamente superiore a quella media su tutte le tecnologie. Al contrario l'Unione Europea risulta nel complesso despecializzata nel campo delle tecnologie quantistiche. Questo risultato indica come la Cina stia strategicamente direzionando in maniera rilevante i propri sforzi innovativi verso il settore delle tecnologie quantistiche, mentre l'Unione Europea non sembra perseguire un simile obiettivo.

Proposte di Policy

Allargare la scala a cui operano le filiere strategiche a livello italiano ed europeo

La dimensione delle aziende europee nei settori ad alta tecnologia non è spesso paragonabile a quella dei giganti tecnologici statunitensi o cinesi. Tuttavia, è possibile sfruttare i vantaggi derivanti dalle economie di scala favorendo la crescita della dimensione del sistema nel suo complesso, anche attraverso un quadro regolamentare a sostegno del consolidamento nei settori più strategici. Per questo lo sviluppo delle catene del valore strategiche deve rappresentare un obiettivo chiave della politica industriale dell'Unione Europea.

In questa prospettiva, occorre rafforzare tutti gli strumenti volti a supportare le catene del valore strategiche come, ad esempio, i Competence Center, i Poli Europei dell'Innovazione Digitale (EDIH), gli IPCEI (Important Projects of Common European Interest), le Alleanze europee, i progetti finanziati dalla Banca Europea degli Investimenti. Inoltre, si sottolinea l'importanza di affrontare le problematiche connesse all'approvvigionamento di materie prime critiche per lo sviluppo delle filiere strategiche e delle tecnologie di frontiera. Una questione che, oltre a rappresentare un rischio reale per il futuro degli investimenti in settori e tecnologie strategiche, costituisce, al contempo, anche un'inedita opportunità per gli attori che saranno capaci di innovare processi e prodotti, adottando principi di sostenibilità e rafforzando i livelli di circolarità nei processi di produzione e il riciclo dei materiali.

D'altra parte, il contesto straordinario in cui stiamo vivendo in termini di velocità, dimensione e impatti economici e geostrategici delle trasformazioni tecnologiche in atto impone l'adozione di un approccio di policy più ambizioso da parte dell'UE. Molte delle sfide che stiamo affrontando sono sovranazionali ma l'Unione Europea non dispone di una strategia federale e le politiche nazionali non possono farsene carico perché le regole fiscali e quelle sugli aiuti di Stato, oltre alla disomogeneità degli spazi fiscali a disposizione dei singoli paesi, limitano la capacità e l'efficacia di interventi nazionali. Questo implica primariamente la necessità di superare le resistenze circa l'istituzione di un Fondo di Sovranità europeo, ma anche di adottare un approccio alle regole di finanza pubblica che consenta di escludere dai vincoli della politica di bilancio europea le spese nazionali effettuate per investimenti innovativi di interesse europeo.

Come evidenziato in questo Rapporto, nel nostro Paese operano in settori altamente strategici, come energia, reti di comunicazione e trasporti, sicurezza e aerospazio, aziende in grado di svolgere un ruolo propulsivo per tutto il sistema economico. In questa prospettiva, la valorizzazione delle iniziative promosse e descritte dalle aziende socie del Centro Economia Digitale appare di straordinaria importanza, specie nell'ottica di massimizzare le sinergie di sistema che potranno essere realizzate, e di favorire la loro replicabilità e scalabilità sul territorio nazionale.

Questo dovrebbe avvenire in un contesto normativo-regolatorio caratterizzato da un adeguato livello di certezza, fattore cruciale per il consolidamento del quadro economico di riferimento. La presenza di un quadro normativo stabile e con un orizzonte temporale pluriennale, insieme alla semplificazione burocratico-amministrativa rappresentano, infatti, elementi fondamentali per il rafforzamento della competitività del sistema produttivo italiano, e per favorire la convergenza di investimenti pubblici e privati, anche a supporto della ricerca e innovazione e quindi dello sviluppo delle tecnologie di frontiera.

Potenziare le politiche industriali di filiera

La questione della limitata dimensione media delle imprese italiane può rappresentare un fattore di freno per una più diffusa penetrazione delle tecnologie di frontiera a livello di tutto il sistema produttivo. Rispetto a questo, come documentato nel Rapporto, la presenza di grandi imprese in una rete di innovazione può migliorare le prestazioni dell'intera rete.

In particolare, le grandi imprese possono svolgere il ruolo di "organizzazione hub" e garantire la creazione congiunta ed estrazione di valore nella rete di innovazione, sfruttando al meglio il potenziale delle tecnologie di frontiera. Grandi aziende leader possono efficacemente mettere insieme medie e piccole imprese per raggiungere l'integrazione di conoscenze innovative, tecnologia, capitale e altre risorse, promuovendo così la trasformazione in valore economico dei risultati scientifici e tecnologici di tutto il sistema.

La realizzazione di partnership strutturate con aziende più grandi può quindi fornire diversi importanti vantaggi alle imprese di minori dimensioni. Attraverso l'attivazione di tali collaborazioni, le piccole imprese e le start-up possono ottenere l'accesso a quelle risorse che altrimenti non sarebbero disponibili, aumentare le opportunità di instaurare relazioni con enti e organizzazioni di ricerca e, soprattutto, essere attivamente incluse nelle catene del valore strategiche a livello europeo, con evidenti ricadute in termini di competitività e crescita per tutta l'economia del Paese.

Per aumentare l'impatto economico delle attività innovative, specie nelle tecnologie di frontiera, si ritiene quindi prioritario indirizzare gli sforzi di politica industriale verso lo sviluppo di un ecosistema industriale più integrato e competitivo, costituito da vari attori di diversa dimensione che investano in maniera coerente tra loro, avendo una visione e obiettivi comuni.
Su questo sarà utile integrare il modello esistente di incentivazione pubblica al tessuto produttivo, strutturato prevalentemente secondo la logica di contributi agli investimenti delle singole aziende, con un modello di filiera in cui la transizione delle PMI è trainata, in un'ottica di accompagnamento e supporto, da grandi aziende leader. In questa prospettiva si propone di consolidare il modello attuale di supporto pubblico prevedendo una maggiorazione degli incentivi per le attività connesse all'integrazione della filiera.

Inoltre, si sottolinea in questo ambito il potenziale delle cosiddette "politiche di cluster" che possono contribuire a favorire la collaborazione tra grandi imprese, start-up, PMI e istituti di ricerca per creare cluster di innovazione. Queste politiche includono strumenti standard come incentivi fiscali, sovvenzioni per la ricerca e lo sviluppo, ma anche strumenti di condivisione del rischio, trasferimento di conoscenze dalla ricerca pubblica e accordi di governance per coordinare gli attori pubblici e privati. Come ricordato nel Rapporto, esempi di tale approccio di policy sono diffusi nei paesi industrializzati, tra cui Stati Uniti (Manufacturing USA), Canada (Innovation Superclusters Initiative), e molti paesi europei incluso il nostro (le iniziative go-Cluster, Spitzencluster e Zukunftcluster in Germania; Pôles de compétitivité in Francia; i Cluster Tecnologici Nazionali in Italia).

Il potenziamento di questo tipo di strumenti si ritiene possa allargare sia il perimetro sia l'efficacia delle azioni di politica industriale, specie se si andasse nella direzione di concentrare le risorse verso lo sviluppo di tecnologie di frontiera e di sviluppare delle relazioni strutturate, anche dal punto di vista gerarchico, in cui le organizzazioni leader nel campo dell'innovazione e della produzione per il mercato possano svolgere un ruolo di traino per l'intera filiera produttiva.

Rafforzare il sistema della ricerca italiano ed europeo

L'esperienza dell'attuazione del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) sta mostrando come non sia sufficiente identificare aree generali come la transizione digitale e quella ecologica per prevenire la frammentazione degli interventi a sostegno delle attività di ricerca.

Sarà quindi opportuno fare tesoro di questa esperienza per aumentare la capacità di indirizzare i finanziamenti verso quelle aree e progetti di ricerca in grado di garantire i maggiori ritorni in termini di capacità di sviluppare significativi avanzamenti nell'ambito delle tecnologie di frontiera. Specie in questo settore è, tuttavia, necessario definire una strategia in grado di rendere strutturali i finanziamenti aggiuntivi resi disponibili in questi anni dal PNRR.
Oltre al tema delle risorse si sottolinea come sia di fondamentale importanza che i programmi di finanziamento pubblico dedicati alla ricerca e all'innovazione, a livello nazionale e soprattutto europeo, siano in grado di trasformare le scoperte scientifiche in applicazioni industriali ad alto impatto economico.

Questo non implica che la ricerca applicata debba avere priorità rispetto a quella di base; piuttosto, è necessario attuare una convergenza strategica per evitare la dispersione delle risorse, concentrando gli investimenti su progetti di ampie dimensioni, ad esempio sul modello dei flagship project dell'Unione Europea, in grado di generare significativi benefici diffusi nell'intera catena produttiva.

È inoltre utile sottolineare come i programmi di ricerca finanziati con fondi pubblici dovrebbero garantire la giusta combinazione di partner e strutture per affrontare le sfide legate alla scalabilità e all'interdisciplinarietà. Gli investimenti nei centri di ricerca applicata e nelle strutture di produzione pilota sono essenziali per trasformare le innovazioni dal laboratorio alla produzione. Altrettanto necessarie sono le strutture dimostrative, come i banchi di prova, le linee pilota e i *factory demonstrators*, che forniscono ambienti di ricerca dedicati con la giusta combinazione di tecnologie abilitanti e tecnici operativi specializzati. Infine, alcune sfide nelle attività di R&S possono richiedere non solo l'esperienza degli ingegneri di produzione e dei ricercatori industriali, ma anche dei progettisti, dei fornitori di attrezzature, dei tecnici di reparto produttivo e degli utenti.

Assicurare la disponibilità di finanziamenti adeguati

È necessario garantire la disponibilità dei fondi necessari per incentivare gli investimenti nelle tecnologie di frontiera e lo sviluppo di iniziative imprenditoriali su di esse basate. Oltre all'erogazione di fondi pubblici dedicati sarà sempre più importante fare leva sulle attività di Venture Capital sia a livello pubblico, tramite le istituzioni preposte, sia a livello privato.

L'incremento della disponibilità di fondi Venture Capital privati potrà essere realizzato attraverso incentivi fiscali per gli investitori venture capital, la creazione di fondi di co-investimento pubblico-privato, lo sviluppo di un ambiente regolatorio favorevole o sostenendo programmi di accelerazione e incubazione.

Rispetto a questo occorre ricordare che nell'attuale contesto di competizione internazionale sulle tecnologie di frontiera due aspetti saranno cruciali: la dimensione degli interventi per incrementare i flussi di capitale di rischio disponibili a livello paese; lo sviluppo di una cultura capace di valorizzare i processi di *learning by failure* e la capacità delle dinamiche di mercato di selezionare e promuovere le iniziative imprenditoriali di successo.

Aumentare la disponibilità di competenze per lo sviluppo e l'utilizzo diffuso delle tecnologie di frontiera

Per posizionare il Paese su un sentiero di crescita, basato sullo sviluppo e l'utilizzo delle tecnologie di frontiera e la capacità di essere competitivi nei settori emergenti e a maggiore potenziale, si rende necessario disporre di un elevato livello di competenze specifiche. Il potenziamento del sistema della formazione a tutti i livelli, dalla scuola all'università e al mondo del lavoro, costituisce una base di partenza a cui affiancare un'offerta ampia di programmi specifici e di alto livello focalizzati sui domini di conoscenza emergenti.

È altresì prioritario aumentare l'efficienza complessiva del sistema, evitando la dispersione dei talenti formati o potenziali. Secondo i dati ISTAT, tra il 2012 e il 2021 sono espatriati circa 337mila giovani fra i 25 e i 34 anni, di cui oltre 120mila laureati. Aumentare la Sovranità Tecnologica dell'Italia significa anche avere la capacità di fornire opportunità adeguate ai nostri giovani affinché questi possano contribuire a rafforzare le capacità tecnologiche del proprio Paese.

Su questo sarà importante ampliare gli strumenti per sostenere le imprese nelle fasi di inserimento e formazione dei nuovi occupati che, specie nei settori ad alta tecnologia e per le mansioni più complesse, possono durare anche più anni. In parallelo, occorre compiere ogni sforzo per coltivare tutti i talenti disponibili, motivandoli e riducendo le diseguaglianze tra i cittadini e tra i territori nelle opportunità di accesso a programmi di istruzione e formazione di alto livello.

Sviluppare un sistema di governance delle tecnologie di frontiera

Nel contesto delle tecnologie emergenti gli aspetti di governance assumono particolare rilievo a causa dell'alta incertezza in termini di sviluppo e implementazione, della molteplicità di percorsi di sviluppo possibili, dei molti attori coinvolti e degli elevati interessi sociali associati agli impatti di queste tecnologie.

Il sistema di governance delle tecnologie di frontiera deve in primo luogo dotarsi di una capacità anticipatoria in modo da poter sfruttare i vantaggi delle nuove tecnologie ma anche ridurre o mitigare i rischi potenziali. Questo richiede la necessità di raccogliere ed elaborare informazioni utili per sviluppare strategie e politiche che incoraggino l'uso positivo della tecnologia e per evitare o ridurre le eventuali conseguenze negative associate allo sviluppo e all'uso delle nuove tecnologie.

Si tratta evidentemente di un problema globale per cui è necessario lo sviluppo di un'intelligenza strategica globale, attraverso un'azione collettiva a livello internazionale. In questo ambito l'Unione Europea può avere la capacità di contribuire in maniera decisiva alla definizione di regole facendo pesare la propria leadership in campo regolatorio. Tuttavia, la premessa perché si realizzi un tale processo è necessariamente legata alla costruzione di una vera visione comune tra gli Stati Membri su come le tecnologie stanno evolvendo, sui benefici e rischi a esse associati in modo da realizzare una spinta intergovernativa per sviluppare e armonizzare le strategie nazionali a partire da quella sull'intelligenza artificiale.

Su questa tecnologia, in particolare, si segnala la necessità di raggiungere un accordo quantomeno sulla regolamentazione delle applicazioni di intelligenza artificiale; di stabilire standard minimi a livello globale per evitare una corsa al ribasso nella protezione dei diritti fondamentali coinvolti; di adottare meccanismi proattivi e tempestivi per affrontare le violazioni dei diritti che possono derivare da utilizzi impropri dell'intelligenza artificiale.

A livello italiano ed europeo, la governance delle tecnologie di frontiera dovrà inoltre necessariamente riguardare lo sviluppo di un'articolata attività di intelligence strategica finalizzata ad acquisire una migliore comprensione dei propri vantaggi tecnologici e degli eventuali gap esistenti sulle tecnologie di frontiera tra Italia, l'UE, gli USA, la Cina e le altre potenze.
Tale attività potrà basarsi sull'analisi svolta da altri organismi in Italia e in Europa, come l'Osservatorio delle tecnologie critiche e l'analisi delle dipendenze strategiche, e dovrebbe avvalersi del contributo delle principali aziende che operano sul mercato. Anche in considerazione dell'approccio adottato nei Rapporti realizzati dal Centro Economia Digitale, la collaborazione tra pubblico e privato nelle analisi di risk assesment e sviluppo di policy specifiche a livello di Sistema Paese può rappresentare un elemento cruciale per raggiungere obiettivi rilevanti sia in termini di competitività tecnologica ed economica, sia in termini di sicurezza.

Infine, nell'ambito dello sviluppo di un sistema di governance delle tecnologie di frontiera, l'Unione Europea dovrà potenziare e ulteriormente armonizzare la sua politica di controllo delle esportazioni, integrando i controlli delle esportazioni in un più ampio insieme di strumenti di sicurezza, come, ad esempio, la verifica degli investimenti, delle attività di cooperazione nella ricerca e trasferimento tecnologico, delle questioni legate alla cybersecurity.

Su questo sarà necessario promuovere un maggiore coordinamento tra i settori pubblico e privato e tra le agenzie nazionali. In tale prospettiva l'UE può svolgere un ruolo propulsivo anche spingendo gli Stati membri a sviluppare uffici nazionali di intelligence economica, incaricati di: prevenire la perdita di tecnologie rilevanti per la sicurezza e appropriazioni illegali di tecnologie; monitorare i rischi; scambiare informazioni sui rischi tecnologici strategici con il settore privato e della ricerca. Questo potrebbe favorire lo sviluppo di legami regolatori e procedurali più solidi tra i controlli nazionali sulle esportazioni, lo screening degli investimenti, la sicurezza della ricerca e gli strumenti di sicurezza informatica.

APPENDICE

NOTA METODOLOGICA

Identificazione Quantum Technologies: il primo set di identificazione fa riferimento al seguente codice CPC:

CPC	Descrizione
G06N 10/00	*Quantum computing*, i.e. information processing based on quantum-mechanical phenomena

Il secondo set è basato sui seguenti codici CPC:

CPC	Descrizione
H04B 10/00	Transmission systems employing electromagnetic waves other than radio-waves, e.g. infrared, visible or ultraviolet light, or employing corpuscular radiation, e.g. *quantum communication*
B82Y 10/00	Nanotechnology for information processing, storage or transmission, e.g. *quantum computing* or single electron logic
B82Y 20/00	Nanooptics, e.g. *quantum optics* or photonic crystals
H04L 9/085, H04L 9/0852, H04L 9/0855, H04L 9/0858	Arrangements for secret or secure communications: *Quantum cryptography*
H01L 33/04	Semiconductor devices with at least one potential-jump barrier or surface barrier specially adapted for light emission... with a *quantum effect structure* or superlattice
H01L 33/06	Semiconductor devices with at least one potential-jump barrier or surface barrier specially adapted for light emission... within the light emitting region, e.g. *quantum confinement structure*
H10K 50/115	Organic light-emitting devices... comprising active inorganic nanostructures, e.g. luminescent *quantum dots*

Classificazione dei brevetti IA WIPO (2019). Il primo set è basato sulla classificazione dei seguenti codici CPC:

- CPC: A61B5/7264, A61B5/7267, A63F13/67, B23K31/006, B25J9/161, B29C2945/76979, B29C66/965, B60G2600/1876, B60G2600/1878, B60G2600/1879, B60W30/06, B60W30/10, B60W30/14, B62D15/0285, B64G2001/247, E21B2041/0028, F02D41/1405, F03D7/046, F05B2270/707, F05B2270/709, F05D2270/709, F16H2061/0081, F16H2061/0084, G01N2201/1296, G01N29/4481, G01N33/0034, G01R31/2846, G01R31/3651, G01S7/417, G05B13/027, G05B13/0275, G05B13/028, G05B13/0285, G05B13/029, G05B13/0295, G05B2219/33002, G05D1/00, G05D1/0088, G06F11/1476, G06F11/2257, G06F11/2263, G06F15/18, G06F17/16, G06F17/2282, G06F17/27, G06F17/28, G06F17/30029, G06F17/30247, G06F17/30401, G06F17/3043, G06F17/30522, G06F17/30654, G06F17/30663, G06F17/30666, G06F17/30669, G06F17/30672, G06F17/30684, G06F17/30687, G06F17/3069, G06F17/30702, G06F17/30705, G06F17/30731, G06F17/30743, G06F17/30784, G06F19/24, G06F19/707, G06F2207/4824, G06K7/1482, G06K9/00, G06N3/00, G06N3/004, G06N5/003, G06N7/005, G06N7/046, G06N99/005, G06T2207/20081, G06T2207/20084, G06T2207/20084, G06T2207/30236, G06T2207/30248, G06T3/4046, G06T9/002, G08B29/186, G10H2250/151, G10H2250/311, G10K2210/3024, G10K2210/3038, G10L15/00, G10L17/00, G10L25/30, G11B20/10518, H01J2237/30427, H01M8/04992, H02H1/0092, H02P21/0014, H02P23/0018, H03H2017/0208, H03H2222/04, H04L2012/5686, H04L2025/03464, H04L2025/03554, H04L25/0254, H04L25/03165, H04L41/16, H04L45/08, H04N21/4662, H04N21/4666, H04Q2213/054, H04Q2213/13343, H04Q2213/343, H04R25/507, Y10S128/924, Y10S128/925, Y10S706/00

Il secondo set si basa sulla combinazione di keyphrases armonizzate e codici CPC elencati di seguito:

- CPC: G10L13/00, G10L25/00, G10L99/00, G06F17/14, G06F17/153, G10H2250/005, G06F17/30, G06F17/50, G06Q, G06Q30/02, G06T7/00, G06T1/20

- Harmonized keyphrases: artific intelligen, computation intelligen, neural network, neuralnetwork, bayes network, bayesiannetwork, chatbot, data mining, decision model, deep learning, deeplearning, genetic algorithm, inductive logic programm, machine learning, machinelearning, natural language generation, natural language processing, reinforcement learning, supervised learning, supervised training, supervisedlearning, swarm intelligen, swarmintelligen, unsupervised learning, unsupervised training, unsupervisedlearning, semi-supervised learning, semi-supervised training, semisupervised learning, semisupervised training, semi supervisedlearning, semisupervisedlearning, connectionis, expert system, transfer learning, transferlearning, learning algorithm, learning model, support vector machine, random forest, decision tree, gradient tree boosting, xgboost, adaboost, rankboost, logistic regression, stochastic gradient descent, multilayer perceptron, latent semantic analysis, latent dirichlet allocation, multi-agent system, hidden markov model, clustering, combinatorial explosion, comput creativity, deep blue, descriptive model, inductive reasoning, overfitting, predictive analytics, predictive model, target function, test data set, training data set, validation data set, backpropagation, self learning, selflearning, objective function, feature selection, embedding, active learning, regression model, stochastic approach, stochastic technique, stochastic method, stochastic algorithm, probabilist technique, probabilist approach, probabilist method, probabilist algorithm, recommend systemrobot, autonomous system, medical imag, healthcare, virtual assist, personali medic, precision medic, genomic screening, drug discover, medical diagnos, drug creation, medi-

cation manag, autonomous vehicle, transportation, driverless, smart car, smart cars, smart city, smart grid, automotive, agriculture, irrigation system, fintech, banking, finance, economics, text analysis, speech analysis, hand writing analysis, handwriting analysis, facial analysis, face, text analytic, speech analytic, hand writing analytic, handwriting analytic, facial analytic, face analytic, text recognition, speech recognition, hand writing recognition, handwriting recognition, facial recognition, face recognition, cybersecurity, predictive analysis, predictive analytic, predictive purchas, marketing analytic, video game

CENTRO
ECONOMIA
DIGITALE

centroeconomiadigitale.com