

RICERCA E INNOVAZIONE ICT IN ITALIA



*2^A EDIZIONE
GENNAIO 2025*



Anitec-Assinform

In collaborazione con
l'Agenzia per la Promozione
della Ricerca Europea



RICERCA E INNOVAZIONE ICT IN ITALIA

*2^A EDIZIONE
GENNAIO 2025*



Anitec-Assinform

In collaborazione con
l'Agenzia per la Promozione
della Ricerca Europea



PREMESSA

Le evidenze e le analisi del nostro secondo rapporto sulla “Ricerca e Innovazione ICT in Italia” nonché le riflessioni del nostro gruppo di lavoro Ricerca, Sviluppo e Innovazione ci dicono che lo sviluppo futuro del settore ICT e dell’intera economia in Italia sono a un bivio.

La strada più difficile da intraprendere è quella che punta sulle tecnologie e sui mercati ad alta intensità di conoscenza come motore della nostra economia. Un settore di specializzazione produttiva su cui incentrare gli investimenti, scommettendo e rischiando, per posizionare l’Italia tra i leader dell’innovazione esplorando nuovi territori competitivi.

La strada più agevole e meno rischiosa, invece, ma solo nel breve periodo, è mantenere la struttura produttiva attuale, potenziandola anche attraverso miglioramenti tecnologici incrementali, ma con il rischio di perdere posizionamenti, nel lungo periodo, di fronte alle economie di scala massive di altri Paesi.

Per la nostra industria, la scelta è ovvia e obbligata. Come l’automazione industriale è stata il punto di forza della competitività dell’industria nazionale negli ultimi anni, così l’ICT e i prodotti delle sue attività di ricerca e innovazione possono e devono diventare il punto di forza della competitività dell’industria nazionale nei prossimi anni, se vogliamo difendere il nostro ottavo posto come economia mondiale.

Il fattore tempo, però, è cruciale e occorre accelerare da subito: il ruolo dell’Italia è marginale nei principali settori ad alto tasso di conoscenza (computer, pacchetti software, semiconduttori, biotecnologie) con un peso molto limitato di domande brevettuali sul totale (sotto l’1%), mentre l’interscambio high-tech accusa perdite elevate nei settori con maggiore potenziale di espansione della domanda. Le numerose evidenze offerte nello studio confermano l’urgenza di una ricomposizione dell’offerta produttiva, attualmente ancora troppo sbilanciata verso settori di tipo tradizionale, prevedendo interventi che rafforzino la presenza dell’industria nazionale nelle filiere dell’alta tecnologia. In alternativa, il forte ritardo tecnologico accumulato dal nostro Paese nei confronti delle maggiori economie è destinato solo ad ampliarsi.

Questo momento offre opportunità importanti, anzi uniche, per il rafforzamento dell’industria nazionale nelle filiere dell’alta tecnologia: intelligenza artificiale, data analytics, cybersicurezza, high-performance computing, tecnologie Quantum sono territori competitivi ancora aperti che possono dare l’opportunità anche al nostro Paese di svolgere un ruolo cruciale nella competizione tecnologica globale.

Per farlo, sono necessarie diverse azioni, a partire dagli investimenti in ricerca e innovazione in ambito ICT impegnando adeguate e significative risorse finanziarie – anche tenuto conto del volume di investimenti a livello globale – e puntando, contemporaneamente, sul rafforzamento della dimensione dei programmi europei e sulla massima partecipazione dell’Italia agli stessi. I programmi nazionali ed europei, PNR 2022-2027 e Horizon Europe 2021-2027, che entrano ora nella seconda parte del loro percorso, sono strutturati in modo da stimolare la formazione di consorzi e la partecipazione delle PMI. In vista dell’esaurirsi di questi programmi, vanno previsti meccanismi che salvaguardino questa impostazione a beneficio del consolidamento e dell’ampliamento della filiera tecnologica, da un lato, e del rafforzamento delle sinergie tra industria e università, dall’altro.

La collaborazione accademia-imprese deve essere sostenuta a livello nazionale, europeo e internazionale particolarmente nel campo dello sviluppo di tecnologie di frontiera quali, ad esempio, quelle quantistiche, per il cui progresso futuro è essenziale la condivisione di infrastrutture e di know-how.

A livello nazionale, andrà allineata la regolamentazione sui crediti di imposta R&I affinché le filiali italiane delle aziende multinazionali possano partecipare ai progetti più importanti delle loro case madri con ricadute importanti per l’attività di ricerca che



viene svolta in Italia e per i nostri talenti.

A tal proposito, la questione “talenti” in ambito STEM resta cruciale nel nostro Paese e riguarda in maniera specifica il comparto ICT: per questo, crediamo sia urgente attuare da subito politiche che consentano nel breve-medio termine di formare sempre più competenze per la ricerca applicata, anche favorendo il coinvolgimento delle imprese.

Infine, è necessario rilanciare l’idea di un modello a rete per il trasferimento tecnologico che includa anche la ricerca applicata ICT, sul solco dei percorsi di invenzione tecnologica già intrapresi con successo dalle maggiori economie anche in Europa.

E va potenziata la brevettazione high-tech, rendendo più sinergica la collaborazione università-imprese.

Serve la massima tempestività. Le imprese del settore ICT associate in Anitec-Assinform sono pronte a raccogliere questa sfida e offrono idee e proposte attraverso questa seconda edizione dello studio, anche nel solco dell’esperienza e dei risultati raggiunti nell’ambito delle tecnologie Quantum.

Aumentare e valorizzare le invenzioni ICT per aumentare la specializzazione produttiva high-tech del nostro Paese farà dell’innovazione ICT uno strumento fondamentale per estrarre crescita economica e occupazionale nei prossimi anni. Il digitale è il futuro, la R&I ICT l’assicurazione per il nostro futuro.

Massimo Dal Checco
Presidente, Anitec-Assinform



INTRODUZIONE

Diversi cambiamenti hanno caratterizzato lo scenario di riferimento globale dalla prima edizione di questo studio (www.anitec-assinform.it/pubblicazioni/studi/1-rapporto-sulla-ricerca-e-innovazione-ict-in-italia-kl). Dal punto di vista geo-economico, la globalizzazione dei mercati ha ceduto il passo a transizioni profonde nell'ordine economico e nella società, mentre la situazione geo-politica è diventata più complessa e ha determinato la percezione di un futuro sempre più incerto. Pertanto si è ulteriormente intensificata la necessità di un'azione decisiva per rendere l'Europa più competitiva, sostenibile ed equa.

Ma diverse sfide sono ancora da affrontare. Le transizioni che le nostre società stanno intraprendendo sono profonde e le differenze tra i possibili risultati, rispetto alle aspettative iniziali, non sono mai state così marcate¹. I conflitti geopolitici e i disastri naturali hanno reso necessario il re-shoring, la ristrutturazione delle catene di approvvigionamento e la decarbonizzazione delle nostre economie.

Il primo cambiamento chiave nel panorama economico riguarda gli investimenti. Dobbiamo investire un'enorme quantità di denaro in un orizzonte temporale relativamente breve, con il rischio che il capitale venga distrutto più velocemente di quanto possa essere sostituito. In molti casi, stiamo investendo non tanto per aumentare lo stock di capitale, quanto per sostituire il capitale che viene reso obsoleto da un mondo in continua evoluzione. Gli investimenti nella decarbonizzazione e nelle catene di approvvigionamento dovrebbero aumentare la produttività nel lungo periodo, soprattutto se comportano una maggiore adozione della tecnologia. Tuttavia, ciò implica una temporanea riduzione dell'offerta aggregata mentre le risorse vengono rimescolate all'interno dell'economia.

Il secondo cambiamento riguarda la politica fiscale. Questa sarà chiamata a svolgere un ruolo maggiore nella stabilizzazione dell'economia, in quanto le politiche fiscali possono attenuare gli effetti degli shock dell'offerta sul PIL con un ritardo di trasmissione più breve. Lo abbiamo già visto durante lo shock energetico in Europa, dove i sussidi hanno compensato le famiglie per circa un terzo della loro perdita di benessere, il che significa deficit pubblici persistentemente più elevati. Questi cambiamenti generano una prospettiva di crescita potenziale più bassa, durante i processi di aggiustamento, e di inflazione più volatile, con nuove pressioni al rialzo derivanti dalle transizioni economiche e dai persistenti deficit fiscali.

Il terzo cambiamento rilevante riguarda il contesto di crescente rivalità geopolitica e relazioni economiche transazionali che rendono impercorribili i modelli di business basati su ampi avanzamenti commerciali adottati negli ultimi anni. I Paesi che vogliono continuare a esportare beni potrebbero dover essere più disposti a importare altri beni o servizi per guadagnarsi questo diritto, pena l'aumento delle misure di ritorsione. Tali cambiamenti comportano conseguenze ancora molto incerte per le nostre economie.

Per stabilizzare il potenziale di crescita e ridurre la volatilità dell'inflazione, sarà necessario sia completare le transizioni in corso dal lato dell'offerta, sia stimolare la crescita della produttività, dove l'adozione estesa dell'intelligenza artificiale (IA) potrebbe essere d'aiuto. Ma per fare tutto questo in fretta sarà necessario approntare un mix di politiche adeguate: un costo del capitale sufficientemente basso per stimolare la spesa per gli investimenti, una regolamentazione finanziaria che sostenga la riallocazione del capitale, una forte spinta all'innovazione e una politica della concorrenza che faciliti gli aiuti di Stato quando sono giustificati. Una delle implicazioni di questa strategia è che la politica fiscale diventerà probabilmente più interconnessa con la politica monetaria e la politica economica, avendo bisogno di spazio politico per investire nelle transizioni e aumentare la crescita della produttività. Le politiche economiche e monetarie dovranno essere coerenti con una strategia e un insieme di obiettivi comuni. Ma trovare la strada per questo allineamento politico non sarà facile.



Questi nuovi elementi del quadro economico e politico globale e lo scenario di interazione crescente tra le politiche fiscali, monetarie ed economiche riposizionano in modo rilevante il ruolo della R&S ICT, che da “fattore di progresso” o “leva competitiva” diventa vero e proprio “strumento di politica economica”. Il suo ruolo è cruciale e decisivo almeno in tre ambiti:

Motore di conoscenza avanzata. L’uso più articolato dello “statecraft” da parte dei governi (dalle politiche monetarie e fiscali a quelle industriali commerciali o ambientali sempre più interconnesse tra loro) rende necessario conoscere o simulare l’impatto delle interazioni e articolare previsioni sempre più complesse, partendo da dati destrutturati e obiettivi in continuo divenire. Le politiche economiche e monetarie devono realizzare gli ambiziosi obiettivi a lungo termine dell’Unione Europea (UE), pur mantenendo la capacità di rispondere alle emergenze a breve termine. Questo è un compito arduo che richiede livelli di conoscenza dei macro-cambiamenti socio-economici e politici in tempo reale, per evitare gli errori del passato, per valutare gli impatti di eventi straordinari, per coordinarsi tra gli Stati. Fino a pochi mesi fa era quasi inconcepibile pensare che l’aumento del global warming nel 2022 potesse causare un aumento complessivo dell’inflazione in Europa tra gli 0,43 e gli 0,93 punti². Nuovi meccanismi come questa correlazione tra il global warming e l’inflazione entreranno negli scenari economici futuri. La R&S ICT di oggi produrrà l’IA, le architetture di supercalcolo e l’informatica e le comunicazioni quantistiche che diventeranno le piattaforme per guidare decisioni sempre più complesse in scenari sempre meno prevedibili.

Abilitatore delle transizioni. La ricerca e innovazione ICT è essenziale per sostenere la trasformazione dei sistemi agroalimentari, energetici e di trasporto, oltre che necessaria per conseguire gli obiettivi ambientali dell’UE. Aumentano i progetti orientati all’applicazione dei digital enabler nelle filiere (dai progetti ESG, all’integrazione di tecnologie digitali avanzate nei prodotti, alla sperimentazione di nuove app di IA), alla decarbonizzazione della stessa tecnologia ICT (ad esempio, con la ricerca di nuovi materiali e tecniche di raffreddamento), all’innovazione tecnologica nei servizi sanitari, di mobilità, nella cybersicurezza. Attraverso la R&S attualmente in campo, le tecnologie ICT diventano uno strumento prezioso per affrontare le sfide economiche e industriali e il mezzo per costruire un futuro sostenibile per l’Europa. Investire in R&I significa farlo nella capacità dell’Europa di gestire le transizioni in corso e rafforzare la sua competitività a lungo termine, oltre a migliorare il tenore di vita, in uno scenario reso ancora più complesso dall’invecchiamento della popolazione e dalla conseguente riduzione della forza lavoro.

Sviluppo tecnologico. Nel contesto dei nuovi equilibri geopolitici, la capacità di sviluppare, produrre e mantenere le proprie tecnologie critiche sarà il discrimine in campo economico e geopolitico per l’Unione Europea. Ciò consentirà all’Europa di essere meno esposta in settori nevralgici come l’intelligenza artificiale, la cybersicurezza, lo spazio e la sostenibilità, a dinamiche negative in termini di competitività, sicurezza delle catene di approvvigionamento e definizione degli standard internazionali. Contemporaneamente, l’innovazione sempre più pervasiva non è più privilegio dei grandi player, ma apre le porte a nuovi mercati, grazie alla disponibilità di capitali di rischio e co-finanziamenti della ricerca e del trasferimento tecnologico in diversi campi. Accelerare sulla formazione o la riconversione delle competenze avanzate ICT e sul rafforzamento brevettuale può fare la differenza nel portare tecnologie in fase embrionale di sviluppo verso un vero e proprio mercato nel giro di pochi anni.

La R&S ICT contribuisce a generare conoscenze, tecnologie e competenze fondamentali per affrontare determinate sfide sociali, economiche e politiche. Tutta-



via deve far parte di un mix completo di politiche per produrre i suoi potenziali benefici. **La ricerca e l'innovazione non si concretizzano da sole e richiedono politiche ben concepite**, che spesso comportano compromessi. In questo contesto la relazione "Science, Research and Innovation Performance of the EU (SRIP)" della Commissione Europea³ mette in luce tre sfide principali per la R&I dell'UE di oggi: un ecosistema di R&I sottoutilizzato che deve affrontare diversi ostacoli, divari profondi e persistenti in materia di R&I che mostrano un panorama stratificato dell'UE e un divario tecnologico rispetto ad altre regioni. Le sfide sono grandi e vanno dalla necessità di una visione a lungo termine e di integrazione economica alla necessità di promuovere un ambiente in cui l'inclusione e l'eccellenza nell'innovazione coesistano armoniosamente.

Affrontare e superare queste sfide della R&S in generale e investire nella ricerca e sviluppo di tecnologie ICT, dalla ricerca all'applicazione, fino alla capacità finanziaria di centri di ricerca accademici o industriali nonché di start-up e scale-up innovative, è più che mai un imperativo di politica economica, non solo industriale, di estrema urgenza. Per l'Europa ma ancora più per l'Italia.

La seconda edizione di questo studio vuole porre le basi per conoscere il posizionamento della ricerca e innovazione ICT in Italia rispetto all'Europa e le principali opportunità e sfide nonché offrire spunti sulle relative politiche.

La **prima parte** illustra lo stato e le prospettive della R&I in ambito ICT attraverso:

- gli approfondimenti sulla spesa R&S ICT intra-muros delle imprese, grazie alle elaborazioni fornite da Istat;
- l'analisi delle dinamiche degli incentivi associati al credito d'imposta R&S a livello generale da dati Istat e dei progetti di R&I in ambito ICT con risorse finanziarie allocate dal PNRR dal sistema ReGiS;
- le stime dei finanziamenti dei principali programmi europei, con i dati sui progetti ICT estratti dalle dashboard dei progetti Horizon 2020, Horizon Europe e Digital Europe;
- le dinamiche degli addetti della R&S ICT e attraverso le elaborazioni Istat e dell'intensità brevettuale mediante analisi pubblicate da CNR, Fraunhofer e EPO.

Dal confronto con i dati della prima edizione **emerge un progresso lento degli investimenti ma continuo, anche se il ritardo con i maggiori Paesi europei resta evidente**.

Il passaggio dall'idea al mercato è un processo lungo e articolato che comprende una serie di tappe intermedie, in cui sono coinvolti risorse, processi e attori molteplici e differenti. In questo percorso gli attori hanno bisogno di capire e possibilmente individuare le roadmap tecnologiche, le competenze avanzate ICT attuali e future, territori ed ecosistemi dove le dinamiche di collaborazione riescono a superare le sfide maggiori, le modalità di promozione dei casi d'uso per avvicinare l'offerta alla domanda.

La **seconda parte** dello studio vuole offrire questi elementi di conoscenza per quanto riguarda lo sviluppo delle **tecnologie quantistiche** (informatica, sensoristica, comunicazioni) verso la fase di prima sperimentazione e poi di mercato. Uno sviluppo che in Italia vede organizzare la ricerca in una rete di attività multidisciplinari e transnazionali, finanziate dal PNRR e coordinate tra università, centri di ricerca e imprese verso obiettivi e tempistiche di sviluppo comuni.



Un ruolo forte della R&I in ambito ICT, tanto in Italia quanto in Europa, in combinazione con la politica economica e industriale, in coordinamento con gli altri Paesi dell'Unione, e valorizzando le collaborazioni internazionali aiuterà il sistema economico a migliorare i risultati della ricerca, accelerare la creazione di nuovi mercati tecnologici e rafforzare il posizionamento in quelli già esistenti, riducendo il divario tecnologico con i concorrenti globali.

Note:

1. Mario Draghi, "La politica economica in un mondo che cambia", discorso tenuto al Nabe, Economic Policy Conference di Washington, febbraio 2024, <https://www.eticapa.it/eticapa/tag/mario-draghi-discorso-integrale-washington>.
2. Maximilian Kotz, Friderike Kuik, Eliza Lis e Christiane Nickel, "Global Warming and Heat Extremes to Enhance Inflationary Pressures", Nature, marzo 2024, <https://www.nature.com/articles/s43247-023-01173-x>.
3. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c683268c-3cdc-11ef-ab8f-01aa75ed71a1/language-en>.



INDICE CONTENUTI

Parte 1

R&I ICT

SPESA DELLE IMPRESE ICT PER LA RICERCA 12

Struttura della spesa R&S nel settore delle imprese ICT (R&S ICT)	12
Dinamica di lungo periodo della spesa R&S nel settore delle imprese ICT	18
Dinamica e intensità di spesa R&S ICT a confronto con i maggiori Paesi	21

IL CAPITALE UMANO NELLA RICERCA 25

Il personale R&S nelle imprese del settore ICT	25
I brevetti ICT della R&S in imprese, università e centri di ricerca	30

I FONDI PUBBLICI PER LA RICERCA IN AMBITO ICT 34

Il credito di imposta per la R&S e il Patent Box	34
Il PNRR e i progetti di R&I ICT	39

I PROGRAMMI EUROPEI PER LA R&I ICT 46

Partecipazione italiana a Horizon 2020	47
Partecipazione italiana a Horizon Europe	50
Partecipazione Italiana a Digital Europe	55

CONCLUSIONI 65

APPENDICE 82

Quadro complessivo delle misure per la ricerca nella Missione 4 del PNRR a luglio 2024	82
Definizioni	87

Parte 2

STATO E PROSPETTIVE DELLE QUANTUM TECHNOLOGIES IN ITALIA

LO STATO ATTUALE IN EUROPA E IN ITALIA 96

Le tecnologie e le applicazioni del Quantum	96
Dinamiche diverse nelle filiere del Quantum	101
Brevetti Quantum e trasferimento dalla ricerca al mercato	104
Finanziamenti pubblici in aumento e venture capital verso le scale-up	108
Domanda esponenziale di nuove competenze Quantum	111
Quantum Technology Flagship ed evoluzione del funding europeo	113
Verso la produzione di scala di chip quantistici	118

IL PNRR MOTORE DELLA RICERCA QUANTISTICA IN ITALIA 121

Il Quantum in Italia: verso le opportunità dello stack applicativo	121
Potenziamento e sviluppo di infrastrutture Quantum in Italia	123
Le architetture Quantum per la ricerca in Italia	126
Infrastruttura per la Comunicazione Quantistica (QUID)	132



PROSPETTIVE E SFIDE IN EUROPA E IN ITALIA	133
Prospettive e sfide per il Quantum Computing in Europa	133
Prospettive e sfide per le Quantum Comms in Europa	137
Prospettive e sfide per rilevamento quantistico e metrologia in Europa	139
Lo sviluppo di competenze quantistiche in Europa e in Italia	141
Opportunità e sfide per l'industria del Quantum in Italia	144
Impegno del G7 sulle scienze e tecnologie quantistiche	145
AMBITI E PROPOSTE DI POLICY	146
Proposte per il rafforzamento dell'industria del Quantum in Italia	146
CONCLUSIONI	167
APPENDICE	168





R&I ICT



SPESA DELLE IMPRESE ICT PER LA RICERCA

Il principale indicatore utilizzato per dare un dimensionamento dell'attività di ricerca ICT è la **spesa per attività di R&S intra-muros eseguita presso le imprese che appartengono al settore ICT** (come da codici NACE). Questa spesa può essere finanziata dalle imprese stesse o da enti pubblici o da operatori internazionali. Le stime sono ottenute e aggiornate annualmente da Istat attraverso la Rilevazione Ricerca e Sviluppo¹ ed estratte per il settore ICT da Istat appositamente per questo studio. Questo indicatore è rappresentativo di una quota maggioritaria della spesa per attività di R&S in ambito ICT ma non del totale complessivo in quanto sono escluse le attività di R&S in ambito ICT eseguite al di fuori del settore ICT (imprese in altri settori dell'economia, università ed enti di ricerca privati e pubblici, istituzioni private non profit)².

Struttura della spesa R&S nel settore delle imprese ICT (R&S ICT)

Con un investimento complessivo nel 2022 di 2,5 miliardi di euro e una crescita dell'1,5% rispetto al 2021, il settore ICT mantiene un ruolo di rilevanza nell'esecuzione di attività di R&S ICT in Italia. Dopo due anni di forte crescita (+6,4% e +7,1% rispettivamente nel 2018 e 2019), la spesa R&S del settore ICT ha registrato una forte contrazione determinata dalla crisi pandemica (-8,8%) nel 2019 e proseguita con minore intensità nel 2021 (-2,4%) per poi stabilizzarsi nel 2022 allo stesso livello del 2017 (Tab. 1).

Malgrado le dinamiche di maggiore calo nel 2020 e 2021, resta prevalente la quota di spesa in R&S ICT nel settore del software e servizi IT, con quasi la metà di ogni euro di

Definizione di Ricerca e Innovazione (R&I)

Con **R&I** si intende l'insieme delle attività di Ricerca & Sviluppo e di Innovazione. Con **R&S** si intende il perimetro delle attività di Ricerca e Sviluppo. Nel testo sono state adottate entrambe le terminologie, coerentemente con le fonti e i dati utilizzati.

La **Ricerca e Sviluppo** comprende l'insieme di attività creative e svolte in modo sistematico con l'obiettivo sia di sviluppare nuove conoscenze ed accrescerle sia di utilizzare quelle preesistenti per nuove applicazioni. La **ricerca di base** è un lavoro sperimentale o teorico intrapreso principalmente per acquisire una nuova conoscenza dei principi fondamentali e dei fenomeni e fatti osservabili, senza alcuna particolare applicazione o uso in vista. La **ricerca applicata** è un'indagine originale intrapresa al fine di acquisire nuove conoscenze. È, tuttavia, diretta principalmente verso uno scopo o obiettivo specifico e pratico. Lo **sviluppo** sperimentale è un lavoro sistematico, attingendo alla conoscenza acquisita dalla ricerca e l'esperienza pratica e la produzione di conoscenze aggiuntive, che è diretto a produrre nuovi prodotti o processi o a migliorare i prodotti o i processi esistenti.

L' **Innovazione** è l'implementazione di un prodotto (sia esso un bene o servizio) o di un processo, nuovo o considerevolmente migliorato, di un nuovo metodo di marketing, o di un nuovo metodo organizzativo con riferimento alle pratiche commerciali, al luogo di lavoro o alle relazioni esterne.

Il Manuale di Frascati (OCSE, 2015) stabilisce la metodologia per la definizione e la misurazione statistica dell'attività di R&S nei Paesi membri dell'OCSE. Il Manuale di Oslo contiene le linee guida per la raccolta e l'interpretazione dei dati sull'Innovazione e ne propone la definizione.



Divisione o gruppo ATECO	Codice ATECO	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Componenti, dispositivi, computer e altri prodotti ICT	261-264, 268	758,4	794,9	812,6	811,2	849,7	910,3
Servizi di telecomunicazione	61	493,5	495,1	533,9	483,1	480,1	399,0
Produzione di software, consulenza informatica e altri servizi IT	465, 582, 62, 631, 951	1.177,2	1.295,1	1.421,9	1.231,7	1.134,6	1.192,7
Totale		2.429,1	2.585,2	2.768,4	2.526,0	2.464,3	2.501,9
% sul Totale							
Componenti, dispositivi, computer e altri prodotti ICT	261-264, 268	31,2%	30,7%	29,4%	32,1%	34,5%	36,4%
Servizi di telecomunicazione	61	20,3%	19,2%	19,3%	19,1%	19,5%	15,9%
Produzione di software, consulenza informatica e altri servizi IT	465, 582, 62, 631, 951	48,5%	50,1%	51,4%	48,8%	46,0%	47,7%
Totale		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
% Crescita annua							
Componenti, dispositivi, computer e altri prodotti ICT	261-264, 268		4,8%	2,2%	-0,2%	4,7%	7,1%
Servizi di telecomunicazione	61		0,3%	7,8%	-9,5%	-0,6%	-16,9%
Produzione di software, consulenza informatica e altri servizi IT	465, 582, 62, 631, 951		10,0%	9,8%	-13,4%	-7,9%	5,1%
Totale			6,4%	7,1%	-8,8%	-2,4%	1,5%

spesa in R&S ICT e un tasso di crescita del 5,1% nel 2022. In crescita è la quota sostenuta dalle aziende ICT di produzione di computer e apparati (+7,1% nel 2022) mentre si riduce la spesa R&S ICT dei servizi di telecomunicazione (-16,9% rispetto al 2021), la cui quota passa dal 20,3% del 2017 al 15,9% del 2022.

Nella sua considerazione aggregata, la spesa per la R&S svolta intra-muros nell'intero settore ICT è prima per valore con 2,5 miliardi di euro e una quota del 15,4%, malgrado una crescita aggregata di solo l'1,5%, inferiore al 4% di crescita della spesa R&S complessiva in tutti i settori economici (Fig. 1). La spesa per ricerca è comunque più dinamica del totale nelle divisioni software e servizi ICT (+5,1%) e prodotti hardware (componenti, dispositivi, computer e altri prodotti ICT) ICT (+7,1%), che, considerati singolarmente, sono rispettivamente il quarto e il quinto per volume di spesa R&S dopo automotive, macchinari industriali, altri mezzi trasporto, imprese di ricerca e sviluppo

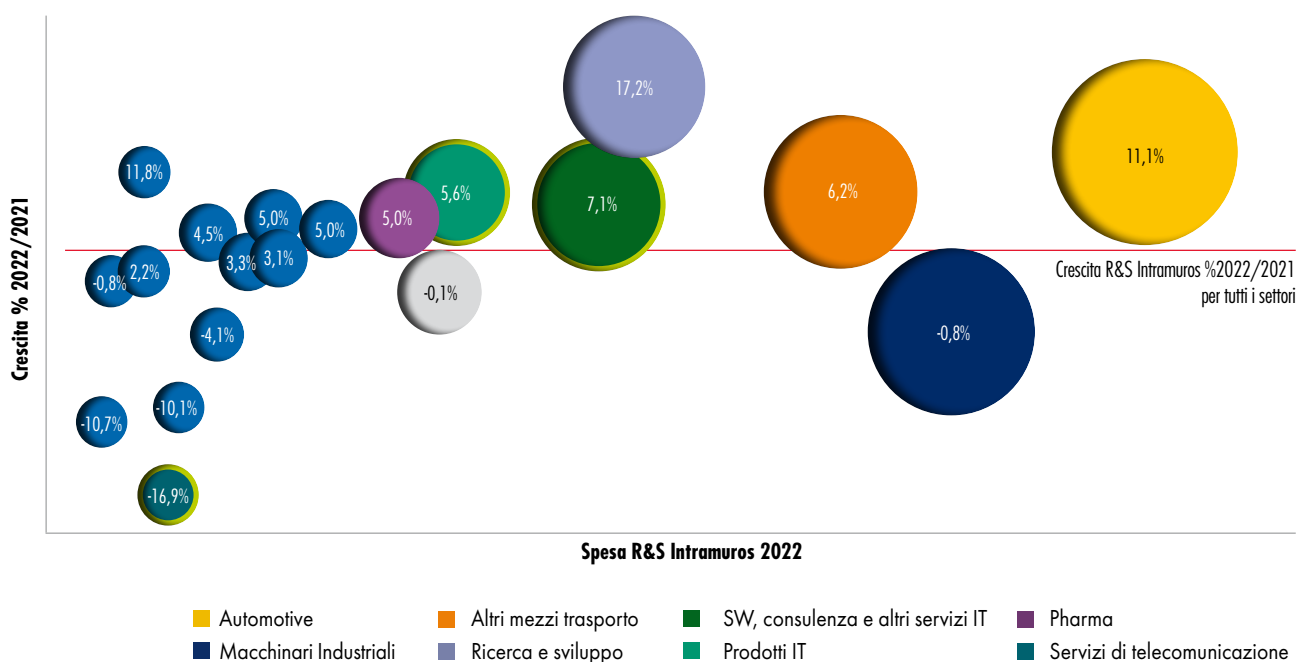
TABELLA 1
Spesa R&S intra-muros nelle imprese del settore ICT per divisione 2017-2022 (Mil €)

Fonte: Istat, Rilevazione Ricerca e Sviluppo

FIGURA 1
Spesa R&S* per principali settori 2022. Valore e crescita annua (Mil €)

Fonte: Istat, Rilevazione Ricerca & Sviluppo

* L'area della bolla è proporzionale al valore della spesa



Settore Istituzionale	2022 (milioni di Euro)	2022/2021 % crescita	% sul totale	Quota Cumulata
Fabbricazione di autoveicoli, rimorchi e semirimorchi	2.230,6	11,1%	13,7%	13,7%
Macchinari e apparecchiature nca	1.841,1	-0,8%	11,3%	25,0%
Fabbricazione di altri mezzi di trasporto (navi treni aerei ecc.)	1.620,7	6,2%	10,0%	35,0%
Ricerca scientifica e sviluppo	1.221,5	17,2%	7,5%	42,5%
Software consulenza e altri servizi IT	1.192,7	5,1%	7,3%	49,8%
Componenti, dispositivi, computer e altri prodotti ICT	910,3	7,1%	5,6%	55,4%
Prodotti farmaceutici di base e preparati farmaceutici	816,7	5,6%	5,0%	60,4%
Apparecchiature elettriche e apparecchiature per uso domestico non elettriche	686,1	5,0%	4,2%	64,7%
Commercio all'ingrosso e al dettaglio, riparazione di autoveicoli e motocicli	613,1	3,1%	3,8%	68,4%
Industrie tessili, dell'abbigliamento, articoli in pelle e simili	611,1	5,0%	3,8%	72,2%
Prodotti chimici	529,0	3,3%	3,3%	75,4%
Fabbr. articoli in gomma/mat. plastiche e altri prod. lavoraz. di minerali non met.	497,2	-4,1%	3,1%	78,5%
Altre industrie manifatt., riparazione e installazione di macchine/apparecchiature	487,4	4,5%	3,0%	81,5%
Metallurgia e fabbricazione di prodotti in metallo escl. macchinari e attrezzature	413,3	-10,1%	2,5%	84,0%
Servizi di telecomunicazione	399,0	-16,9%	2,5%	86,5%
Attività finanziarie e assicurative	361,8	11,8%	2,2%	88,7%
Sanità e altri servizi alle famiglie e alle imprese (q, s)	327,4	2,2%	2,0%	90,7%
Industrie alimentari, delle bevande e del tabacco	325,6	0,8%	2,0%	92,7%
Fabbricazione di apparecchi elettrodomestici, apparecchi di misuraz. e orologi	299,0	-10,7%	1,8%	94,6%
Altri settori	886,5	-0,1%	5,4%	100,0%
Totale	16.270,2	4,0%	100,0%	
ICT	2.501,9	1,5%	15,4%	

TABELLA 2
Spesa R&S per principali settori
2022. Valore e crescita annua
2022/2021 (Mil €)

Fonte: Istat, Rilevazione Ricerca e Sviluppo

(Tab. 2). Notevole è la crescita della spesa presso le imprese di ricerca e sviluppo nel 2022, pari al 17,2%, a segnalare la tendenza all'esternalizzazione delle attività di ricerca presso imprese indipendenti e spesso focalizzate in ambiti tecnologici di punta, anche attraverso spin-off. Il settore dei servizi di telecomunicazione è invece tra le ultime posizioni, dopo i cali accentuati avvenuti nel 2020 (-9,5%) e nel 2022 (-16,9%).



	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Imprese (escluse università private)	2.122,0	2.216,5	2.359,2	2.142,4	2.071,9	2.081,0
Istituzioni pubbliche e private non profit, Università	120,6	147,8	167,2	141,6	138,1	156,4
Resto del mondo	186,5	220,9	242,0	242,0	254,3	264,5
Totale fonti di finanziamento	2.429,1	2.585,2	2.768,4	2.526,0	2.464,3	2.501,9
	% sul Totale					
Imprese (escluse università private)	87,4%	85,7%	85,2%	84,8%	84,1%	83,2%
Istituzioni pubbliche e private non profit, Università	5,0%	5,7%	6,0%	5,6%	5,6%	6,3%
Resto del mondo	7,7%	8,5%	8,7%	9,6%	10,3%	10,6%
Totale fonti di finanziamento	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	% Crescita annua					
Imprese (escluse università private)		4,5%	6,4%	-9,2%	-3,3%	0,4%
Istituzioni pubbliche e private non profit, Università		22,6%	13,1%	-15,3%	-2,5%	13,3%
Resto del mondo		18,4%	9,6%	0,0%	5,1%	4,0%
Totale fonti di finanziamento		6,4%	7,1%	-8,8%	-2,4%	1,5%

La spesa per attività di R&S eseguita nel settore ICT è finanziata sia dalle imprese ICT stesse (autofinanziamento) che da altri attori. Con riguardo alle **fonti di finanziamento**, spicca la progressiva riduzione della quota di autofinanziamento con dinamiche sempre inferiori tra il 2018 e il 2022 (a eccezione del 2019) rispetto alla quota finanziata da istituzioni pubbliche e private non profit/università e alla quota di imprese/attori esclusi dagli altri due gruppi, prevalentemente internazionali (Tab. 3). La quota di autofinanziamento si riduce dall'87,4% all'83,2%. Quasi tutto l'incremento di 38 milioni di euro tra il 2021 e il 2022 è generato per 18 milioni aggiuntivi dalle istituzioni pubbliche, e per 10 milioni dalle altre istituzioni, prevalentemente internazionali. Il finanziamento delle imprese resta stabile a 2,08 miliardi di euro (+0,4% rispetto ai 2,07 miliardi di euro nel 2021). Il calo della spesa R&S ICT negli anni della crisi pandemica ha riguardato sia la quota privata che, con maggiore intensità, quella pubblica.

Per quanto riguarda la composizione della spesa R&S nel settore ICT per fonti di finanziamento, resta maggioritaria la quota di spesa autofinanziata dalle imprese, anche se è risultata in progressivo calo fino al 2020 per poi riprendere ad aumentare soprattutto dopo la pandemia (Tab. 4).

Con 2,1 miliardi di euro, l'autofinanziamento delle imprese del settore ICT è ora pari all'83,2%, un valore inferiore all'85,7% del 2018 e all'87,4% del 2017, in controtendenza con la quota misurata sul totale dell'intera economia imprese che registra una quota di autofinanziamento dell'85,4% dell'intera economia, in aumento rispetto all'83,2% del 2018 e all'82,7% del 2017 (Tab. 5).

Concentrandosi sull'analisi di quanto, nelle singole divisioni del settore ICT (Tab. 6), le imprese hanno autofinanziato la loro spesa R&S, si riscontra che l'autofinanziamento è in realtà concentrato nel software e servizi IT (da 937 milioni di euro nel 2018 a 884,3

TABELLA 3
Spesa R&S nelle imprese
del settore ICT per fonte di
finanziamento 2017-2022 (Mil €)
 Fonte: Istat, Rilevazione Ricerca e Sviluppo

Divisione o gruppo ATECO Fonte di finanziamento V	Componenti, dispositivi, computer e altri prodotti ICT	Servizi di telecomunicazione	Produzione di sw, consulenza informatica e altri servizi IT	ICT
2018				
Imprese (escluse università private)	723,6	479,1	1.013,8	2.216,5
Istituzioni pubbliche e private non profit, Università	36,1	5,0	106,6	147,8
Finanziatori stranieri (resto del mondo)	35,1	11,0	174,7	220,9
Totale fonti di finanziamento	794,9	495,1	1.295,1	2.585,2
2022				
Imprese (escluse università private)	843,8	352,9	884,3	2.081,0
Istituzioni pubbliche e private non profit, Università	42,1	2,4	111,9	156,4
Finanziatori stranieri (resto del mondo)	24,3	43,7	196,4	264,5
Totale fonti di finanziamento	910,3	399,0	1.192,7	2.501,9
% 2022/2021				
Imprese (escluse università private)	8,2%	-17,1%	2,3%	0,5%
Istituzioni pubbliche (escl. Univ. pubbliche)	3,1%	-23,0%	17,7%	12,5%
Resto del mondo	-16,4%	-14,7%	12,2%	3,5%
Totale fonti di finanziamento	7,1%	-16,9%	5,1%	1,5%
% TCMA 2022/2018				
Imprese (escluse università private)	3,9%	-7,4%	-3,4%	-1,6%
Istituzioni pubbliche (escl. Univ. pubbliche)	3,9%	-17,0%	1,2%	1,4%
Resto del mondo	-8,8%	41,1%	3,0%	4,6%
Totale fonti di finanziamento	3,4%	-5,3%	-2,0%	-0,8%
Quota % 2022				
Imprese (escluse università private)	92,7%	88,5%	74,1%	83,2%
Istituzioni pubbliche (escl. Univ. pubbliche)	4,6%	0,6%	9,4%	6,3%
Resto del mondo	2,7%	11,0%	16,5%	10,6%
Totale fonti di finanziamento	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

TABELLA 4
Spesa R&S nelle imprese del settore ICT per divisione e fonte di finanziamento 2018-2022 (Mil €)
 Fonte: Istat, Rilevazione sulla Ricerca e Sviluppo

nel 2022) e nella divisione servizi di telecomunicazione (da 479,1 milioni di euro nel 2018 a 353,9 nel 2022). È in ripresa invece la crescita dell'autofinanziamento nella divisione dei prodotti hardware ICT.

Anche se queste dinamiche vanno lette alla luce dell'impatto positivo dei finanziamenti pubblici per la ricerca ICT europei (con Horizon 2020 e Horizon Europe iniziato nel 2021) e nazionali (attraverso i primi finanziamenti del PNRR partiti nel 2022)³, **la perdita di terreno dell'autofinanziamento delle imprese ICT resta una criticità importante**, se consideriamo la strategicità del settore e della leadership tecnologica in questo ambito per la competitività e la crescita dell'economia.



TABELLA 5

Spesa R&S intra-muros nelle imprese del settore ICT e nel Totale dei settori per fonte di finanziamento 2017-2022 (Mil €)

Fonte: Istat, Rilevazione Ricerca & Sviluppo

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Settore ICT						
Imprese (escluse università private)	2.122,0	2.216,5	2.359,2	2.142,4	2.071,9	2.081,0
Istituzioni pubbliche e private non profit, Università	120,6	147,8	167,2	141,6	138,1	156,4
Resto del mondo	186,5	220,9	242,0	242,0	254,3	264,5
Totale fonti di finanziamento	2.429,1	2.585,2	2.768,4	2.526,0	2.464,3	2.501,9
Tutti i settori						
Imprese	12.278,2	13.260,0	14.176,2	12.723,5	13.430,0	13.888,9
Istituzioni pub. e priv. non profit, Università	540,4	805,0	727,1	752,9	729,6	694,7
Finanziatori stranieri (resto del mondo)	2.021,4	1.869,0	1.685,9	1.990,7	1.485,3	1.686,5
Totale fonti di finanziamento	14.840,1	15.934,0	16.589,2	15.467,2	15.644,9	16.270,2
% quota ICT						
Imprese (escluse università private)	87,4%	85,7%	85,2%	84,8%	84,1%	83,2%
Istituzioni pubbliche e private non profit, Università	5,0%	5,7%	6,0%	5,6%	5,6%	6,3%
Resto del mondo	7,7%	8,5%	8,7%	9,6%	10,3%	10,6%
Totale fonti di finanziamento	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
% quota tutti i settori						
Imprese (escluse università private)	82,7%	83,2%	85,5%	82,3%	85,8%	85,4%
Istituzioni pubbliche e private non profit, Università	3,6%	5,1%	4,4%	4,9%	4,7%	4,3%
Resto del mondo	13,6%	11,7%	10,2%	12,9%	9,5%	10,4%
Totale fonti di finanziamento	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

TABELLA 6

Spesa R&S intra-muros autofinanziata dalle imprese del settore ICT per divisione 2017-2022 (Mil €)

Fonte: Istat, Rilevazione Ricerca & Sviluppo

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Componenti, dispositivi, computer e altri prodotti ICT	701,6	723,6	743,2	744,4	779,7	843,8
Servizi di telecomunicazione	483,4	479,1	479,8	431,5	425,8	352,9
Produzione di software, consulenza informatica e altri servizi IT	937,0	1.013,8	1.135,6	964,2	864,3	884,3
Totale	2.122,0	2.216,5	2.358,6	2.140,1	2.069,8	2.081,0
% sul Totale						
Componenti, dispositivi, computer e altri prodotti ICT	28,9%	28,0%	26,8%	29,5%	31,6%	33,7%
Servizi di telecomunicazione	19,9%	18,5%	17,3%	17,1%	17,3%	14,1%
Produzione di software, consulenza informatica e altri servizi IT	38,6%	39,2%	41,0%	38,2%	35,1%	35,3%
Totale	87,4%	85,7%	85,2%	84,7%	84,0%	83,2%
% Crescita annua						
Componenti, dispositivi, computer e altri prodotti ICT		3,1%	2,7%	0,2%	4,7%	8,2%
Servizi di telecomunicazione		-0,9%	0,2%	-10,1%	-1,3%	-17,1%
Produzione di software, consulenza informatica e altri servizi IT		8,2%	12,0%	-15,1%	-10,4%	2,3%
Totale		4,5%	6,4%	-9,3%	-3,3%	0,5%



Dinamica di lungo periodo della spesa R&S nel settore delle imprese ICT

Dall'analisi della serie storica della spesa R&S nel settore, emerge che **non sempre la R&S nel settore ICT ha avuto le stesse dinamiche rispetto alla R&S in generale**.

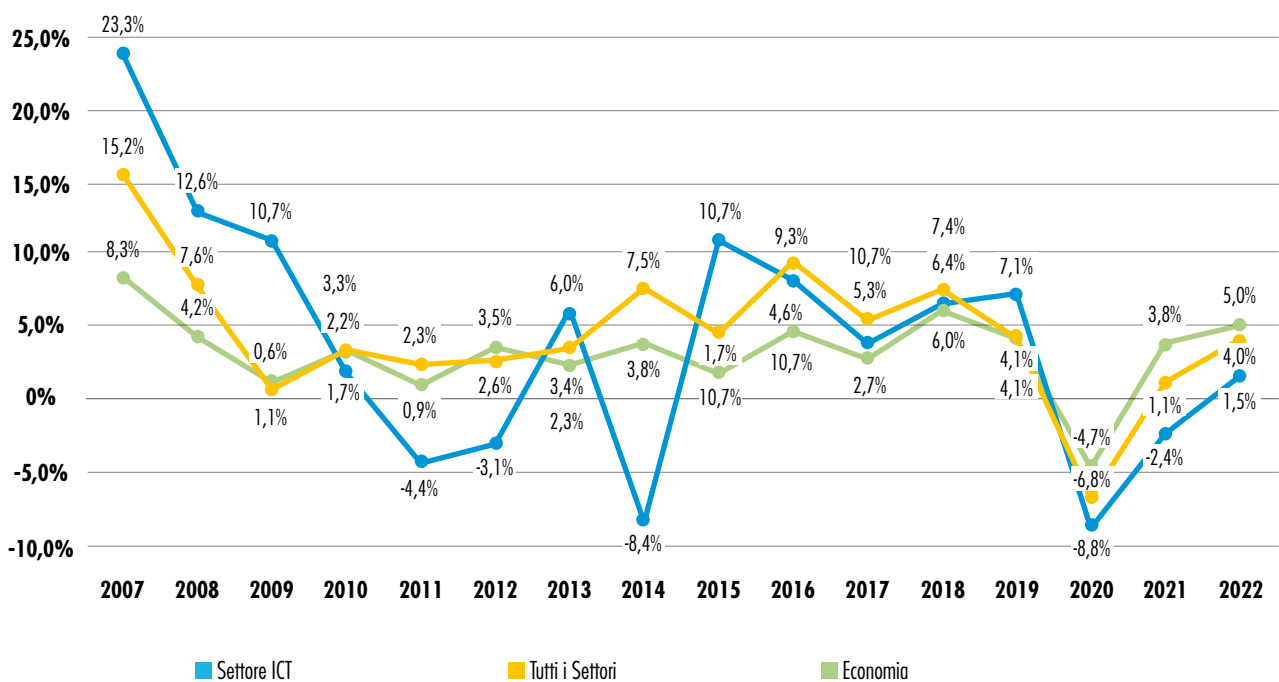
Dal 2007 al 2021, vi è stata una crescita evidente della spesa in R&S del settore ICT, superiore agli investimenti R&S complessivi nell'economia fino al 2010, quindi una dinamica sostanzialmente simile fino al 2020, per poi arretrare, anche se di poco, rispetto alla crescita della R&S complessiva nel 2021 e 2022 (Fig. 2). Questa tendenza di variazione della spesa R&S ICT si differenzia anche dalla dinamica della R&S di tutte le imprese (Business R&D o BERD) che segue le variazioni positive o negative annuali della spesa nella ricerca complessiva.

Rispetto alle dinamiche di mercato, il trend della spesa R&S del settore ICT negli ultimi anni, su livelli sempre inferiori alla spesa R&S nell'intera economia, può portare a diverse riflessioni:

- non tutta la potenzialità di crescita degli investimenti nel settore ICT è stata realizzata;
- il mix di fonti di finanziamento private o pubbliche è cambiato con alcuni stop importanti negli anni;
- oppure in altri settori si sono perseguiti maggiori sforzi di investimento in R&S per motivi specifici (come, ad esempio, progressi sull'ambiente, ricerca farmaceutica per vaccini durante la pandemia, maggiore focus sulla robotica/4.0 nel settore delle macchine industriali);
- oppure la ricerca privata nel settore ICT è più legata alle dinamiche internazionali.

Qualunque sia il vero motivo di questa contrazione nella crescita della spesa per R&S ICT, resta che per migliorare la competitività del nostro Paese in ambito ICT si deve investire di più e più velocemente in questo settore. **La domanda d'obbligo è se si tratti di un rallentamento (all'interno pur sempre di una crescita) temporaneo o di un trend destinato a continuare.**

FIGURA 2
Spesa R&S nelle imprese del settore ICT e in tutti i settori e nell'economia 2007-2022 (Mil €)
Fonte: Istat, Rilevazione Ricerca & Sviluppo



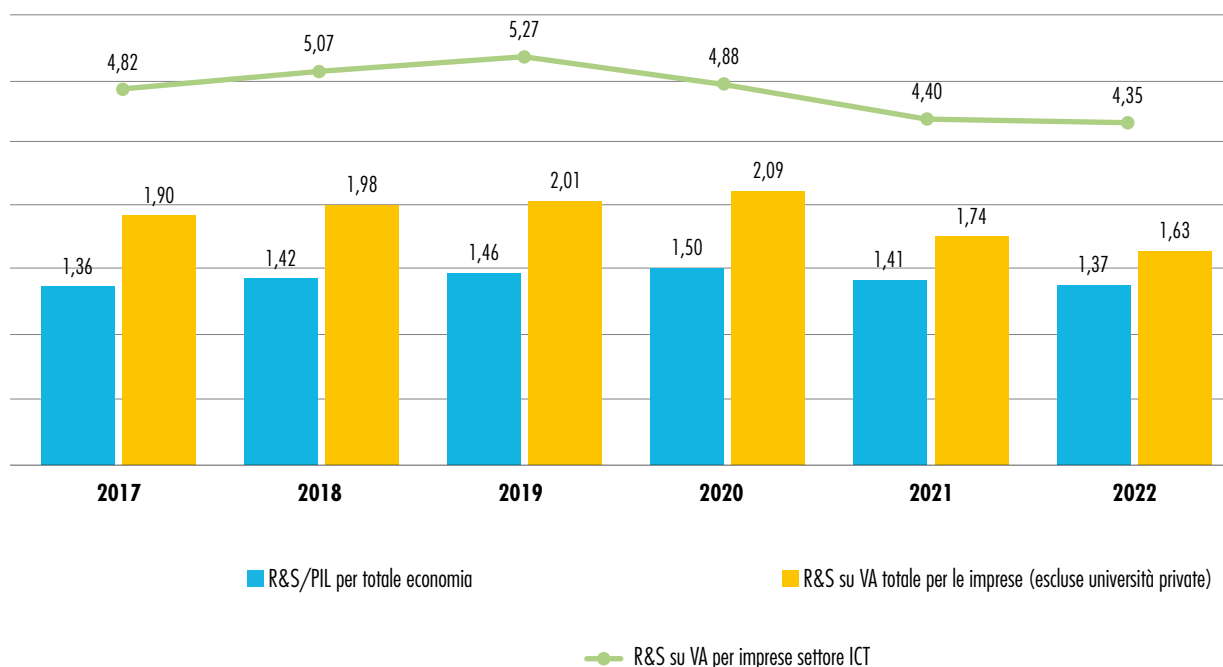


FIGURA 3
Intensità della spesa R&S rispetto a PIL e VA nelle imprese, 2017-2022

Fonte: Istat, Rilevazione Ricerca & Sviluppo

In realtà, guardando tra il 2017 e il 2022 agli indicatori di “Intensità della R&S” rispetto al valore aggiunto o al PIL, emerge che mentre il rapporto R&S su PIL negli anni registra valori nell’intervallo tra 1,36% e 1,5%, la quota di R&S rispetto al valore aggiunto delle imprese dal 2020 ha cominciato a diminuire dal 2,09% a 1,63% e quella della R&S ICT sul valore aggiunto (VA) ICT delle imprese dal 5,27% nel 2019 al 4,35% nel 2022 (Fig. 3). Questa diminuzione del rapporto spesa R&S ICT su VA ICT suggerisce che la crescita della spesa in R&S nel settore ICT è stata meno che proporzionale rispetto alla crescita del valore aggiunto di settore. Questo conferma che la contrazione della spesa in R&S è associata a una diminuzione della spesa R&S sia a livello di autofinanziamento che di contributi degli altri enti finanziatori.

Anche l’interpretazione di questa tendenza richiede **considerazioni a diversi livelli**. L’accelerazione del progresso tecnologico delle ICT, le politiche industriali nazionali e la pressione competitiva configurano un quadro evolutivo in cui la trasformazione digitale, negli ultimi anni, ha senz’altro abilitato o richiesto al settore ICT in primis (insieme ad altri settori di punta con un notevole contributo di tecnologie embedded) un maggiore impegno in termini di R&S in tutti i canali di finanziamento. Questo impegno è stato confermato, dopo lo stop legato alla crisi pandemica, da parte di tutti gli attori della R&S ICT:

- la dinamica di crescita elevata di ricavi e valore aggiunto del settore ICT ha comunque permesso alle aziende di mantenere una quota elevata di autofinanziamento in vista della partita aperta sulla leadership competitiva nei mercati tecnologici del digitale, una partita che sta per giocarsi su nuovi mercati con maggiori opportunità per i player nazionali (intelligenza artificiale, semiconduttori, supercalcolo, Quantum);
- la quota di spesa per R&S ICT finanziata dal settore pubblico è ulteriormente confermata dai nuovi programmi Horizon Europe e Digital Europe a livello europeo e con il Piano Nazionale della Ricerca e il cofinanziamento dei progetti di ricerca del PNRR a livello nazionale;

- invece, il vero e proprio boom del capitale di rischio nei Paesi con R&S ICT avanzata ha toccato solo in parte la nostra economia, e probabilmente è qui che va cercata la parte di spesa R&S ICT mancante per assicurare un trend al passo con gli altri Paesi. Questo significa che, anche se il trend non è stato incoraggiante per il 2021 e il 2022, lo scenario può ancora essere di miglioramento e fa auspicare una crescita più marcata per



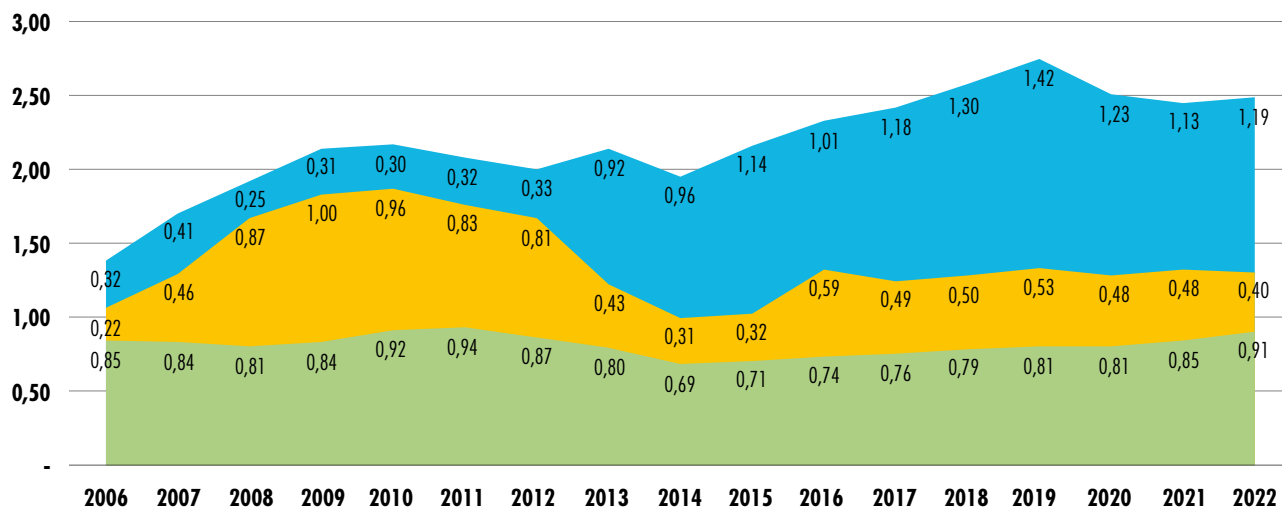
gli anni prossimi. Anche perché la tendenza di crescita è già presente dal 2020 nella R&S eseguita nelle imprese dei prodotti ICT e del software e servizi IT, a differenza dei servizi di telecomunicazione, ancora penalizzati da un trend di forte contrazione nella R&S ICT. L'**analisi per divisione settoriale** evidenzia che anche la dinamica di lungo periodo è fortemente polarizzata, con l'espansione graduale del contributo finanziato dalle imprese di software e servizi IT, la contrazione del contributo dei servizi di telecomunicazione e una sostanziale stabilità della quota finanziata dai produttori di computer, componenti elettroniche e altri dispositivi IT (Fig. 4).

Le dinamiche analizzate suggeriscono anche l'impatto di **alcune criticità "trasversali"**, presenti da tempo nella nostra economia e difficili da risolvere, che possono avere rallentato la crescita, comunque positiva, per la R&S nelle imprese anche nel settore ICT:

- la bassa patrimonializzazione delle piccole imprese ICT, presenti in quota maggiore nel settore software e servizi IT, come maggiore contributore alla R&S ICT nazionale;
- la bassa attrattività del mercato dei capitali nazionale che da poco comincia a vedere crescere l'apporto di capitale dall'estero ed è diventato più favorevole allo sviluppo di PMI innovative e start-up, anche grazie agli incentivi per start-up e PMI innovative;
- un contributo meno "intensivo" della ricerca universitaria e pubblica al settore ICT rispetto ad altri settori di punta per la R&S nazionale (ad esempio, chimica, biotech, automotive), contributo che però negli ultimi anni sta aumentando, in seguito all'accresciuta consapevolezza delle necessità di brevetti e competenze avanzate in ambito ICT;
- la presenza ridotta, rispetto agli altri maggiori Paesi europei, di leader tecnologici nel comparto dell'hardware (nazionali o internazionali), dove più elevate sono le risorse necessarie per fare crescere la ricerca e maggiore la necessità di collaborare anche a livello internazionale per attivare maggiori finanziamenti e capitale umano;
- la mancanza di ricercatori associata alla generale scarsità di neolaureati e di forza lavoro con competenze ICT avanzate;
- la meno vivace attività brevettuale rispetto agli altri Paesi;
- la bassa domanda di mercato associata a un tasso di trasformazione verso il digitale da parte dei mercati generalmente più lento rispetto ad altre economie avanzate rendendo quindi meno appetibili investimenti comunque associati con un certo livello di rischio;
- la minore esposizione del settore ICT in Italia alla pressione innovativa che arriva da processi di innovazione più avanzati nelle filiere industriali globali.

Con una spesa R&S nelle imprese ICT in crescita più lenta rispetto agli altri settori, la

FIGURA 4
Spesa R&S nelle imprese del settore ICT in Italia per Divisione 2006-2022 (Mld €)
Fonte: Istat, Rilevazione Ricerca & Sviluppo



R&S nel settore ICT ha purtroppo continuato a “perdere terreno” negli ultimi anni, ma non tutto è perso grazie alle nuove sfide legate all’apertura di nuovi mercati tecnologici associati alle tecnologie abilitanti, soprattutto in ambito IA, cybersicurezza, supercomputing e Quantum. Queste nuove tecnologie offrono un potenziale di mercato elevato, che può garantire tassi di ritorno notevoli alla R&S ICT in tempi molto brevi.

Finanziando più dell’83% della spesa R&S di settore, le imprese ICT hanno fatto e stanno facendo la loro parte. Senza riferimenti e meccanismi di supporto chiari dal settore pubblico e dal mercato finanziario è però più complesso, nel nostro Paese, attivare progetti di ricerca innovativi e di impatto in tempi rapidi e realizzare un vero recupero delle posizioni di svantaggio accumulato dalla spesa in R&S del settore ICT negli ultimi anni.

Dinamica e intensità di spesa R&S ICT a confronto con i maggiori Paesi

Quanto è il divario da colmare? Dall’analisi di alcuni parametri di intensità di spesa rispetto a Europa a 27, Francia, Germania e USA emerge una fotografia ancora molto preoccupante⁴. Nulla sembra essere migliorato rispetto alla fotografia scattata per la prima edizione del rapporto, anzi per alcuni aspetti lo scenario è addirittura peggiorato. Pur restando il terzo Paese nel perimetro EU27 per volume di spesa in R&S nel settore ICT, nel complesso la quota della spesa R&S ICT italiana è addirittura diminuita dall’8,4% nel 2018 al 6,7% nel 2022 (Fig. 5). La leggera crescita registrata nel 2022 conferma l’Italia in terza posizione per R&S ICT in EU27, con una quota probabilmente leggermente migliorata. Ma resta tuttavia di due, quasi tre punti percentuali inferiori rispetto al 2010, anno record per la quota italiana (9,5%).

Anche le prime due posizioni restano invariate per tutto il periodo analizzato, con la Germania stabilmente leader con continui incrementi nella spesa R&S, che rappresenta praticamente un quarto della spesa R&S ICT europea fino al 24% del 2021 (Fig. 6). La Germania è seguita dalla Francia che invece, dopo avere quasi eguagliato la Germania con una quota del 24,3% nel 2015, nell’ultima parte del periodo, con una spesa

FIGURA 5
Spesa R&S nelle imprese del settore ICT in Italia 2006-2021 (Mld €) % su EU27

Fonte: Istat Rilevazione Ricerca & Sviluppo, JRC PREDICT, Eurostat

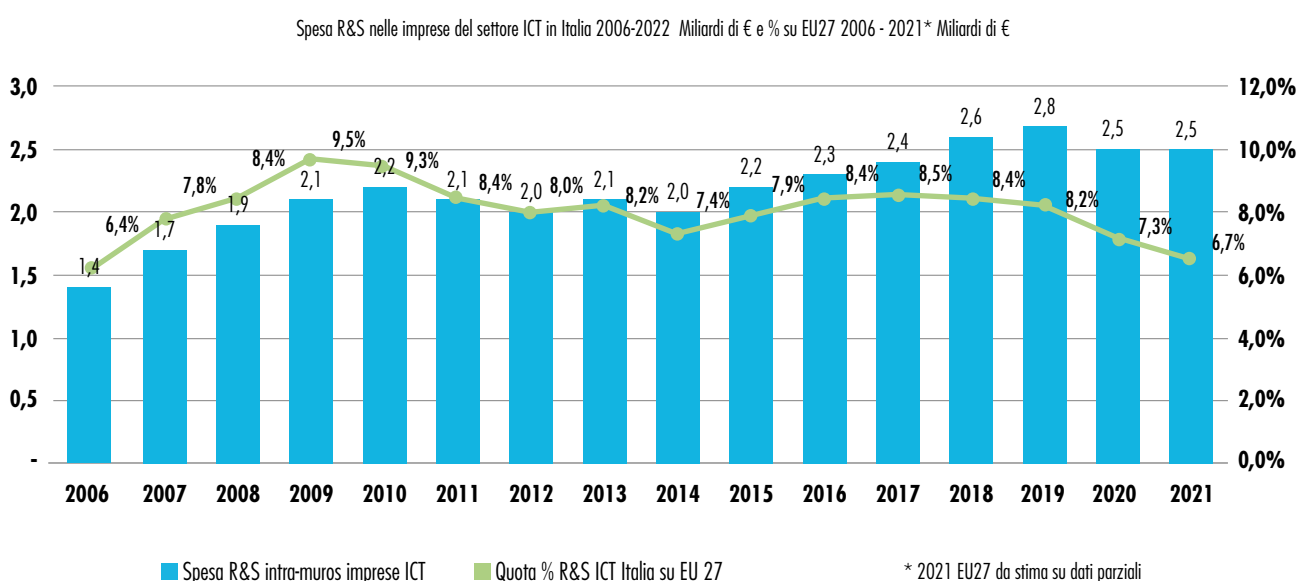


FIGURA 6
Quota Spesa R&S ICT intra-muros
nel Paese su totale Spesa R&S ICT
EU27 2006-2021

Fonte: Istat Rilevazione Ricerca & Sviluppo, JRC
 PREDICT, Eurostat

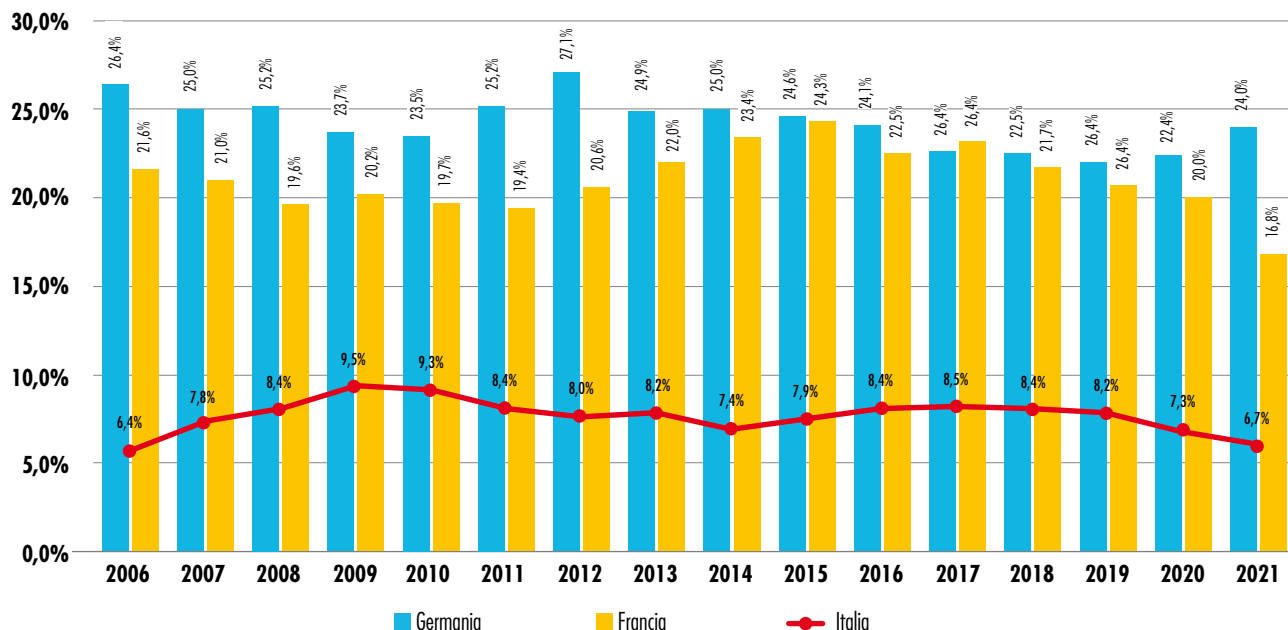


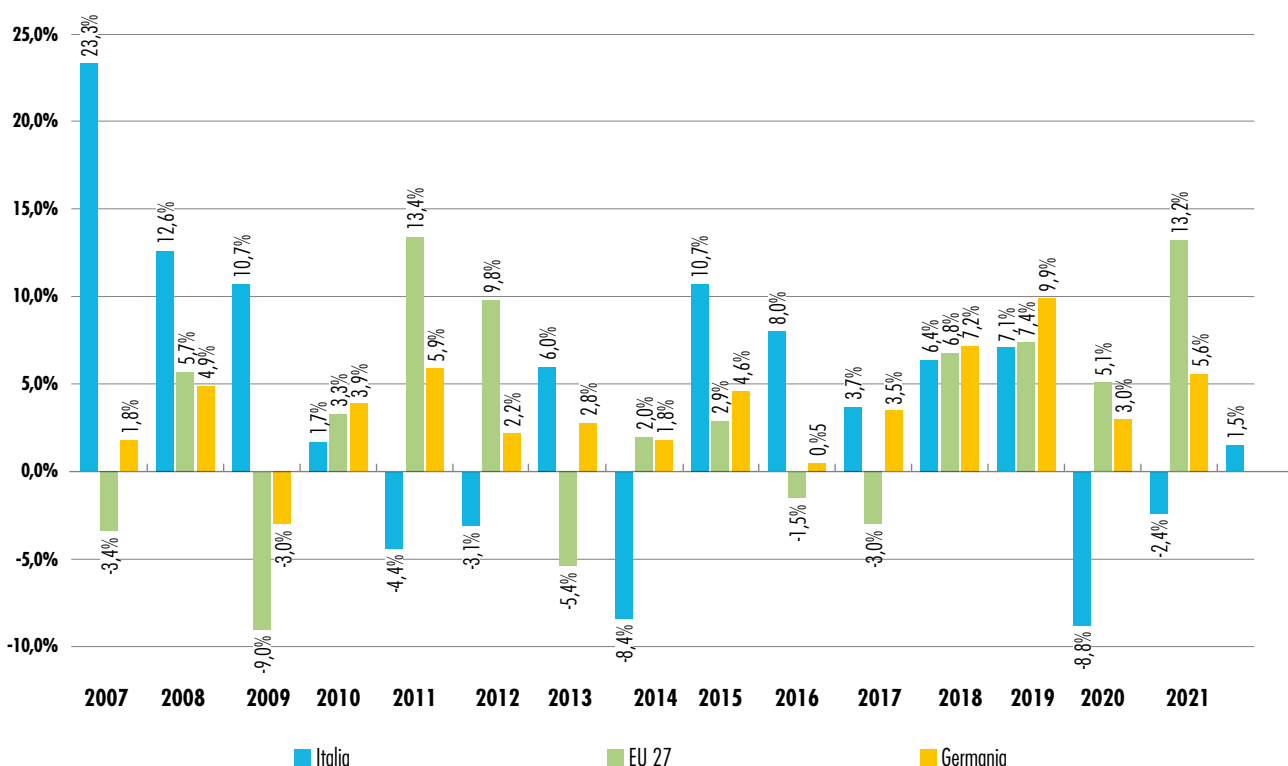
FIGURA 7
Spesa R&S nelle imprese del settore
ICT in Italia, EU27 e Germania
2007-2021* % Crescita annua

Fonte: Istat Rilevazione Ricerca & Sviluppo, JRC
 PREDICT, Eurostat

* dato per EU 27 nel 2021 è stimato su dati parziali, i dati per EU27 e Germania nel 2022 non sono disponibili

stabile in valore assoluto e non al passo con gli aumenti della Germania, ha visto la sua quota contrarsi fino al 16,8% nel 2021, in seguito a riduzioni successive della spesa in R&S ICT.

Per l'Italia, l'allargamento della forbice con la Germania è stato ancora più ampio tra il 2020 e il 2021 (Fig. 7). Rispetto alla spesa R&S nel settore ICT in Germania, in realtà la dinamica in Italia è stata più positiva nella prima parte del periodo 2007-2021, rendendo possibile un aumento progressivo della quota della spesa in R&S del settore ICT



rispetto all'EU27. Ma già questo non è stato sufficiente a recuperare il ritardo, in termini di "intensità" e quindi di "impatto", accumulato negli anni. Dal 2011 si sono susseguite dinamiche alterne, di calo e di crescita molto variabili di anno in anno, quasi "tattici" o risultanti da decisioni contingenti e certamente non facenti parte di un piano strategico pluriennale. Strategia che invece la Germania ha dimostrato di seguire con una dinamica sempre in crescita a eccezione di un solo anno, il 2009. Così, tra il 2020 e il 2021, la quota dell'Italia all'interno dell'EU27 è diventata un terzo di quella della Germania. Rispetto all'EU27 l'Italia registra dinamiche inferiori nel periodo 2010-2013 e nel 2014, mentre raggiunge tassi di crescita superiori sia a inizio periodo che negli ultimi anni.

In valori assoluti, il divario dell'Italia con i maggiori Paesi è ancora più marcato. Con 2,5 miliardi di euro nel 2022, la spesa R&S delle imprese ICT in Italia non è pari nemmeno a un terzo della spesa R&S delle imprese ICT in Germania, pari a 8,8 miliardi di euro nel 2021 (nel 2017 era più di un terzo ma meno della metà) e nemmeno alla metà della spesa R&S ICT in Francia con 6,2 miliardi di euro nel 2021 (Tab. 7). Mentre nel 2017 l'Italia aveva una quota ICT su investimenti R&S di poco superiore alla media europea (16,4% rispetto al 15,7% dell'EU27), la proporzione si è invertita nel 2021, con una quota del 15,6% per l'Italia e del 16,7% per l'Europa. La dimensione complessiva della spesa R&S ICT dell'Italia non regge il confronto con gli altri Paesi, proprio perché la bilancia complessiva della spesa R&S in Italia è comunque bassa. Questo sarà meglio evidenziato nei confronti sugli indicatori di intensità di spesa R&S. Infine, come per tutta l'Europa, notevole è il divario con la ricerca del settore ICT in USA, che con 134,8 miliardi di euro investiti nel settore ICT nel 2020 conta per il 28,6% del totale delle spese R&S USA in tutti i settori (in aumento rispetto al 23,5% del 2017). Gli **indicatori di intensità di spesa R&S ICT⁵** per il nostro Paese confermano le criticità già evidenziate. Rapportata al PIL dell'intera economia, la spesa in R&S delle

TABELLA 7

Spesa R&S nelle imprese del settore ICT per divisione. Confronto tra Paesi 2017 e 2021 (Mil €)

Fonte: Istat Rilevazione Ricerca & Sviluppo, JRC PREDICT, Eurostat

	Italia	Germania	Francia	EU27	USA*
2017					
Componenti, dispositivi, computer e altri prodotti ICT	758	3.096	2.864	9.630	56.417
Servizi di telecomunicazione	493	130	1.432	2.884	27.844
Produzione di software, consulenza informatica e altri servizi IT	1.177	3.252	3.443	16.792	2.382
Totale Settore ICT	2.429	6.479	7.740	29.306	86.643
Componenti, dispositivi, computer e altri prodotti ICT	31,2%	47,8%	37,0%	32,9%	32,9%
Servizi di telecomunicazione	20,3%	2,0%	18,5%	9,8%	9,8%
Produzione di software, consulenza informatica e altri servizi IT	48,5%	50,2%	44,5%	57,3%	57,3%
Totale Settore ICT	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
2021					
Componenti, dispositivi, computer e altri prodotti ICT	850	3.304	1.455	9.699	69.588
Servizi di telecomunicazione	480	188	967	3.728	4.417
Produzione di software, consulenza informatica e altri servizi IT	1.135	5.345	3.761	23.347	60.771
Totale Settore ICT	2.464	8.836	6.182	36.774	134.776
Componenti, dispositivi, computer e altri prodotti ICT	34,5%	37,4%	23,5%	26,4%	51,6%
Servizi di telecomunicazione	19,5%	2,1%	15,6%	10,1%	3,3%
Produzione di software, consulenza informatica e altri servizi IT	46,0%	60,5%	60,8%	63,5%	45,1%
Totale Settore ICT	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
% su R&S in tutti i settori					
2017	16,4%	9,4%	23,4%	15,7%	23,5%
2021	15,6%	11,5%	17,0%	16,7%	28,6%

* il valore si riferisce al 2020



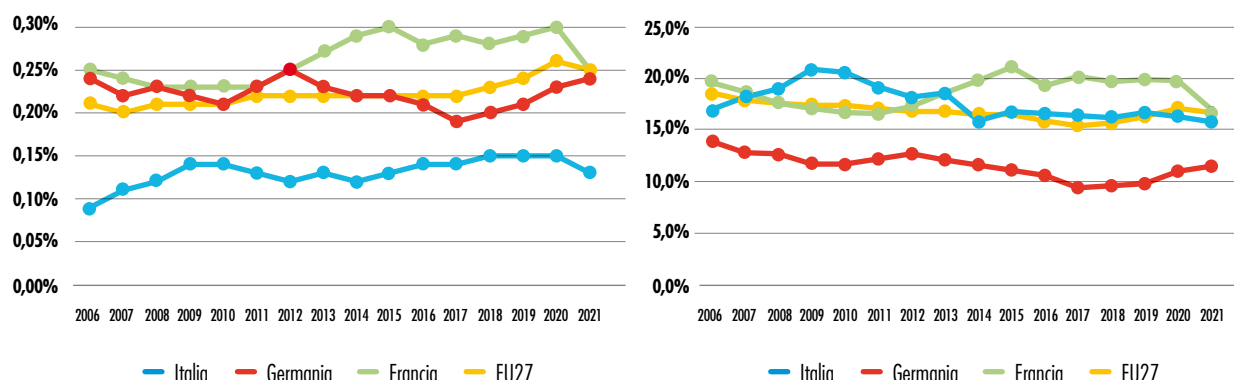


FIGURA 8
% Spesa R&S nelle imprese ICT su GDP e GERD 2006-2021

Fonte: Istat, JRC Predict

TABELLA 8
Intensità Spesa R&D delle imprese nel settore ICT Confronto tra Paesi 2017 e 2021

Fonte: Istat Rilevazione Ricerca & Sviluppo, JRC PREDICT, Eurostat

aziende del settore ICT in Italia presenta valori costantemente inferiori a quelli raggiunti in Germania o Francia o nell'EU27 (Fig. 8).

In particolare, nel 2022, in Italia la spesa in R&S delle aziende del settore ICT (autofinanziata o co-finanziata con fondi pubblici o altre fonti di finanziamento anche estere) (Tab. 8)

- conta per il 15,8% della spesa in R&S delle imprese di tutti i settori (era il 16,2% nel 2018), insieme al 15,9% del 2014 è il valore più basso registrato dal 2016, contro una punta massima del 20,9% nel 2009;
- rappresenta una quota del 10% della spesa complessiva in ricerca e sviluppo presso tutti i settori esecutori (imprese, enti di ricerca, università), sostanzialmente stabile a questo livello dal 2008;
- è pari al 4,1% del valore aggiunto del settore ICT (4,3% nel 2018), valore notevolmente inferiore a quello realizzato in Germania, Francia e EU27;
- è pari allo 0,13% del PIL (era lo 0,15% nel 2018).

È interessante notare che relativamente alla dimensione della R&S in tutti i settori, il valore della

	Italia	Germania	Francia	EU 27	USA
Anno di riferimento	2018	2018	2017	2017	2017
Spesa R&S intra-muros nelle imprese ICT (Mil €)	2.585	6.914	7.740	29.308	108.007
% R&S imprese ICT su totale R&S imprese	16,2%	9,6%	23,8%	15,9%	30,5%
% R&S imprese ICT su spesa R&S Complessiva	10,2%	6,6%	15,4%	10,5%	22,5%
% R&S imprese ICT su Valore Aggiunto Settore ICT	4,1%	5,0%	7,5%	5,2%	10,6%
% R&S imprese ICT su GDP	0,15%	0,21%	0,34%	0,22%	0,63%
Anno di riferimento	2022	2021	2021	2021	2020
Spesa R&S intra-muros nelle imprese ICT (Mil €)	2.502	8.836	6.182	36.774	134.776
% R&S imprese ICT su totale R&S imprese	15,8%	11,5%	17,0%	16,7%	28,6%
% R&S imprese ICT su spesa R&S Complessiva	10,0%	7,7%	11,2%	11,0%	21,4%
% R&S imprese ICT su Valore Aggiunto Settore ICT	4,3%	5,4%	6,4%	5,1%	28,8%



R&S ICT in Italia è proporzionalmente in linea con la media dell'EU27 e con la Francia, mentre è persino superiore alla Germania. Questo significa che il livello investito è coerente con la capacità di investimento in R&S media di tutti i settori, mentre il livello più basso della Germania è legato alla presenza di una quota considerevole di R&S dal settore automotive, meccanico e farmaceutico che abbatta la quota R&S ICT. Invece, relativamente al PIL, il rapporto R&S ICT per l'Italia è sempre notevolmente inferiore, trainato anche da un volume del settore ICT già basso rispetto all'intera economia. Relativamente al rispettivo valore aggiunto di settore, il valore della R&S ICT in Italia è sempre inferiore ai maggiori Paesi, ma con un divario meno forte.

IL CAPITALE UMANO NELLA RICERCA

Da uno studio di Banca d'Italia emerge una forte complementarità, ai fini dell'attività innovativa di prodotto e di processo, tra la presenza di lavoratori con elevato capitale di conoscenza e la spesa in R&S⁶.

Già a livello complessivo, l'Italia da decenni necessita di **destinare più risorse alla scienza e alla tecnologia** e, quindi, di aumentare sensibilmente il numero dei ricercatori. Pur avendo segnato un aumento della quota di ricercatori sulla forza lavoro complessiva (+1,5% aumento del personale in unità di tempo equivalenti a tempo pieno impegnato in attività di R&S nel 2022, oltre il 4% l'aumento nelle Università e nel settore non profit), in generale, l'Italia ha infatti ancora un **numero di ricercatori**, in proporzione, assai inferiore alle principali economie. L'aumento sostanziale di investimenti privati e pubblici per la ricerca e per i dottorati attraverso il PNRR sta migliorando lo scenario anche se non senza sfide.

Il personale R&S nelle imprese del settore ICT

Il settore Imprese è quello che raccoglie il maggior numero di personale addetto alla R&S nel settore ICT in Italia. Nel 2022 gli addetti R&S hanno superato le 52.000 unità (o 38.000 in termini di unità equivalenti a tempo pieno, ETP), mentre i ricercatori sono arrivati a quasi 19.600 (più di 15.150 in unità ETP) (Tab. 9). Più di due terzi sono nei servizi IT.

La distribuzione territoriale riflette il profilo di localizzazione del settore ICT, con circa due terzi degli addetti al nord e il resto equamente distribuito tra centro e l'insieme di sud e isole (Tab. 10). I ricercatori sono leggermente più concentrati nel nord-ovest e nelle isole.

TABELLA 9
Addetti alla R&S del settore ICT per divisione 2022

Fonte: Istat, Rilevazione sulla Ricerca e Sviluppo

Divisione	Addetti alla R&S		Ricercatori	
	Numero	ETP	Numero	ETP
Prodotti ICT	8.736	7.635	4.608	4.323
Servizi IT	39.523	26.817	12.950	8.937
Servizi di telecomunicazioni	3.963	3.628	2.014	1.894
Totale settore ICT	52.222	38.080	19.572	15.154
Nota: ETP = equivalente a tempo pieno				



Territorio	Addetti alla R&S		Ricercatori	
	Numero	ETP	Numero	ETP
Nord-Ovest	18513	13965	6786	5444
Nord-Est	13191	8820	4077	3033
Centro	10362	7301	4026	2798
Sud	7237	5452	2927	2256
Isole	2919	2542	1756	1623
Totale Settore ICT	52.222	38.080	19.572	15.154

TABELLA 10
Addetti alla R&S del settore ICT
per territorio 2022

Fonte: Istat, Rilevazione sulla Ricerca e Sviluppo

TABELLA 11
Addetti R&S e ricercatori del
settore ICT (FTE*) e Spesa R&S
Intra-muros per ricercatore e
addetto R&S 2017-2022

Fonte: Istat, Rilevazione sulla Ricerca e Sviluppo

*FTE= Full Time Equivalent

Nel 2022 il personale addetto alla R&S nel settore ICT è risultato in leggero aumento (+2,2%) in termini di unità equivalenti a tempo pieno, dopo due anni di arretramento (-6,7% nel 2020 e -4,1% nel 2021). È invece calato per il terzo anno consecutivo il numero di ricercatori in unità equivalenti a tempo pieno, arrivando, con 15.154 unità, a un numero inferiore a quello del 2018 (Tab. 11). Questa dinamica è il prodotto di trend diversi fra loro. Si è registrato un calo sempre maggiore nel 2021 e 2022 per i servizi di telecomunicazione, sia per gli addetti R&S (-763 unità ETP in due anni) che per i ricercatori (-1.655 unità ETP). In diminuzione, ma meno marcata, sono stati anche gli addetti R&S (-669 unità ETP in due anni) e ricercatori (-233) nei servizi IT. Sono invece in aumento gli addetti R&S (+691 unità ETP in due anni) e i ricercatori (+580) presso le imprese produttrici di dispositivi, apparati e componenti ICT. La spesa R&S per addetto R&S e per ricercatore è sostanzialmente stabile o in leggera diminuzione, a eccezione della spesa R&S per ricercatore nei servizi di telecomunicazione in

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	% Cresc 2018	% Cresc 2019	% Cresc 2020	% Cresc 2021	% Cresc 2022
ISTAT											
Spesa R&D Imprese (migliaia di Euro)											
Prodotti ICT	701.599	723.648	743.222	744.391	779.713	843.835	3%	3%	0%	5%	8%
Servizi di telecomuni- cazioni	483.394	479.077	479.818	431.512	425.795	352.892	-1%	0%	-10%	-1%	-17%
Servizi IT	937.015	1.013.769	1.135.574	964.172	864.305	884.306	8%	12%	-15%	-10%	2%
Totale	2.122.008	2.216.494	2.358.614	2.140.075	2.069.813	2.081.033	4%	6%	-9%	-3%	1%
Addetti R&D (FTE)											
Prodotti ICT	6.965	7.300	7.105	6.944	7.115	7.635	4,8%	-2,7%	-2,3%	2,5%	7,3%
Servizi di telecomuni- cazioni	4.705	3.583	4.372	4.391	4.136	3.628	-23,8%	22,0%	0,4%	-5,8%	-12,3%
Servizi IT	23.859	28.111	30.151	27.486	25.997	26.817	17,8%	7,3%	-8,8%	-5,4%	3,2%
Totale	35.529	38.994	41.628	38.821	37.248	38.080	9,8%	6,8%	-6,7%	-4,1%	2,2%
Ricercatori (FTE)											
Prodotti ICT	3492	3723	3633	3743	3797	4.323	6,6%	-2,4%	3,0%	1,4%	13,9%
Servizi di telecomuni- cazioni	2341	2982	3405	3549	3298	1.894	27,4%	14,2%	4,2%	-7,1%	-42,6%
Servizi IT	7673	9391	9851	9170	8417	8.937	22,4%	4,9%	-6,9%	-8,2%	6,2%
Totale	13.506	16.096	16.889	16.462	15.512	15.154	19,2%	4,9%	-2,5%	-5,8%	-2,3%



	Codice ATECO	2017	2018	2019	2020	2021	2022	% cresc 2018	% cresc 2019	% cresc 2020	% cresc 2021	% cresc 2022
Addetti R&S (Numero)												
"Fabbricazione di computer e prodotti di elettronica e ottica, apparecchi elettromed, apparecchi di misurazione e orologi"	261-264, 268	8.136	8.671	8.598	8.263	8.321	8736	6,6%	-0,8%	-3,9%	0,7%	5,0%
Servizi di telecomunicazione	61	5.160	4.015	5.096	4.839	4.614	3963	-22,2%	26,9%	-5,0%	-4,6%	-14,1%
Produzione di software, consulenza informatica e attività connesse	465, 582, 62, 631, 951	36.630	43.797	47.445	42.068	39.680	39523	19,6%	8,3%	-11,3%	-5,7%	-0,4%
Totale		49.926	56.483	61.139	55.170	52.615	52.222	13,1%	8,2%	-9,8%	-4,6%	-0,7%
Ricercatori (Numero)												
"Fabbricazione di computer e prodotti di elettronica e ottica, apparecchi elettromed, apparecchi di misurazione e orologi"	261-264, 268	3827	4172	4107	4210	4144	4608	9,0%	-1,6%	2,5%	-1,6%	11,2%
Servizi di telecomunicazione	61	2519	3160	3742	3776	3460	2014	25,4%	18,4%	0,9%	-8,4%	-41,8%
Produzione di software, consulenza informatica e attività connesse	465, 582, 62, 631, 951	11544	14225	15177	13304	12205	12950	23,2%	6,7%	-12,3%	-8,3%	6,1%
Totale		17.890	21.557	23.026	21.290	19.809	19.572	20,5%	6,8%	-7,5%	-7,0%	-1,2%

cui, a causa della forte contrazione dei ricercatori nel 2022, l'indicatore medio unitario è aumentato. Trend simili a quelli appena descritti in termini di ETP si registrano anche in numero (Tab. 12).

Ne risulta che **di nuovo l'Italia si allontana dai livelli degli altri Paesi europei**. Considerando il confronto con la Germania, il calo dei ricercatori allarga la forbice tra il valore italiano e quello tedesco per la quota di ricercatori su personale R&S nelle imprese ICT (Fig. 9). La quota di ricercatori nelle imprese ICT rispetto ai ricercatori in tutti i settori resta stabile, essendo il calo dei ricercatori una tendenza che influenza anche gli altri settori. Dal 2011, supera l'indicatore della Germania che invece diminuisce progressivamente a fronte di dinamiche di espansione maggiore nei settori dominanti della R&S tedesca, l'automotive e la chimica. È invece abbastanza allineata tra Italia e Germania la quota del personale R&S nelle imprese ICT rispetto al personale R&S nelle imprese di tutti i settori.

Anche la differenza peggiora, come evidenzia l'analisi delle serie storiche per Italia e Germania. Il settore ICT italiano si mantiene al di sotto di quello tedesco in termini di

TABELLA 12

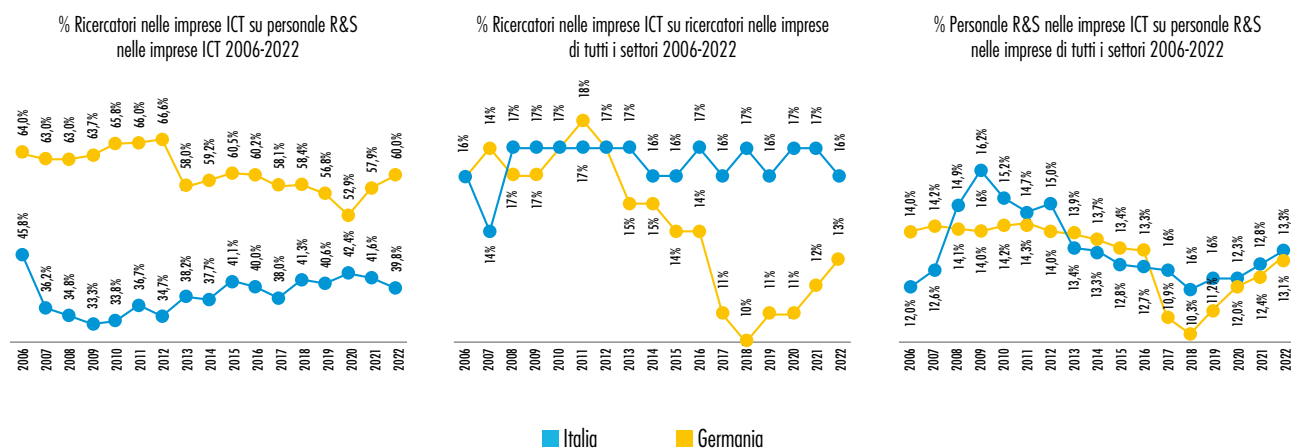
Numero di addetti R&S e ricercatori del settore ICT per divisione 2017-2022

Fonte: Istat, Rilevazione sulla Ricerca e Sviluppo

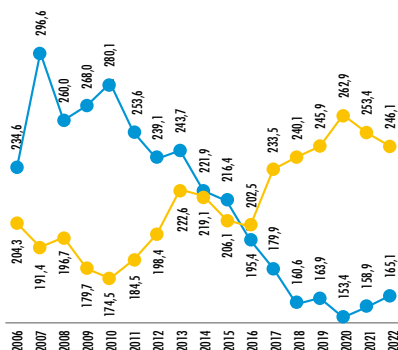
FIGURA 9

Personale R&S e ricercatori nel settore ICT in Italia e Germania 2006-2022

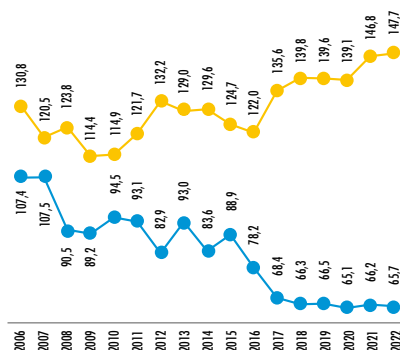
Fonte: Istat, Statistisches Bundesamt, JRC Predict



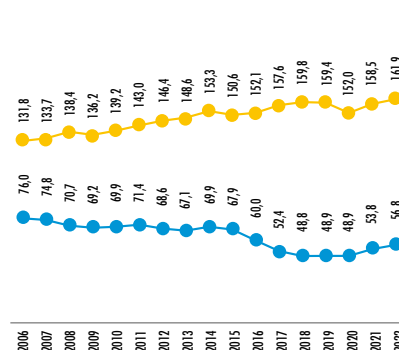
Spesa R&S ICT per ricercatore nelle imprese ICT 2006-2022
€ Migliaia



Spesa R&S ICT per addetto R&S nelle imprese ICT 2006-2022
€ Migliaia



Spesa R&S per addetto R&S nelle imprese di tutti i settori
2006-2022 € Migliaia



■ Italia ■ Germania

FIGURA 10

Spesa R&S per personale R&S e per ricercatore nel Settore ICT in Italia e Germania 2006-2022

Fonte: Istat, Statistisches Bundesamt, JRC Predict

quota di ricercatori sul totale personale di ricerca anche se, rispetto alla Germania, il settore ICT ha proporzionalmente più personale R&S e ricercatori rispetto agli altri settori. Peggiora pure la posizione italiana rispetto alla Germania in termini di spesa R&S per ricercatore, con un deterioramento iniziato nel 2010 e continuato progressivamente fino a entrare in area inferiore al valore tedesco a partire dal 2016 (soprattutto nei servizi di telecomunicazione) con scarti negativi sempre più ampi rispetto alla Germania (Fig. 10). Proporzionalmente più ampio rispetto alla spesa R&S ICT per ricercatore è il divario con la Germania per la spesa R&S ICT per addetto che riflette il divario ancora maggiore a livello di tutti i settori.

Le medesime osservazioni sulla riduzione delle strutture R&S nel settore ICT e sull'aumento del divario con la Germania, si rilevano dal confronto degli indicatori medi unitari nel 2017 e nel 2022 (Tab. 13). Nel confronto temporale emerge che, mentre la quota di addetti R&S per il settore ICT sul totale dei settori è aumentata in Germania (dal 10,9% nel 2017 al 13,1% nel 2022), Francia (dal 21,2% al 29%) ed Europa (dal 18,7% al 21,3%), in Italia è calata dal 18,5% al 13,3%, più di cinque punti percentuali. Lo stesso vale per i ricercatori, per i quali la quota su tutti i settori è diminuita dal 21,6% al 15,8%. Rispetto agli altri Paesi, mentre nel 2017 l'Italia era abbastanza allineata a Francia e EU27 in termini di intensità di presenza dei ricercatori rispetto al personale R&S e al personale in generale, nel 2022 ha perso terreno in misura importante, nonostante l'arretramento riscontrato anche per gran parte degli indicatori della R&S nel settore ICT per l'EU27. Anche la spesa R&S per ricercatore nelle imprese ICT si è ridotta tra il 2017 e il 2022, ma in misura meno che proporzionale rispetto all'EU27 e rimane a livelli medi unitari più alti, ma, a causa del forte calo dei ricercatori, più importante del calo della spesa R&S.

I dati degli ultimi anni su numerosità e intensità di presenza del personale addetto alla R&S e in particolare dei ricercatori nelle imprese ICT in Italia evidenziano **le stesse criticità già evidenziate nella prima edizione di questo studio** (pubblicata nel 2020 con dati relativi al 2018), con un divario non colmato ma addirittura peggiorato rispetto a Germania e EU 27 in generale. In particolare:



	Italia	Germania	Francia	EU27
2017				
% Addetti R&S nelle imprese ICT su addetti R&S nelle imprese di tutti i settori	18,5%	10,9%	21,2%	18,7%
% Addetti R&S nelle imprese ICT su addetti totali nelle imprese ICT	5,5%	3,9%	6,5%	5,1%
% Addetti R&S nelle imprese di tutti i settori su addetti totali nelle imprese di tutti i settori	0,8%	1,0%	0,9%	0,8%
% Ricercatori nelle imprese ICT su Ricercatori nelle imprese di tutti i settori	21,6%	11,0%	26,9%	21,2%
% Ricercatori nelle imprese ICT su Addetti R&S nelle imprese ICT	38,0%	58,1%	85,3%	66,6%
% Ricercatori nelle imprese di tutti i settori su Personale R&S nelle imprese di tutti i settori	32,5%	57,9%	67,2%	58,6%
Spesa R&S ICT per addetto nel settore ICT	3.729	5.238	9.123	5.121
Spesa R&S ICT per addetto R&S nel settore ICT	68.366	135.638	141.420	101.341
Spesa R&S ICT per ricercatore nel settore ICT	179.850	233.451	165.744	152.110
2022				
% Addetti R&S nelle imprese ICT su addetti R&S nelle imprese di tutti i settori	13,3%	13,1%	29,0%	21,3%
% Addetti R&S nelle imprese ICT su addetti totali nelle imprese ICT	5,7%	4,4%	9,1%	5,9%
% Addetti R&S nelle imprese di tutti i settori su addetti totali nelle imprese di tutti i settori	1,1%	1,1%	1,0%	0,9%
% Ricercatori nelle imprese ICT su Ricercatori nelle imprese di tutti i settori	15,8%	13,3%	31,9%	23,0%
% Ricercatori nelle imprese ICT su Addetti R&S nelle imprese ICT	39,8%	60,0%	76,9%	65,6%
% Ricercatori nelle imprese di tutti i settori su Personale R&S nelle imprese di tutti i settori	33,5%	59,0%	69,8%	60,8%
Spesa R&S ICT per addetto nel settore ICT	3.761	6.477	7.627	5.318
Spesa R&S ICT per addetto R&S nel settore ICT	65.702	147.706	83.426	89.599
Spesa R&S ICT per ricercatore nel settore ICT	165.100	246.053	108.470	136.623

- una numerosità limitata in confronto con altri Paesi europei, specialmente se si considerano i soli ricercatori, sia in numero effettivo che in unità equivalenti a tempo pieno;
- dopo lo stop della pandemia, riprende la crescita delle strutture R&S nelle imprese produttrici di apparati, dispositivi e componenti ICT e nelle imprese dei servizi IT, mentre continua e peggiora nel 2022 la contrazione nel numero dei ricercatori nei servizi di telecomunicazione;
- la distribuzione territoriale riflette quella del settore ICT, ma con una relativa maggiore concentrazione di ricercatori nel nord-est e nelle isole;
- aumenta il divario con Germania, Francia ed EU27.

TABELLA 13
Indicatori occupazione totale e nella R&S nelle imprese del settore ICT 2017 e 2022

Fonte: Istat, Eurostat, Statistisches Bundesamt, INSEE, JRC Predict



I brevetti ICT in imprese, università e centri di ricerca

Se il sottodimensionamento della R&S intra-muros nelle imprese ICT è peggiorato negli ultimi anni sia in termini di spesa che in termini di personale e ricercatori, **la situazione della produzione della ricerca, ovvero i brevetti, è ancora più preoccupante.**

Come evidenzia la Fig. 11, il numero complessivo di brevetti per milione di abitante, considerando i brevetti di tutti i settori di ricerca (imprese, centri di ricerca e università) in tutti i settori economici (ICT ma anche automotive, meccanica, chimica, ecc.) conferma la leadership della Svizzera, e poi di Svezia e Corea a livelli più che tripli rispetto alla media dell'EU27 per abitante, e l'intensità di brevettazione per abitante anche di Giappone, Danimarca e Germania, vede l'Italia in penultima posizione tra i maggiori Paesi, davanti solo alla Spagna.

Questo distacco dell'Italia dalle maggiori economie con cui ci confrontiamo riguarda il dato dei brevetti complessivi. Considerando l'attività legata ai soli brevetti in ambito ICT, i numeri più recenti dell'Ufficio Italiano Brevetti (UIB) sulle domande di brevetto per settore e in ambito ICT nel periodo 2011-2020 evidenziano una quota molto bassa delle domande di brevetto in ambito ICT sul totale delle domande, assestata su un valore compreso nell'intervallo tra il 6,7% e il 7,2%, per una media del periodo pari al 6,8%, contro una quota del 40,9% dell'ingegneria meccanica (trasporti, macchine industriali, motori e turbine, macchine utensili), del 16,9% della chimica, del 13,9% degli strumenti di misura (Tab. 14). Considerando una quota della spesa R&S intra-muros nel settore ICT del 15,8% su tutti i settori nel 2018 e del 16,2% nel 2022, il potenziale della quota

FIGURA 11
Brevetti rilevanti a livello mondiale*, confronto internazionale 1995-2021.
Numero per milione di abitanti

Fonte: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, Maggio 2024. Stime da data base: European Patent Office (PATSTAT), EUROSTAT, World Bank

* invenzioni registrate all' European Patent Office (EPO) o al World Intellectual Property Organization (WIPO); (2) EU include i Paesi membri in ogni anno, UK escluso dal 2020

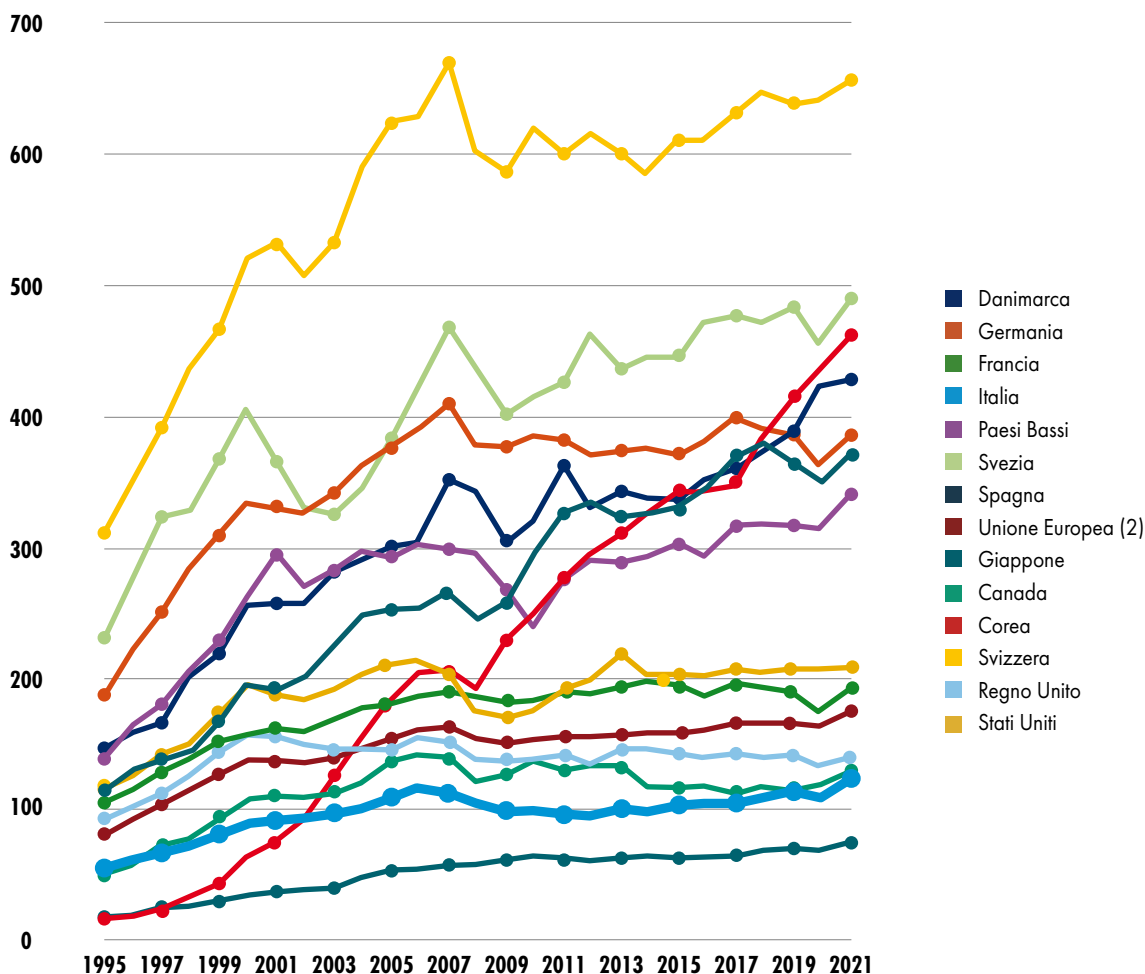


TABELLA 14

Domande di brevetto per settore e in ambito ICT 2011-2020.**Quota % su totale delle domande**

Fonte: UIBM - Ufficio Italiano Brevetti e Marchi

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Media 2011-2020
Ingegneria Meccanica	39,71	38,65	39,28	39,56	39,05	39,71	38,82	39,95	40,63	40,93	39,63
Chimica	15,31	16,08	15,21	15,91	16,57	15,49	15,98	16,12	16,52	16,86	16
Altri campi	21,34	20,8	21,19	20,84	19,53	19,24	19,53	18,8	18,32	18,01	19,76
Strumenti di misura e materiali	11,76	12,48	13,08	13,07	13,38	13,71	13,77	13,74	13,35	13,23	13,16
Altra ingegneria elettrica	4,88	5,2	4,5	3,84	4,85	5,1	4,66	4,65	4,35	4,1	4,61
ICT	7,01	6,78	6,73	6,76	6,63	6,74	7,25	6,73	6,83	6,87	6,84
Tecnologie per i Computer	1,42	1,55	1,68	1,7	2,09	1,55	1,54	1,62	2,23	2,45	1,78
Metodi IT per la gestione	0,83	1,21	1,19	1,38	1,29	1,68	1,75	1,87	1,61	1,59	1,44
Tecnologie audio-visive	1,3	1,15	1,16	0,86	0,93	1,02	0,94	0,85	0,57	0,42	0,92
Semiconduttori	1,5	1,29	1,03	0,73	0,64	0,65	0,75	0,71	0,77	0,81	0,89
Telecomunicazioni	0,94	0,87	0,68	0,99	0,59	0,7	0,89	0,64	0,57	0,53	0,74
Comunicazioni digitali	0,61	0,47	0,73	0,68	0,76	0,82	1,02	0,7	0,79	0,79	0,74
Processi di comunicazione di base	0,41	0,24	0,26	0,42	0,33	0,32	0,36	0,34	0,29	0,28	0,33

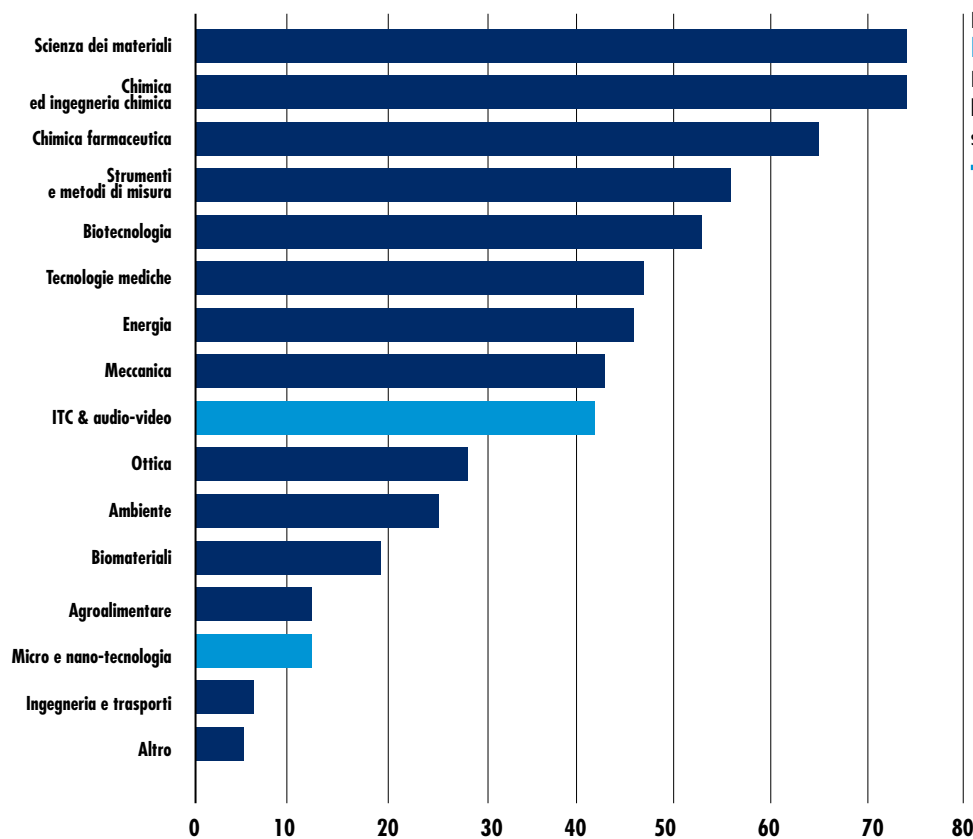


FIGURA 12

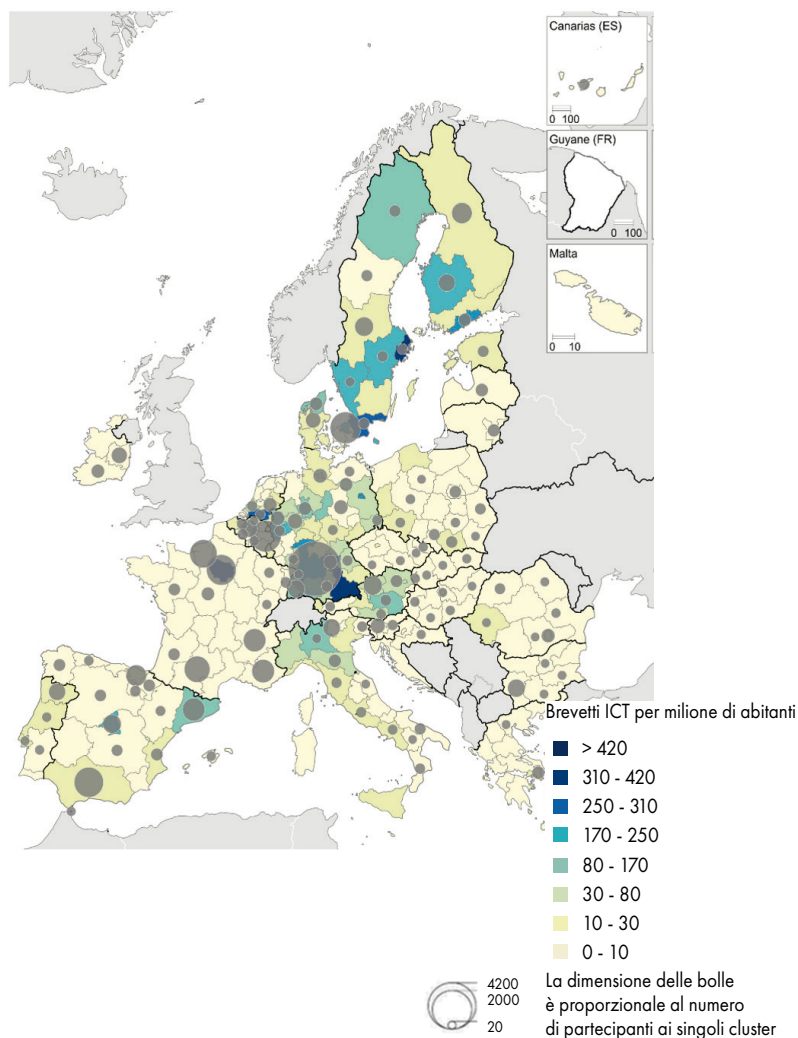
Brevetti CNR per Dominio 2023

Fonte: CNR, Relazione sulla ricerca e l'innovazione in Italia, quarta edizione, settembre 2023



FIGURA 13
Cluster dei Brevetti Digitali
in Europa 2022

Fonte: Science, research and innovation
performance of the EU 2024, European Cluster
Collaboration Platform



di brevetti potrebbe essere maggiore di quello attuale e dell'ultimo decennio. Una conferma della minore produttività brevettuale della R&S in ambito ICT, non solo intra-muros, presso le imprese del settore ICT, ma anche presso i centri di ricerca e le università, arriva dal mix dei brevetti attivi del CNR per dominio (Fig. 12). I brevetti in ambito ICT e micro e nanotecnologie non arrivano a 60, contro i più di 70 di chimica e ingegneria dei materiali e i più di 60 della chimica farmaceutica. La stessa conferma arriva dai dati sui cluster dei brevetti digitali in Europa (Fig. 13) con una bassa partecipazione ai cluster digitali e un livello medio basso di brevetti ICT per milione di abitanti in Italia.

Invenzioni sempre più collaborative per le tecnologie quantistiche



Il numero di invenzioni nel campo dell'informatica quantistica si è moltiplicato negli ultimi dieci anni, ben al di sopra dell'aumento generalmente osservato in tutti i settori della tecnologia.

Pur non maggioritaria, con oltre il 20% negli ultimi dieci anni, la quota delle domande di brevetto internazionali per le tecnologie quantistiche è superiore alla media di tutti i

campi tecnologici. Questo suggerisce elevate aspettative economiche per le tecnologie quantistiche e una corrispondente strategia di commercializzazione multinazionale. I percorsi di domanda evidenziano domande di brevetto internazionali che possono portare alla protezione del brevetto in più di 150 Paesi in tutto il mondo, domande in USA, domande in Giappone, domande EP (Europa) e ►



domande in Cina.

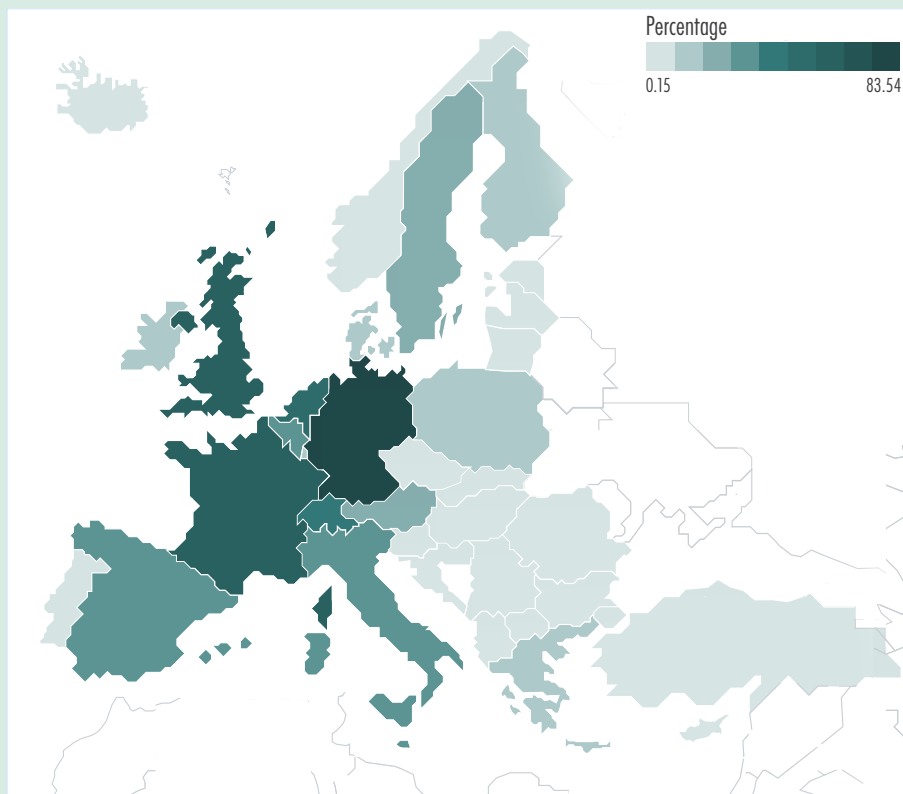
I casi delle Famiglie Brevettuali Internazionali forniscono indicazioni di cooperazione tra diverse aziende o tra aziende e istituzioni accademiche, sia all'interno dello stesso Paese che oltre i confini nazionali. Circa una domanda di brevetto europeo su dieci nel campo dell'informatica quantistica ha diversi richiedenti di brevetto, il che suggerisce una cooperazione attiva tra di loro. I richiedenti il brevetto provengono da tutti i continenti, con un chiaro focus (per circa due terzi) sulla stessa regione o continente. In circa un quarto delle famiglie di brevetti congiunti con un richiedente EPC, si osserva un altro richiedente del Nord America, principalmente dagli Stati Uniti.

La tendenza dinamica dei brevetti nel campo dell'informatica quantistica nel suo complesso può essere osservata anche nei sotto settori "realizzazioni fisiche dell'informatica quantistica", "correzione/mitigazione degli errori quantistici" e, con maggiore intensità, nel sotto settore "informatica quantistica e intelligenza artificiale/apprendimento automatico",

il cui sviluppo è iniziato solo nell'ultimo decennio e procede a ritmi più elevati della media di tutto il campo quantistico. Questo sotto settore si caratterizza anche per la maggiore distribuzione geografica dei candidati. Mentre l'elenco dei richiedenti di brevetti più attivi nell'intero campo e nei sotto settori "realizzazioni fisiche dell'informatica quantistica" e "correzione/mitigazione degli errori quantistici" è guidato da società con sede negli Stati Uniti che hanno svolto un ruolo sempre più importante negli ultimi anni, la diversità di origine rimane elevata nel sotto settore "informatica quantistica e intelligenza artificiale/apprendimento automatico". La Figura mostra la percentuale di brevetti EP nelle famiglie di brevetti internazionali nel campo dell'informatica quantistica che sono stati convalidati e mantenuti in uno Stato membro EPC, in uno Stato di estensione o in uno Stato di convalida. La cifra fornisce un'indicazione dell'importanza di un Paese come luogo di ricerca e produzione e come mercato nel campo dell'informatica quantistica, secondo i detentori di brevetti in tale campo.

Percentuale di brevetti EP concessi in famiglie di brevetti internazionali nel campo dell'informatica quantistica* (2023)

* convalidati e mantenuti in uno Stato membro della Convenzione sul brevetto europeo, in uno Stato di estensione o in uno Stato di convalida. Questa percentuale è ottenuta attraverso le informazioni procedurali relative al pagamento



(Tratto da European Patent Office, "Quantum Computing: Insight Report", gennaio 2023)

I FONDI PUBBLICI PER LA RICERCA IN AMBITO ICT

Il credito di imposta per la R&S e il Patent Box⁷

Gli incentivi alle imprese per la realizzazione di attività legate alla R&S rappresentano uno dei punti cardine della politica economica più recente a sostegno delle imprese. Negli ultimi anni, in Italia come in altri Paesi, **il sostegno alla R&S delle imprese è andato orientandosi verso incentivi automatici⁸ e indiretti piuttosto che diretti**. Nel 2015 è stato potenziato il credito d'imposta per la R&S, e si è introdotto un nuovo strumento a favore delle imprese che investono in R&S, il Patent Box. Con il riconoscimento del credito d'imposta sull'incremento dell'investimento rispetto alla media storica (pre-intervento 2012-2014) si è ridotto il costo effettivo dell'investimento in R&S sostenuto dall'impresa, indipendentemente dalle potenzialità di successo dell'investimento. Invece, con il Patent Box, si è intervenuti a favore delle imprese R&S che hanno ottenuto la registrazione di un brevetto, frutto dell'attività R&S, concedendo l'esclusione parziale dal reddito imponibile dei proventi ottenuti dallo sfruttamento del bene giuridicamente tutelabile, con l'obiettivo di rendere attrattivo il mercato interno per la collocazione di beni intangibili evitandone la ricollocazione fuori dal Paese. Entrambi i provvedimenti hanno subito numerose revisioni nel corso del tempo (Tab. 15 e 16). In particolare, sono ripetutamente mutati gli obiettivi assegnati al credito R&S. Per il credito R&S le modifiche significative sono avvenute nel:

TABELLA 15
L'evoluzione 2015-2023
della disciplina del credito
d'imposta per la Ricerca
e Sviluppo
Fonte: Istat

	2015-2016	2017-2018	2019	2020	2021-2022	2023-2031
	Spesa incrementale			Spesa totale		
Aliquota per categoria di spesa:						
personale altamente qualificato (a)	50%			12%	20%	10%
maggiorazione della spesa (b)	no			150%		
altro personale	25%	50%	25%	12%	20%	10%
contratti extramuros con università enti di ricerca e altre imprese, incluse le startup innovative (c)	50%	50%	25% (50%)(d)	12%	20%	10%
maggiorazione della spesa (e)	no			150%		
"quote ammortamento beni strumentali, competenze tecniche e privative industriale"	25%	50%	25%	12%	20%	10%
materiali, forniture e altri prodotti	no		25%	12%	20%	10%
limitazioni alla spesa (f)	si			no		
Massimale credito erogabile	5 milioni	20 milioni	10 milioni	3 milioni	4 milioni	5 milioni
Importo minimo di spesa	30000			nessuno		
Modalità di fruizione (g)	unico periodo d'imposta			3 quote di pari importo		
Riferimenti normativi	Legge di Stabilità 2015	Legge di Bilancio 2017	Legge di Bilancio 2019	Legge di Bilancio 2020	Legge di Bilancio 2021	Legge di Bilancio 2022

a) In possesso di dottorato di ricerca, ovvero iscritto a corso di dottorato, ovvero in possesso di laurea magistrale in discipline tecnico-scientifiche.

b) Personale di età inferiore a 35 anni al primo impiego; ii) in possesso di un titolo di dottore di ricerca o iscritti a un ciclo di dottorato presso un'Università italiana o estera o in possesso di una laurea magistrale in discipline di ambito tecnico o scientifico; iii) assunti dall'impresa con contratto di lavoro subordinato a tempo indeterminato e impiegati esclusivamente nei lavori di ricerca e sviluppo.

c) Nel triennio 2017-2019 sono ammessi anche i contratti di ricerca stipulati con imprese residenti o localizzate in Stati membri dell'Ue, in Stati aderenti all'accordo sullo Spazio economico europeo (SEE) ovvero in Paesi e territori che consentono un adeguato scambio di informazioni, con esclusione di contratti tra imprese dello stesso gruppo considerati contratti intramuros.

d) Spese relative ai contratti stipulati con Università, enti di ricerca e organismi equiparati per il diretto svolgimento delle attività R&S e ai contratti stipulati con start-up innovative e Pmi innovative, a condizione, che non si tratti di imprese appartenenti allo stesso gruppo dell'impresa committente.

e) La maggiorazione dell'aliquota al 50% si applica ai contratti con Università ed enti di ricerca aventi sede nel territorio dello Stato. Nel caso in cui i contratti siano stipulati con imprese appartenenti al medesimo gruppo si applicano le stesse regole previste per le spese di ricerca e sviluppo svolte internamente all'impresa.

f) L'ammortamento dei beni strumentali non può eccedere il 30% della spesa per il personale, le spese per competenze tecniche, materiali e forniture non possono eccedere il 20% della spesa per il personale o per i contratti extramuros; la spesa per privative industriali (quote di ammortamento) non può eccedere il tetto pari a 1 milione.

g) Il credito è utilizzato in compensazione a decorrere dal periodo d'imposta successivo a quello in cui i costi sono stati sostenuti, con possibilità di riporto in avanti dei crediti non fruiti per incapienza.



	2015	2016	2017-2018	2019-2020	dal 2021
Beni agevolati	Beni immateriali giuridicamente tutelabili(a)				
Tipologia di agevolazione	Deduzione dalla base imponibile Ires e Irap				
Base di commisurazione	Redditi derivanti dall'utilizzo dei beni agevolati				Costi R&S sostenuti
Modalità di fruizione	Ruling obbligatorio per uso diretto - facoltativo per uso indiretto(b)			Autoliquidazione (ruling non più obbligatorio)	Autoliquidazione - possibilità di recupero delle spese sostenute fino a 8 esercizi precedenti (c)
Percentuale dell'agevolazione	30%	40%	50%		110%
Cumulabilità con credito R&S	sì				procedura di netting (d)
Riferimenti normativi	Legge di Stabilità 2015; D. MEF/MISE 30/07/2015	Legge di Stabilità 2016	DL 50/2017	DL 34/2019 (Decreto crescita)	Legge di Bilancio 2022

a) Software protetto da copyright, di brevetti industriali, di marchi (sono esclusi dal 2018), di disegni e modelli, nonché di processi, formule e informazioni relativi a esperienze acquisite nel campo industriale, commerciale o scientifico giuridicamente tutelabili.

(b) Procedura preventiva (semplificata per le PMI) tramite contraddittorio con l'Agenzia delle Entrate. L'uso indiretto del bene agevolato si riferisce ai casi di:

i) alienazione (la relativa plusvalenza è totalmente detassata a condizione che il 90% del corrispettivo sia reinvestito in attività di R&S);

ii) concessione d'uso; iii) redditi realizzati nell'ambito di operazione intra-gruppo (nel 2015 sotto regime di ruling obbligatorio).

(c) Con l'esclusione del design e dei modelli giuridicamente tutelabili ma non registrati.

(d) In caso di cumulo il credito d'imposta R&S deve essere restituito secondo le modalità previste dalla Circolare dell'Agenzia delle Entrate 5/E/2023.

2017: dapprima incentrato sul sostegno alle attività svolte internamente all'impresa e alle collaborazioni con università, enti pubblici e start-up innovative, nel 2017 la misura è stata estesa agli investimenti in ricerca commissionati da un'impresa non residente a un'impresa residente con l'obiettivo di rafforzare l'attrattività degli investimenti dall'estero;

2020: la nuova disciplina del credito, in discontinuità con il regime previgente, è ritornata sui contratti commissionati dall'estero escludendoli dal beneficio, e ha semplificato la base di commisurazione del credito d'imposta sostituendo il meccanismo basato sulla spesa incrementale con quello basato sulla spesa totale (volume-based). Questo mutamento si è tradotto, in generale, in un maggior credito d'imposta, rispetto al regime precedente basato sul meccanismo incrementale (ma non nel settore high-tech e ICT).

Per il Patent Box, invece, le modifiche sono avvenute nei seguenti anni:

2019: da questo anno si è intervenuti più volte sulla disciplina del Patent Box per semplificarne le procedure di fruizione: si è eliminata l'obbligatorietà dell'accordo preventivo con l'Agenzia delle Entrate, concedendo al contribuente la possibilità di indicare l'agevolazione spettante direttamente in dichiarazione;

2021: a partire da quest'anno il Patent Box è stato completamente modificato. Si è intervenuti sul meccanismo di determinazione del beneficio concesso dal Patent Box sostituendo la parziale detassazione dei redditi derivanti da specifiche tipologie di beni immateriali giuridicamente tutelabili, con la super-deduzione di specifici costi di ricerca e sviluppo sostenuti in relazione a tali beni.

L'Istat ha analizzato **gli effetti sulle decisioni di investimento e l'impatto distributivo di questi due strumenti di incentivazione fiscale** a favore delle imprese che investono in R&S, adottati a partire dal 2015⁹, per evidenziarne gli effetti nel tempo, anche alla luce delle numerose modifiche normative introdotte, e soprattutto nei periodi fino al 2019 (il credito d'imposta per la R&S è stato commisurato all'incremento di spesa in R&S) e dal 2020 (quando è stato commisurato alla spesa totale). Questo mutamento si è tradotto, in generale, in un maggior credito d'imposta rispetto al regime precedente basato sul meccanismo incrementale, ma si è anche rivelato meno attrattivo per le imprese high-tech (si vedano i dettagli nel successivo box).

TABELLA 16
L'evoluzione 2015-2021
della disciplina del Patent Box

Fonte: Istat



Dal 2011 al 2021, l'incidenza sul PIL della spesa in R&S in Italia è cresciuta dall'1,2% all'1,48%, non recuperando tuttavia il divario rispetto alla media dell'UE, la cui incidenza è salita nello stesso periodo dal 2,02% al 2,26%. L'ammontare complessivo (cumulato) del risparmio d'imposta per le imprese beneficiarie del credito d'imposta per la R&S e del Patent Box è salito dallo 0,04% del PIL nel 2015 allo 0,28% nel 2019, in flessione rispetto allo 0,18% nel 2020.

Tra le **principali evidenze** (che hanno un impatto anche sulla spesa R&S intra-muros delle imprese del settore ICT) per la **disciplina del credito d'imposta**, si segnalano le seguenti:

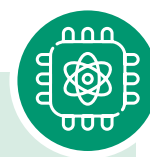
- le imprese piccole e piccolissime (fino a 50 addetti) sono i maggiori beneficiari del credito commisurato agli incrementi di spesa (2015-2019), mentre le imprese con almeno 50 addetti ottengono una quota maggioritaria (58%) del credito commisurato alla spesa totale (2020);
- le imprese localizzate nel Mezzogiorno ricevono una quota crescente di risorse (24,9% nel 2020), beneficiando sia del meccanismo incrementale (2015-2019) sia del meccanismo basato sul volume di spesa con maggiorazione delle aliquote per le spese agevolate realizzate nel Mezzogiorno (2020);
- nel triennio 2017-2019, tra gli obiettivi del credito per la R&S, vi è il sostegno alla internazionalizzazione della R&S: se ne sono avvantaggiate le controllate estere (21%), le imprese che operano nella manifattura ad alta intensità tecnologica (10%) e nei servizi con alta intensità di tecnologia e conoscenza (6%), e le imprese più grandi;
- l'introduzione dei provvedimenti determina una riduzione del costo dell'investimento in R&S (intra-muros) che raggiunge il 19% nel 2019 (vecchio regime) e sale al 24% dal 2023;
- dal 2019 i contratti extra-muros commissionati a soggetti pubblici (università, enti di ricerca) godono di un trattamento più favorevole rispetto alla spesa intra-muros e ai contratti extra-muros commissionati a soggetti privati;
- l'utilizzo del credito per la R&S in compensazione delle imposte dovute (Ires e Irap) consente di azzerare il debito d'imposta per una percentuale via via crescente di imprese beneficiarie (dal 47% nel 2015 al 70% nel 2019). Nel 2020 il taglio dell'aliquota effettiva – tenuto conto del limite all'utilizzo del credito R&S in tre quote annuali – si ferma a 8,6 punti percentuali;
- il credito d'imposta per la R&S si concentra nelle imprese manifatturiere che vedono un rafforzamento della loro quota (55%) nel 2020 (primo anno del nuovo regime) a scapito dei servizi.

Per il **Patent Box**, invece, si segnalano queste evidenze:

- per elevati livelli di redditività dell'investimento in R&S il nuovo Patent Box risulta meno generoso del regime previgente;
- il Patent Box favorisce le imprese con almeno 500 addetti e in egual misura manifattura e servizi. Si appropriano delle quote più elevate di risorse le imprese manifatturiere con bassa intensità di tecnologia, i servizi a bassa intensità di conoscenza (trasporti e magazzinaggio, attività immobiliari, viaggi, noleggio e leasing, ecc.) e le imprese manifatturiere con medio-alta intensità tecnologica;
- il Patent Box riduce l'aliquota effettiva delle imprese beneficiarie di circa 11,5 punti percentuali nel quinquennio 2015-2019. Nel 2020, tale distanza si è ridotta a 7,7 punti percentuali.

Una simile analisi condotta dall'Istat per uno studio OCSE¹⁰ confronta l'impatto del sostegno fiscale alla R&S attraverso il credito d'imposta basato sul volume (2007-09¹¹) e il credito d'imposta incrementale per la ricerca e lo sviluppo (2015-19). Questa analisi sottolinea gli effetti positivi sulla spesa intra-muros in R&S, sull'occupazione in R&S e





Impatto degli incentivi R&S sui settori high-tech

La platea delle imprese beneficiarie del credito d'imposta per la R&S è concentrata nel comparto manifatturiero, con una incidenza maggiore nelle imprese esportatrici e nelle multinazionali. All'interno della manifattura, le imprese attive nei settori ad alta e medio-alta intensità tecnologica sono quelle che utilizzano di più il credito d'imposta, seguite dai settori dei servizi ad alta intensità di conoscenza. La quota di micro-imprese beneficiarie è minore rispetto alle altre imprese e si mantiene al di sotto del 4% per tutto il periodo 2015-2020. Nel confronto tra le ripartizioni, la quota di imprese beneficiarie del credito collocate nel Mezzogiorno è relativamente inferiore lungo tutto il periodo considerato, con un divario rispetto al Nord del Paese che è raddoppiato tra il 2015 e il 2020 (dall'1% nel 2015 al 2,2% nel biennio 2017-2018, fino al 2% nel biennio 2019-2020). Tuttavia, in termini di beneficio erogato, la quota di cui si appropriano le imprese localizzate nel Mezzogiorno è aumentata stabilmente tra il 2015 e il 2020, passando dal 9,6% al 24,9%. Grazie all'operare del meccanismo incrementale di determinazione del credito, tra il 2015 e il 2019 si è ottenuta una più equilibrata ripartizione territoriale del beneficio rispetto alla spesa agevolata.

Un modello logistico¹² applicato alle società di capitali in Italia **nel periodo 2009-2020**, mostra quali sono le caratteristiche di impresa che incrementano la probabilità di adesione al meccanismo di incentivo alla R&S. L'analisi illustra che **le imprese maggiormente orientate ad aderire all'incentivo sono quelle più grandi, più giovani, a più alta intensità tecnologica e di conoscenza, capital intensive e con il capitale umano più qualificato**. Sono inoltre più coinvolte le imprese esportatrici e quelle appartenenti a un gruppo di imprese. Le imprese innovatrici che accedono per la prima volta all'incentivo sono più piccole rispetto al sottoinsieme di imprese che utilizzano stabilmente il credito per finanziare gli investimenti in R&S. Inoltre, la redditività non indica una maggiore probabilità di accesso al credito d'imposta incrementale vigente fino al 2020 per le imprese con consolidata esperienza in R&S. Le nuove imprese innovatrici con risultati economici negativi hanno, infine, maggiore probabilità di adesione al credito incrementale. Dal 2020, con il nuovo credito d'imposta commisurato all'intero ammontare di spesa e con la rimozione del meccanismo incrementale, le imprese non profittevoli, anche quelle con elevato grado di esperienza in attività R&S, hanno maggiore probabilità di accedere all'agevolazio-

ne. Le imprese più liquide accedono più frequentemente al credito. Fanno eccezione le nuove imprese innovatrici con minori attività liquide, che nel regime passato avevano maggiore probabilità di accedere al credito in virtù della maggiore generosità del meccanismo incrementale. Per effetto delle maggiorazioni previste per gli investimenti alle strutture ubicate nel Mezzogiorno, nel 2020, tra le nuove imprese innovatrici, le aziende meridionali a minore intensità tecnologica hanno avuto maggiore probabilità di aderire all'incentivo. Infine, le restrizioni all'ammontare del credito erogabile previste dalla transizione al credito e associate con la trasformazione dell'incentivo – da credito d'imposta commisurato alla spesa incrementale in credito d'imposta riconosciuto sull'intero ammontare di spesa – comportano una minore probabilità di accesso all'agevolazione per le imprese più grandi.

Al fine di verificare se le misure sono state in grado di stimolare la crescita, si illustrano alcune evidenze empiriche da modello, che misurano l'impatto delle agevolazioni agli investimenti in R&S sulla performance complessiva delle imprese beneficiarie appartenenti alla manifattura e ai servizi, in termini di produttività totale dei fattori (PTF)¹³. Le stime¹⁴ mostrano, come atteso, che la crescita della produttività totale dei fattori delle imprese è associata sia all'evoluzione tecnologica delle imprese leader sia ai meccanismi di adattamento di quelle che le seguono¹⁵. **Le agevolazioni fiscali agli investimenti forniscono un'ulteriore spinta alla crescita della produttività**. L'effetto è positivo e significativo per entrambi i sottogruppi di imprese beneficiarie del credito – le imprese che utilizzano il credito con maggiore frequenza e le imprese che abbiamo definito nuove imprese innovatrici – ma, come era atteso, è più elevato per il primo gruppo di imprese rispetto al secondo. Inoltre, come prevedibile, l'effetto è positivo e significativo per entrambe le tipologie di impresa, ma è più elevato per le unità più distanti dalla frontiera. Nella manifattura, l'incremento annuale della PTF nel periodo successivo all'incentivo per il gruppo stabile di imprese utilizzatrici del credito è pari 0,13 punti percentuali di incremento per le unità più distanti dalla frontiera, a fronte di 0,06 punti percentuali per le unità vicine alla frontiera. Nei servizi, l'impatto sulla dinamica della produttività del sostegno pubblico agli investimenti è pari 0,15 punti percentuali di incremento per le unità più distanti dalla frontiera, e di 0,04 punti percentuali per le unità vicine alla frontiera.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Spesa R&S intra-muros ICT (miliardi di euro)	1,7	1,9	2,1	2,2	2,1	2,0	2,1	2,0	2,2	2,3	2,4	2,6	2,8	2,5	2,5	2,5
% Crescita annua	23,3%	12,6%	10,7%	1,7%	-4,4%	-3,1%	6,0%	-8,4%	10,7%	8,0%	3,7%	6,4%	7,1%	-8,8%	-2,4%	1,5%
Quota % Spesa R&S ICT su BERD	18,2%	19,0%	20,9%	20,6%	19,2%	18,2%	18,6%	15,9%	16,8%	16,6%	16,4%	16,2%	16,7%	16,3%	15,8%	15,4%
Quota % Spesa R&S ICT Italia su EU 27	7,8%	8,4%	9,5%	9,3%	8,4%	8,0%	8,2%	7,4%	7,9%	8,4%	8,5%	8,4%	8,2%	7,3%	6,7%	
Meccanismo agevolazione	volume			volume prorogato*				no fondi**	Incrementale						volume	
Massimale credito d'imposta erogabile (milioni di Euro)	15	15	15	0	0	1	1	0	5	5	20	20	10	3	4	4

*prorogato solo per le imprese che avevano sostenuto spese di ricerca e sviluppo ammissibili nel 2007-09 e non avevano ancora ricevuto sgravi fiscali
** mancanza decreto attuativo

TABELLA 17
Evoluzione R&S ICT e credito d'imposta R&S 2007-2022
Fonte: Istat e Anitec-Assinform

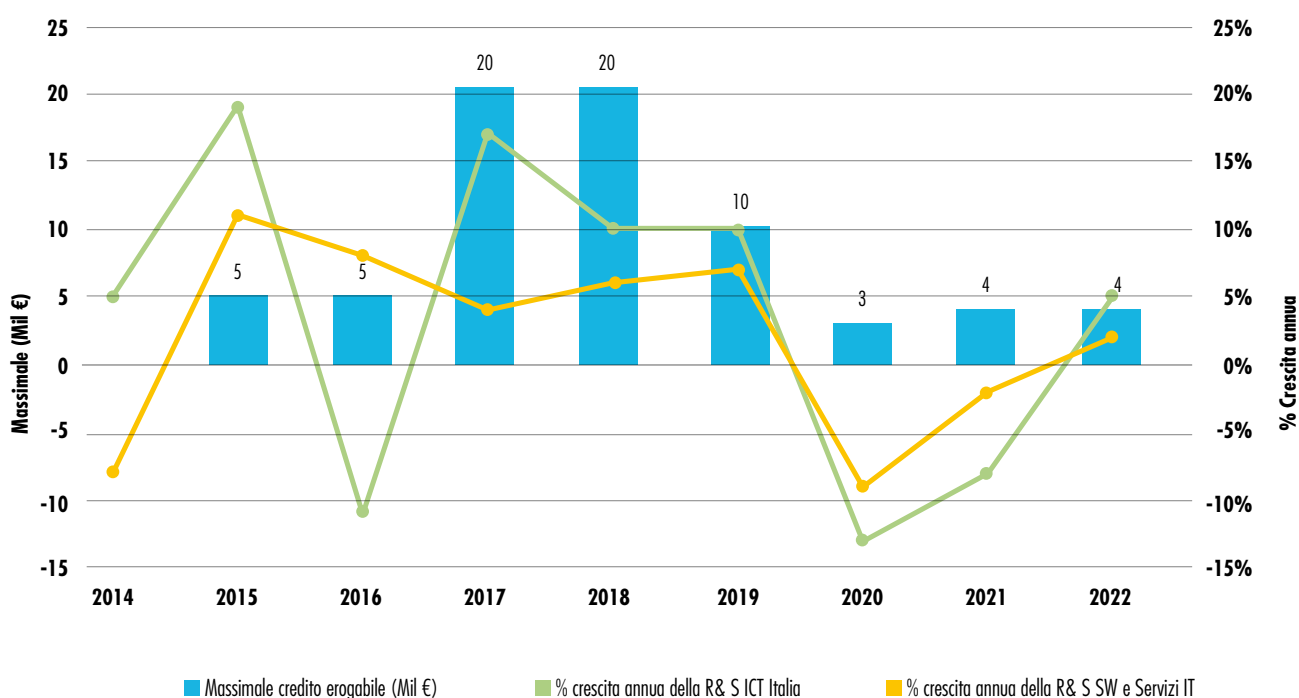
FIGURA 14
Evoluzione R&S ICT, Credito d'imposta, Patent Box 2014-2022
Fonte: Istat, Rilevazione Ricerca e Sviluppo

sulla spesa extra-muros in R&S per entrambi i periodi. Tuttavia, il coefficiente di incrementalità implicito ottenuto per il regime di credito d'imposta più recente è pari a 2,2, più del triplo di quello ottenuto per il regime precedente pari a 0,6.

La dinamica della R&S nel settore ICT riflette gli stessi trend evidenziati per le imprese high-tech, che hanno maggiormente beneficiato del credito d'imposta commisurato al meccanismo incrementale e con più elevati massimali di spesa piuttosto che con quello commisurato all'intero ammontare di spesa (Tab. 17). Anche le start-up innovative ICT con minori attività liquide avevano maggiore probabilità di accedere al credito in virtù della maggiore generosità del meccanismo incrementale.

In particolare negli ultimi anni il ritorno al meccanismo basato sui volumi di spesa ma con massimali di molto ridotti si è tradotto in un calo marcato del valore della spesa R&S intra-muros per il settore ICT (Fig. 14).

La riduzione della crescita nella spesa della R&S ICT negli ultimi anni non è estranea al



cambiamento di meccanismo del credito di imposta da incrementale a volume, con una progressiva perdita di quota della spesa R&S ICT sia sul totale della spesa R&S intra-muros di tutti i settori in Italia, sia nel confronto con la spesa R&S ICT europea. Mentre negli altri Paesi questo non si è verificato. L'ulteriore riduzione dell'aliquota di spesa dal 20% al 10% per il 2023 e prevista fino al 2031 fa presagire un'ulteriore perdita di quota della R&S ICT italiana nei prossimi anni se il meccanismo del credito di imposta non verrà rivisto.

Un'ulteriore spinta alla R&S ICT potrebbe arrivare nel 2025 dall'incremento di 200 milioni agli 1,4 miliardi di euro dell'investimento destinato dall'European Innovation Council (EIC) alla ricerca in tecnologie avanzate e alle start-up con alto potenziale di crescita. Oltre a maggiori risorse finanziarie, il programma di lavoro 2025 apporta diversi miglioramenti, tra cui un miglior accesso a finanziamenti azionari per scale-up attraverso il regime scale-up della piattaforma per le tecnologie strategiche per l'Europa del CEI (STEP).

Il PNRR e i progetti di R&I ICT

Gli investimenti del PNRR dedicati alla ricerca sono previsti nella Missione "Istruzione e Ricerca" e, per la ricerca medica, nella Missione 6 "Salute". Più precisamente sono previsti nella **componente M4C2 "Dalla ricerca all'impresa"**, che mira a sostenere gli investimenti in R&S, a promuovere l'innovazione e la diffusione delle tecnologie, a rafforzare le competenze, favorendo la transizione verso una economia basata sulla conoscenza. A questi si aggiungono gli investimenti previsti nella componente M4C1, dedicati all'investimento che punta a rafforzare e ad estendere i dottorati di ricerca. La Missione 4 è suddivisa in tre linee d'intervento cui afferiscono 10 misure.

M4C2I1 Rafforzamento Ricerca e diffusione modelli innovativi per ricerca di base e applicata condotta in sinergia università/imprese (con 7 miliardi di euro assegnati) con le misure:

- Fondo per il Programma Nazionale Ricerca (PNR) e progetti di Ricerca di Significativo Interesse Nazionale (PRIN);
- finanziamento di progetti presentati da giovani ricercatori;
- partenariati estesi a università, centri di ricerca, imprese e finanziamento progetti di ricerca di base;
- potenziamento delle strutture di ricerca e creazione di "campioni nazionali di R&S" su alcune Key Enabling Technologies;
- creazione e rafforzamento di "ecosistemi dell'innovazione", costruzione di "leader territoriali di R&S".

M4C2I2 Sostegno ai processi d'innovazione e trasferimento tecnologico (3,7 miliardi di euro) con le misure:

- IPCEI;
- partenariati per la ricerca e l'innovazione - Horizon Europe;
- potenziamento ed estensione tematica e territoriale dei centri di trasferimento tecnologico per segmenti di industria.

M4C2I3 Potenziamento delle condizioni di supporto alla ricerca e all'innovazione (2,5 miliardi di euro) con le misure:

- fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e innovazione;
- finanziamento di start-up;
- introduzione di dottorati innovativi che rispondono ai fabbisogni di innovazione delle imprese e promuovono l'assunzione dei ricercatori dalle imprese.

Funzionale alla realizzazione dei progetti della Missione 4, il PNRR prevede anche la **riforma "Attuazione di misure di sostegno alla R&I per promuovere la semplificazione e la mobilità"**, avvenuta nel 2022 con l'adozione dei due decreti ministeriali in ambito di semplificazione della gestione dei fondi per la ricerca (DM n. 1314 del 2021 integrato con il DM n. 1368 del 2021) e in ambito di mobilità (DM n. 330 del 2022), e l'istituzione di una cabina di regia interministeriale MUR-MIMIT (DM n. 1233 del 2021) per l'attività di coordinamento, monitoraggio e supervisione dell'Investimento 1.4 "Potenziamento strutture



TABELLA 18
Finanziamenti assegnati ai progetti
della misura M4C1I4.01 e della
missione M4C2 per linee
di intervento (Mld €) Luglio 2024
 Fonte: ReGIS, Openpolis e Anitec-Assinform

ID Misura	Descrizione Misura	Finanziamento Totale				Finanziamento PNRR				% Spesa effettiva (luglio 2024) ^{#^}	N. Progetti [^]	Status [^]	Titolare
		INFRA-STRUTTURE ICT	RICERCA, SVILUPPO TECNOLOGICO, INNOVAZIONE	ALTRI SETTORI	TOTALE	INFRA-STRUTTURE ICT	RICERCA, SVILUPPO TECNOLOGICO, INNOVAZIONE	ALTRI SETTORI*	TOTALE				
M4C1I4.01	Estensione del numero di dottorati di ricerca e dottorati innovativi orientati alla ricerca, per la Pubblica Amministrazione e il patrimonio culturale		192,9	201,6	394,5		192,9	201,6	394,5	19,30%	2693	in corso	MUR
M4C2I1 Rafforzamento Ricerca e diffusione modelli innovativi per ricerca di base e applicata condotta in sinergia università/imprese (7,049 miliardi di euro)													
M4C2I1.01	Fondo per il Programma Nazionale Ricerca (PNR) e progetti di Ricerca di Significativo Interesse Nazionale (PRIN)	0,8	2.259,6	53,2	2.313,6	0,8	1.878,1	53,2	1.932,1	38,5%	15788	In corso	MUR
M4C2I1.02	Finanziamento di progetti presentati da giovani ricercatori		58,4	2,2	60,6		49,7	2,2	51,9	7,2%	289	In corso	MUR
M4C2I1.03	Partenariati estesi a università, centri di ricerca, imprese e finanziamento progetti di ricerca di base		1.642,2	2,5	1.644,7		1.597,5	2,5	1.600,0	19,7%	353	Ritardo	MUR
M4C2I1.04	Potenziamento strutture di ricerca e creazione di "campioni nazionali di R&S" su alcune Key Enabling Technologies	90,8	1.608,6	-	1.699,4	90,8	1.507,4	-	1.598,2	18,9%	238	In corso	MUR
M4C2I1.05	Creazione e rafforzamento di "ecosistemi dell'innovazione", costruzione di "leader territoriali di R&S"		1.330,2	1,0	1.331,1		1.241,8	1,0	1.242,8	26,0%	260	In corso	MUR
M4C2I2 Sostegno ai processi d'innovazione e trasferimento tecnologico (3,676 miliardi di euro)													
M4C2I2.01	IPCEI**		3.499,3	-	3.499,3		1.085,1		1.085,1	9,5%	13	In corso	MIMIT
M4C2I2.02	Partenariati per la ricerca e l'innovazione - Horizon Europe		22,7	-	22,7		7,3	-	7,3	0,0%	27	Concluso	MIMIT
M4C2I2.03	Potenziamento ed estensione tematica e territoriale dei centri di trasferimento tecnologico per segmenti di industria		154,4	-	154,4		85,9	-	85,9	7,2%	254	Non iniziato	MIMIT
M4C2I3 Potenziamento delle condizioni di supporto alla ricerca e all'innovazione (2,475 miliardi di euro)													
M4C2I3.01	Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e innovazione		1.830,4	39,5	1.869,9		1.514,1	29,6	1.543,7	6,50%	57	In corso	MUR
M4C2I3.02	Finanziamento di start-up		-	400,0	400,0		-	400,0	400,0	1,20%	1	In corso	MIMIT
M4C2I3.03	Introduzione di dottorati innovativi che rispondono ai fabbisogni di innovazione delle imprese e promuovono l'assunzione dei ricercatori dalle imprese		102,1	102,8	205,0		51,1	51,4	102,5	6,10%	1086	In corso	MUR
Totale		91,6	12.700,8	802,9	13.595,3	91,6	9.210,9	741,5	10.044,0		21.059		
* Altri settori include infrastrutture sociali, istruzione formazione e sostegni per il mercato del lavoro, opere impianti ed attrezzature per attività produttive e la ricerca e l'impresa sociale, servizi alle imprese, servizi per la p.a e per la collettività **Il Fondo IPCEI è lo strumento agevolativo a supporto delle aziende coinvolte in Importanti Progetti di Comune Interesse Europeo (IPCEI) # percentuale di euro rendicontati e effettivamente spesi fino a luglio 2024 rispetto all'importo totale previsto ^ https://openpnrr.it/tema/ricerca-e-sistema-dei-dottorati/													



di ricerca e creazione di 'campioni nazionali' di R&S su alcune Key Enabling Technologies". In merito alla semplificazione della gestione dei fondi per la ricerca è stata introdotta la base normativa e procedurale. Per quanto riguarda la mobilità, il decreto ha modificato la normativa per aumentare e sostenere, attraverso incentivi, la mobilità reciproca di figure di alto profilo (ad esempio, ricercatori e manager) tra università, infrastrutture di ricerca e imprese. Al fine di riformare il percorso professionale dei ricercatori per concentrarsi maggiormente sulle attività di ricerca, è stata istituita¹⁶ la figura unica del ricercatore universitario a tempo determinato, che favorisce l'accesso alle posizioni di tenure-track già immediatamente dopo il conseguimento del dottorato di ricerca, agevolando così l'immissione in ruolo dei candidati più meritevoli a un'età media più bassa, fermo restando il conseguimento dell'abilitazione scientifica nazionale. In generale la riforma spinge verso un approccio più sistematico alle attività di R&S, superando l'attuale logica di riassegnazione delle risorse favorendo la condivisione, ed è orientata alla semplificazione della burocrazia nella gestione dei fondi dedicati alle attività di ricerca pubblico-privata, con un impatto significativo in quanto si evitano la dispersione e la frammentazione delle priorità, grazie anche al supporto dalla prima componente della Missione. Gli Enti Pubblici di Ricerca (EPR) hanno un ruolo fondamentale sia come possibili leader progettuali per i partenariati, per i campioni nazionali e per gli ecosistemi territoriali, sia come potenziali partecipanti ai bandi sul Fondo. Un effetto positivo molto importante di questa riforma è evidente dall'accelerazione delle attività di ricerca sul Quantum computing (illustrate nella seconda parte di questo studio), semplificando le attività del Centro Nazionale di Ricerca in HPC, Big Data e Quantum e del partenariato esteso NQSTI (National Quantum Science and Technology Institute) e promuovendo l'interazione tra centri di ricerca pubblici e di enti e aziende privati.

Il catalogo open data di Italia Domani¹⁷ mette a disposizione il database estratto dal sistema ReGiS sui progetti, i soggetti attuatori e i relativi finanziamenti assegnati per canale di investimento. Attraverso le classificazioni del CUP (Codice Univoco di Progetto) è possibile analizzare gli importi assegnati ai progetti sia per settore (per separare ricerca da attività collaterali come formazione, servizi alle imprese infrastrutture, ecc.), che per tipologia (per individuare i progetti condotti nelle università o nelle aziende o in collaborazione). L'importo complessivo del finanziamento assegnato nella contabilità ReGiS ai progetti con CUP "ricerca" o "infrastrutture ICT" da M4C2 e M4C114.01 risulta pari a 12,7 miliardi di euro a luglio 2024, di cui 9,3 miliardi finanziati dal PNRR, e il resto finanziato da aziende/enti privati o da altri fondi pubblici (Stato, FSC, UE, PNC, Regioni/Province/Comuni/) o con risorse da reperire (Tab. 18). Questo importo è generato da circa 21 mila CUP associati a progetti/borse di studio/dottorati.

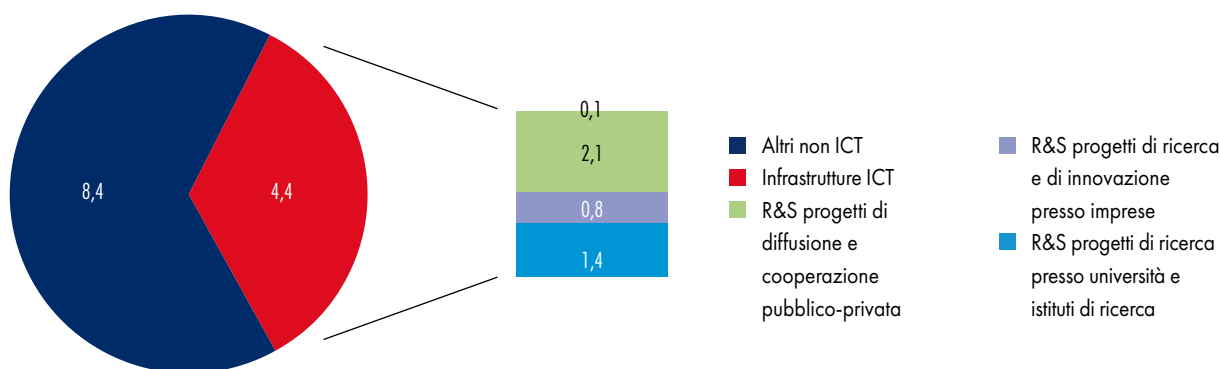
FIGURA 15

Importo progetti R&S in ambito M4C2 e M4C114.01 totale e per attività ICT Luglio 2024 (Mld €)

Fonte: ReGiS e Anitec-Assinform

*Per calcolare l'importo associato alla R&S ICT sono stati identificati - laddove specificato - tutti i progetti, borse di studio e dottorati con contenuto ICT come indicato nel file ReGiS nei record relativi a descrizione e sintesi del progetto e al soggetto attuatore

Progetti PNRR (Infrastrutture ICT e R&S) in M4C2 e M4C114.1



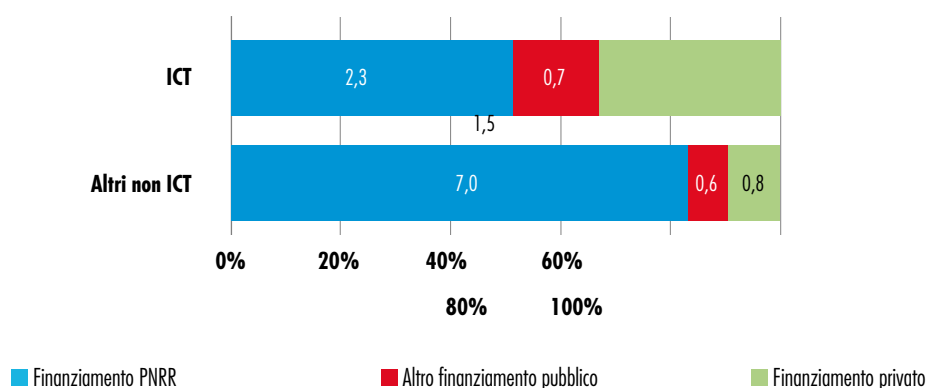
Valore progetti assegnati in ambito M4C2 e M4C114.01 = 12,8 miliardi di euro di cui 4,4 miliardi per attività ICT



FIGURA 16
Ripartizione importo progetti R&S totale e ICT* in ambito M4C2 e M4C1I4.01 per canale di finanziamento Luglio 2024 (Mld €)

Fonte: ReGiS e Anitec-Assinform

*Per calcolare l'importo associato alla R&S ICT sono stati identificati - laddove specificato - tutti i progetti, borse di studio e dottorati con contenuto ICT come indicato nel file ReGiS nei record relativi a descrizione e sintesi del progetto e al soggetto attuatore



Purtroppo le categorie progettuali del ReGiS non prevedono le ICT come categoria separata. Da un'analisi più approfondita e analitica del database estratto dalla contabilità ReGiS, è stato possibile calcolare un importo indicativo e delineare le caratteristiche prevalenti dell'attività R&S ICT intra-muros ed extra-muros prevista nel PNRR. La metodologia di stima si basa sull'identificazione dei progetti il cui soggetto attuatore o partner sono aziende ICT oppure assegnati ai dipartimenti di informatica, ingegneria informatica o fisica (per le competenze avanzate sullo sviluppo dei semiconduttori o sulla ricerca quantistica) e il cui titolo implica un'effettiva attività di ricerca e di collaborazione nella ricerca. Purtroppo il titolo e la descrizione di diversi progetti sono molto generici e non permettono la loro categorizzazione.

È possibile quindi che la stima dei valori riportati sia approssimata per difetto.

Nel complesso, gli importi assegnati alle attività R&S ICT toccano i 4,4 miliardi di euro (Fig. 15) per circa 670 CUP associati a progetti/borse di studio/dottorati. L'importo è ripartito tra implementazione di infrastrutture ICT per 91,6 milioni di euro, progetti di diffusione e cooperazione pubblico-privata per 2.429,6 milioni di euro, progetti di ricerca e di innovazione presso le imprese per 3.261,5 milioni di euro e progetti di ricerca presso università e istituti di ricerca per 7.009,7 milioni di euro.

Le fonti di finanziamento di questi 4,4 miliardi evidenziano l'identificazione di nuovi percorsi nel solco della riforma della ricerca orientata ad attività di co-finanziamento e collaborative in quanto "solo" 2,3 miliardi sono finanziati dal PNRR mentre 1,5 miliardi sono generati da finanziamenti privati e i restanti 0,6 da altro finanziamento pubblico (Fig. 16). Confrontando la ripartizione per fonte di finanziamento con la ripartizione per tipologia di progetto emerge che una quota importante dei finanziamenti privati da parte di imprese e enti privati è trainata dai progetti in co-finanziamento e/o di tipo collaborativo (Fig. 17). Anche se non è possibile un confronto diretto di questi dati con quelli dell'indagine sulla R&S presso le imprese da cui è stimata la spesa R&S intra-muros delle imprese ICT, questi dati da ReGiS invitano a formulare un'interpretazione meno pessimistica della dinamica peggiorativa della ricerca intra-muros e decrescente dell'accesso ai crediti di imposta R&S: cioè che **la spesa R&S privata del settore ICT non sta arretrando ma ridirigendo i fondi**, inizialmente destinati alla ricerca intra-muros, verso progetti di ricerca extra-muros in co-finanziamento o in collaborazione. Perché di questi 1,5 miliardi di euro finanziati dalle imprese quasi 1,3 miliardi vanno a finanziare progetti di diffusione e cooperazione pubblico/privata, mentre solo 103 milioni di euro vanno a finanziare la ricerca presso le imprese e 114 la ricerca presso le università e gli istituti di ricerca. Questo ricorso ai progetti di diffusione e cooperazione pubblico-privata è tipico della ricerca ICT che totalizza un importo complessivo di 2,1 miliardi di finanziamenti (la differenza è data per 0,4 miliardi dal PNRR e 0,5 miliardi da altri fondi pubblici. Al contrario l'importo degli



altri progetti di ricerca contabilizzati dal ReGiS non raggiunge i 300 milioni di euro). A causa di metodologie di raccolta, riferimenti temporali e perimetri diversi, non è possibile un confronto like-for-like di questi dati con il livello del finanziamento pubblico indicato da Istat attraverso l'analisi dei bilanci. Per il 2018 (ultima data disponibile) lo stanziamento pubblico nazionale a favore dell'ICT era stato stimato pari a 801,7 milioni di euro (+26,7% rispetto al 2017), di 403 al settore ICT (+37,1%) e di 398,7 (+17,6%) agli altri settori dell'economia per attività di ricerca ICT¹⁸. Tuttavia, pur incorporando importi relativi a progetti pluriennali e nella considerazione che tutto deve essere completato entro metà del 2026 per avere i finanziamenti, non si può negare che l'importo complessivo di 2,9 miliardi di euro di finanziamento pubblico (2,3 dal PNRR e 0,6 da altri fondi pubblici) rappresenti un chiaro miglioramento nel livello di finanziamento pubblico per l'attività di ricerca in ambito ICT, sia grazie alle iniziative europee sul Quantum e sul Supercomputing, sia all'aumento dell'interesse verso i progetti pubblico-privati e della propensione al co-finanziamento da parte di aziende e enti privati attivi in ambito ICT.

Purtroppo la segmentazione delle categorie di R&S non riflette l'articolazione delle filiere della ricerca ICT attorno alle nuove piattaforme tecnologiche (supercalcolo, Quantum) e ai digital enabler (IA e robotica, blockchain, data science, cybersicurezza, tecnologie 4.0). Così la categoria "altre ricerche" raggruppa più del 90% dei progetti di R&S ICT (Tab. 19).

Guardando ai singoli progetti e ai soggetti attuatori coinvolti è tuttavia possibile individuare le attività di R&S ICT focalizzate su tecnologie, applicazioni e algoritmi di punta, nonché la loro concentrazione presso i centri nazionali di ricerca e i maggiori ecosistemi per il trasferimento tecnologico (Tab. 20). Questi attori si stanno rafforzando con tecnologie e competenze avanzate ma anche con collaborazioni multidisciplinari e internazionali, modalità prevalente in tutti i progetti di R&S di punta nel settore ICT al momento attuale. Sono questi, infatti, gli attori che occupano i primi posti nella classifica dei soggetti attuatori, dove i primi dieci enti contribuiscono in modo aggregato il 30% dell'importo complessivo dei progetti R&S ICT del PNRR.

FIGURA 17
Ripartizione importo progetti R&S ICT* in ambito M4C2 per canale di finanziamento[^] e tipologia di progetto Luglio 2024 (Mld €)

Fonte: ReGiS e Anitec-Assinform

*Per calcolare l'importo associato alla R&S ICT sono stati identificati - laddove specificato - tutti i progetti, borse di studio e dottorati con contenuto ICT come indicato nel file ReGiS nei record relativi a descrizione e sintesi del progetto e al soggetto attuatore

[^] Per i progetti finanziati attraverso più canali, il sistema ReGiS distingue gli importi finanziati dal PNRR da quelli finanziati da altri programmi nazionali (es. PNR, Fondi regionali) ed europei (es. Horizon Europe) raggruppati per questa analisi nel segmento "Altro pubblico" e da quelli finanziati da enti e imprese privati raggruppati nel segmento "Privato"

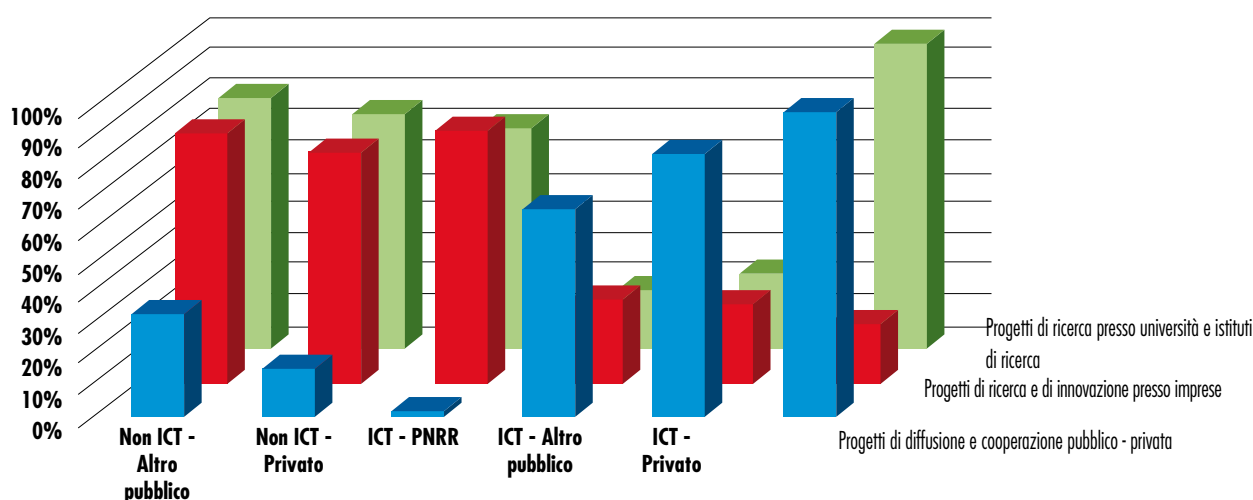


TABELLA 19
Importo progetti R&S ICT*
in ambito M4C2 e M4C114.01
a Luglio 2024 per settore
e categorie (Mil €)

Fonte: ReGiS e Anitec-Assinform

*Per calcolare l'importo associato alla R&S ICT sono stati identificati - laddove specificato - tutti i progetti, borse di studio e dottorati con contenuto ICT come indicato nel file ReGiS nei record relativi a descrizione e sintesi del progetto e al soggetto attuatore

Progetti per Settore e Categorie (Milioni di Euro)	Totale				ICT(*)			
	Finanziamento PNRR	Altro finanziamento pubblico	Finanziamento privato	Finanziamento Totale	Finanziamento PNRR	Altro finanziamento pubblico	Finanziamento privato	Finanziamento Totale
INFRASTRUTTURE PER TELECOMUNICAZIONI E TECNOLOGIE INFORMATICHE	91,6	-	-	91,6	91,6	-	-	91,6
INFRASTRUTTURE PER TELECOMUNICAZIONI	15,3	-	-	15,3	15,3	-	-	15,3
ALTRE OPERE ED IMPIANTI PER TELECOMUNICAZIONE	15,3	-	-	15,3	15,3	-	-	15,3
TECNOLOGIE INFORMATICHE	76,3	-	-	76,3	76,3	-	-	76,3
IMPIANTI ED INFRASTRUTTURE HARDWARE E SOFTWARE PER CENTRI DI SERVIZIO INFORMATICI	76,3	-	-	76,3	76,3	-	-	76,3
RICERCA SVILUPPO TECNOLOGICO ED INNOVAZIONE	9.210,9	1.242,0	2.247,9	12.700,8	2.176,6	654,6	1.495,8	4.327,0
PROGETTI DI DIFFUSIONE E COOPERAZIONE PUBBLICO-PRIVATA	558,1	571,4	1.300,1	2.429,6	372,9	483,6	1.278,4	2.134,8
ALTRE RICERCHE	550,9	571,4	1.290,9	2.413,2	367,5	483,6	1.271,6	2.122,7
PRODUZIONE E TECNOLOGIE INDUSTRIALI	7,1	-	9,2	16,2	5,4	-	6,8	12,1
PROTEZIONE E PROMOZIONE DELLA SALUTE UMANA	0,2	-	-	0,2				
PROGETTI DI RICERCA E DI INNOVAZIONE PRESSO IMPRESE	2.106,6	609,0	545,9	3.261,5	568,8	155,9	102,9	827,6
ALTRE AREE TECNOLOGICHE	1.949,3	593,1	480,2	3.022,6	484,1	140,9	59,1	684,1
ALTRE TECNOLOGIE MECCANICHE	0,5	-	0,7	1,2	0,5	-	0,7	1,2
BIOTECNOLOGIE E SALUTE IN GENERE	57,6	-	6,4	64,0	10,8	-	2,1	12,9
INNOVAZIONE PROCESSI E PRODOTTI	74,0	14,2	41,0	129,2	61,6	13,3	34,0	108,9
SPERIMENTAZIONE SOLUZIONI INNOVATIVE E VALIDAZIONE PRODOTTI	0,4	-	0,2	0,6				
TECNOLOGIE AEROSPAZIALI	0,6	-	0,5	1,0	0,4	-	0,3	0,7
TECNOLOGIE DELLE TELECOMUNICAZIONI	9,6	-	6,1	15,7	7,9	-	5,3	13,2
TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE	2,4	1,7	-	4,1	2,4	1,7	-	4,1
TECNOLOGIE ENERGETICHE	11,7	-	10,5	22,3	1,2	-	1,4	2,5
TECNOLOGIE PER LA SALVAGUARDIA DELL'AMBIENTE	0,6	-	0,2	0,8				
PROGETTI DI RICERCA PRESSO UNIVERSITA' E ISTITUTI DI RICERCA	6.546,1	61,6	401,9	7.009,7	1.234,9	15,1	114,5	1.364,5
ALTRE RICERCHE	6.088,6	61,6	400,6	6.550,9	1.220,4	15,1	113,6	1.349,2
CONTROLLO E TUTELA DELL'AMBIENTE TERRESTRE E MARINO	25,6	-	0,8	26,4	1,0	-	0,8	1,8
ESPLORAZIONE E UTILIZZAZIONE DELL'AMBIENTE TERRESTRE E MARINO	0,7	-	-	0,7				
ESPLORAZIONE E UTILIZZAZIONE DELLO SPAZIO	214,4	-	-	214,4	10,5	-	-	10,5
INFRASTRUTTURE E PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO	17,7	-	-	17,7				
PRODUZIONE DISTRIBUZIONE E USO RAZIONALE DELL'ENERGIA	20,4	-	-	20,4				
PRODUZIONE E TECNOLOGIE AGRICOLE E DELLA PESCA E ACQUACOLTURA	23,1	-	-	23,1				
PRODUZIONE E TECNOLOGIE INDUSTRIALI	29,4	-	-	29,4	2,8	-	-	2,8
PROTEZIONE E PROMOZIONE DELLA SALUTE UMANA	121,2	-	0,5	121,7	0,3	-	-	0,3
STRUTTURE E RELAZIONI SOCIALI	4,9	-	0,0	4,9				
Totale INFRASTRUTTURA E R&S	9.302,4	1.242,0	2.247,9	12.792,4	2.268,2	654,6	1.495,8	4.418,6



TABELLA 20

Top 20 soggetti attuatori delle attività di R&S ICT* in ambito M4C2 e M4C1I4.01 e canale di finanziamento a Luglio 2024 (Mil €)

Fonte: ReGiS e Anitec-Assinform

*Per calcolare l'importo associato alla R&S ICT sono stati identificati - laddove specificato - tutti i progetti, borse di studio e dottorati con contenuto ICT come indicato nel file ReGiS nei record relativi a descrizione e sintesi del progetto e al soggetto attuatore

Soggetto Attuatore	PNRR	Altro Finanziamento pubblico	Finanziamento privato	Finanziamento Totale
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE - CNR	220,9	37,5	-	258,5
ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE - INFN	246,8	-	-	246,8
CENTRO NAZIONALE DI RICERCA IN HIGH-PERFORMANCE COMPUTING	214,6	-	4,3	218,9
SAMOTHRACE FONDAZIONE (SEMICONDUTTORI)	111,4	-	15,3	126,7
FONDAZIONE SERICS SECURITY AND RIGHTS IN CYBER SPACE	114,5	-	1,9	116,4
FONDAZIONE RESTART (FUTURE TELECOMMUNICATIONS)	93,5	-	12,4	105,9
NATIONAL QUANTUM SCIENCE AND TECHNOLOGY	102,9	-	1,1	104,0
FUTURE ARTIFICIAL INTELLIGENCE RESEARCH (FAIR - PISA)	86,4	-	2,1	88,5
FONDAZIONE ISTITUTO ITALIANO DI TECNOLOGIA - IIT	19,6	-	20,4	40,0
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PALERMO	19,5	-	20,3	39,8
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TRENTO	18,8	0,9	19,3	39,0
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II	19,0	-	19,7	38,7
BI-REX - BIG DATA INNOVATION & RESEARCH (DATA SCIENCE)	14,5	-	13,8	28,3
SCUOLA SUPERIORE DI STUDI UNIVERSITARI DI PERFEZ. S. ANNA	26,2	-	-	26,2
UNIVERSITA' DEGLI STUDI CA FOSCARI DI VENEZIA	12,5	0,2	10,4	23,1
SMACT (4.0 PADOVA)	11,5	4,6	6,0	22,0
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TORINO	10,5	-	10,9	21,4
CENTRO NAZIONALE PER LA MOBILITA' SOSTENIBILE	9,4	-	10,3	19,8
CENTRO DI COMP. PER SICUREZZA INFRASTRUTTURE	10,8	0,6	7,9	19,3
COMPETENCE INDUSTRY MANUFACTURING 4.0	10,9	-	7,8	18,7
MADE S.C.A R.L. (4.0 MILANO)	10,0	1,4	7,2	18,6
ASSOCIAZIONE CYBER 4.0	10,2	7,2	-	17,4
RAISE S.C.A.R.L. (ROBOTICS AI)	11,3	-	5,7	17,0
Totale top 20	1.405,6	52,5	196,7	1.654,8



I PROGRAMMI EUROPEI PER LA R&I ICT¹⁹

L'Unione Europea mette a disposizione una serie di fondi e programmi destinati a sostenere lo sviluppo digitale, come ad esempio il Fondo Europeo per lo Sviluppo Regionale (FESR), il Fondo di coesione, il programma Horizon e il programma Digital Europe.

I principali programmi europei sono:

Il **Multiannual Financial Framework (MFF) 2021-2027** (il bilancio a lungo termine dell'UE) comprende strumenti e programmi di finanziamento per il digitale, dalla ricerca e sviluppo al trasferimento tecnologico all'adozione diffusa, per un budget complessivo di più di un trilione di euro oltre ai fondi Next Generation EU (PNRR) che finanziano inoltre i progetti di ricerca digitali.

Digital Europe: programma centrale nel MFF per accelerare la trasformazione digitale e rafforzare gli investimenti in supercomputing e data processing, core artificial intelligence (data spaces, libraries di algoritmi di AI), cybersecurity, skill digitali oltre a rafforzare la digitalizzazione e costruire capacità produttiva per i semiconduttori europei nell'ambito dell'iniziativa Chips for Europe. È concepito per colmare le distanze tra la ricerca e l'utilizzo delle nuove tecnologie, anche da parte di cittadini e PMI.

Connecting Europe Facility: supporta lo sviluppo di reti e infrastrutture transeuropee nei settori dei trasporti, delle telecomunicazioni e dell'energia. Sta investendo nelle reti a banda larga, nell'ambito dei più ampi sforzi dell'UE volti a costruire infrastrutture in grado di gestire i processi e le applicazioni emergenti e future.

Horizon Europe: programma di finanziamento dal 2021 al 2027 per la ricerca e l'innovazione che prosegue il lavoro di Horizon 2020. Finanzia la ricerca vitale nel campo della salute, della resilienza e delle transizioni verde e digitale. Prevede il Cluster 4 specifico per il "Digitale, l'industria e lo spazio" per lo sviluppo di ricerca e innovazione di alto livello nelle tecnologie abilitanti, quali intelligenza artificiale e robotica, next generation Internet, high performance computing, big data, key digital technologies, 6G. Promuove la ricerca integrando le tecnologie digitali con le innovazioni di altri settori. Circa il 35% degli sforzi di Horizon Europe sostiene la transizione digitale. Le iniziative di Horizon Europe integrano quelle di Digital Europe.

InvestEU: ha fornito un sostegno fondamentale alle imprese nella fase di ripresa e garantisce una forte attenzione da parte degli investitori privati alle priorità politiche dell'UE a medio e lungo termine, in particolare, il Green Deal europeo e la digitalizzazione. Almeno il 10% del programma confluisce negli obiettivi digitali.

EU4Health: è volto a rafforzare la sicurezza sanitaria e a prepararsi alle future crisi sanitarie. Circa il 10% di questo programma è utilizzato per la trasformazione digitale del settore sanitario.

Recovery and Resilience Facility: offre sostegno finanziario agli investimenti e alle riforme, anche in relazione alle transizioni verde e digitale e alla resilienza delle economie nazionali. Per l'Italia finanzia il PNRR. Per volontà della Commissione prevede un livello minimo del 20% della spesa relativa al digitale.

FESR - Fondo europeo di sviluppo regionale: mira a migliorare la coesione economica, sociale e territoriale. Dal 2021 al 2027 investe in progetti nel campo della digitalizzazione e della connettività digitale. Le amministrazioni degli Stati membri sono responsabili della valutazione e della selezione dei progetti da finanziare.

Fondo Europeo di Coesione²⁰: finanzia principalmente progetti infrastrutturali nei settori dell'ambiente e dei trasporti, incluse le reti transeuropee (TEN-T) e ha una dotazione di 42,6 miliardi di euro per il periodo 2021-2027, di cui 10 miliardi di EUR per l'ECF per sostenere lo sviluppo di infrastrutture transeuropee in settori quali i trasporti, l'energia e i servizi digitali. Il tasso di cofinanziamento può ammontare fino all'85% del valore dei progetti. Il 37% delle dotazioni finanziarie totali del Fondo di coesione dovrebbe contribuire agli obiettivi climatici dell'UE.

Nell'ambito della R&S ICT, l'accesso a progetti e opportunità di collaborazione internazionale sviluppati attraverso i programmi quadro è essenziale, sia per inserirsi nelle



reti più importanti, che contribuiscono alla creazione di conoscenza e innovazione, che per accedere a piattaforme tecnologiche e capitale umano non facilmente abbordabili o anche non disponibili sul territorio nazionale. In questo la collaborazione internazionale sviluppata attraverso i programmi quadro è essenziale per le imprese del settore ICT, anche e soprattutto quelle medie e piccole.

Partecipazione italiana a Horizon 2020

L'analisi della partecipazione italiana al Framework Programme 8 – Horizon 2020 è resa possibile dalla Horizon dashboard accessibile attraverso il portale "EU Funding & Tenders Portal"²¹ e dalla base dati APRE (Agenzia per la Promozione della Ricerca Europea) aggiornate a novembre 2024.

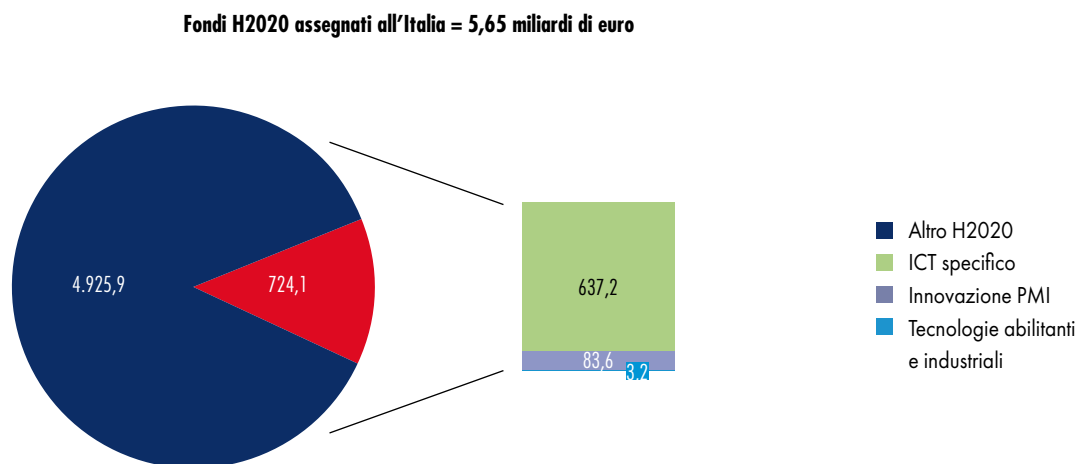
I finanziamenti Horizon 2020 per progetti di R&S in ambito ICT sono individuati principalmente nel Pilastro II "Industrial Leadership"²² nell'ambito delle tematiche ICT, innovazione nelle PMI, leadership nelle tecnologie abilitanti e industriali, e nel Pilastro III – Societal Challenges nell'ambito della tematica Sicurezza.

I **finanziamenti Horizon 2020** per progetti di R&S in ambito ICT così individuati, in Italia ammontano a **724,1 milioni per l'intera durata del programma** (Fig. 18), ovvero il 12,8% dei fondi complessivi ricevuti dall'Italia attraverso Horizon 2020 e l'8,2% dei finanziamenti assegnati in ambito ICT a tutti i Paesi partecipanti, che arrivano a 8,9 miliardi di euro.

La quota dell'8,2% per il perimetro ICT è in linea con la quota italiana dei contributi complessivi ricevuti con Horizon 2020, ma resta più bassa della quota italiana nel pilastro "Industrial leadership" (Tab. 21), malgrado la performance sia migliorata negli ultimi due anni del programma.

Nell'ambito della tematica Sicurezza (Pilastro III – Societal Challenges) non è possibile stimare le assegnazioni specifiche ai progetti in materia di sicurezza digitale e cybersecurity. Con 3,2 miliardi di euro su 8,9 miliardi complessivi, la quota di budget assegnata alle PMI per i progetti ICT è del 35,7%, invece la quota per le PMI italiane sui contributi ai

FIGURA 18
Contributo Horizon 2020 all'Italia
totale e per temi ICT (Mil €)
Fonte: EU Funding Tenders Dashboard
Novembre 2024



PILASTRO II - INDUSTRIAL LEADERSHIP	Contributo assegnato*			Contributo PMI assegnato			Quota % Contrib PMI su Contrib Totali - Italia	Quota % Contrib PMI su Contrib Totali
	Italia	Totale	Quota % Italia	Italia	Totale	Quota % PMI Italia		
ICT specifico	637	7.104,7	9,0%	129,0	1.653,4	7,8%	20,3%	23,3%
Innovazione PMI	83,6	1.700,9	4,9%	69,6	1.500,2	4,6%	83,3%	88,2%
Tecnologie abilitanti e industriali	3,2	56,6	5,7%	0,6	7,3	8,7%	19,5%	12,8%
Biotech	26,65	425,9	6,3%	11,0	150,9	7,3%	41,3%	35,4%
Spazio	121,5	967,5	12,6%	29,7	244,1	12,2%	24,4%	25,2%
Advanced materials	130,4	1218,0	10,7%	34,7	272,5	12,7%	26,6%	22,4%
Advanced manufacturing	235,5	1719,6	13,7%	81,9	484,6	16,9%	34,8%	28,2%
Nanotech	53,0	592,5	8,9%	31,8	245,7	12,9%	60,0%	41,5%
Accesso alla finanza di rischio	1,6	9,7	16,2%	1,4	4,1	33,3%	86,6%	42,2%
Tecnologie trasversali	0,3	2,0	12,4%	0	1,2	0,0%	0,0%	57,7%
TOT ICT	724,1	8.862,2	8,2%	199,3	3.160,9	6,3%	27,5%	35,7%
TOT INDUSTRIAL LEADERSHIP	1.293,0	13.797,3	9,4%	389,8	4.563,9	8,5%	30,1%	33,1%
TOT H2020	5.650,0	68.006,5	8,3%	993,3	11.451,3	8,7%	17,6%	16,8%

* Finanziamento concesso ai partecipanti ai progetti ammessi al finanziamento

TABELLA 21
Contributo totale e PMI, complessivo e all'Italia per temi prioritari nel Pilastro II (Industrial Leadership) di Horizon 2020 (Mil €)
 Fonte: EU Funding Tenders Dashboard
 Novembre 2024

progetti ICT in Italia è decisamente inferiore, non superando il 27,5%. Così la quota italiana dei contributi per R&S ICT presso le PMI scende al 6,3%, quasi due punti percentuali sotto la quota complessiva dell'8,2%, e ancora peggio per i progetti specifici "Innovation in SME" per i quali la quota scende al 4,6%.

Nel complesso il contributo di 724,1 milioni di euro posiziona **l'Italia al quarto posto nella classifica dei Paesi beneficiari di Horizon 2020 per i progetti ICT**, dopo Germania (1.391,8 milioni di euro), Francia (1.036,2 milioni) e Spagna (906,4 milioni), e prima di Paesi Bassi, Belgio, Grecia, Austria (Tab. 22). Per l'Italia è maggiore il contributo in ambito ICT rispetto alle altre due aree tematiche, anche se per le enabling technologies con 3,2 milioni di contributi è terza dopo Germania e Spagna. Nel complesso **le domande presentate** per le tre tematiche del perimetro ICT hanno superato le 11.800 unità in Italia contro le oltre 13.000 in Spagna, ma più delle 9.800 in Germania e quasi 7.700 in Francia (Tab. 23). Il numero di **proposte ammesse** al finanziamento si riduce drammaticamente (1.060): un calo in proporzione più grave per l'Italia che per gli altri Paesi. Il tasso di successo delle proposte italiane arriva all'8,9%

TABELLA 22
Contributo ICT per Paese per temi prioritari ICT nel Pilastro II di Horizon 2020 (Mil €)
 Fonte: EU Funding Tenders Dashboard
 Novembre 2024

PAESI	Contributo progetti ICT specifico	Contributo progetti su innovazione PMI	Contributo progetti su tecnologie abilitanti e industriali	Contributo progetti ICT	% ICT specifico	% innovazione PMI	% tecnologie abilitanti e industriali	Quota Paese
Italia	637,2	83,6	3,2	724,1	88,0%	11,5%	0,4%	8,2%
Germania	1.220,8	166,6	4,4	1391,8	87,7%	12,0%	0,3%	15,7%
Francia	850,7	183,5	2,0	1036,2	82,1%	17,7%	0,2%	11,7%
Spagna	724,6	177,6	4,2	906,4	79,9%	19,6%	0,5%	10,2%
Paesi Bassi	501,0	114,4	1,4	616,8	81,2%	18,5%	0,2%	7,0%
Belgio	378,2	55,7	4,6	438,5	86,3%	12,7%	1,0%	4,9%
Grecia	360,2	8,5	0,6	369,3	97,5%	2,3%	0,2%	4,2%
Austria	246,9	41,0	0,0	288,0	85,8%	14,2%	0,0%	3,2%
Altri Paesi	2.185,0	870,0	36,2	3091,2	70,7%	28,1%	1,2%	34,9%
Totale	7.104,7	1.700,9	56,6	8862,2	80,2%	19,2%	0,6%	100,0%



PAESI	Proposte presentate	Proposte ammesse al finanziamento	% successo	Partecipazione*	Contributo Totale ICT	Grant^	Contributo medio per grant (migliaia di euro)			
							ICT	ICT specifico	innovazione PMI	tecnologie abilitanti e industriali
Italia	11.851	1060	8,9%	2719	724,1	1089	664,9	819,1	270,6	1.608,1
Germania	9.812	1310	13,4%	3362	1391,8	1365	1019,6	1.179,5	507,9	2.182,7
Francia	7.664	1028	13,4%	2457	1036,2	1054	983,1	1.110,6	639,4	1.980,3
Spagna	13.076	1372	10,5%	3190	906,4	1418	639,2	817,9	335,1	2.099,3
Paesi Bassi	4.928	640	13,0%	1339	616,8	668	923,3	1.024,5	642,6	1.404,2
Belgio	3.559	528	14,8%	931	438,5	549	798,7	849,9	540,5	4.583,3
Grecia	4.070	519	12,8%	1088	369,3	534	691,6	751,9	157,8	630,9
Austria	2.887	422	14,6%	871	288,0	439	655,9	730,6	406,2	-
Altri Paesi	52.980	5832	11,0%	9539	3091,2	6110	505,9	521,9	454,5	4.026,8
Totale	110.827	12.711	11,5%	25.496	8.862,2	13.226	670,1	755,6	447,1	2.980,0

* Numero delle organizzazioni coinvolte nelle proposte selezionate
^ Sovvenzioni

contro il 13,2% di Germania e Francia, il 10,5% della Spagna e l'11,2% medio di tutti i Paesi. Un tasso di successo al di sotto della media, che continua a far riflettere sulla qualità della partecipazione del nostro Paese. Con 1.060 proposte ammesse l'Italia si colloca comunque al terzo posto tra i Paesi europei per numero di proposte finanziate nei bandi ICT, innovazione nelle PMI e tecnologie abilitanti e industriali del secondo Pilastro di Horizon 2020, dopo Germania e Spagna. Le 1.060 proposte italiane accolte per il perimetro ICT hanno coinvolto 2.719 soggetti italiani sia come richiedenti che come partner e dato luogo all'approvazione di 1.089 concessioni.

In termini di **contributo medio per grant**, l'Italia condivide le ultime posizioni in Europa insieme a Grecia, Spagna e Austria. Se i finanziamenti dai bandi ICT (819,1 mila euro) superano in valore medio unitario la media di tutti i Paesi, sono i finanziamenti dei bandi per innovazione nelle PMI (270,6 mila euro) e dei bandi per le tecnologie abilitanti (1.608,1 mila euro, o poco più della metà della media di tutti i Paesi) ad abbassare di molto la dimensione media. Ne risulta un contributo medio per grant ICT nel periodo 2014-2020 di 664,9 mila euro per l'Italia, inferiore del 35% a quello della Germania (1.019,6 mila euro), del 32% e del 28% a quelli di Francia (983,1 mila euro) e Paesi Bassi (639,2 mila euro).

La **ripartizione dei finanziamenti ICT di Horizon 2020 per tipo di organizzazione assegnataria** in Italia (Fig. 19) vede quasi a pari livello enti privati (con una quota del 27,7%) e PMI (con una quota del 27,5%) a differenza della ripartizione media nel perimetro complessivo di tutti i Paesi, che vede le PMI ricevere il contributo maggiore (35,7%) e relativamente ridotta la quota degli enti privati (21,1%). Anche gli istituti di istruzione superiore hanno ricevuto un contributo relativamente maggiore in Italia (22,9%) rispetto alla media complessiva (18,6%), mentre le organizzazioni di ricerca italiane hanno una quota del 18,3% dei finanziamenti contro una media del 19,9%. Le PMI ricevono la quota maggiore dei finanziamenti ICT di Horizon 2020 in Francia, Spagna, Paesi Bassi e Austria. In Germania prevale la quota degli enti privati, rilevante anche in Francia e Austria (oltre che in Italia). Le organizzazioni di ricerca ricevono la quota maggiore delle assegnazioni in Grecia e Belgio, e una quota rilevante in Francia. In quanto ad **accesso ai progetti** e alle **reti di collaborazione internazionale** attraverso i programmi quadro, l'analisi dei bandi Horizon conferma quanto già evidenziato anche in altri studi, che – in generale come pure nel settore ICT – poche organiz-

TABELLA 23

Proposte, partecipazione e grant ICT per Paese e per temi prioritari ICT nel Pilastro II di Horizon 2020 (Mil €)

Fonte: EU Funding Tenders Dashboard
Novembre 2024



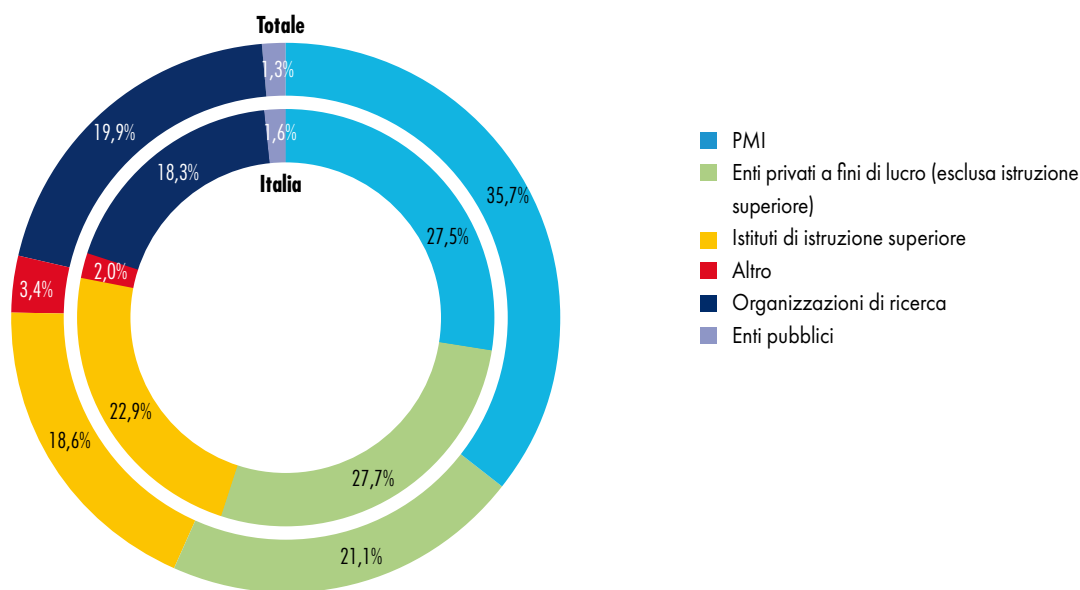


FIGURA 19
Contributo ICT da H2020
in Italia e totale per tipologia
di assegnatari (Mil €)

Fonte: EU Funding Tenders Dashboard
 Novembre 2024

zazioni di ricerca italiane consolidano nel tempo le proprie posizioni di forza nell'ambito delle reti di collaborazione internazionali, le quali tendono a rimanere stabili, garantendo alle istituzioni coinvolte il mantenimento ed eventualmente la crescita dei tassi di successo sia nella partecipazione sia nel finanziamento delle proposte avanzate.

Gli effetti di concentrazione delle risorse erogate attraverso i programmi Framework sono dunque alimentati da strutture di rete che diventano sempre più rilevanti, rendendo a volte difficile l'entrata di nuovi soggetti. In altre parole, le organizzazioni che già hanno posizioni di rilievo nelle collaborazioni internazionali tendono a mantenerle e a rafforzarle; le organizzazioni che non vantano tradizioni di partecipazione ai programmi quadro hanno vincoli in entrata molto onerosi.

La debolezza dell'Italia passa anche attraverso la geografia della sua partecipazione: una concentrazione elevata in poche organizzazioni, capaci di inserirsi e permanere al centro di reti di relazioni, ma anche molte organizzazioni che invece restano escluse.

Partecipazione italiana a Horizon Europe

Le occasioni per lo sviluppo e il rafforzamento della R&S ICT saranno ancora più interessanti con i nuovi programmi europei. La digitalizzazione continua a essere un obiettivo prioritario da supportare finanziariamente con un impegno di risorse e una focalizzazione ancora maggiori. Da Horizon a Digital Europe, passando per gli strumenti finanziari di InvestEU (con una finestra dedicata a ricerca, innovazione e digitalizzazione) e Connecting Europe Facility (dedicato ai settori trasporti, energia e telecomunicazioni), fino ai programmi dedicati ad agricoltura, coesione e difesa, tutti sosterranno la trasformazione digitale in Europa.

Il Framework Programme 9 – Horizon Europe è il programma quadro europeo per la ricerca e l'innovazione in corso per il periodo 2021-2027. L'analisi della partecipazione italiana a Horizon Europe è resa possibile dalla Horizon dashboard accessibile attraverso il portale "EU Funding & Tenders Portal" e dalla base dati aggiornate a novembre 2024. Horizon Europe offre l'opportunità di sviluppare nuova ricerca facendo leva su uno stanziamento della Commissione Europea di 95,5 miliardi di euro di cui 5,4 finanziati da Next



Generation EU, il piano per sostenere la ripresa verde e digitale dalla pandemia. A novembre 2024 risultano impegnati 39,1 miliardi di euro pari al 41% del bilancio del programma. I finanziamenti Horizon Europe per progetti di R&S in ambito ICT sono individuati principalmente nel Pilastro II in corrispondenza al Cluster CL4 "Digitale, Industria e Spazio", che prevede investimenti in ricerca e innovazione per sostenere lo sviluppo europeo nelle tecnologie abilitanti, i processi produttivi, la digitalizzazione e le tecnologie spaziali, la sostenibilità dell'industria europea.

Il Cluster CL4 ha un budget complessivo per tutto il periodo di 15,6 miliardi di euro da ripartire tra sei destinazioni di cui tre in ambito ICT. Le tematiche ICT si trovano nelle destinazioni: "Tecnologie informatiche e dei dati leader a livello mondiale", "Tecnologie digitali ed emergenti per la competitività e adatte al Green Deal", "Sviluppo etico e incentrato sull'uomo delle tecnologie digitali e industriali"²³. Più precisamente, per gli obiettivi di questa analisi, abbiamo estratto e riaggregato in un tema generale "ICT" i progetti classificati ai seguenti identificativi (Call ID nella dashboard EU) nell'ambito del Cluster CL4:

- A Human-Centred and Ethical Development of Digital and Industrial Technologies (CL4 HUMAN);
- World Leading Data and Computing Technologies (CL4 DATA);
- Digital and Emerging Technologies for Competitiveness and Fit for the Green Deal (CL4 DIGITAL EMERGING, CL4 QUANTUM - digital-emerging-01-42).

In aggiunta sono inclusi i bandi dei partenariati istituzionalizzati, con opportunità di finanziamento in settori specifici, quali:

- Key Digital Technologies Joint Undertaking - JU KDT (CHIPS);
- Smart Networks and Services Joint Undertaking (JU SNS);
- EuroHPC Joint Undertaking (JU HPC).

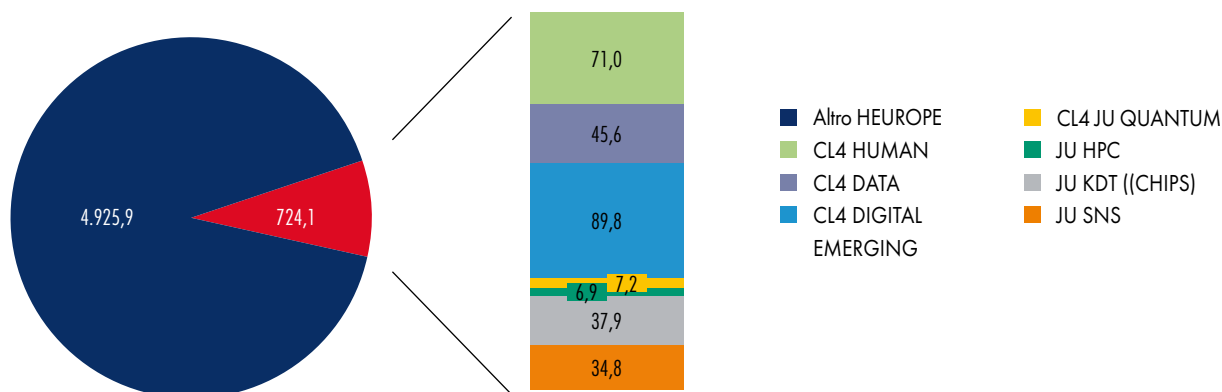
I finanziamenti Horizon Europe per progetti di R&S in ambito ICT, così individuati, in Italia ammontano a 293,2 milioni di euro, ovvero l'8,5% dei 3,42 miliardi di fondi complessivi ricevuti da organizzazioni italiane per il periodo che va dall'inizio del programma nel 2021 a tutto novembre 2024 (Fig. 20). Questo valore rappresenta anche il 9,4% dei finanziamenti assegnati in ambito ICT, arrivati a 3,1 miliardi di euro tra il 2021 e novembre 2024.

La quota del 9,4% per il perimetro ICT è di poco superiore alla quota italiana dei contributi complessivi ricevuti con Horizon 2020 (7,7%), ma ancora inferiore alla quota

FIGURA 20
Contributo Horizon Europe all'Italia totale e per temi ICT (Mil €)

Fonte: EU Funding Tenders Dashboard
Novembre 2024

Fondi HEUROPE assegnati all'Italia (NOV2024) = 3,42 miliardi di euro



	Contributo assegnato			Contributo PMI assegnato			Quota % Contrib PMI su Contrib Totali - Italia	Quota % Contrib PMI su Contrib Totali
	Italia	Totale	Quota % Italia	Italia	Totale	Quota % PMI Italia		
CL4 HUMAN	71,0	616,1	11,5%	21,9	141,4	15,5%	30,9%	22,9%
CL4 DATA	45,6	415,9	11,0%	11,8	116,9	10,1%	25,9%	28,1%
CL4 DIGITAL EMERGING	89,8	890,9	10,1%	15,4	199,5	7,7%	17,2%	22,4%
CL4 JU QUANTUM	7,2	168,5	4,3%	1,1	29,6	3,8%	15,7%	17,6%
JU HPC	6,9	64,6	10,6%	0,8	8,9	8,8%	11,4%	13,7%
JU KDT (CHIPS)	37,9	584,6	6,5%	10,9	148,7	7,4%	28,8%	25,4%
JU SNS	34,8	372,1	9,4%	9,4	91,8	10,3%	27,1%	24,7%
ICT totale	293,2	3.112,8	9,4%	71,4	736,8	9,7%	24,4%	23,7%
Non ICT totale	325,4	3.127,7	10,4%	100,2	805,3	12,4%	30,8%	25,7%
DIGITAL INDUSTRY SPACE	618,6	6.240,5	9,9%	171,6	1.542,1	11,1%	27,7%	24,7%
HEUROPE	3417,8	39.081,5	8,7%	534,1	6.646,7	8,0%	15,6%	17,0%

TABELLA 24
Contributo Horizon Europe totale e PMI, complessivo e all'Italia per temi prioritari nel cluster Digital, Industry, Space (Mil €)
 Fonte: EU Funding Tenders Dashboard
 Novembre 2024

italiana del 9,9% nel Cluster CL4 "Digitale, Industria e Spazio" (Tab. 24).

Con 736,8 milioni di euro su 3,1 miliardi complessivi, la quota di budget finora assegnata alle PMI per i progetti ICT è del 23,7%, di più di 10 punti inferiore rispetto alla quota PMI nei finanziamenti di Horizon 2020. La quota per le PMI italiane sui contributi ai progetti ICT in Italia è allo stesso livello del totale complessivo di Horizon Europe, con il 24,4% e similmente inferiore, ma con una distanza minore, al livello del 27,5% delle PMI italiane durante Horizon 2020. Questo calo di partecipazione delle PMI ai finanziamenti sembra più marcato negli altri Paesi, essendo la quota dei contributi assegnati alle PMI italiane sui contributi PMI totali pari al 9,7%, ovvero 3,4 punti percentuali superiore rispetto alla quota finale in Horizon 2020.

Il contributo assegnato per i progetti ICT, pari a 293,2 milioni di euro, posiziona **l'Italia al quinto posto nella classifica dei Paesi beneficiari di Horizon Europe per i progetti ICT**, dopo Germania (560,8 milioni di euro), Francia (358,6 milioni), Spagna (319,2 milioni) e Paesi Bassi (301,7 milioni). L'Italia è seguita da Belgio, Grecia, Austria (Tab. 25). Nel complesso, il nostro Paese arretra di un'altra posizione rispetto a Horizon 2020. In particolare, i contributi ricevuti dall'Italia sono relativamente più bassi per Quantum e Key Digital Technologies, mentre vanta una quota maggiore di finanziamenti in ambito dati (quarta posizione) e Human Technologies (terza posizione).

Fino a novembre 2024 le proposte presentate per le tematiche del perimetro ICT hanno raggiunto 1.688 unità in Italia contro le 2.064 in Germania, le 1.855 in Spagna, ma più delle 1.447 in Francia e delle 1.375 in Grecia (Tab. 26). Si è ridotto il numero di proposte ammesse al finanziamento, pari a 306, per un tasso di successo del 18,1%, il penultimo tra i maggiori Paesi europei (pari merito con il 18% della Spagna), solo la Grecia con 17,3% fa peggio, mentre mantengono un tasso di successo migliore Germania (20,2%) e Francia (20,6%). Con un tasso di successo quasi allineato alla media, l'Italia ha comunque seguito il trend generale di miglioramento nella predisposizione delle proposte, quasi raddoppiando il tasso di successo rispetto a Horizon 2020. Con 843 proposte ammesse e 1.688 soggetti coinvolti, l'Italia conferma comunque il terzo



TABELLA 25
Contributo ICT per Paese per temi prioritari ICT nel Cluster 4 Pilastro II di Horizon EUROPE (Mil €)
 Fonte: EU Funding Tenders Dashboard
 Novembre 2024

PAESI	CL4 HUMAN	CL4 DATA	CL4 DIGITAL EMERGING	CL4 JU QUANTUM	JU HPC	JU KDT (CHIPS)	JU SNS	Contributo su progetti ICT	Quota Paese
Italia	71,0	45,6	89,8	7,2	6,9	37,9	34,8	293,2	9,4%
Germania	83,7	57,6	180,1	38,2	21,6	126,7	52,9	560,8	18,0%
Francia	52,6	21,8	103,6	31,5	7,1	109,9	32,0	358,6	11,5%
Spagna	49,4	66,0	99,6	10,2	14,3	26,9	52,9	319,2	10,3%
Paesi Bassi	92,3	16,1	65,4	29,3	1,7	86,0	10,9	301,7	9,7%
Belgio	52,5	65,9	65,4	0,8	2,6	9,0	55,4	251,6	8,1%
Grecia	35,9	14,0	49,7	8,2	2,9	44,8	15,0	170,7	5,5%
Austria	13,1	12,5	32,8	17,9	-	38,0	3,2	117,5	3,8%
Altri Paesi	165,7	116,4	204,4	25,1	7,5	105,4	114,9	739,4	23,8%
Totale	616,1	415,9	890,9	168,5	64,6	584,6	372,1	3.112,8	100,0%
Italia	24,2%	15,5%	30,6%	2,5%	2,3%	12,9%	11,9%	100,0%	
Germania	14,9%	10,3%	32,1%	6,8%	3,9%	22,6%	9,4%	100,0%	
Francia	14,7%	6,1%	28,9%	8,8%	2,0%	30,6%	8,9%	100,0%	
Spagna	15,5%	20,7%	31,2%	3,2%	4,5%	8,4%	16,6%	100,0%	
Paesi Bassi	30,6%	5,3%	21,7%	9,7%	0,5%	28,5%	3,6%	100,0%	
Belgio	20,8%	26,2%	26,0%	0,3%	1,0%	3,6%	22,0%	100,0%	
Grecia	21,0%	8,2%	29,2%	4,8%	1,7%	26,3%	8,8%	100,0%	
Austria	11,2%	10,7%	27,9%	15,2%	0,0%	32,3%	2,7%	100,0%	
Altri Paesi	22,4%	15,7%	27,6%	3,4%	1,0%	14,2%	15,5%	100,0%	
Totale	19,8%	13,4%	28,6%	5,4%	2,1%	18,8%	12,0%	100,0%	

TABELLA 26
Proposte, partecipazione e grant ICT per Paese e per temi prioritari ICT nel Pilastro II Cluster IV di HEUROPE Novembre 2024 (Mil €)
 Fonte: EU Funding Tenders Dashboard
 Novembre 2024

	Proposte presentate	Proposte ammesse al finanziamento	% successo	Partecipazione*	Contributo Totale ICT	Grant^ approvati	Contributo medio per grant (migliaia di euro)		
							Aggregato Cluster 4	Aggregato JU	Totale ICT
Italia	1.688	306	18,1%	843	293,2	310	953,6	925,4	945,8
Germania	2.064	417	20,2%	1.214	560,8	421	1.202,8	1.649,1	1.332,1
Francia	1.447	298	20,6%	864	358,6	295	1.002,8	1.732,5	1.215,5
Spagna	1.855	334	18,0%	827	319,2	332	941,8	1.012,2	961,5
Paesi Bassi	1.075	238	22,1%	540	301,7	239	1.147,5	1.590,3	1.262,4
Belgio	976	230	23,6%	347	251,6	228	661,6	966,5	748,5
Grecia	1.375	238	17,3%	570	170,7	237	1.132,5	905,6	1.061,7
Austria	760	145	19,1%	303	117,5	138	771,0	1.056,4	851,7
Altri Paesi	9.465	1.688	17,8%	2.514	739,4	1.691	423,9	470,6	437,3
Totale	20.705	3.894	18,8%	8.022	3.112,8	3.891	752,3	919,3	800,0

* Numero delle organizzazioni coinvolte nelle proposte selezionate

^ Sovvenzioni



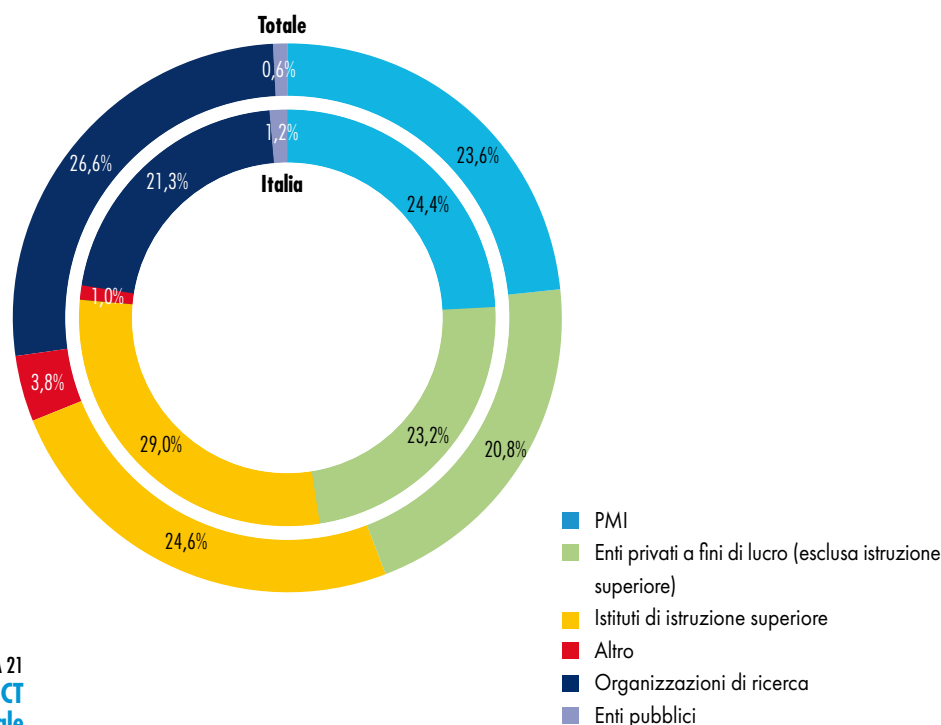


FIGURA 21
Contributo per R&S ICT
da HEUROPE in Italia e totale
per tipologia di assegnatari
Novembre 2024 (Mil €)

Fonte: EU Funding Tenders Dashboard
 Novembre 2024

posto tra i Paesi europei per numero di proposte finanziate nei bandi in ambito ICT ed è al quarto posto per numero di grant approvati.

In termini di **contributo medio per grant**, l'Italia condivide un posizionamento medio in Europa insieme alla Spagna e migliore di Belgio e Austria. Al contrario di quasi tutti i Paesi, in Italia il valore medio dei grant associati ai partenariati istituzionalizzati (Joint Undertakings), che in genere coinvolgono molti più enti, è inferiore al valore medio degli altri bandi.

La **ripartizione dei finanziamenti ICT di Horizon 2020** per tipo di organizzazione assegnataria in Italia (Fig. 21) posiziona quasi a pari livello enti privati (con una quota del 23,2%) e PMI (con una quota del 24,4%), con una leggera differenza rispetto alla ripartizione media nel perimetro complessivo di tutti i Paesi, che vede le PMI ricevere un contributo di poco maggiore (23,6%) e relativamente ridotta la quota degli enti privati (20,8%). Anche gli istituti di istruzione superiore hanno ricevuto un contributo relativamente maggiore in Italia (29%) rispetto alla media complessiva (24,6%), mentre le organizzazioni di ricerca italiane hanno una quota del 21,3% dei finanziamenti, di molto inferiore alla media complessiva del 26,6%. Doppia, ma molto piccola, è la quo-

TABELLA 27
Contributo ICT da Horizon Europe
in Italia per macro area
Novembre 2024 (Mil €)

Fonte: EU Funding Tenders Dashboard
 Novembre 2024

	Contributo EU	Partecipazione	Grant Approvati	Dimensine media grant	Contributo EU per le PMI	Partecipazione PMI
NORD-OVEST	98,5	283	172	572,9	20,4	67
NORD-EST	80,7	218	139	580,5	23,3	58
CENTRO (IT)	90,4	259	159	568,3	19,9	78
SUD	14,7	49	42	348,8	5,5	22
ISOLE	8,9	33	20	443,4	2,3	11
ITALIA	293,1	842	532	551,0	71,4	236



ta assegnata agli enti pubblici in Italia (1,2%) rispetto alla media (0,6%).

Dal punto di vista territoriale **è ampio il divario di partecipazione tra nord e sud** (Tab. 27). La partecipazione del Lazio è influenzata dalla presenza di sedi legali principali a Roma per quanto riguarda molti centri di ricerca pubblici o privati. Di rilievo è anche il dato della Lombardia, in linea con il passato, e quello dell'Emilia-Romagna, dove ha sede il Centro Nazionale di Ricerca in High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing, realizzato e gestito dalla Fondazione ICSCI.

Partecipazione italiana a Digital Europe

Con un bilancio complessivo di oltre 8,1 miliardi di euro, il programma Digital Europe supporta la trasformazione digitale europea, in linea con gli obiettivi nella Comunicazione "European Digital Compass 2030". Finanzia progetti di ricerca allo stadio avanzato di sviluppo o di trasferimento o adozione tecnologica suddivisi in cinque "pilastri": Calcolo ad alte prestazioni (con un budget di 2,2 miliardi di euro), Intelligenza artificiale (2,1 miliardi), Cybersicurezza (1,6 miliardi), Competenze digitali avanzate (580 milioni, in particolare per Cybersicurezza, HPC, IA), Implementazione e impiego ottimale della capacità digitale e interoperabilità (1,1 miliardi). Particolare attenzione è rivolta ai

Complementarità e sinergie di Digital Europe con gli altri programmi europei



Mettendo a confronto Digital Europe con gli altri programmi europei emergono complementarità e sinergie:

- **Horizon Europe** (HE), nonostante le sovrapposizioni tra HPC, IA, Cybersicurezza, produce azioni, risultati attesi e logica d'intervento diversi e complementari. Digital Europe si concentra sulla creazione di capacità e infrastrutture digitali per promuovere l'adozione e implementazione di soluzioni innovative sviluppate nell'ambito di Horizon Europe. Horizon Europe è l'unico programma UE gestito in modo centralizzato a sostegno della ricerca e dello sviluppo tecnologico e per le sue attività ha a disposizione le capacità e le infrastrutture sviluppate nell'ambito di Digital Europe.

- **Connecting Europe Facility** (CEF) fornisce l'infrastruttura fisica per le reti a banda larga ad alta capacità necessarie per l'implementazione dei servizi e delle tecnologie digitali proposti nel quadro di Digital Europe.

- **FESR**, il cui obiettivo è favorire la coesione economica, sociale e territoriale in tutte le regioni dell'UE, promuove lo sviluppo economico orientato all'innovazione che implica la digitalizzazione dell'industria, come indicato nelle strategie di specializzazione intelligente (S3). Il FESR sostiene l'implementazione di soluzioni digitali in diversi settori, dai trasporti sostenibili al miglioramento dei sistemi sanitari. Il programma Digital Europe integrerà gli investimenti locali finanziati dal FESR per rendere le strutture accessibili al resto d'Europa mediante la messa in rete e la mappatura delle capacità digitali.

- **InvestEU** prevede garanzie di bilancio per accedere a strumenti finanziari per progetti di digitalizzazione del settore privato e sull'intelligenza artificiale. Determinante per il trasferimento dei risultati delle attività di ricerca e ►



innovazione dalle università alle imprese è **la rete dei Digital Innovation Hub – DIH**, che promuovono l'applicazione delle tecnologie digitali, dalla blockchain all'intelligenza artificiale, con l'obiettivo di innovare prodotti, servizi e processi e rafforzare la competitività dell'economia europea.

La Commissione UE finanzia progetti sperimentali e dimostrativi basati sull'intelligenza artificiale, il calcolo ad alte prestazioni e la cybersicurezza, a cui Stati membri e regioni possono contribuire attingendo anche alle risorse di Horizon Europe e ai fondi strutturali. Già introdotte nella programmazione 2014-2020 e parte integrante del FESR, le **Strategie di Smart Specialization (S3)** individuano le priorità su cui intervenire per allineare le politiche pubbliche per la ricerca e l'innovazione ai bisogni, figurano tra le norme per le condizioni di accesso ai fondi UE e hanno un ruolo di riferimento nell'ambito del FESR e nella valutazione o riformulazione delle priorità per la pianificazione delle dotazioni 2025-2027. Una novità del periodo 2021-2027 è l'approccio interregionale alla gestione delle risorse, attraverso un maggiore sostegno alle regioni che dispongono di risorse equivalenti di "specializzazione intelligente" per la costituzione di cluster paneuropei in settori prioritari quali i Big Data, l'economia circolare, le tecnologie avanzate o la cybersecurity.

settori in cui la spesa pubblica produce il massimo effetto, come la sanità, la giustizia, la protezione dei consumatori e le pubbliche amministrazioni, oltre al sostegno alle PMI. Nel settembre 2023 è stata aggiunta una nuova area di capacità per i semiconduttori. Il programma integra i finanziamenti disponibili attraverso altri programmi dell'UE, come Horizon Europe, European Connecting Facility (per le infrastrutture digitali), il Recovery and Resilience Facility e i fondi strutturali.

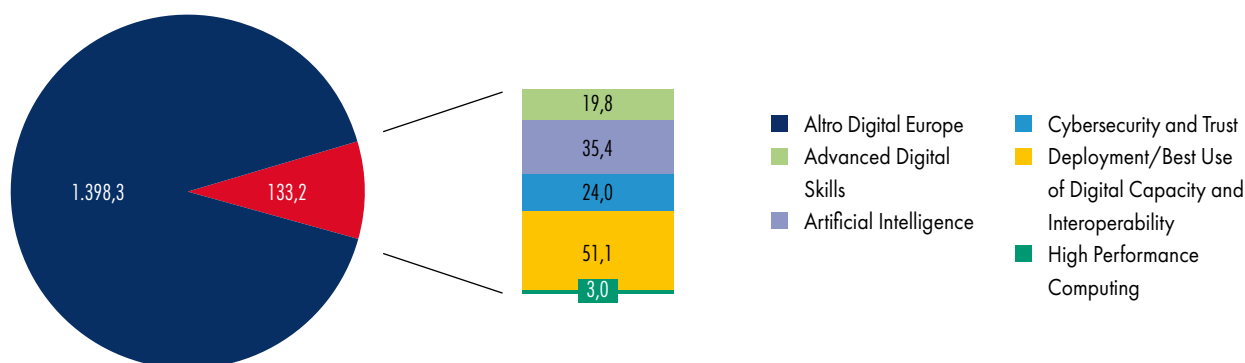
Dall'estrazione dei dati di progetto contabilizzati dalla European Digital Dashboard²⁴ per Paese e per progetto, è possibile individuare progressi e sfide relative all'accesso italiano ai fondi europei del programma Digital Europe.

I finanziamenti Digital Europe per i progetti di ricerca e trasferimento/adozione tecnologica in Italia ammontano a 133,2 milioni per il periodo che va dal 2021 a novembre 2024 (Fig. 22), ovvero l'8,7% dei finanziamenti assegnati in ambito ICT a tutti i Paesi

FIGURA 22

Contributo Digital Europe all'Italia totale e per obiettivi temi ICT Novembre 2024 (Mil €)

Fonte: EU Digital Europe Dashboard
Novembre 2024



partecipanti alla data attuale, che arrivano a 1,5 miliardi di euro²⁵. Di questi, 51,1 milioni sono destinati a progetti di testing/implementazione, 35,5 a progetti in ambito di intelligenza artificiale e 24 milioni a progetti sulla cybersicurezza. Quasi 20 milioni sono destinati alla formazione di competenze digitali avanzate.

La quota dell'8,7% per l'Italia è in linea con la quota dei contributi Horizon 2020 dell'8,2% con 724 milioni di euro (su un totale di 8,9 miliardi di euro) e più bassa rispetto al 9,4% con 293,2 milioni di euro (su un totale di 3,1 miliardi) finanziati con Horizon Europe dal 2021 fino a novembre 2024. Questa quota varia, tuttavia, a seconda degli obiettivi (Tab. 28), con un margine positivo per test/deployment e competenze e invece un importante divario in ambito high-performance computing che conta solo sul 3,6% dei finanziamenti HPC a tutti i Paesi.

Con 29,1 milioni su 133,2 milioni di euro complessivi, la quota di finanziamento Digital Europe assegnata alle PMI in Italia è dell'8,8% del finanziamento PMI per tutti i Paesi. Maggiore è il contributo per i progetti di deployment (12,3%) e in ambito intelligenza artificiale (11,1%), mentre è proporzionalmente di minore volume per i progetti in ambi-

TABELLA 28
Contributo Horizon 2020 totale e PMI, complessivo e all'Italia per temi prioritari nel Pilastro II (Industrial Leadership) di Horizon 2020 (Mil €)

Fonte: EU Digital Europe Dashboard
Novembre 2024

PILASTRO II - INDUSTRIAL LEADERSHIP	Contributo assegnato*			Contributo PMI assegnato			Quota % Contrib PMI su Contrib Totali - Italia	Quota % Contrib PMI su Contrib Totali
	Italia	Totale	Quota % Italia	Italia	Totale	Quota % PMI Italia		
Advanced Digital Skills	19,8	171,6	11,5%	3,9	44,4	8,8%	19,8%	25,9%
Artificial Intelligence	35,4	408,9	8,6%	8,4	68,6	12,3%	23,9%	16,8%
Cybersecurity and Trust	24,0	387,4	6,2%	8,0	131,3	6,1%	33,3%	33,9%
Deployment and Best Use of Digital Capacity and Interoperability	51,1	481,0	10,6%	8,7	78,6	11,1%	17,1%	16,3%
High Performance Computing	3,0	82,7	3,7%	-	5,1	0,0%	0,0%	6,2%
Totale Contributo Digital Europe	133,2	1.531,5	8,7%	29,1	328,1	8,9%	21,8%	21,4%

* Finanziamento concesso ai partecipanti ai progetti ammessi al finanziamento

to cybersicurezza (6,1%). Considerando il perimetro italiano, ogni 5 euro di contributi finanziati da Digital Europe per progetti italiani almeno 1 euro arriva a una PMI, che diventano 2 per i progetti sull'intelligenza artificiale e 3 nei progetti di trasferimento tecnologico. A differenza degli altri maggiori Paesi non sono presenti PMI italiane tra i partecipanti e quindi anche i beneficiari dei progetti HPC co-finanziati da Digital Europe. Rispetto al mix di finanziamenti ricevuti dalle PMI in tutti i Paesi indirizzati da Digital Europe, oltre all'assenza in ambito HPC (dove a livello internazionale le PMI ricevono il 6,2% dei finanziamenti), è minore la quota di contributi sulla formazione avanzata ICT (19,8% PMI italiane contro 25,9% nel complesso), mentre è proporzionalmente più positiva la posizione per l'intelligenza artificiale.

Nel complesso **il contributo di 133,2 milioni di euro posiziona l'Italia al terzo posto nella classifica dei Paesi beneficiari di Digital Europe**, dopo Germania (211,5 milioni di euro), Francia (155,7 milioni) e prima di Belgio (128,4 milioni di euro) e Spagna (108 milioni) (Tab. 29). Nel mix degli obiettivi, per l'Italia è proporzionalmente maggiore il contributo ricevuto in ambito formazione competenze avanzate ICT e intelligenza artificiale, in linea con gli altri Paesi per intelligenza artificiale e sensibilmente minore per cybersicurezza e HPC. Nel confronto tra i Paesi spicca, inoltre, la forte concentrazione dei contributi HPC in Germania, dove sono diretti 35,4 milioni degli 82,7 milioni di euro complessivi, contro i 3,7 in Francia, i 3,5 in Spagna e i 3 in Italia. Il dato va letto con estrema cautela essendo probabilmente legato a tempi-



PAESI	Advanced Digital Skills	Artificial Intelligence	Cybersecurity and Trust	Deployment and Best Use of Digital Capacity and Interoperability	High Performance Computing	Totale Contributi	Quota Paese
Italia	19,8	35,4	24,0	51,1	3,0	133,2	8,7%
Germania	19,4	69,9	30,2	56,6	35,4	211,5	13,8%
Francia	18,6	63,7	20,0	49,6	3,7	155,7	10,2%
Belgio	14,8	68,9	20,7	21,6	2,3	128,4	8,4%
Spagna	13,9	35,3	18,3	37,0	3,5	108,0	7,1%
Grecia	5,9	10,4	31,3	16,7	1,7	66,0	4,3%
Paesi Bassi	5,2	18,0	14,7	23,9	1,1	63,0	4,1%
Polonia	1,9	4,6	19,9	28,3	2,5	57,2	3,7%
Austria	4,9	14,4	15,8	15,9	2,4	53,4	3,5%
Altri Paesi	67	88	192	180	27	555	36,3%
Totale Paesi	171,6	408,9	387,4	481,0	82,7	1.531,5	100,0%
Italia	14,8%	26,5%	18,0%	38,3%	2,3%	100,0%	
Germania	9,2%	33,0%	14,3%	26,7%	16,7%	100,0%	
Francia	12,0%	40,9%	12,9%	31,9%	2,4%	100,0%	
Belgio	11,5%	53,7%	16,1%	16,8%	1,8%	100,0%	
Spagna	12,9%	32,6%	17,0%	34,3%	3,3%	100,0%	
Grecia	9,0%	15,7%	47,4%	25,4%	2,6%	100,0%	
Paesi Bassi	8,2%	28,6%	23,4%	38,0%	1,8%	100,0%	
Polonia	3,3%	8,0%	34,8%	49,5%	4,3%	100,0%	
Austria	9,2%	27,0%	29,7%	29,7%	4,5%	100,0%	
Altri Paesi	12,1%	15,9%	34,7%	32,5%	4,9%	100,0%	
Totale Paesi	11,2%	26,7%	25,3%	31,4%	5,4%	100,0%	

TABELLA 29
Ripartizione finanziamenti Digital Europe per Paesi e obiettivi
Novembre 2024 (Mil €)
 Fonte: EU Digital Europe Dashboard
 Novembre 2024

stiche progettuali diverse tra Paesi, ma merita di essere monitorato nel tempo.

Nel complesso le domande presentate e valutate idonee per il processo di valutazione hanno raggiunto le 319 unità in Italia, superando tutti i maggiori Paesi: in Spagna sono state 302, in Germania 274, in Belgio 263, in Francia 248 (Tab. 30). Non è invece così per il tasso di successo misurato come rapporto tra numero di concessioni (o grant) e numero di proposte idonee: l'Italia è penultima tra i maggiori Paesi con il 35,1%, con quasi 5 o più punti di differenza rispetto ai livelli di Francia (46,4%), Paesi Bassi (44,4%), Belgio (41,1%), Austria (40,1%) e Germania (39,8%). Anche se la qualità della partecipazione del nostro Paese è migliore rispetto ai programmi Horizon, è evidente che ci sono ancora spazi di miglioramento (come di vedrà) soprattutto in alcune regioni. Migliore è il posizionamento in termini di valore medio delle concessioni assegnate, in linea almeno con Belgio e Spagna, anche se il valore medio dei grant tedeschi distanzia tutti gli altri Paesi (1,94 milioni di euro contro una media di tutti gli Stati di 0,98).

La **ripartizione dei finanziamenti ICT di Digital Europe per tipo di organizzazione assegnataria** in Italia (Fig. 23) vede quasi tutte le tipologie allinearsi nell'intervallo 18%-22% e in particolare le PMI raggiungere la quota maggiore (21,8%). Molto bassa è la quota degli enti pubblici (5,3%) ma lo stesso accade anche negli altri Paesi (19,6%) proprio per la natura del programma Digital Europe orientato al trasferimento tecnologico nell'economia. La differenza di quota di contributi ad altri enti privati in Italia (19,8%) rispetto agli altri Paesi (7,8%) può essere letta alla luce della grande diffusione di Digital Innovation Hub su tutto il territorio, con il coinvolgimento di diversi partner industriali.

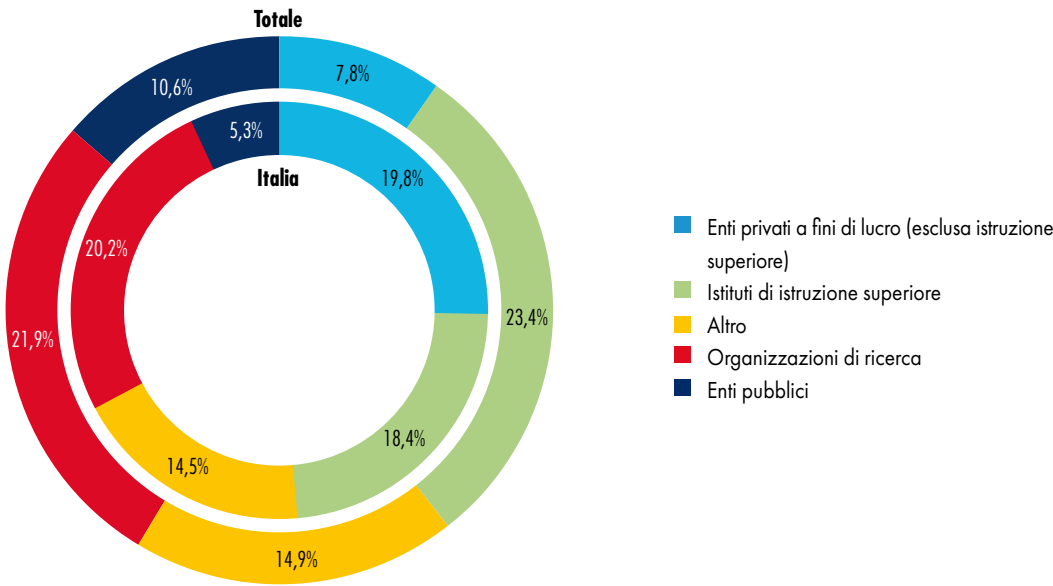


TABELLA 30
Finanziamenti, proposte, grant, partecipazione ai progetti Digital Europe per Paese Novembre 2024 (Mil €)
 Fonte: EU Digital Europe Dashboard
 Novembre 2024

	Finanziamenti richiesti (mil di euro)	Finanziamenti assegnati (mil di euro)	% successo (valore finanziato)	Proposte idonee presentate	Grants assegnati	% Grant/ Domande	Valore medio grant (mil di euro)	Partecipazione	Partecipazione PMI	% Partecipazione PMI	Costo complessivo progetti (mil di euro)	% quota progetto finanziata da Digital Europe
Germania	1.270,1	211,5	16,7%	274	109	39,8%	1,94	418	91	22%	368,1	57,5%
Francia	916,8	155,7	17,0%	248	115	46,4%	1,35	516	115	22%	283,9	54,8%
Italia	1.243,5	133,2	10,7%	319	112	35,1%	1,19	542	133	25%	224,5	59,3%
Belgio	743,8	128,4	17,3%	263	108	41,1%	1,19	332	95	29%	208,9	61,4%
Spagna	826,6	108,0	13,1%	302	104	34,4%	1,04	572	137	24%	175,1	61,7%
Grecia	528,7	66,0	12,5%	217	83	38,2%	0,80	275	66	24%	118,6	55,7%
Paesi Bassi	587,0	63,0	10,7%	187	83	44,4%	0,76	246	66	27%	125,6	50,1%
Poloni	611,5	57,2	9,3%	162	58	35,8%	0,99	266	54	20%	104,3	54,8%
Austria	344,0	53,4	15,5%	135	55	40,7%	0,97	163	26	16%	87,4	61,1%
Altri Paesi	4.642,2	555,2	12,0%	2009	742	36,9%	0,75	2.148	451	21%	1.025,0	54,2%
Totale	11.714,2	1531,5	13,1%	4116	1569	38,1%	0,98	5.478	1234	23%	2.721,5	56,3%

Gli obiettivi del programma Digital Europe generano molteplici attività progettuali interessanti. La dashboard ne cita più di 60 per l'Italia. In base alla concentrazione dei finanziamenti è tuttavia chiaro che la parte del leone spetta allo sviluppo e alla gestione della rete degli Innovation Hub, in Italia particolarmente estesa e dalla elevata numerosità. Nel complesso ricevono 37,2 milioni di euro, per una quota del 28% dei finanziamenti Digital Europe all'Italia. In seconda e terza posizione per volume di finanziamenti ricevuti sono rispettivamente la formazione specialistica per competenze ICT chiave, con contributi per 14,6 milioni di euro per una quota dell'11%, e la realizzazione di strutture tecnologiche per testing e sperimentazione nel campo dell'agri-food, con contributi per 9,6 milioni di euro per una quota del 7,2%. Le altre otto attività più rappresentative raccolgono tra i 3 e i 5 milioni di euro. Nel complesso, nelle prime venti attività si concentra più dell'80% dei contributi assegnati e contabilizzati nella da-

FIGURA 23
Finanziamento Digital Europe in Italia e totale per tipologia di assegnatari (Mil €)
 Fonte: EU Digital Europe Dashboard
 Novembre 2024



shboard di Digital Europe (Fig. 24). Tra esse, gli ambiti comuni riguardano le attività a valle della filiera della ricerca sui semiconduttori e le architetture di supercalcolo e della nuova rete quantistica, lo sviluppo di strutture di testing e la sperimentazione per vari settori, dal manifatturiero all'intelligenza artificiale, la realizzazione di Data Space²⁶ verticali, la cybersicurezza.

Oltre all'articolazione delle attività, una caratteristica altrettanto importante del programma Digital Europe è la sua **forte connessione con il territorio**: è un vero e proprio programma per i territori "by design". Dall'**analisi degli indicatori della dashboard per regione** emerge tuttavia un divario importante sia per i finanziamenti che per la partecipazione (Tab. 31). Da un lato le regioni leader, che non sono le stesse che primeggiano per spesa ICT, ma quelle caratterizzate dagli ecosistemi collaborativi tra aziende ICT: grandi aziende digitalizzate, università, centri di ricerca con maggiore esperienza, asset e risorse nazionali. Si tratta di Lazio, Lombardia, Emilia-Romagna, Toscana, Piemonte, Provincia Autonoma di Trento. La **leadership del Lazio** è anche influenzata dalla presenza di sedi legali principali a Roma di molti centri di ricerca pubblici o privati. Dall'altro le regioni che stanno cominciando a sviluppare ecosistemi importanti ma ancora non hanno gli stessi volumi e capacità di attivazione di progetti ad ampio spettro, come confermato, per queste regioni, anche dalla prevalenza di PMI, dai valori medi più bassi di indicatori come contributo per grant o contributo per partecipante e da un numero relativamente inferiore di partecipanti. Guardando ai soli contributi assegnati alle PMI, guadagnano posizioni Toscana, Campania, Sardegna e Sicilia e cambiano le attività più finanziate anche all'interno

FIGURA 24
Contributo Digital Europe in Italia
per le prime venti aree di attività
Novembre 2024 (Mil €)
Fonte: EU Digital Europe Dashboard
Novembre 2024

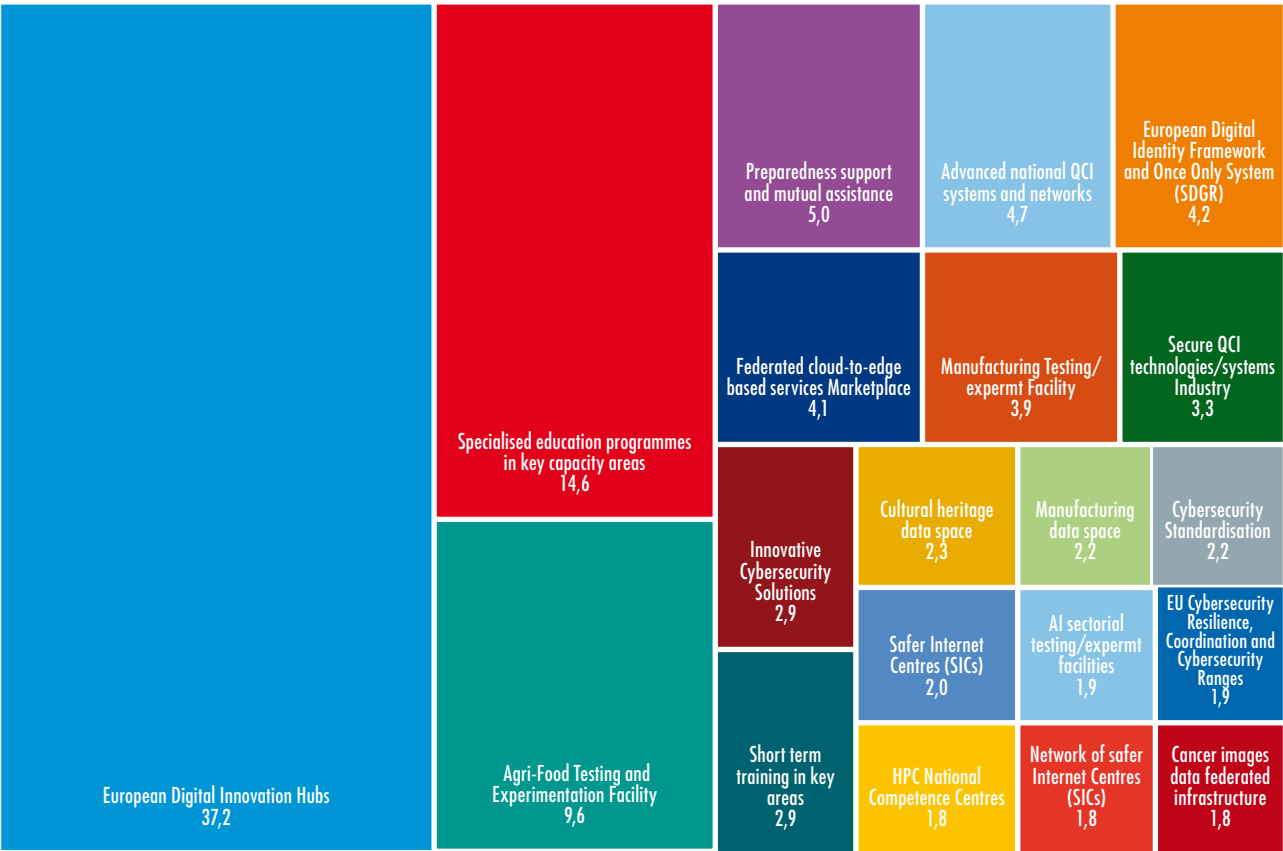


TABELLA 31
**Contributo Digital Europe in Italia
per regione e obiettivi, totale e PMI
Novembre 2024 (Mil €)**
Fonte: EU Digital Europe Dashboard
Novembre 2024

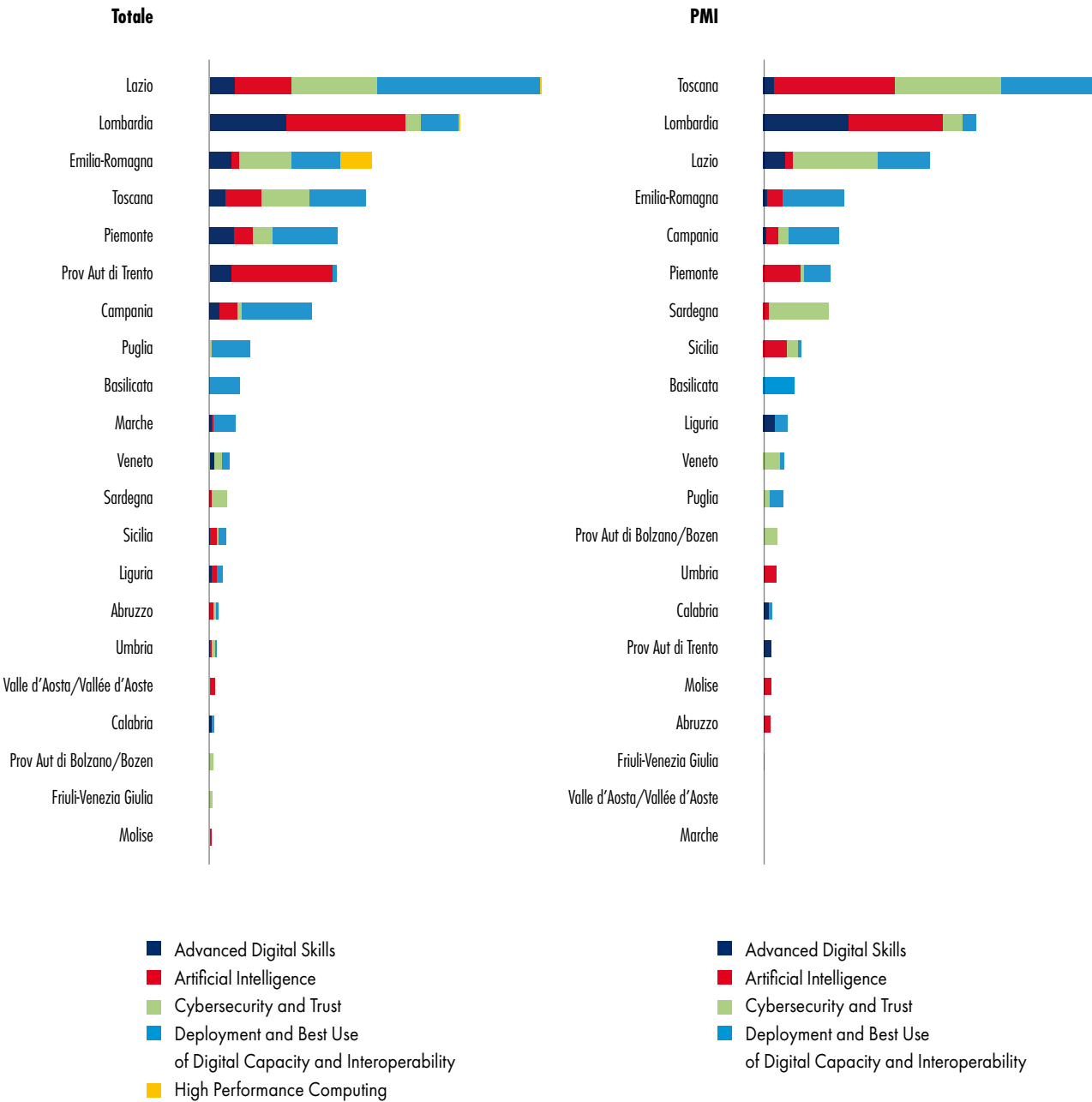
Regione	Totale					PMI		
	Contributo Concesso Mil euro	% Contributo conces- so su richiesto	% Grant su proposte idonee	Partecipazione ai grant concessi	Contributo medio a partecipante (euro)	% Contributo concesso PMI su richiesto PMI	Partecipazione PMI ai grant concessi	Contributo medio a PMI partecipante (euro)
Abruzzo	0,8	5%	20%	4	189.156	15%	1	177.620
Basilicata	2,8	31%	29%	19	147.287	11%	9	87.204
Calabria	0,5	3%	18%	4	117.292	16%	2	106.831
Campania	9,3	16%	48%	40	233.256	12%	11	168.910
Emilia Romagna	14,8	14%	43%	33	447.789	27%	7	277.915
Friuli-Vene- zia Giulia	0,3	37%	100%	3	99.884	33%	3	3.991
Lazio	30,3	7%	39%	134	225.801	18%	11	365.371
Liguria	1,3	6%	38%	10	127.342	28%	4	154.707
Lombardia	22,9	11%	43%	88	260.201	25%	19	271.841
Marche	2,3	19%	46%	16	146.817	0%	0	-
Molise	0,2	5%	14%	1	196.880	25%	1	196.880
Piemonte	11,8	14%	34%	52	226.459	6%	9	185.006
Provincia Autonoma di Bolzano	0,3	3%	33%	1	339.458	33%	1	339.458
Provincia Autonoma di Trento	11,6	27%	51%	22	526.758	33%	1	202.016
Puglia	3,7	8%	21%	20	185.540	13%	4	126.644
Sardegna	1,6	10%	33%	7	229.752	30%	7	229.752
Sicilia	1,5	3%	24%	9	164.857	46%	5	186.969
Toscana	14,3	20%	48%	63	226.314	26%	34	234.152
Umbria	0,7	4%	31%	5	130.742	33%	2	167.848
Valle D'Aosta	0,5	31%	33%	1	542.490	0%	0	-
Veneto	1,8	5%	25%	10	184.936	20%	4	132.279
Totale	133,2	11%	39%	542	245.785	19%	135	215.359



della stessa regione (Fig. 25).

Questo quadro conferma che le imprese italiane sono attive in molte aree di ricerca ICT a monte (ad esempio, con le attività sui semiconduttori, il supercomputing, le tecnologie Quantum) e a valle (nel trasferimento tecnologico con i DIH) della filiera nei settori tecnologici più strategici o emergenti. Stanno svolgendo un ruolo chiave nel raggiungimento degli obiettivi del programma Digital Europe, soprattutto nei progetti in cui sono anche coinvolti almeno un centro di ricerca o un'università. L'importanza della partecipazione delle imprese è ancora più evidente se si guarda alla quota di risorse finanziarie ottenute rispetto ai programmi Horizon. Il prossimo passo, auspicabile, sarebbe di vedere più imprese, ICT e non, nazionali tra le prime performer in Europa (come già avviene nella ricerca nei settori energy e spazio), insieme ai centri di ricerca italiani che già stanno scalando le prime posizioni.

FIGURA 25
Contributo Digital Europe in Italia
per regione e obiettivi (Mil €)
Fonte: EU Digital Europe Dashboard
Novembre 2024



Note:

1. I dati sull'attività di R&S svolta da imprese, istituzioni pubbliche e istituzioni private non profit sono prodotti dall'Istat mediante rilevazioni statistiche dirette. Gli indicatori relativi all'attività di R&S svolta dalle Università (spesa per R&S e personale addetto alla R&S) sono, invece, stimati sulla base dei dati amministrativi e dei bilanci universitari. Fanno infine parte del sistema nazionale di indicatori relativi alla R&S anche gli stanziamenti di spesa per R&S delle Amministrazioni centrali dello Stato e delle Regioni e Province autonome. Le informazioni sulle attività di R&S intra-muros rappresentano la componente principale degli indicatori statistici sulla R&S utilizzati in ambito europeo. Le Rilevazioni sulla ricerca e lo sviluppo sperimentale, condotte annualmente dall'Istat, sono finalizzate a rilevare dati sulle imprese, le istituzioni pubbliche, le Università e le istituzioni private non profit che svolgono sistematicamente attività di ricerca (R&S). I principali fenomeni oggetto di studio riguardano la spesa interna per R&S, cioè la spesa svolta con proprio personale e con proprie attrezzature, e il personale impegnato in attività di ricerca. Altre informazioni rilevate riguardano le fonti di finanziamento delle attività di R&S.
2. Le attività di R&S intra-muros sono le attività di R&S interne, svolte con personale e attrezzature gestite dai soggetti attivi nella R&S e rispondenti alla Rilevazione sulla R&S di Istat. I dati sulle spese sono acquisiti sia per tipologia di settore esecutore (ossia per soggetto che svolge realmente attività di R&S) sia per settore finanziatore (ossia per soggetto che finanzia le attività di R&S). La spesa privata è la somma della spesa sostenuta dalle imprese e dal settore non profit. A partire dall'edizione 2020, per tener conto delle relazioni che intercorrono tra unità giuridiche appartenenti allo stesso gruppo di imprese, secondo quanto raccomandato dal Regolamento (CEE) n. 696/93, si è passati dall'unità di analisi UG (unità giuridica) a una nuova unità di analisi ENT. Ne consegue che l'impresa ENT può corrispondere a una sola unità giuridica o ad un gruppo di unità giuridiche sottoposte a comune controllo. Per maggiori informazioni si veda la Nota metodologica del Report Istat: Ricerca e Sviluppo in Italia, anni 2022-2024, https://www.istat.it/wp-content/uploads/2024/09/REPORT_RS_2024.pdf.
3. In particolare, i primi dottorati di ricerca innovativi, previsti dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), in cofinanziamento con le imprese private, sono partiti nel 2022.
4. Il confronto con le altre economie è possibile con riferimento al periodo 2016-2020 sulla base della dashboard PREDICT (come per la prima edizione del rapporto), https://joint-research-centre.ec.europa.eu/predict/ict-sector-analysis-2023/data-and-metadata_en. Per il 2021, in base alla disponibilità di dati sulle fonti pubbliche (dashboard Eurostat e degli istituti statistici nazionali) al momento della pubblicazione, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sbs_ovw_act___custom_13726814/default/table?lang=en.
5. L'intensità di spesa per R&S rende possibili valutazioni e confronti sul livello di risorse destinate alle attività scientifiche e tecnologiche di un determinato settore rispetto alle sue dimensioni e in relazione all'economica. E' misurata in valore percentuale in rapporto a diverse variabili: la spesa complessiva per R&S delle imprese (BERD), gli stanziamenti complessivi per R&S (GERD), il valore aggiunto, il PIL (GDP).
6. https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/temi-discussione/2012/2012-0874/en_tema_874.pdf.
7. La presente sezione si basa su Istat, "Gli incentivi alle imprese per la ricerca e sviluppo. Anni 2015-2020", settembre 2023, https://www.istat.it/wp-content/uploads/2023/09/Focus_incentivi_RS_DEFINITIVO.pdf.



8. La natura innovativa del credito d'imposta è dovuta anche alla circostanza che, a differenza di altri sussidi — concessi a valle di istruttorie da parte della Pubblica Amministrazione — essa può essere riconosciuto e fruito dal beneficiario anche “in via automatica” al verificarsi di un determinato presupposto (ad esempio, la realizzazione di specifici investimenti) rinviando a un momento successivo l'effettuazione dei controlli da parte dell'Amministrazione finanziaria.
9. L'analisi è stata effettuata sull'universo delle società di capitali che compilano la dichiarazione dei redditi (circa 1.240.000 in ciascun periodo d'imposta) formato per l'85% da micro-imprese (fino a 9 addetti) e per il 12% da imprese di piccole dimensioni (10-49 addetti). Le analisi presentate si riferiscono a un sottoinsieme di circa 900 mila imprese, escludendo le imprese appartenenti al settore agricolo, finanziario, sanità, istruzione, nonché le imprese con fatturato negativo o nullo che non risultano attive o che non sono di nuova costituzione.
10. OECD microBeRD project, luglio 2023, <http://oe.cd/microberd>.
11. Il credito d'imposta per la ricerca e lo sviluppo è stato prorogato dal 2009 al 2011, ma era disponibile solo per le imprese che avevano sostenuto spese di ricerca e sviluppo ammissibili nel 2007-09 e non avevano ancora ricevuto sgravi fiscali.
12. Il modello logistico in statistica stima la probabilità che si verifichi un evento, come ad esempio adesione/non adesione al meccanismo di incentivo alla R&S, sulla base di un determinato set di dati.
13. La stima è ottenuta attraverso un modello di crescita della produttività a livello dell'impresa implementato in diversi studi empirici. La specificazione adottata include variabili di controllo relative alla struttura dell'impresa, la specializzazione del livello di tecnologia/intensità di conoscenza, l'intensità di capitale, la composizione del capitale umano, l'orientamento all'esportazione, l'appartenenza a un gruppo industriale — nonché gli effetti fissi per anno, settore tecnologico di appartenenza e ripartizione geografica.
14. Il modello empirico adottato consente di distinguere le imprese beneficiarie e non, che sono state osservate nel periodo 2009-2020 in due sottogruppi: le imprese più lontane dalla frontiera tecnologica, ovvero le imprese con una PTF inferiore alla mediana del settore di appartenenza nell'anno di pre-intervento 2014, e il gruppo residuale con una PTF superiore alla mediana del settore di appartenenza, che denotiamo come le imprese più vicine alla frontiera tecnologica.
15. Questi effetti sono rilevati sia dai movimenti della frontiera tecnologica, per effetto dell'introduzione di nuove competenze tecnico-scientifiche da parte delle imprese leader, sia per effetto del meccanismo di catching-up che caratterizza le imprese più distanti dalla frontiera ma che adottano meccanismi di adeguamento a quelle più innovative per ridurre il gap tecnologico e di produttività.
16. Con l'approvazione di importanti modifiche all'articolo 24 della legge n. 240 del 2010, attraverso il DL n. 36 del 2022.
17. <https://www.italiadomani.gov.it/content/sogei-ng/it/it/catalogo-open-data.html?orderby=%40jcr%3Acontent%2FobservationDataEvidence&sort=desc>.
18. Il finanziamento pubblico destinato annualmente dalla legge di bilancio nazionale alla R&S viene calcolato da Istat annualmente sulla base degli stanziamenti per R&S come indicati all'interno dei bilanci pubblici nazionali o regionali. Questo indicatore include anche i finanziamenti trasferiti dal governo nazionale ad agenzie internazionali e organizzazioni di ricerca. Pertanto rappresenta l'attività R&S finanziata dal governo centrale/regionale nazionale e realizzata sia presso istituzioni pubbliche che presso altri settori nazionali e all'estero (incluse le organizzazioni internazionali). Nel 2023 gli stanziamenti in ricerca e sviluppo di Amministrazioni centrali, Regioni e Province autonome hanno registrato un aumento del 4,1%, da 12,8 miliardi di euro del 2022 (previsioni di spesa assestate) a circa 13,4 miliardi nel 2023 (previsioni di spesa iniziali). Con riferimento alla distribuzione dei finanziamenti, quelli destinati alle Università sotto forma di Fondo di Finanziamento Ordinario (FFO, cap. 12 della classificazione NABS, Nomenclatura per l'analisi e il confronto dei bilanci e dei programmi scientifici), costituiscono la quota più rilevante (39,6% del totale). Il resto degli stanziamenti è orientato in misura maggiore verso l'esplorazione e utilizzazione dello spazio (13,4%), la protezione e promozione della salute umana (12,1%) e le produzioni e le tecnologie industriali (9,1%). A differenza degli scorsi anni, non sono pubblicate statistiche relative al perimetro ICT.
19. Questa sezione è stata realizzata in collaborazione con APRE (Agenzia per la Promozione della Ricerca Europea).
20. Istituito nel 1994, finanzia progetti a favore dell'ambiente e della rete trans-europea negli Stati membri il cui reddito nazionale lordo (RNL) pro capite è inferiore al 90% della media dell'UE.
21. <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/horizon-dashboard>.
22. Con 15,5 miliardi di euro o il 22,09% del budget totale di Horizon 2020, il pilastro II ha incentivato il potenziale di crescita delle aziende europee e delle PMI innovative.
23. Le altre tre destinazioni sono “Produzione neutra dal punto di vista climatico, circolare e digitalizzata”, “Maggiore autonomia nelle catene del valore strategiche chiave per un'industria resiliente”, “Autonomia strategica aperta nello sviluppo, nell'implementazione e nell'utilizzo di infrastrutture, servizi, applicazioni e dati globali basate nello spazio”.
24. https://dashboard.tech.ec.europa.eu/qs_digit_dashboard_mt/public/extensions/CNECT_DIGITAL_dashboard/CNECT_DIGITAL_dashboard.html#country. Dati estratti a novembre 2024.
25. La dashboard riporta un volume di attività più vicino al livello dei pagamenti (1,6 miliardi di euro o 20,6% fino a fine 2023) che alla programmazione dei finanziamenti (3,8 miliardi o 46,5% fino a fine 2023).
26. I Data Space possono essere definiti come un'astrazione nella gestione dei dati in grado di consentire aggregazioni di ecosistemi (produttivi e/o sociali) tramite regole, strumenti e tecnologie (ad esempio API, connettori), tali da permettere la condivisione di dati fra aziende e nella società civile nel pieno rispetto dei principi di sovranità, interoperabilità e fiducia.



CONCLUSIONI

Preoccupante sottodimensionamento di risorse e talenti nella R&I ICT in Italia rispetto alle maggiori economie.

La società della conoscenza basa sull'educazione, la ricerca e l'innovazione le proprie fondamenta. Attività di R&S avanzate, disponibilità diffusa di strutture e laboratori e risorse umane altamente formate sono essenziali per sostenere l'innovazione digitale e non subirla. Tuttavia i principali indicatori sulla ricerca e sviluppo in ambito ICT in Italia profilano un contesto preoccupante di sottodimensionamento sia a livello di input o risorse con la mancata crescita in finanziamenti e capitale umano che in termini di output, primi fra tutti i brevetti, con la conseguente bassa produttività rispetto alle maggiori economie. Nel complesso la R&I in Italia negli ultimi vent'anni ha registrato una performance inferiore alla media europea in termini di R&S in generale, posizionandosi tra i Paesi "moderate innovator" e ha poi visto una discreta accelerazione nel periodo 2020-2022 entrando nel gruppo delle economie "catching up", ovvero con una performance più dinamica rispetto ai leader. Tuttavia questo non si può dire valga anche per la R&S in ambito ICT, che ha perso posizioni non solo nel perimetro della ricerca e innovazione ICT europea, ma anche a livello nazionale rispetto agli altri settori di ricerca. Anche le reti di collaborazione, sia a livello generale che in ambito ICT, restano meno centrali, meno diffuse e con un numero minore di partecipanti, rispetto a quelle di Germania, Francia e altri Paesi europei¹.

Si modifica il mix di incentivi fiscali rispetto al capitale di rischio nel finanziamento.

Come all'interno dell'UE, anche in Italia il sostegno pubblico alla R&I privata è diminuito negli ultimi anni a causa della riduzione degli incentivi fiscali, nonostante questo strumento sia sempre più utilizzato per finanziare investimenti privati in R&S. Il credito d'imposta per la R&S è oggetto di riflessione di policy in tutti i maggiori Stati europei, con progressi ancora non soddisfacenti per le imprese, anche in Germania e Francia. Ma a differenza dell'Italia questi Paesi compensano i minori incentivi pubblici con un forte interesse per il capitale di rischio pubblico, che si è dimostrato efficace per aumentare l'accesso ai finanziamenti, pur comportando rischi più elevati di esclusione degli investimenti privati.

Open Science e Open Innovation aiutano ma non bastano. Le politiche di accesso aperto² di Open Science e – nelle fasi successive di traduzione e sviluppo delle scoperte in tecnologie trasferibili sul mercato – di Open Innovation stanno rafforzando e rafforzeranno l'ecosistema della ricerca promuovendo la collaborazione e migliorando la partecipazione di tutti gli attori, in particolare di quelli sottorappresentati. Rendere più accessibili i risultati della R&I dei progetti, pur nel rispetto degli accordi di consorzio e tutelando i diritti di proprietà intellettuale, può favorire la diffusione delle conoscenze e aiutare i ricercatori e gli innovatori a utilizzare le nuove conoscenze generate. Lo sviluppo di collaborazioni pubblico-private sta dimostrando l'importante complementarità tra università, centri di ricerca e partner industriali in termini di competenze e missioni, anche e soprattutto nel settore ICT. L'attività di promozione del trasferimento tecnologico dei centri di competenza a elevata specializzazione comincia a registrare volumi importanti³.

Ritardi di attuazione e bassa adesione ai bandi riducono l'impatto della Missione 4 del PNRR e dei progetti Horizon e Digital Europe.

Gli interventi sulla ricerca e l'innovazione del PNRR intendono perseguire gli obiettivi di un significativo aumento del volume della spesa in R&I e dei ricercatori nonché di una più efficace collaborazione tra la ricerca pubblica e il mondo imprenditoriale. Ma l'obiettivo di fare recuperare terreno alla R&I italiana, anche e soprattutto in ambito ICT, rischia di fallire. Con la rinegoziazione di fine 2023, per alcuni investimenti della Missione 4 Componente 2 sono stati posticipati obiettivi e finanziamenti, anche in ambito ICT, e, nei casi di bassa adesione ai bandi o non utilizzazione dei fondi, è stata prevista anche la loro riduzione (si vedano i dettagli nell'Appendice a questa Parte Prima)⁴. Il quadro aggiornato a inizio 2024 vede la dotazione finanziaria dei progetti nella Missione 4 passare da 13 miliardi di euro a 11,7 miliardi di cui solo 2,1 spesi (18%), la riduzione del numero di dottorati industriali (ma il raddoppiamento del valore per i restanti), la riduzione dei progetti di giovani ricercatori, la cancellazione dei fondi a integrazione dei progetti Ho-



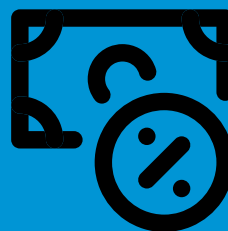
rizon Europe. In generale, per i progetti R&I della Missione 4 la spesa effettiva a luglio 2024 sui finanziamenti in dotazione è pari al 16,6%, molto bassa rispetto alla tabella di marcia che vede la chiusura per quasi tutte le iniziative a fine 2025 o metà 2026. Alla luce di questo contesto in miglioramento ma ancora preoccupante per la R&S nel settore ICT in Italia, emergono **quattro temi di fondo importanti** sulle iniziative a supporto della R&I nel settore ICT.

PROPOSTE PER IL POTENZIAMENTO DELLA R&I ICT

PIÙ SINERGIE NELLA PARTECIPAZIONE AI PROGRAMMI EUROPEI E PNRR



Attraverso un approccio strategico e coordinato di partecipazione, specialmente ai programmi associati alle tecnologie abilitanti del digitale



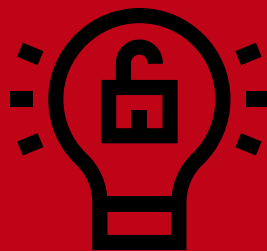
PIÙ CREDITO D'IMPOSTA R&I

Per promuovere la spesa per la R&I intra-muros ICT, aumentando aliquote e massimali e semplificando l'accesso all'agevolazione per le imprese ICT, anche per le filiali di gruppi internazionali



PIÙ RICERCATORI ICT

Per aumentare il capitale umano e avvicinarlo alla ricerca applicata



PIÙ BREVETTI ICT

Con maggiore propensione a brevettare e con il potenziamento della ricerca applicata in ambito ICT

PIÙ SINERGIE NELLA PARTECIPAZIONE AI PROGRAMMI EUROPEI E PNRR

Attraverso un approccio strategico e coordinato di partecipazione, specialmente ai programmi associati alle tecnologie abilitanti del digitale

I bandi dei programmi competitivi per R&S attivati nel 2022 a valere sui fondi PNRR introducono meccanismi di maggiore allineamento con le iniziative in ricerca e innovazione promosse dall'Unione Europea, anche se non tutti riscontrano gli stessi livelli di successo o adesione, almeno fino alla prima metà del 2024. Pure gli obiettivi di promozione e implementazione delle Key Enabling Technologies previsti nelle linee di investimento hanno riscontri diversificati. Similmente le domande di partecipazione ai bandi dei programmi Horizon Europe e Digital Europe rivelano dinamiche differenti, in base ai primi dati parziali della dashboard della Commissione UE.

Tuttavia **i meccanismi dei nuovi programmi favoriscono la promozione di strumenti innovativi per lo sviluppo di nuove tecnologie abilitanti**, un'accelerazione nell'implementazione dei programmi di finanziamento con migliori opportunità di coordinamento di risorse per i programmi di ricerca (anche al di fuori della programmazione europea), una maggiore certezza sui tempi di lancio dei bandi di finanziamento. L'impulso alle attività di ricerca accademica e delle sue collaborazioni con la ricerca privata è evidente, come pure il rafforzamento dell'intera filiera del processo di ricerca e innovazione in ambito ICT.

Questo rafforzamento ancora non basta a colmare le notevoli disparità regionali nelle collaborazioni in R&I in ambito ICT, nei livelli di spesa e nell'occupazione. La struttura economica diversificata dei territori e gli sviluppi asimmetrici della specializzazione economica dei territori contribuiscono a questo fenomeno. Le collaborazioni in R&I ICT, anche se aumentate, sono ancora inferiori e meno centrali rispetto ad altri Paesi e anco-



ra troppo frammentate. La rete europea di collaborazione regionale (co-brevetazione) è frammentata lungo linee nazionali, mentre le tecnologie digitali richiedono più collaborazioni internazionali. I finanziamenti europei, in particolare le azioni nell'ambito del programma quadro Horizon Europe, del programma Digital Europe e dei fondi di coesione utilizzati per co-finanziare la ricerca e la formazione della ricerca hanno il potenziale di ridurre questi divari, unitamente ai finanziamenti nelle Missioni 2 e 4 del PNRR. Ma per colmare il nostro divario nell'intensità e nella estensione della ricerca ICT serve **accelerare nell'utilizzo dei fondi**, non restare indietro come già emerge dalle dashboard dei progetti Horizon Europe e Digital Europe. Le azioni nell'ambito di Horizon Europe e Digital Europe e dei fondi strutturali e di investimento europei sostengono lo sviluppo del territorio e orientano le reti di collaborazione (molto importanti per la R&I ICT), superando allo stesso tempo le barriere transfrontaliere. I finanziamenti del PNRR dedicati alla ricerca e all'innovazione possono indirizzare quote importanti di finanziamenti nel sostenere i territori più deboli.

Politiche di finanziamento armonizzate e allineate per la R&I sui Digital Enablers (come IA, Big Data, Cloud/Edge, Quantum, Supercomputing, Cybersicurezza) possono favorire le sinergie e aumentare il loro impatto nel percorso verso lo sviluppo di capacità e talenti e la trasformazione di poli di eccellenza in ecosistemi a elevato impatto economico.

Per questo **sono auspicabili iniziative di:**

- maggiore orientamento di fondi e infrastrutture verso la R&S ICT in particolare le tecnologie abilitanti del digitale, promuovendo collaborazioni, attività multidisciplinari, dottorati congiunti;
- definizione, coordinamento e più estesa integrazione di programmi specifici di co-finanziamento dei progetti finanziati da Horizon Europe e Digital Europe delle imprese ICT italiane, per non frammentare le risorse a disposizione e fare leva sulle esperienze già maturate in ambito privato o pubblico, senza ricominciare ogni volta da capo ed evitando sovrapposizioni;
- potenziamento delle reti di collaborazione con orientamento internazionale e apertura a potenziali nuovi partner anche PMI e da Paesi esteri, per aumentarne la centralità;
- valutare il lavoro svolto, la varietà e i progressi del portafoglio progettuale e i progressi rispetto alla ricerca internazionale, controllare processi e risultati sia rispetto agli obiettivi specifici che al quadro complessivo;
- identificare cambiamenti o effetti inattesi su processi e risultati della R&I e valutare la necessità di eventuali rifinanziamenti o diverse iniziative nei programmi congiunti o nelle iniziative di policy associate a questi programmi.

Sarà importante mantenere e stabilizzare una crescita così importante, non solo dal punto di vista finanziario (risorse investite) ma anche dal punto di vista della varietà degli strumenti introdotti da questi progetti.

PIÙ CREDITO D'IMPOSTA R&I

Per promuovere la spesa per la R&I intra-muros ICT, aumentando aliquote e massimali e accelerando e semplificando l'accesso all'agevolazione per le imprese ICT

Le aziende del settore ICT potrebbero fare molta più ricerca. Il numero di imprese fruitrici dei crediti d'imposta per le attività di ricerca, sviluppo e innovazione in ambito 4.0 del PNRR a fine giugno ha toccato le 11.041 unità (a fronte dell'obiettivo di 10.300 unità)⁵. **La domanda di incentivi e sostegno da parte delle imprese ICT è superiore all'offerta.**

Malgrado le potenzialità del settore ICT, la spesa R&S intra-muros delle imprese ICT non tiene il passo con gli altri Paesi secondo tutti gli indicatori in valore e intensità di spesa. Svariati motivi contribuiscono a questo, ma sicuramente uno dei principali riguarda il fatto che il credito di imposta R&S in Italia non è mai aumentato negli ultimi anni, ma al contrario è solo diminuito, e resta a livelli più bassi rispetto ai maggiori Paesi (per maggiori dettagli si veda il successivo riquadro). A questo si aggiunge che,



a partire dal 2020, per mancanza del presupposto di effettivo sostenimento dei costi, non è più considerata agevolabile la ricerca commissionata da controllante estera⁶, una grave criticità per l'intera R&I in ambito ICT, non solo per l'elevata presenza di aziende internazionali ICT in Italia, ma anche per la natura intrinsecamente collaborativa e transnazionale di tutti i maggiori progetti ICT in corso, finanziati anche attraverso Horizon Europe e Digital Europe. Questo pone in enorme svantaggio le divisioni R&I delle filiali italiane dei grandi gruppi ICT internazionali, in quanto pur avendo personale competente e infrastrutture avanzate, vengono escluse o coinvolte solo marginalmente nei grandi progetti R&I delle case madri sulle frontiere più avanzate dell'innovazione, con una conseguente perdita di know-how e capacità di innovazione per il nostro Paese in generale. Questa esclusione della spesa per i progetti R&S commissionati dall'estero allontana anche eventuali investitori internazionali che per l'apertura di nuovi centri di ricerca in Europa preferiscono Paesi come Francia, Germania, Svezia dove gli incentivi per la R&I sono molto più attrattivi rispetto all'Italia.

La normativa vigente sul credito d'imposta per la R&I non indirizza il contesto organizzativo della ricerca nella filiera ICT e anzi, per le filiali di aziende internazionali, addirittura le sfavorisce, sia in termini di risorse che in termini di meccanismi applicativi. Le aziende ICT con sede in Italia investirebbero molto di più in R&I se la normativa permettesse loro un maggiore livello di rifinanziamento, avesse applicabilità internazionale e meccanismi di riconoscimento del credito più certi e non

Credito d'imposta R&I a confronto: Italia, Germania, Francia, Svezia



Italia. Per le attività di ricerca fondamentale, ricerca industriale e sviluppo sperimentale in campo scientifico e tecnologico, a partire dal periodo d'imposta 2023 (fino al 2031), il credito d'imposta riconosciuto si riduce dal 20% della relativa base di calcolo nel limite massimo annuale di 4 milioni di euro al 10%, nel limite massimo annuale di 5 milioni di euro. Per le attività di innovazione tecnologica finalizzate alla realizzazione di prodotti o processi di produzione nuovi o sostanzialmente migliorati, il credito d'imposta riconosciuto dal periodo d'imposta 2024 (fino al 2025) passa dal 10% della relativa base di calcolo con massimale di 2 milioni di euro al 5% con massimale invariato a 2 milioni. Per le attività di innovazione tecnologica 4.0 e green, il credito d'imposta riconosciuto dal periodo d'imposta 2023 passa dal 15% della relativa base di calcolo con massimale di 2 milioni di euro al 10% con massimale di 4 milioni di euro. Dal periodo d'imposta 2024 fino a dicembre 2025, il credito d'imposta riconosciuto scende al 5%, nel limite massimo annuale di 4 milioni di euro. Il credito d'imposta esclude le imprese in difficoltà e utilizza le risorse del Fondo europeo per lo sviluppo e la coesione. Il credito esiste anche nella forma con aliquota fino al 45% per le imprese del Sud. Infine prevede la richiesta di compensazione inviata sia in via preventiva che in via consuntiva, per gli investimenti effettuati a partire dal 30 marzo 2024. Non sono contemplate le spese relative alla creazione di nuovi brevetti (in considerazione della disciplina sul Patent Box). Per risolvere i problemi generati dall'autoliquidazione e dall'utilizzazione di crediti di imposta per il periodo 2015-2019 ex art. 3 DL 145/2013, è stata prevista una procedura di riversamento del credito di imposta per attività sostenute ma erroneamente qualificate, o spese ammissibili erroneamente quantificate. ►



Germania. Fino al marzo 2024 ha riconosciuto crediti di imposta sulla R&I per il 25% della spesa con un massimale di spesa fino a 4 milioni di euro, indistintamente per le attività di ricerca di base, industriale e innovazione tecnologica, condotta sia internamente che esternamente con terze parti. Per le spese R&I incorse dopo marzo 2024 l'allowance di spesa è aumentata a 10 milioni e non è escluso che nel breve periodo sarà corretta a 12 milioni, con un recupero massimo di crediti d'imposta per la R&S di 3 milioni di euro per le grandi imprese e di 4,2 milioni di euro per le PMI a vantaggio anche delle imprese che non generano un utile imponibile e hanno intrapreso un'intensa attività di ricerca e sviluppo. Anche l'ammortamento accelerato delle spese di R&I è stato prorogato fino al 2028. L'utilizzo dell'incentivo fiscale alla ricerca come leva di crescita economica non è destinato a rallentare nel breve periodo. Con l'obiettivo di arrivare a una spesa R&I complessiva pari al 3,5% del PIL finanziata in quota crescente dal settore privato, il governo sta considerando di ammettere al finanziamento un importo forfettario delle spese generali sui costi diretti (costi interni del personale e investimenti) per coprire le spese generali sostenute in un progetto di R&S (attualmente ancora registrate come "altri costi" non ammissibili al finanziamento). Beneficiano del credito d'imposta ricerca anche le imprese estere soggette a imposizione fiscale in Germania, di qualsiasi forma giuridica, costituite ai sensi del diritto straniero o nazionale. Nel caso di un partenariato, la sovvenzione può essere applicata una sola volta a livello di partenariato in sé. Non beneficiano le imprese che si ritiene si trovino in difficoltà finanziarie.

Francia. Riconosce crediti di imposta sulla R&I per il 30% della spesa (50% nei dipartimenti d'oltre mare) con un massimale di spesa R&I fino a 100 milioni di euro e 5% sulla parte di spesa eccedente indistintamente per le attività di ricerca di base, industriale e innovazione tecnologica, condotta sia internamente che esternamente con terze parti. Sono inclusi l'ammortamento delle infrastrutture e i costi legali di difesa e manutenzione dei brevetti. Il costo dei dipendenti con dottorato di ricerca o diploma equivalente è raddoppiato. Ne beneficiano anche le imprese straniere con una sede stabile in Francia e sottoposte al regime fiscale francese (rappresentano circa il 30% della spesa R&I delle imprese). Le aziende create da meno di due anni e le giovani imprese innovative possono richiedere un rimborso diretto. Le imprese con status di giovane impresa innovativa (JEI), giovane impresa universitaria (JEU) o giovane impresa in crescita (JEC) possono beneficiare di esenzioni fiscali e previdenziali.

Svezia. Gli incentivi per la R&I in Svezia sono stati rafforzati per incoraggiare le aziende a investire in ricerca e sviluppo. Dal 1° gennaio 2024, l'aliquota di detrazione fiscale è fissata al 20%. Inoltre, nel luglio 2023, il governo svedese ha aumentato la soglia per le spese ammissibili da 104 mila euro a 260 mila euro al mese (da 1,25 a 3,1 milioni di euro annuo). Questo schema, avviato nel 2014 e rafforzato nell'aprile 2020, mira a sostenere gli sforzi di ricerca e sviluppo delle aziende indipendentemente dalla loro situazione di profitto, consentendo loro di richiedere uno sgravio del 20% sui contributi dei datori di lavoro e con applicabilità retroattiva fino a sei anni.



a rischio di posizioni interpretative diverse tra legislatore e amministrazione.

Se non si vuole perdere il passo con l'Europa nella R&I in ambito ICT, è necessario e urgente **risolvere diverse criticità nei meccanismi dell'attuale credito d'imposta R&I**:

- **aumento di quota e massimale di spesa applicabili** per essere comparabili con quelli già in campo in Germania e Francia;
- **inclusione controllante estera**: includere negli attuali e futuri schemi di credito di imposta i costi per attività di R&S commissionata da controllante estera, come già previsto in Francia, Germania, Svezia e in linea con le forme di collaborazione internazionale sempre più diffuse nella ricerca del settore ICT;
- **valutazione di un meccanismo incrementale** eventualmente applicabile alle aree più nuove della R&I (es. IA, Quantum, Cybersicurezza), alle imprese in crescita per accelerare gli investimenti ed espandere le attività R&I;
- **semplificazione**: in linea con Francia e Germania allineare le diverse tipologie di ricerca su un unico schema di applicazione e semplificare aspetti procedurali e richieste di contenuto della certificazione;

PIÙ RICERCATORI ICT

Per aumentare il capitale umano e avvicinarlo alla ricerca applicata

Sulla base delle evidenze riportate nello studio e grazie ai contributi di esperienza reale da parte dei centri R&S degli associati Anitec-Assinform, sono evidenti **tre ordini di criticità legate al capitale umano** che rallentano la crescita della ricerca applicata nel settore ICT:

- carenza di ricercatori nelle discipline tecnologiche e nella ricerca applicata per le discipline tecnologiche;
- maggiore propensione nei percorsi di formazione accademica dei ricercatori verso le attività della ricerca di base e di pubblicazione;
- carenza di competenze e di fiducia nel perseguire le attività caratteristiche della ricerca applicativa, soprattutto con riguardo alla valorizzazione delle scoperte con più domande per ogni brevetto.

Sulla **carenza di ricercatori**, il settore ICT soffre della lacuna strutturale nella formazione a livello Paese. Considerando tutte le discipline, il numero di dottorati conseguiti in Italia è attualmente tra i più bassi nella UE, con una costante riduzione negli ultimi anni. Secondo le statistiche armonizzate di Eurostat, in Italia solo 1 persona su 1.000 nella fascia di età da 25 a 34 anni completa ogni anno un corso di dottorato, rispetto a una media UE di 1,5 (2,1 in Germania). A questo si aggiunge un elevato brain drain: Istat rileva che quasi il 20% di chi completa ogni anno un dottorato di ricerca si trasferisce all'estero. Questo divario diventa ancora più grave nel perimetro delle discipline informatiche e delle telecomunicazioni, dove già a livello di laureati il nostro Paese è tra gli ultimi in Europa. Per contrastare questa carenza e il **brain drain** sono in fase di attuazione i progetti del PNRR dedicati ai dottorati innovativi che rispondono ai fabbisogni di innovazione delle imprese e promuovono l'assunzione dei ricercatori dalle imprese. Purtroppo l'adesione ai primi bandi dell'iniziativa M4C2I3.3 sui dottorati innovativi è stata inferiore al previsto e il target di 15.000 dottorati (5.000 ogni anno per tre anni) è stato ridotto a 6.000. Questo ha permesso di raddoppiare il compenso nell'offerta dei bandi successivi, ma il riscontro resta ancora non soddisfacente, sia per la continua bassa adesione che per le rinunce dopo l'assegnazione⁷.

Pur in considerazione, come ha spiegato il MUR, di un certo livello di disallineamento geografico tra domanda e offerta di borse, non si può escludere un tema di **scarso interesse verso questa tipologia di dottorati, dovuto a diversi fattori**:

- problematiche e incertezze sui contratti di ricerca e il loro quadro regolatorio in generale⁸;
- vincoli contrattuali che impediscono la partecipazione ad altri progetti;
- incertezza rispetto al "dopo PNRR" malgrado le buone prospettive di impiego nelle aziende;



- propensione ad associare la ricerca a un percorso accademico nella ricerca di base piuttosto che nella ricerca applicativa anche presso le imprese;
- mancanza di consapevolezza sulle potenzialità delle competenze acquisite nel percorso accademico rispetto ai bisogni della ricerca nelle imprese;
- lacune nelle competenze trasversali di gestione progettuale, lavoro collaborativo, valutazione per obiettivi.

Il tema della **“cultura della ricerca”** non è pertanto trascurabile. “Brevettare o pubblicare” è stato a lungo considerato un dilemma, soprattutto nelle organizzazioni non immediatamente finalizzate al profitto o a obiettivi di mercato specifici, quanto piuttosto alla generazione di conoscenza, come i dipartimenti universitari e le istituzioni pubbliche di ricerca. Pubblicare vuol dire condividere la conoscenza e lasciarla a disposizione di chiunque voglia utilizzarla, sia per generare altra conoscenza sia per finalità commerciali; se pubblicata, però, la conoscenza non è brevettabile e quindi, erroneamente, il brevetto è stato per molto tempo percepito come un ostacolo alle carriere dei ricercatori e alla primaria missione delle istituzioni di ricerca stesse. Dall'altra parte, però, la concessione di un brevetto attesta l'originalità del risultato della propria ricerca e, se valorizzato – cioè, sfruttato commercialmente – dimostra l'“utilità” del proprio lavoro scientifico e genera un ritorno economico, sulla ricerca stessa e sugli inventori; tra l'altro, il brevetto è di per sé una pubblicazione. Se il trasferimento tecnologico può essere considerato ancora una fase del percorso di ricerca, al contrario, la valorizzazione, per attuarsi, ha bisogno di un passaggio ulteriore, cioè della consapevolezza dell'istituzione che produce conoscenza del potenziale valore dei propri risultati, quindi di una riflessione (e valutazione) rispetto all'attrattività, alla maturità, al mercato di riferimento e all'innovatività della tecnologia, aspetti molto familiari alla ricerca applicativa, molto meno alla ricerca di base. A questo aspetto si associano poi temi legati alla qualità degli ecosistemi nell'apportare vantaggi (economici, di conoscenza, ambientali, ecc.) in fase di creazione e sviluppo delle invenzioni e gli incentivi per ricercatori e imprese a sviluppare invenzioni e proteggere la loro proprietà intellettuale.

A questo mismatch tra cultura prevalente nella formazione dei ricercatori e domanda di competenze nella ricerca applicata, si aggiunge infine un clima generale di grande incertezza rispetto allo stesso percorso professionale dei ricercatori non strutturati. Le complessità e i ritardi di introduzione dei contratti di ricerca triennali come previsti nella riforma della disciplina dei dottorati generano anche un clima di grande incertezza e demotivazione che potrebbero aumentare ulteriormente in brain drain.

Alla luce di queste osservazioni, diventa comprensibile il basso tasso di adesione all'iniziativa del PNRR di **finanziamento di progetti presentati da giovani ricercatori**, con solo 290 domande sui primi 700 finanziamenti banditi nel 2023 e che ha portato alla riduzione del finanziamento da 600 milioni di euro a 210 milioni.

Il paradosso è che da un lato abbiamo tanti talenti formati nella ricerca senza una chiara prospettiva occupazionale e la prospettiva di un percorso molto lungo e faticoso nella linea di ricerca accademica senza la certezza di raggiungere una sicurezza economica solida. Dall'altro una domanda crescente nel settore delle imprese ICT di competenze di ricerca applicata a fronte di percorsi di carriera solidi e retribuiti in base a obiettivi e risultati ben definiti. In mezzo la pressione competitiva per le imprese ICT, la necessità di diventare imprenditori di se stessi per i ricercatori. La sfida è come arrivare a fare parlare questi due mondi.

L'apertura delle istituzioni accademiche a diverse e proficue collaborazioni con il settore ICT già offre ai ricercatori la possibilità di entrare in contatto e misurarsi con le esigenze della ricerca applicativa in ambito ICT, ma non sempre l'interazione università-imprese offre la possibilità di condividere la progettazione condivisa di tutte le fasi di un progetto di ricerca o l'indirizzamento di tutti i requisiti di formazione richiesti per attuare il progetto. Questo crea insoddisfazione e allontana le imprese ICT dalle opportunità di accesso a nuove competenze, come è accaduto in occasione dei bandi di dottorato innovativi.

Tutto ciò non preclude che **diversi strumenti possano comunque avvicinare i**



ricercatori al mondo della ricerca nel settore ICT e incoraggiarli a intraprendere una carriera:

- workshop, incontri, interazioni che dimostrino le opportunità legate al ruolo del dottore di ricerca nel settore ICT;
- una comunicazione chiara sulle potenzialità e le tempistiche dei percorsi di carriera nella ricerca applicata in ambito ICT, sui ruoli nelle divisioni di ricerca, le collaborazioni internazionali, le sfide specifiche che le aziende ICT stanno affrontando;
- dare l'opportunità a dottori e dottorandi di presentare le proprie attività di ricerca e fare domande nel contesto di career days dedicati ai dottorati di ricerca;
- creare percorsi di formazione post-doc (anche presso le imprese ICT partner) orientati a mettere i ricercatori nelle condizioni di avviare autonomamente delle proposte imprenditoriali (business plan, gestione economica e organizzativa, gestione dei rapporti con incubatori e investitori, partecipazione a bandi);
- creare piattaforme di scambio e informazione (per quanto possibile e compatibilmente con le necessità segretezza) sulle opportunità aperte da imprese e investitori privati con riguardo alla costituzione di spin-off, potenziamento o deposito di brevetti, fondi per la ricerca, borse di ricerca, bandi per nuovi progetti di ricerca offerti o co-finanziati dalle imprese ICT unitamente ad altri enti privati o pubblici;
- prevedere chiare regole di ingaggio e livelli di responsabilizzazione basati sulle competenze acquisite in esperienze progettuali e sull'impegno a raggiungere determinati obiettivi;
- stabilire incentivi e contratti di ricerca di durata almeno triennale co-finanziati a sostegno della creazione e delle prime fasi di vita di start-up nella ricerca applicata ICT;
- promuovere la costituzione di società di ricerca ICT che indirizzino i requisiti multidisciplinari di molte nuove linee di ricerca ICT e possano integrare domande specifiche o gestire fondi di ricerca ottenuti.

L'attrazione di un numero maggiore di laureati alla carriera nella ricerca applicata potrebbe essere il riconoscimento di incentivi individuali come crediti di imposta per la formazione e deduzioni contributive.

Un'iniziativa ancora più radicale ma molto efficace nell'indirizzare la carenza di ricercatori potrebbe essere quella di prevedere **nuove strade per giungere al titolo di "dottore di ricerca"**, svincolate ma facendole convivere con quelle già previste con accesso regolato mediante concorso pubblico. Queste forme e percorsi differenti riposizionerebbero il dottorato come prima fase di un'attività professionale o nell'ambito universitario o, in generale, della ricerca scientifica.

In Europa esistono già diverse forme di dottorato che non prevedono l'obbligo di concorso, quali:

- dottorato "libero", che non contempla una selezione pubblica ma solamente che lo studente interessato trovi un professore disposto a fargli da tutor o supervisore;
- dottorato "strutturato" in analogia al sistema angloamericano: si basa su programmi istituiti presso università o centri di ricerca su aree tematiche specifiche, con ammissione in base al percorso di studi e alla proposta progettuale;
- dottorato "industriale" presso grandi aziende che riconoscono un contratto a tempo determinato ai ricercatori che lavorano presso l'azienda in questione, ma mantengono la collaborazione con le università nel portare avanti specifici progetti di ricerca.



PIÙ BREVETTI ICT

Con maggiore propensione a brevettare e con un modello a rete per la ricerca applicata in ambito ICT

Il posizionamento di grave ritardo dell'Italia nella produttività della ricerca nel settore ICT sembra paradossale considerando la storica innata passione per la scoperta e l'innovazione tecnologica che ha consegnato al nostro Paese grandi inventori da Leonardo in poi. Perché?

Parte della risposta è nel **profilo di specializzazione tecnologica "low-tech"** dell'Italia, negli ultimi decenni sempre più orientata sulle industrie tradizionali rispetto alle industrie high-tech, e quindi meno pronta a sviluppare – come invece è avvenuto nelle maggiori economie – adeguate competenze nei settori ad alto contenuto tecnologico, ovvero i settori protagonisti dell'attività brevettuale attuale. A complicare questo scenario di ritardo strutturale è anche la minore numerosità di PMI e start-up high-tech che in altri Paesi invece registrano numero elevato di brevetti.

Pur con una presenza ridotta rispetto ai maggiori Paesi OCSE, la tendenza in atto per l'attività brevettuale italiana nel settore ICT è in linea con quella mondiale per le due classi ICT "Metodi informatici per fini gestionali" e "Comunicazione digitale", ma non per le "Tecnologie informatiche". Dalla serie storica dei brevetti italiani e mondiali rilasciati presso gli Stati Uniti nel periodo 2001-2020, emerge che in entrambi i casi le prime due classi ICT primeggiano tra i settori tecnologici a più alta crescita, come pure il settore "Microstrutture e nanotecnologie", i cui brevetti hanno negli ultimi dieci anni registrato tassi di crescita superiori al 24% in Italia (grazie a una elevata specializzazione) e al 19% nel resto del mondo. Invece il settore "Tecnologia informatica" (14% dei brevetti mondiali registrati negli Stati Uniti) cresce a ritmi meno sostenuti rispetto agli altri Paesi, con un tasso medio annuo nel periodo 2001-2020 del 4,6% contro il 6,4 dei brevetti mondiali⁹.

L'altra parte della risposta, un po' conseguenza della prima, è che i pochi brevetti in generale e ICT in particolare sono dovuti al fatto che, laddove c'è ricerca, c'è comunque una **bassa tendenza a brevettare e a depositare più domande per ogni invenzione**. Questo accade perché il **contesto della regolamentazione e della "cultura della ricerca" non sono del tutto ottimizzati verso la promozione dell'attività di brevettazione**. Già si è detto sui bassi incentivi relativi agli investimenti in R&I rispetto agli altri Paesi: in un mondo in cui la ricerca e l'innovazione tecnologica sono sempre più collaborativi e transnazionali, porre dei paletti territoriali sul credito d'imposta R&S significa "tagliarsi fuori", come dimostra la posizione periferica dell'Italia nei cluster di brevettazione in ambito digitale.

La buona notizia, tuttavia, è che **la regolamentazione della proprietà intellettuale è notevolmente migliorata** a partire dal 2021 con l'entrata in vigore del nuovo Patent Box e con la mini-riforma del Codice della proprietà industriale del 2023. Il nuovo Patent Box ha sostituito il precedente meccanismo di detassazione dei profitti dai brevetti con un sistema più semplice di deduzione dei costi, maggiorati del 110%, sostenuti per le attività di ricerca, sviluppo e tutela dei diritti di proprietà intellettuale; tali costi maggiorati vengono sottratti direttamente dal reddito dell'impresa, risultando in una riduzione della base imponibile (si veda il successivo riquadro).





Evoluzione della regolamentazione sui brevetti

Attualmente, 13 dei 27 Stati membri dell'UE dispongono di un regime di Patent Box¹². Si tratta di Belgio, Cipro, Francia, Ungheria, Irlanda, Lituania, Lussemburgo, Malta, Paesi Bassi, Polonia, Portogallo, Slovacchia e Spagna (federale, Paesi Baschi e Navarra). Anche gli Stati non appartenenti all'UE, come Albania, Serbia, Svizzera, Turchia e Regno Unito, hanno implementato regimi di Patent Box.

Le aliquote fiscali ridotte previste dai regimi di Patent Box vanno dall'1,75% a Malta al 12,5% in Turchia.

Il Patent Box in Italia è stato modificato nel 2021 passando da un'agevolazione sui redditi prodotti dai beni oggetto di privativa industriale a un'agevolazione sui costi sostenuti (fino a otto anni prima) per lo sviluppo degli stessi, cumulabile con il Credito di imposta ricerca e sviluppo. La maggiorazione del 110% ai fini delle imposte sui redditi e ai fini IRAP dei costi di ricerca e sviluppo sostenuti in relazione ai beni immateriali protetti porta a un beneficio fiscale del 30,69%.

Molti Paesi europei offrono ulteriori incentivi alla ricerca e allo sviluppo, come il sostegno diretto del governo, i crediti d'imposta per la ricerca e lo sviluppo o l'ammortamento accelerato dei beni per la ricerca e lo sviluppo. Le aliquote fiscali effettive sui redditi da proprietà intellettuale possono essere inferiori a quelle indicate nei rispettivi regimi di Patent Box.

I Paesi con maggiore attività di brevettazione stanno anche introducendo nuovi adeguamenti nella regolamentazione. Alla luce del contesto attuale in cui la proprietà intellettuale è regolarmente sotto pressione anche a livello internazionale, la Svizzera ha modernizzato la sua regolamentazione brevettuale attraverso l'eliminazione dell'effetto sospensivo dei ricorsi di terzi, l'ampliamento dei motivi di ricorso aggiungendo i criteri di brevettabilità comuni a livello internazionale (della novità, dell'attività inventiva e dell'applicazione industriale, della divulgazione sufficiente e dell'estensione inammissibile del brevetto) e l'introduzione della possibilità di un brevetto con "esame completo", in cui tutte le condizioni di brevettabilità vengono esaminate automaticamente, mantenendo anche il sistema storico di brevetti con esame parziale.

Le ultime modifiche in Francia riguardano: l'estensione della durata dei certificati di utilità a dieci anni, rendendoli più attraenti e allineandoli ai modelli di utilità tedeschi, oltre all'introduzione della possibilità di convertire le domande di certificati di utilità in domande di brevetto; la creazione di una domanda di brevetto provvisoria, poco costosa che consente ai richiedenti di fissare una data di deposito e stabilire un diritto di priorità; la creazione di una procedura di opposizione ai brevetti, allineando la legislazione francese con le pratiche di altri uffici brevetti in tutto il mondo, tra cui l'EPO e gli uffici nazionali degli Stati Uniti e del Giappone; l'introduzione del criterio dell'attività inventiva per i brevetti, allineando i criteri di esame ai principali uffici brevetti del mondo.



Le modifiche al Codice della proprietà industriale¹⁰ hanno potenziato gli strumenti di tutela e valorizzazione della proprietà industriale e semplificato l'iter amministrativo, creando i presupposti per una maggiore collaborazione tra ricerca universitaria e industria. Con l'abolizione del "Professor's Privilege" e l'assegnazione dei diritti nascenti dalle invenzioni realizzate dal personale di ricerca, in ogni caso, all'università o ente di ricerca in cui operano i ricercatori/inventori, salvo il diritto di questi ultimi di esserne riconosciuti autori, si è uniformato l'ordinamento italiano a quello degli altri Paesi UE, agevolando il processo di trasferimento tecnologico e di co-creazione con stakeholder esterni (enti, imprese, associazioni). Altri punti salienti sono: il sistema di doppia brevetazione, la protezione temporanea di disegni e/o modelli, il rafforzamento della tutela delle indicazioni geografiche e delle denominazioni di origine.

Segnali di una maggiore dinamicità nell'attività di brevettazione arrivano dal numero di domande di brevetto europeo depositate da italiani, che nel 2023 sono aumentate del 3,8% a 5.053 unità, contro una media europea dell'1,4%. L'Italia è quarta per richieste di brevetto unitario¹¹, con 1.237 unità, dopo Germania (4.378), Francia (1.625) e Svizzera (1.286).

Ma la regolamentazione non è tutto. I processi di tutela e valorizzazione della proprietà intellettuale sono i canali di trasmissione al mercato, ma vanno "attivati": anche con le migliori leggi, il trasferimento tecnologico non accade se non c'è la **ricerca applicata** a testare e dimostrare i frutti delle invenzioni e a depositarne i brevetti.

La **ricerca accademica** è tradizionalmente più orientata a produrre e a formare competenze per le attività di pubblicazione e di ricerca di base piuttosto che verso la ricerca applicata, invece prevalente nell'ambito del settore ICT. Questo orientamento non aiuta e porta diversi istituti accademici a considerare le attività di trasferimento tecnologico, come "terza missione" da affiancare alle due principali attività di insegnamento e ricerca (prevalentemente di base), come congiunzione tra accademia e industria, spesso con risorse insufficienti e con un ruolo marginale. Questo si riflette anche nella maggiore propensione dei ricercatori italiani verso l'attività di insegnamento e di pubblicazione piuttosto che verso l'attività di ricerca applicata, che non è estranea al basso interesse riscosso dai dottorati innovativi promossi dal PNRR. Il maggiore orientamento verso la ricerca di base si intreccia con i numeri insufficienti dei dottorati di ricerca e dei ricercatori in generale e in ambito ICT, a peggiorare lo scenario di partenza.

Anche se con intensità minore ad altri Stati, la promozione della ricerca applicata e del trasferimento tecnologico è partita nelle università e presso il CNR, quest'ultimo con iniziative (a) di diffusione della conoscenza dei risultati delle ricerche, (b) di innovazione collaborativa e di condivisione degli investimenti e delle conoscenze in contesti nazionali e internazionali, (c) di accompagnamento alla creazione di imprese generate grazie al trasferimento tecnologico stesso.

I centri di trasferimento tecnologico negli altri Paesi sono espressione sia delle università (ad esempio, Oxford University Innovation, KU Leuven Research & Development) tipicamente a copertura territoriale, che, a livello nazionale, di centri di ricerca pubblici (CNR-UVR Unità Valorizzazione della Ricerca in Italia¹³, CNRS in Francia, Max Planck Innovation in Germania). Rilevante in Germania è il centro di ricerca pubblico concepito espressamente per la ricerca applicata e il trasferimento tecnologico: Fraunhofer-Gesellschaft FhG (Fraunhofer Society for the Advancement of Applied Research) con un focus importante su ingegneria, high-tech e scienze applicate.

Tutti egualmente svolgono la funzione di catalizzatori dei processi di trasferimento tecnologico, di convertitori di conoscenza e, infine, di amplificatori dell'impatto dei risultati della ricerca. Dal calcolo dell'impatto macroeconomico dei FhG per il periodo 1997-

2011 è emerso che il ritorno degli investimenti pubblici e privati nei FhG è di dimensioni paragonabili al rendimento stimato dei sussidi alla R&S¹⁴. Di rilievo è anche l'impatto dei centri FhG stabiliti all'estero e in Italia, a Bolzano, sull'accelerazione della produzione brevettuale. Non è un caso se l'Alto-Adige (con il Centro Fraunhofer Italia¹⁵) ha il cluster di brevetti digitali a partecipazione più ampia in Italia, secondo l'analisi JRC sui cluster dei brevetti digitali europei (Fig. 13). I meccanismi e gli incentivi messi in campo dai centri di ricerca Fraunhofer per promuovere l'invenzione del settore privato e della comunità imprenditoriale locale includono la ricerca sponsorizzata, i test autorizzati, l'assunzione di studenti e ricercatori, che altrimenti lavorerebbero in altre attività, e l'apertura di imprese spin-off che potrebbero emergere dalle tecnologie di nuovo sviluppo.

I centri di ricerca applicata come catalizzatori di invenzioni: il caso dei centri Fraunhofer Society in Austria, Svezia, Portogallo e Italia



Uno studio interessante sui meccanismi di influenza dei centri di ricerca applicata sulla produttività della ricerca analizza l'impatto dei centri Fraunhofer Society in Austria, Svezia, Portogallo e Italia (Bolzano)¹⁶ tra il 2009 e il 2019. I centri Fraunhofer si distinguono per il focus esclusivo sull'attività di ricerca applicata e la rinuncia a offrire servizi educativi. Negli ecosistemi storicamente più orientati a incentivare la brevettazione, come quelli in Austria e Svezia, alla presenza di un centro Fraunhofer è associato un aumento di domande di deposito di brevetto per ogni invenzione ovvero della produttività delle imprese locali e degli inventori localizzati in prossimità del centro Fraunhofer ma non la probabilità che si impegnino nello sviluppo e brevettazione di nuovi prodotti e tecnologie in un determinato anno. Invece i centri dell'Italia e del Portogallo non sembrano avere un effetto positivo sul numero totale di brevetti per richiedente, ma aumentano la probabilità di decisione degli inventori di depositare un brevetto. Questi due modi molto diversi in cui i centri di ricerca applicata Fraunhofer influenzano l'invenzione sono legati alle diverse pratiche di brevettazione e ai diversi livelli di incentivazione alla brevettazione tra i Paesi. In Austria e Svezia, con elevati incentivi pubblici e dopo l'abolizione del Professor's Privilege¹⁷, è pratica comune cercare la protezione della proprietà intellettuale non appena viene sviluppato un miglioramento marginale di un prodotto. In Stati come il Portogallo e l'Italia, dove il deposito di brevetti è meno incentivato e non è così comune, l'effetto della presenza dei centri Fraunhofer è maggiore nell'influenzare la decisione di imprese e ricercatori a cercare la protezione della proprietà intellettuale per le loro invenzioni. I meccanismi di influenza dei centri Fraunhofer vanno dalla mobilitazione di capitali e manodopera nella R&S, al rafforzamento della collaborazione e dei legami università-industria e alla creazione di "canali globali" attraverso i quali i ricercatori possono scambiare conoscenze oltre confine. Più specificamente i centri Fraunhofer assumono accademici e studenti post-laurea delle università locali al fine di integrarli in una rete più ampia di esperti Fraunhofer, coinvolgono il settore privato attraverso workshop da cui le



aziende possono decidere di concedere in licenza le tecnologie esistenti, assumere personale Fraunhofer per svolgere ricerche a contratto o collaborare al collaudo di nuovi prodotti e linee di produzione.

L'effetto sulla collaborazione locale è il più significativo tra i meccanismi di impatto dei centri Fraunhofer. Come in generale avviene per i centri di ricerca applicata, questo effetto positivo sulle domande di brevetto si attua grazie alla convergenza di vari fattori importanti:

- gli incentivi di cui dispongono i centri Fraunhofer nell'impegnarsi in collaborazioni con il settore privato e la comunità imprenditoriale locale. Questi influenzano l'invenzione locale attraverso quattro meccanismi: la ricerca sponsorizzata, i test autorizzati, l'assunzione di studenti e ricercatori che altrimenti avrebbero lavorato in altre attività e le imprese spin-off che potrebbero emergere dalle tecnologie di nuovo sviluppo;
- la maggiore propensione a collaborare con le imprese da parte delle istituzioni che pongono l'accento sulla ricerca applicata rispetto a quelle che si concentrano solo sulla ricerca di base;
- la sponsorizzazione di diplomi tecnici che abilitano una stretta collaborazione con il settore privato;
- la fornitura di infrastrutture e strutture di ricerca che aumenta l'interesse delle imprese locali a investire in ricerca e sviluppo e a depositare esse stesse le domande di brevetto;
- la possibilità, per Fraunhofer, di sfruttare l'esperienza di una rete internazionale e consolidata di esperti colmando non solo il divario tra industria e università, ma anche tra Paesi e regioni.

Nel complesso, l'impatto dei centri Fraunhofer è abbastanza grande da essere considerato un importante catalizzatore dell'invenzione.

Per avanzare il livello di TRL e accelerare la transizione dei risultati scientifici verso applicazioni commerciali e sociali, in Italia, a partire dal 2013, è iniziata la **sperimentazione del progetto Proof-of-Concept Network**. I primi risultati elaborati dal CNR¹⁸ mostrano che le esperienze universitarie più significative e il CNR purtroppo hanno una performance dimensionale inferiore sia in termini di portafoglio brevettuale (nell'ordine delle centinaia e non migliaia di brevetti) che di spin-off attivi (nell'ordine delle decine e non centinaia), anche se i volumi andrebbero messi in relazione con le effettive dotazioni e le caratteristiche delle singole istituzioni e del contesto in cui operano. L'ultimo bando PoC del 2022, con 10,8 milioni di euro in dotazione (di cui 8,9 dal PNRR) finanzia 27 nuovi progetti (dei 36 candidati). L'analisi di impatto del primo round di finanziamenti PoC europei nel periodo 2007-2013¹⁹ evidenzia criticità anche in Europa soprattutto in termini di:

- carenza di risorse umane dedicate alle attività di trasferimento delle conoscenze, e scarsa competenza sui processi di trasferimento tecnologico in quelle a disposizione;
- basso livello di maturità tecnologica della produzione della ricerca accademica: nella maggior parte delle istituzioni il Technology Readiness Level (TRL) dei risultati prodotti si attesta in media intorno al 3-4 e l'ambito delle tecnologie ICT non fa eccezione;
- poche risorse disponibili per le attività di Proof-of-Concept anche dopo i primi finanziamenti pubblici²⁰ per la necessità di sviluppare e testare ulteriormente prodotti, processi o servizi e la necessità di condurre ulteriori attività di ricerca;
- complessità e dispendiosità dell'attività di ricerca di ulteriori finanziamenti sia in termini di tempo (spesso sei o più mesi) che per l'elevata percezione di rischio per gli investitori privati delle tecnologie in fase iniziale di sviluppo.

La buona notizia è che le sovvenzioni Proof-of-Concept hanno un doppio impatto positivo:

- sull'aumento dei progetti PoC: almeno uno su due team beneficiari senza la sovven-



zione PoC probabilmente non avrebbe intrapreso il progetto di valorizzazione, e per quasi due su tre, in assenza della sovvenzione PoC, l'ambito di applicazione del progetto sarebbe stato significativamente più ristretto e avrebbe richiesto molto più tempo per essere completato;

- sul cambiamento di cultura e aumento di fiducia: a fine progetto i membri del team sono più consapevoli e più fiduciosi nelle loro capacità di business e manageriali nel fronteggiare i problemi di valorizzazione e si sentono decisamente più capaci di affrontare il processo di valorizzazione di un'altra idea o tecnologia.

L'analisi evidenzia anche la necessità di rendere più flessibili le tempistiche delle fasi di ricerca, accrescere la visibilità dei risultati, creare opportunità di interazione con gli investitori potenziali, oltre a un accesso più diffuso a mentoring e training sulle attività di trasferimento tecnologico e la semplificazione delle procedure amministrative legate al trasferimento della proprietà intellettuale.

L'esperienza di CNR-UVR di supporto al trasferimento tecnologico²¹ ha confermato come fondamentali al raggiungimento del successo siano tanto la presenza di competenze dedicate e con strumenti e risorse adeguate, quanto l'apertura a rapporti di collaborazione continuativi con investitori e imprese nel quadro di una visione condivisa.

Al fine di aumentare l'attività di ricerca applicativa, insieme alla riforma del sistema della proprietà industriale (M1C2-R 5) di cui alla Legge 102/2023 (modifiche al Codice della proprietà industriale), il PNRR prevede:

- l'iniziativa M1C2I6.1 attinente all'investimento nel sistema della proprietà industriale con il sostegno di almeno 178 progetti destinati a imprese, università, enti pubblici di ricerca ed IRCSS mediante le misure Brevetti+, progetti PoC (Proof-of-Concept) e uffici di trasferimento tecnologico UTT. Non è stata ancora pubblicata la relazione sullo stato di attuazione. La misura Brevetti+, rivolta alle micro-imprese e alle PMI, nel 2024 è stata rifinanziata con 20 milioni di euro: l'apertura dello sportello di Invitalia per fare domanda a ottobre 2024 ha visto la dotazione finanziaria esaurirsi in soli quattro giorni;
- l'iniziativa M4C2I2.2bis "Accordi di innovazione", con una dotazione finanziaria di **164 milioni di euro** per progetti di ricerca, sviluppo e innovazione per sostenere la creazione di nuovi prodotti, processi o servizi o il miglioramento di quelli esistenti, grazie allo sviluppo di Key Enabling Technologies (tecnologie abilitanti fondamentali) in settori coerenti con il secondo pilastro del programma Horizon Europe. La misura prevede **un target** di completamento di almeno 32 accordi di innovazione.

Pur apprezzando queste iniziative, sulla base di tali evidenze di basso TRL dei prodotti della ricerca accademica in ambito ICT e dei livelli di brevettazione ancora non paragonabili alle maggiori economie, **oltre alla revisione dei meccanismi del credito alla R&I per il settore ICT, è evidente la necessità di intervenire su due livelli: da un lato accelerare la maturazione della ricerca accademica verso TRL a valle della filiera di ricerca, dall'altro potenziare il sistema della ricerca applicata per raggiungere dimensioni di scala competitive.**

Per accelerare la maturazione dei prodotti della ricerca accademica verso lo sfruttamento industriale e arrivare a una loro maggiore integrazione con i bisogni delle imprese ICT, occorre:

- aumentare i finanziamenti Proof-of-Concept alle università, per sostenere le attività di test, convalida e maturazione necessarie per portare una nuova idea dalla ricerca a una fase più matura in grado di attrarre l'interesse di società private o di investitori e di farne comprendere applicabilità industriale e attrattività di mercato;
- nei requisiti progettuali per accedere ai finanziamenti considerare margini di flessibilità sulle tempistiche considerando l'eventualità di correzioni e adattamenti nel disegno e di insuccessi o parzialità dei risultati, pur restando stabili nella visione e nella governance;
- incoraggiare la definizione di strategie per il trasferimento tecnologico interne alle istituzioni di ricerca, con obiettivi misurabili e owners o co-owners ben definiti;
- rafforzare la formazione delle competenze e il reperimento delle risorse dei centri di



trasferimento tecnologico presso università e centri di ricerca, garantendo una continuità nei processi attivati e nell'accompagnamento dei risultati verso gli ultimi stati di maturazione e l'inserimento sul mercato;

- assicurare risorse e competenze potenziando il training dei ricercatori universitari sui processi di trasferimento tecnologico (condivisione di best practice, affiancamenti, debrief sui progetti completati, scambi), sia con riguardo alle attività progettuali a valle della filiera di ricerca e alle competenze trasversali di business, per capire e parlare il linguaggio delle imprese;
- favorire e moltiplicare occasioni di comunicazione proattiva, bi-direzionale e strutturata del mondo accademico con imprese e investitori, sia sulle scelte o priorità di sviluppo che sulla verifica dell'attrattività commerciale dei risultati della ricerca;
- supportare la creazione e lo sviluppo di nuove imprese non solo con capitale di rischio, ma anche investendo sulla formazione di capacità imprenditoriale all'interno delle organizzazioni di ricerca e promuovendo un adeguato ecosistema per la creazione di nuove imprese e per il trasferimento dell'innovazione.

Questo stato di fatto e le relative auspicabili iniziative presuppongono che sia l'applicazione ad allinearsi all'idea della ricerca. L'interazione tra ricerca e impresa serve per convalidare "ex-post" i risultati scientifici ipotizzandone le potenzialità di mercato.

Questo percorso pertanto sconta:

- una dipendenza della ricerca applicata da scelte strategiche, risorse e competenze del mondo accademico, disegnate in funzione di altri obiettivi e non ottimizzate per attrarre investitori privati nel processo;
- carenza di finanziamenti soprattutto sul versante della ricerca;
- potenziali rallentamenti generati da asimmetrie di conoscenza, di cultura e di linguaggio tra mondo della ricerca di base e imprese;
- differenze istituzionali e di missione tra i diversi attori (pubblici e privati) coinvolti nel processo.

Per questo, e arriviamo al secondo livello, è necessario agire anche sulla ricerca applicata. Un percorso che garantisca maggiore indipendenza e potenzialità nei processi di ricerca applicata per le imprese ICT potrebbe essere reso possibile dalla costituzione di un **modello a rete per il trasferimento tecnologico che includa anche la ricerca ICT applicata**, in grado di coordinare e fare convergere verso un'unica **strategia nazionale di ricerca in ambito ICT "by design" applicata** risorse finanziarie, asset, facilities e competenze dei poli di ricerca aperti nei diversi territori in cui è più attiva la filiera ICT²². Tale strategia dovrebbe prestare particolare attenzione sia allo sviluppo di tecnologie disruptive che abilitano la trasformazione del settore, che a quelle strategiche e duali, rafforzando così l'autonomia tecnologica nazionale e la sicurezza in settori critici a partire dagli ambiti in cui le industrie nazionali hanno una posizione di leadership in Europa. In questo modo, si integrerebbero in maniera complementare le attività di ricerca già presenti presso le imprese ICT, suoi primi partner strategici, per ampliare e approfondire attività di ricerca ICT più rilevanti per l'economia nazionale e favorire l'accesso a competenze multidisciplinari.

Il budget di ricerca attingerebbe in parte minoritaria a finanziamenti pubblici ordinari e per la quota maggiore dai diritti brevettuali e dalla partecipazione ai bandi di ricerca pubblici e privati.

Le applicazioni di mercato non sarebbero individuate in funzione delle invenzioni rese disponibili dalla ricerca di base ma in funzione della domanda di mercato, grazie all'adozione di un **meccanismo di finanziamento basato sui risultati** in termini di trasferimento tecnologico, come il ritorno economico dagli appalti aggiudicati dalle aziende e il numero di spin-off generati. Altri indicatori di performance potrebbero essere lo sviluppo di nuove competenze, l'acquisizione di progetti pubblici, l'orientamento verso gli scenari applicativi futuri, lo sviluppo sinergico di nuovi campi di ricerca.

Un modello sì fatto per l'ICT, focalizzato al 100% sulla ricerca applicata, con chiari obiettivi di produzione brevettuale ICT e un'impostazione imprenditoriale a tutti i livelli organizzativi avrebbe maggiori possibilità di attrarre e orientare capitale di rischio



verso obiettivi condivisi e iniziative di scala rilevante anche a livello internazionale. Inoltre, ridurrebbe i rischi o, peggio, i costi attuali dovuti a frammentazione, dispersione o, peggio ancora, duplicazione delle iniziative di ricerca.

A supporto di queste iniziative dovrebbero essere messe in campo risorse e politiche straordinarie – anche adeguando gli strumenti di finanziamento nazionali agli standard virtuosi europei – e favorire la costruzione di un modello a rete di consorzi strategici.

Ulteriori ricadute positive di questo modello sarebbero:

- la condivisione diffusa degli obiettivi imprenditoriali;
- la creazione di importanti linee di ricerca tecnologiche con maggiore probabilità di un elevato impatto economico;
- l'indipendenza degli istituti di ricerca in termini di risultati del progetto, impatto scientifico e finanziamento;
- l'indipendenza in termini di orientamento tecnico, distribuzione delle risorse, acquisizione e gestione dei progetti;
- la costruzione di collaborazioni di ricerca multidisciplinari;
- l'apertura alle PMI della ricerca applicata, con economie di scala e di conoscenza significative;
- l'attrazione di capitale di rischio;
- il maggiore coinvolgimento nelle reti collaborative di ricerca internazionali;
- la motivazione e la possibilità di carriera nella ricerca applicata per il personale della ricerca.

La creazione e l'attività dei campioni nazionali della ricerca nell'ambito delle Key Enabling Technologies (KET) finanziata attraverso il PNRR costituiscono una best practice di riferimento importante, anche se sussistono differenze importanti: i centri nazionali del PNRR prevedono la collaborazione di università, centri di ricerca e imprese con l'obiettivo di raggiungere "una soglia critica di capacità di ricerca e innovazione" in ambiti tecnologici specifici; aspetto sicuramente importante ma non sufficiente a rispecchiare le esigenze della ricerca applicativa dell'intera filiera ICT, che vede le KET inserite in uno stack di sistemi, apparati, tools di sviluppo, applicativi in continua evoluzione, sempre più interdipendenti e con cicli di vita sempre più corti. I centri finanziati dal PNRR sono finalizzati a creare o potenziare infrastrutture e laboratori di ricerca già esistenti e realizzano attività ad alto contenuto tecnologico nel solco di linee di ricerca associate alle strategie del sistema nazionale di educazione terziaria. Questo è sicuramente un plus per il centro nazionale su HPC, Big Data e Quantum Computing, ambito in cui l'Italia vanta scoperte, brevetti e progressi competitivi a livello internazionale, ma che non riesce ancora a servire le esigenze della filiera ICT²³ e che, per il Quantum, diventerà mercato reale non prima del 2030. Alla filiera ICT sarebbe di grande aiuto poter contare su un modello così costituito con cui condividere in modalità collaborativa percorsi di ricerca applicata sull'IA, la cybersicurezza, la sostenibilità dei datacenter, l'edge computing, la sicurezza delle reti, tutti temi che guidano già gli sviluppi del mercato ICT dei prossimi mesi e disegnano l'ambiente competitivo dove la filiera italiana dell'ICT nella sua interezza (dai grandi leader alle PMI ICT innovative alle start-up) ha bisogno di conquistare un ruolo molto più competitivo di quello attuale.

In conclusione, **investire nella ricerca e innovazione ICT**, dalla ricerca all'applicazione, fino alla capacità finanziaria di centri di ricerca accademici o industriali nonché di start-up e scale-up innovative, **è più che mai un imperativo di politica economica, non solo industriale, di estrema urgenza**. Per l'Europa ma ancora più per l'Italia.

E, per l'Italia, questo percorso sarà molto più in salita che per le altre maggiori economie, partendo da una struttura economica più concentrata su attività produttive di tipo tradizionale e non ad alta intensità tecnologica. La brevettazione per le tecnologie informatiche è a livelli meno che proporzionali rispetto ai principali indicatori economici. Ma la dinamica di crescita è in miglioramento e lascia aperta la possibilità di perseguire obiettivi di specializzazione nei settori high-tech emergenti. Saranno necessari dei cambi di prospettiva e strategie adeguate anche dirompenti, ma è ancora possibile.



Per fare della ricerca e innovazione ICT una leva di innovazione e strumento di politica economica servono investimenti adeguati di lungo periodo di risorse pubbliche di co-finanziamento dei progetti e di copertura degli incentivi fiscali. Allineare i nostri parametri di intensità di investimento pubblico e privato nella ricerca ICT sui valori delle maggiori economie è imprescindibile.

Seconda e non meno importante condizione per avere effetti di crescita e sviluppo dalla ricerca in ambito ICT è che sia **ripensato il sistema della ricerca di elevata qualificazione lungo tre direzioni:**

- maggiore coordinamento e ottimizzazione delle risorse già in campo;
- sviluppo di capacità e talenti lungo percorsi alternativi di formazione affidati alla filiera della ricerca applicata ICT;
- maggiore produttività e massa critica in termine di invenzioni e brevetti per poter attrarre nuovi capitali e linee di ricerca collaborative nel nostro Paese.

La nostra economia, la nostra cultura, la nostra industria possono e si meritano di continuare a essere attori di rilievo nella nuova economia disegnata dall'innovazione.



APPENDICE

Quadro complessivo delle misure per la ricerca nella Missione 4 del PNRR a luglio 2024²⁴

Investimenti per la R&I nella Missione 4 del PNRR

Le misure del PNRR riguardanti la ricerca sono collocate nella Missione 4 (Componenti 1 e 2 e stanziano un totale di oltre 11,7 miliardi di euro (di cui circa il 20% di sovvenzioni) dopo le revisioni del PNRR concordate a dicembre 2023 (in riduzione dai precedenti 12,5 miliardi di euro) (Tab. A1). A luglio 2024 quasi 2,1 miliardi risultavano spesi secondo le stime di Open Polis²⁵.

Investimenti	Dotazione iniziale	Dotazione 2024	Spesi	% Spesi
M4C1 – R4.1 Riforma dei dottorati				
M4C1 – I3.4 Didattica e competenze universitarie avanzate	500,0	272,1	7,8	2,9%
M4C1 – I4.1 Estensione del numero di dottorati di ricerca e di dottorati innovativi per la Pubblica Amministrazione e il patrimonio culturale	394,5	503,6	97,2	19,3%
M4C2 – R1.1 Attuazione di misure di sostegno alla R&S per promuovere la semplificazione e la mobilità				
M4C2 – I1.1 Fondo per il Programma Nazionale della Ricerca (PNR) e Progetti di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN)	2.300,0	1.799,2	692,7	38,5%
M4C2 – I1.2 Finanziamento di progetti presentati da giovani ricercatori	600,0	209,7	15,1	7,2%
M4C2 – I1.3 Partenariati estesi a università, centri di ricerca, imprese e finanziamento progetti di ricerca di base	1.610,0	1.606,1	316,4	19,7%
M4C2 – I1.4 Potenziamento strutture di ricerca e creazione di "campioni nazionali" di R&S su alcune Key enabling technologies	1.700,0	1.600,2	301,8	18,9%
M4C2 – I1.5 Creazione e rafforzamento di "ecosistemi dell'innovazione per la sostenibilità", costruendo "leader territoriali di R&S"	1.300,0	1.241,2	322,7	26,0%
M4C2 – I2.1 IPCEI (Important Project of Common European Interest)	1.500,0	1.500,0	142,4	9,5%
M4C2 – I2.2 (SOPPRESSO) Partenariati per la ricerca e l'innovazione - Orizzonte Europa (Horizon Europe)	200,0	-	-	0,0%
M4C2 – I2.2-bis (NUOVO) Accordi di innovazione	-	164,0	-	0,0%
M4C2 – I2.3 Potenziamento ed estensione tematica e territoriale dei centri di trasferimento tecnologico per segmenti di industria	154,4	351,4	25,3	7,2%
M4C2 – I3.1 Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e innovazione	1.900,0	1.577,4	101,9	6,5%
M4C2 – I3.2 Finanziamento di start-up, Fondo Digital Transition	700,0	400,0	4,9	1,2%
M4C2 – I3.3 Introduzione di dottorati innovativi	205,0	506,6	30,9	6,1%
Totale Ricerca	13.063,9	11.731,5	2.059,1	17,6%



Le misure nella Componente 1 sono tre: una riforma e due investimenti che, a seguito della revisione del PNRR concordata con le istituzioni europee nel dicembre 2023, stanziavano risorse per un totale di circa 0,77 miliardi di euro, di cui circa il 20% in sovvenzioni e l'80% in prestiti. Le misure nella Componente 2 sono dodici: una riforma e undici investimenti che, a seguito della revisione del PNRR concordata con le istituzioni europee nel dicembre 2023, stanziavano risorse per un totale di circa 11 miliardi di euro (di cui circa 0,9 miliardi di sovvenzioni). Per la Componente 2 il Ministero dell'Università e della Ricerca è titolare di sette investimenti, per un totale di 8,55 miliardi di euro; e il Ministero delle Imprese e del Made in Italy, titolare di quattro investimenti, per 2,45 miliardi di euro²⁶.

Il livello di attuazione, il conseguimento degli obiettivi e le modifiche apportate in occasione delle revisioni del PNRR sono i seguenti:

M4C1 – R4.1 Riforma dei dottorati: entrata in vigore a fine 2021, semplifica le procedure per il coinvolgimento di imprese e centri di ricerca e potenzia la ricerca applicata. La riforma integra tutti gli investimenti relativi ai dottorati nell'ambito delle due componenti della Missione 4.

M4C1 - I3.4 Didattica e competenze universitarie avanzate: tra le misure per qualificare e innovare i percorsi universitari (e di dottorato), è prevista l'iscrizione, nell'arco di tre anni (100+200+200), di un numero massimo di 500 dottorandi a programmi dedicati alle transizioni digitale e ambientale. **Risorse:** 272,1 milioni di sovvenzioni (ridotte da 500 milioni iniziali a dicembre 2023).

M4C1 – I4.1 Estensione del numero di dottorati di ricerca e di dottorati innovativi per la Pubblica Amministrazione e il patrimonio culturale: prevede l'assegnazione per tre anni di 1.000 ulteriori borse di dottorato generiche all'anno nell'ambito delle amministrazioni pubbliche e almeno 200 nuove borse di dottorato generiche all'anno destinate al patrimonio culturale. **Risorse:** 504 milioni di sovvenzioni (aumentati a dicembre 2023 da 432 milioni iniziali).

M4C2 – R1.1 Attuazione di misure di sostegno alla R&S per promuovere la semplificazione e la mobilità: si colloca all'incrocio tra il versante universitario e della ricerca e quello dell'impresa. Attuata nel 2022 dal MUR e dal MIMIT (cabina di regia interministeriale) attraverso due decreti ministeriali: uno per aumentare e sostenere la mobilità reciproca (attraverso incentivi) di ricercatori e manager tra università, infrastrutture di ricerca e aziende; l'altro in ambito di semplificazione della gestione dei fondi per la ricerca e inteso a riformare il percorso professionale dei ricercatori in modo da consentire a questi ultimi di concentrarsi maggiormente sulle attività di ricerca. La riforma spinge verso un approccio più sistematico alle attività di R&S favorendo la condivisione ed evitando la dispersione e la frammentazione delle priorità. Gli Enti Pubblici di Ricerca (EPR) hanno un ruolo fondamentale sia come possibili leader progettuali per i partenariati, per i campioni nazionali e per gli ecosistemi territoriali, sia come potenziali partecipanti ai bandi sul Fondo PNR e sul Fondo per le infrastrutture.

M4C2 – I1.1 Fondo per il Programma Nazionale della Ricerca (PNR) e Progetti di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN): stimolerà lo sviluppo di iniziative promosse dai ricercatori verso la ricerca di frontiera e una maggiore interazione tra le università e gli enti di ricerca. Nel 2023 sono stati ammessi a finanziamento 3.753 progetti per 10.108 unità di ricerca e un totale di risorse finanziate pari a circa 741,7 milioni di euro. Fino al 2026 l'investimento finanziario sarà almeno 5.350 progetti PRIN. In sede di revisione del PNRR (dicembre 2023) è stato concordato con la Commissione Europea di rimuovere il vincolo, inizialmente previsto, della durata triennale dei progetti, specificando che essi devono avere una durata minima di due anni. Dovranno essere assunti almeno 900 nuovi ricercatori a tempo determinato, che si concentreranno sulle priorità coerenti con i sei cluster di Horizon Europe tra cui il pilastro iv digitale, industria, aerospaziale. **Risorse:** 1,8 miliardi di prestiti.

M4C2 – I1.2 Finanziamento di progetti presentati da giovani ricercatori: per consentire di maturare una prima esperienza di responsabilità di ricerca a un massimo di 2.100 giovani ricercatori e brevi periodi di mobilità per attività di ricerca



o didattica in altre località in Italia o all'estero. Nel 2025 è prevista la concessione di almeno 850 borse di ricerca. **Risorse:** 210 milioni di sovvenzioni (ridotte da 600 milioni iniziali a causa del basso tasso di adesione con solo 290 domande sui primi 700 finanziamenti banditi).

M4C2 – 11.3 Partenariati estesi a università, centri di ricerca, imprese e finanziamento progetti di ricerca di base: sostiene quattordici grandi programmi di ricerca di base realizzati in partenariato da istituti di ricerca e imprese private anche PMI, rafforzando le catene tecnologiche nazionali e la loro partecipazione alle catene del valore strategiche a livello europeo e globale. Sono quattro i partenariati estesi firmati tra istituti di ricerca e imprese in ambito ICT: Future Artificial Intelligence Research (CNR), National Quantum Science and Technology Institute - NQSTI (Camerino - Università degli Studi), SEcurity and RIghts in the CybeRspace - SERICS (Salerno - Università degli Studi); REsearch and innovation on future Telecommunications Systems and Networks, to Make Italy more smART (Roma – Università Tor Vergata). Per ogni partenariato è prevista l'assunzione di almeno 100 ricercatori. **Risorse:** 1,61 miliardi di prestiti.

M4C2 – 11.4 Potenziamento strutture di ricerca e creazione di “campioni nazionali” di R&S su alcune Key Enabling Technologies: per la creazione di centri di ricerca nazionale in grado di raggiungere una soglia critica di capacità di ricerca e innovazione attraverso creazione/rinnovamento di rilevanti strutture di ricerca, coinvolgimento di soggetti privati nella realizzazione e attuazione dei progetti di ricerca e supporto a start-up e spin-off. In ambito ICT è stato creato il National Centre for HPC, Big Data and Quantum Computing proposto dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) con la partecipazione di 34 università-enti pubblici di ricerca-organismi di ricerca e 15 imprese e un finanziamento di 319,9 milioni di euro di cui il 41% destinato al Sud. In sede di revisione a dicembre 2023, la scadenza per il completamento delle attività dei centri nazionali è stata posticipata di sei mesi rispetto alla versione originaria. **Risorse:** 1,6 miliardi di prestiti.

M4C2 – 11.5 Creazione e rafforzamento di “ecosistemi dell'innovazione per la sostenibilità”, costruendo “leader territoriali di R&S” (esistenti o nuovi) entro il 2026: dal 2022 sono in corso di finanziamento undici progetti²⁷ di cui quattro in ambito digitale/ICT e tre con spoke in ambito digitale, con: a) attività formative innovative condotte in sinergia dalle università e dalle imprese nonché dottorati industriali; b) attività di ricerca condotte e/o infrastrutture di ricerca realizzate congiuntamente dalle università e dalle imprese/PMI; c) supporto alle start-up; d) coinvolgimento delle comunità locali. In sede di revisione del PNRR (dicembre 2023) si è concordato di introdurre un target finale di almeno dieci ecosistemi di innovazione con attività previste dal bando completate. **Risorse:** 1,243 miliardi di prestiti.

M4C2 – 12.1 IPCEI (Important Project of Common European Interest): integra l'attuale fondo IPCEI, di cui all'articolo 1, comma 232, della legge di bilancio per il 2020 (legge n. 160 del 2019), con risorse aggiuntive e sostiene la partecipazione delle imprese italiane agli “Important Projects of Common Interest Europeo” (IPCEI); consente al tessuto produttivo nazionale di aumentare il livello degli investimenti e dei servizi per la R&S di nuove tecnologie, nonché favorire l'adozione di queste ultime da parte delle PMI. In sede di revisione del PNRR (dicembre 2023) è stato concordato che il numero target di progetti sostenuti con le risorse PNRR includesse quelli presentati non solo dalle imprese, ma anche dai centri di ricerca, in coerenza con i meccanismi di funzionamento degli IPCEI. Da fine 2023 sono stati attivati venticinque progetti IPCEI (dodici nel settore Idrogeno e tredici nella microelettronica/Cloud), superando il limite minimo di venti fissato per il 2025. A dicembre 2023 la Commissione ha autorizzato il progetto IPCEI Cloud con 350 milioni di euro per l'Italia per sostenere la ricerca, lo sviluppo e la prima applicazione industriale di tecnologie avanzate di Cloud ed Edge Computing attraverso progetti R&I da realizzare fino al 2031. Per l'Italia sono state ammesse cinque imprese e due organismi di ricerca. **Risorse:** 1,5 miliardi di prestiti.

M4C2 – 12.2 (SOPPRESSO) Partenariati per la ricerca e l'innovazione -



Orizzonte Europa (Horizon Europe): avrebbe dovuto sostenere progetti di R&I individuati con inviti specifici a partecipare ai partenariati europei nell'ambito di Horizon Europe (in ambito ICT: High Performance Computing, Key Digital Technologies, Innovative SMEs) dando continuità a iniziative realizzate attraverso il Fondo per la crescita sostenibile (FCS) e abilitando sinergie con fonti finanziarie diverse. In sede di **revisio-**
ne del PNRR (maggio 2024), l'investimento è stato soppresso essendo irrealizzabile l'obiettivo di assegnare almeno 205 progetti, a causa di una domanda insufficiente. Le risorse liberate finanziano ora l'Investimento M4C2 – 2.2-bis (accordi di innovazione) e innalzano il livello di attuazione della riforma 1.8 della M1C1 (digitalizzazione della giustizia). **Risorse:** 200 milioni di sovvenzioni sopresse e reindirizzate.

M4C2 – I2.2-bis (NUOVO) Accordi di innovazione: sono progetti di R&I per sostenere la creazione di nuovi prodotti, processi o servizi o il miglioramento di quelli esistenti, grazie allo sviluppo di Key Enabling Technologies coerenti con Horizon Europe tra cui tecnologie digitali fondamentali, comprese le tecnologie quantistiche; tecnologie abilitanti emergenti; intelligenza artificiale e robotica; tecnologie e soluzioni digitali per la salute e l'assistenza. L'investimento prevede il completamento di almeno 32 Accordi di innovazione entro il 2025. Inserito in sede di revisione del PNRR (maggio 2024), con dotazione finanziaria di 164 milioni di euro in seguito alla contestuale soppressione dell'investimento 2.2 Partenariati per la ricerca e l'innovazione – Horizon Europe (200 milioni di euro).

M4C2 – I2.3 Potenziamento ed estensione tematica e territoriale dei centri di trasferimento tecnologico per segmenti di industria: sostiene una rete di 50 (non più 60) centri (Centri di Competenza, Polo europeo dell'innovazione digitale, Marchio di eccellenza, Struttura di prova e sperimentazione, Punti nazionali di Innovazione Digitale) incaricati dello sviluppo progettuale e dell'erogazione alle imprese di servizi tecnologici avanzati e di trasferimento tecnologico per tecnologie e specializzazioni produttive di punta (escluse le attività connesse a decarbonizzazione e sostenibilità ambientale). Si caratterizzano per il trasferimento dei risultati della ricerca attraverso servizi più prossimi al mercato. Attraverso un processo di riorganizzazione, razionalizzazione e semplificazione dei centri si vogliono aumentare i servizi tecnologici avanzati focalizzandosi su tecnologie e specializzazioni produttive di punta. Si prospetta un aumento del valore del servizio di trasferimento tecnologico pari al 140% (circa 600 milioni di euro) rispetto al valore base corrispondente a 250 milioni di euro). In sede di revisione del PNRR (dicembre 2023) sono state definite: a) una prima linea di intervento in cui il PNRR finanzia 307 milioni di euro per 35 centri in esclusiva tra centri di competenza, marchio di eccellenza, rete dei poli di innovazione sul campo (di cui 27, e non più 42, devono essere operativi entro fine 2025 e avere sostenuto almeno 5.000 imprese e non più 4.500 entro giugno 2026), b) una nuova seconda linea, in cui il PNRR finanzia in parte 13 poli europei dell'innovazione digitale (EDIH) e 2 strutture di prova e sperimentazione (TEF), mentre un'altra parte dei costi è coperta dal programma Digital Europe. I pacchetti operativi dell'ambito finanziato dal PNRR devono essere completati entro giugno 2026. **Risorse:** 350 milioni di prestiti.

M4C2 – I3.1 Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e innovazione che colleghi il settore industriale con quello accademico: finanzia la creazione o il rafforzamento, su base competitiva, di infrastrutture di ricerca di rilevanza pan-europea e infrastrutture di innovazione dedicate, promuovendo la combinazione di investimenti pubblici e privati. Tra il 2022 e il 2023 sono stati aggiudicati appalti per 33 infrastrutture di ricerca (di cui tre nell'Area Digital) e 24 infrastrutture tecnologiche di innovazione multifunzionali in grado di coprire almeno tre settori tematici quali: a) quantistica, b) materiali avanzati, c) fotonica, d) scienze della vita, e) intelligenze artificiali, f) transizione energetica. Sono stati assunti 37 manager delle infrastrutture. Entro giugno 2026 si devono avere almeno 30 infrastrutture di ricerca e innovazione create o che hanno completato le attività. **Risorse:** 1.578,1 milioni di prestiti (erano 1.580).

M4C2 – I3.2 Finanziamento di start-up, Fondo Digital Transition: potenzia



il Fondo nazionale innovazione attraverso l'istituzione del Digital Transition Fund (DTF) di quindici anni, gestito da CDP Venture Capital SGR Spa - Fondo Nazionale Innovazione (SGR). Finanzia 400 milioni (erano 300) di capitale di rischio (venture capital) diretti e indiretti a PMI e filiere per progetti negli ambiti IA, cloud, assistenza sanitaria, industria 4.0, cybersicurezza, fintech, blockchain e altri ambiti della transizione digitale. In sede di revisione del PNRR (dicembre 2023) è stato espunto il riferimento all'obiettivo di finanziare, tramite il fondo, almeno 250 imprese entro giugno 2025; si è deciso di configurare il DTF come una facility ai sensi della normativa europea. Entro giugno 2026 CDP Venture Capital dovrà sottoscrivere convenzioni di finanziamento giuridicamente vincolanti con start-up, programmi di incubazione/accelerazione o fondi di venture capital per l'importo necessario a utilizzare il 100% dell'investimento dell'RRF (400 milioni di euro) nel dispositivo (compresi commissioni di gestione e costi). **Risorse:** 400 milioni di prestiti.

M4C2 – I3.3 Introduzione di dottorati innovativi che rispondono ai fabbisogni di innovazione delle imprese e promuovono l'assunzione dei ricercatori dalle imprese per potenziare le competenze di alto profilo, in particolare nelle aree delle Key Enabling Technologies: prevede l'assegnazione di un totale di 6.000 borse di dottorato in tre anni, con il cofinanziamento privato e l'incentivo all'assunzione di ricercatori da parte delle imprese. In sede di **revisione del PNRR** (dicembre 2023), considerati gli esiti delle assegnazioni della prima delle tre annualità di dottorato (1.708 borse assegnate in luogo delle 5.000 bandite), è stato concordato di ridurre (da 15.000 a 6.000) i percorsi di dottorato da attivare e incrementare (da euro 30.000 a euro 60.000) il contributo assegnato alle università per ciascuna borsa di dottorato concessa, al fine di rendere le borse più attrattive. **Risorse:** 510 milioni di sovvenzioni (erano 600).



Definizioni

R&S

La **definizione di “Ricerca e Sviluppo”** (R&S) fornita dal Manuale di Frascati (OECD, 2015) comprende l'insieme di attività creative e svolte in modo sistematico con l'obiettivo sia di sviluppare nuove conoscenze ed accrescerle sia di utilizzare quelle preesistenti per nuove applicazioni. Il Manuale di Frascati delinea e definisce le caratteristiche comuni delle attività di R&S, gli obiettivi (specifici o generali) e i criteri per identificarle, con lo scopo di fornire una guida per la misurazione delle altre attività ad essa collegate.

Per classificare un'attività di R&S devono essere soddisfatti cinque criteri principali: la novità (l'attività deve produrre nuovi risultati); l'originalità (deve avere come obiettivo lo sviluppo di nuovi concetti e idee volti a migliorare le conoscenze esistenti); l'incertezza dei risultati (nella fase iniziale non si possono definire con precisione il tipo di risultato e i costi rispetto agli obiettivi da raggiungere); la sistematicità (l'attività deve essere condotta in modo pianificato e rendicontato, e sia il processo che i risultati devono essere conservati); la riproducibilità (il risultato dell'attività deve garantire la trasferibilità di conoscenze e la riproducibilità del risultato all'interno di altre attività di R&S).

Le attività di R&S vengono classificate in tre tipi: la ricerca di base, che consiste in un lavoro sperimentale o teorico volto principalmente ad acquisire nuove conoscenze di un fenomeno o di fatti osservabili senza una particolare finalità applicativa; la ricerca applicata, che si caratterizza come un'indagine intrapresa per acquisire nuove conoscenze ma con un obiettivo o intento pratico e specifico; lo sviluppo sperimentale, che è definito come un lavoro sistematico che, attingendo dalle conoscenze realizzate dall'attività di ricerca o dall'esperienza pratica, produce nuova conoscenza finalizzata alla creazione di nuovi prodotti o processi, o al miglioramento degli esistenti.

Per classificare un'attività di R&S devono essere soddisfatti **cinque criteri principali**: la **novità** (l'attività deve produrre nuovi risultati); l'**originalità** (deve avere come obiettivo lo sviluppo di nuovi concetti e idee volti a migliorare le conoscenze esistenti); l'**incertezza dei risultati** (nella fase iniziale non si possono definire con precisione il tipo di risultato e i costi rispetto agli obiettivi da raggiungere); la **sistematicità** (l'attività deve essere condotta in modo pianificato e rendicontato, e sia il processo che i risultati devono essere conservati); la **riproducibilità** (il risultato dell'attività deve garantire la trasferibilità di conoscenze e la riproducibilità del risultato all'interno di altre attività di R&S).

Le attività di R&S vengono classificate in tre tipi: la **ricerca di base**, che consiste in un lavoro sperimentale o teorico volto principalmente ad acquisire nuove conoscenze di un fenomeno o di fatti osservabili senza una particolare finalità applicativa; la **ricerca applicata**, che si caratterizza come un'indagine intrapresa per acquisire nuove conoscenze ma con un obiettivo o intento pratico e specifico; lo **sviluppo sperimentale**, che è definito come un lavoro sistematico che, attingendo dalle conoscenze realizzate dall'attività di ricerca o dall'esperienza pratica, produce nuova conoscenza finalizzata alla creazione di nuovi prodotti o processi, o al miglioramento degli esistenti.

Settori

L'approccio generalmente utilizzato per la produzione di statistiche su R&S si basa su una caratterizzazione e classificazione delle categorie di istituzioni che le sviluppano e/o le finanziano.

Per **settori istituzionali** si intendono raggruppamenti di unità istituzionali (imprese, istituzioni pubbliche, università e istituzioni private non-profit) che si caratterizzano per autonomia e capacità decisionale in campo economico-finanziario e tengono scritture contabili regolari.

Secondo la classificazione OCSE, il settore **Imprese** comprende tutte le società re-



sidenti, indipendentemente dalla residenza dei loro azionisti; e include sia le imprese commerciali private che quelle controllate dal governo. Le sedi periferiche delle imprese non residenti sono considerate residenti e parte di questo settore perché impegnate nella produzione sul mercato economico nazionale. Sono compresi anche tutti gli enti non-profit produttori di beni o servizi.

Il settore **Istituzioni Pubbliche** comprende tutte le unità del governo centrale/federale, regionale/statale e locale/comunale e i fondi previdenziali, eccetto quelle unità che rientrano nel settore dell'alta formazione. Altri organi di governo sono le agenzie di esecuzione e/o finanziamento e tutte le imprese private e non-profit controllate dal governo.

Il settore **Università** comprende le università (pubbliche e private) e altre istituzioni che forniscono formali programmi di istruzione terziaria, qualunque sia la loro fonte di finanziamento o stato legale e tutti gli istituti di ricerca, i centri, le stazioni sperimentali e le cliniche le cui attività di R&S sono controllate direttamente o indirettamente da istituzioni educative.

Il settore **Istituzioni private non-profit** comprende tutte le istituzioni senza scopo di lucro ad eccezione di quelle classificate come parte del settore dell'alta formazione e anche le famiglie e gli individui coinvolti e non coinvolti in attività di mercato. Per individui e famiglie si intendono soggetti o gruppi che forniscono altri contributi preziosi per lo sviluppo di attività di R&S, come finanziatori (ad es. filantropi) o come soggetti di ricerca (ad es. partecipanti alle sperimentazioni cliniche), ma anche come creatori attivi di nuove conoscenze (ad es. inventori).

Il settore **Resto del mondo**, infine, è definito in base allo status di non residenza delle unità istituzionali interessate. Il settore è costituito da tutte le unità istituzionali non residenti che hanno transazioni con unità residenti o che hanno altri legami economici con esse. Sono comprese dunque tutte quelle istituzioni e società individuali senza localizzazione o un luogo di produzione all'interno di un contesto economico che sono coinvolte in attività economiche e transazioni su vasta scala, a lungo termine o senza limiti di tempo. Infine include anche tutte le organizzazioni internazionali e le autorità sovranazionali, comprese le attrezzature e le attività all'interno dei confini nazionali.

Risorse finanziarie

Con riguardo alle **risorse finanziarie per R&S** una fondamentale distinzione è quella fra dati di spesa e dati di stanziamento.

I **dati di spesa** individuano le spese sostenute per R&S dai diversi soggetti istituzionali nell'anno o negli anni considerati. Le spese interne per R&S (**intra-muros**) rappresentano l'ammontare delle risorse impegnate per attività eseguite all'interno dell'unità di riferimento; mentre quelle esterne (**extra-muros**) rappresentano le risorse destinate per attività eseguite al di fuori dell'unità di riferimento. I dati di stanziamento, invece, si riferiscono alle istituzioni che sostengono finanziariamente l'attività di R&S.

Il **GERD** (Gross Domestic Expenditure on R&D) misura la **spesa totale interna per R&S** effettuata in un determinato periodo di riferimento ed è il principale indicatore aggregato usato per descrivere le attività di R&S all'interno di un Paese. Esso include tutte le risorse per attività svolte nel contesto nazionale anche se finanziate dall'esterno (es. "Resto del mondo"), ma esclude i finanziamenti per R&S erogati al di fuori dei confini nazionali. La spesa intra-muros per R&S viene raccolta per ognuno dei cinque settori istituzionali di esecuzione definiti dal Manuale di Frascati; il GERD è costruito sommando il totale di spesa dei settori e per ognuno viene individuata la fonte del finanziamento (Imprese, Governo, Alta formazione, Privato/non-profit, Resto del mondo). Allo scopo di normalizzare le grandi differenze tra Paesi, il GERD è anche presentato come indicatore di intensità, in rapporto percentuale del Prodotto Interno Lordo (PIL). Non è possibile stimare con sufficiente accuratezza il GERD per le attività di R&S in ambito ICT svolte da imprese e altri enti.

Il principale indicatore utilizzato per descrivere l'investimento del settore delle imprese nelle attività di R&S è il **BERD** (Business Enterprise Intra-muros Expenditure on R&D), che rappresenta la **componente del GERD sostenuta dalle imprese**, ed è la misura



delle spese nazionali di R&S all'interno di esso. L'indicatore è disponibile per ogni settore di attività NACE delle imprese. Attraverso l'aggregazione dei codici NACE viene appunto calcolata la spesa in R&S sostenuta dalle imprese del settore ICT. La maggior parte dei dati del capitolo 2 si riferiscono a spesa e finanziamenti relativi all'attività di R&S eseguita dalle imprese nel settore ICT. Questa attività può anche essere finanziata da istituzioni pubbliche o internazionali ma è eseguita in Italia. I dati sono rappresentativi di una quota maggioritaria della R&S in ambito ICT in Italia ma non del totale complessivo in quanto sono escluse le attività di R&S in ambito ICT eseguite al di fuori del settore ICT (imprese in altri settori dell'economia, università e enti di ricerca).

Il **GBARD** (Government Budget Appropriations for Research and Development) misura il finanziamento pubblico destinato annualmente dalla legge di bilancio nazionale alla R&S e viene calcolato sulla base degli stanziamenti per R&S come indicati all'interno dei bilanci pubblici nazionali o regionali. Questo indicatore include anche i finanziamenti trasferiti dal governo nazionale ad agenzie internazionali e organizzazioni di ricerca. Pertanto rappresenta l'attività R&S finanziata dal governo centrale/regionale nazionale e realizzata sia presso istituzioni pubbliche che altri settori nazionali e all'estero (incluse le organizzazioni internazionali). I dati di stanziamento si riferiscono alle istituzioni che sostengono finanziariamente l'attività di R&S e non a chi la realizza (performer). L'indicatore ha come riferimento la fonte di finanziamento e non chi la realizza. Gli stanziamenti pubblici per R&S possono essere distribuiti in base ai contenuti scientifici dei programmi o dei progetti di R&S, e in base alle loro finalità utilizzando a questo scopo una specifica classificazione per obiettivi socio-economici volta a individuare la finalità di policy cui l'investimento è destinato. Le statistiche ufficiali adottano la classificazione dell'Unione Europea "Nomenclature for the Analysis and Comparison of Scientific Programmes and Budgets" (NABS) che individua 14 macro-obiettivi socio-economici. Da questa classificazione NABS non è tuttavia possibile centrare il perimetro specifico dei finanziamenti orientati all'attività di R&S per prodotti e servizi ICT. Lo stanziamento pubblico è poco indicativo della consistenza effettiva dell'investimento pubblico in R&S in ambito ICT perché gli stanziamenti pubblici destinati all'università o alla ricerca non orientata possono avere come destinazione lavori di ricerca connessi alle tecnologie ICT ma che non sono tuttavia rilevabili attraverso le informazioni dei bilanci pubblici. È possibile stimare gli stanziamenti pubblici per attività R&S in ambito ICT non solo in base agli obiettivi di finanziamento, ma anche in base ai settori di realizzazione attraverso i codici NACE, anche se le stime sono meno accurate. Una metodologia è stata sviluppata nell'ambito del progetto PREDICT che arriva a stimare lo stanziamento pubblico in R&S nazionale per 37 settori NACE, di cui 7 appartenenti al settore ICT secondo la definizione OCSE.

Le serie storiche del progetto PREDICT si riferiscono al periodo 2006-2020 ed eventuali variazioni sono dovute alla indisponibilità di dati completi. Per alcuni indicatori e Paesi non sono disponibili dati OCSE o EUROSTAT relativi agli anni selezionati nel periodo di riferimento. I dati relativi al 2021 sono estratti dai database Eurostat. I dati per l'Italia al 2022 sono stati forniti da Istat.

Personale R&S

Il personale addetto alla R&S comprende tutti i soggetti che forniscono un contributo diretto ad attività o progetti di R&S all'interno o per conto di un'unità statistica che svolge R&S, siano essi assunti direttamente dalla stessa (internal R&D personnel) o ne siano collaboratori esterni percependo il proprio salario da fonti terze (external R&D personnel). Nello specifico, sono inclusi gli individui che, nell'ambito di progetti di R&S: a) svolgono lavoro scientifico e tecnico; b) assumono compiti di pianificazione o di gestione; c) si occupano della stesura di report intermedi o finali; d) forniscono servizi interni ad essi connessi; e) curano l'amministrazione degli aspetti finanziari o del personale. La definizione non include i soggetti che svolgono servizi ancillari o di supporto indiretto alle attività di ricerca (ad esempio, manutenzione e sicurezza per le unità statistiche che svolgono R&S).

I ricercatori svolgono un ruolo chiave nella conduzione dei progetti e delle attività di R&S.



Fanno parte del personale interno o esterno dell'unità statistica che svolge R&S, e sono impegnati nella creazione di nuova conoscenza, attraverso lo sviluppo di concetti, teorie, modelli, tecniche, strumenti, software e metodi operativi. I tecnici sono definiti quali soggetti qualificati che, nell'ambito di attività o progetti R&S, implementano mansioni scientifiche e tecniche seguendo le direttive dei ricercatori che sovrintendono al loro lavoro. Dello staff di supporto fanno parte il personale amministrativo, i segretari e gli impiegati che partecipano ai progetti di R&S o sono direttamente associati a tali progetti.

Alcuni indicatori sono presentati in proporzione alla forza lavoro complessiva o al sottinsieme degli occupati. Il dato della forza lavoro può essere influenzato da aumenti considerevoli degli inoccupati ovvero coloro che smettono di cercare lavoro, a causa della difficoltà a trovare un'occupazione. Un aumento forte degli inoccupati può distorcere in senso positivo o negativo la comparazione con altri Paesi.

Un ulteriore modo di proporzionare il personale consta nel rapportarne la numerosità alla misura equivalente a tempo pieno (ETP), ossia al dato sul tempo medio annuale effettivamente dedicato all'attività di ricerca.

Nel 2010 l'Istat ha effettuato una correzione dei dati sul personale impegnato in attività di ricerca in alcuni enti-non profit con un forte ridimensionamento della numerosità del personale non ricercatore (tecnici e altro personale).

Settore ICT

Il settore ICT fa riferimento alla definizione EUROSTAT e OCSE basata sulla Classificazione Internazionale delle industrie (ISIC 4), che raggruppa l'insieme delle attività ICT delle industrie manifatturiere, del commercio e dei servizi. La tabella inserita alla fine dell'Appendice dà l'aggregato di tutte le attività inserite nel perimetro ICT per i macrosegmenti: prodotti, servizi di telecomunicazione, servizi ICT, commercio ICT.



**Perimetro Settore ICT secondo la
definizione OCSE/Eurostat
(NACE Rev. 2)**

CLASSIFICAZIONE	DESCRIZIONE
261-264, 268, 465, 582, 61, 62, 631, 951	A. Totale ICT [a=b+ser]
261-264, 268	B. Industrie manifatturiere ICT [B=1-5]
261	[1] Fabbricazione di componenti e schede elettroniche
2611	[1.1] Fabbricazione di componenti elettronici
2612	[1.2] Fabbricazione di schede elettroniche caricate
262	[2] Fabbricazione di computer e periferiche
263	[3] Fabbricazione di apparecchiature di comunicazione
264	[4] Fabbricazione di elettronica di consumo
268	[5] Fabbricazione di supporti magnetici e ottici
465, 582, 61, 62, 631, 951	SER. Servizi ICT [ser=tw+c]
465	TW. Commercio e distribuzione ICT [TW=6+7]
4651	[6] Commercio all'ingrosso di computer, periferiche informatiche e software
4652	[7] Commercio all'ingrosso di apparecchiature e parti elettroniche e di telecomunicazione
582, 61, 62, 631, 951	C. Servizi ICT [C=8+9]
61	[8] Telecomunicazioni
611	[8.1] Telecomunicazioni cablate
612	[8.2] Telecomunicazioni wireless
613	[8.3] Telecomunicazioni satellitari
619	[8.4] Altre telecomunicazioni
582, 62, 631, 951	[9] Informatica e attività connesse [9=10+11+12+13]
582	[10] Pubblicazione di software
5821	[10.1] Pubblicazione di giochi per computer
5829	[10.2] Pubblicazione di altri software
62	[11] Programmazione, consulenza e attività connesse
6201	[11.1] Programmazione informatica
6202-6203	[11.2] Consulenza informatica e servizi informatici attività mgmnt
6202	[11.2.1] Consulenza informatica
6203	[11.2.2] Gestione delle strutture informatiche
6209	[11.3] Altri servizi informatici
631	[12] Elaborazione dati, hosting e attività connesse; portali web
6311	[12.1] Elaborazione dati, hosting e attività connesse
6312	[12.2] Portali web
951	[13] Riparazione di computer e apparecchiature di comunicazione
9511	[13.1] Riparazione di computer e periferiche
9512	[13.2] Riparazione di apparecchiature di comunicazione



Note:

1. "Research and Innovation performance of the EU", 2024, capitolo 4.
2. Sono alla base della Open Science o Open Innovation, amplificano le opportunità di ricerca riducendone tempi e costi e rafforzano il sistema della ricerca scientifica pubblica e privata attraverso la collaborazione, la condivisione aperta dei risultati; la trasparenza dei processi che hanno generato quei risultati, la possibilità di riusare quei dati e quei processi. Parlare di Open Science vuol dire essenzialmente dare all'intera comunità scientifica la possibilità di amplificare le opportunità di ricerca, riducendone tempi, costi e rafforzando, in questo modo, l'intero sistema della ricerca pubblica e privata. Dal 2015, la Commissione Europea cerca di promuovere l'Open Science, nella complessa ricerca del giusto equilibrio tra apertura, da un lato, e salvaguardia della proprietà intellettuale, dall'altro. In Italia, a giugno 2022, è stato approvato il Piano Nazionale per la Scienza Aperta, previsto dal Decreto Ministeriale n. 268 del 28 febbraio 2022.
3. <https://www.mimit.gov.it/it/incentivi/centri-di-competenza-ad-alta-specializzazione>.
4. <https://temi.camera.it/leg19/pnrr/politiche/OCD54-9/universita-e-ricerca.html>.
5. Corte dei Conti, "Relazione sullo stato di attuazione del PNRR", dicembre 2024.
6. In tema di credito di imposta per investimenti in ricerca e sviluppo, a partire dal 1° gennaio 2020, non sono agevolabili le spese sostenute per attività di ricerca svolte da commissionari residenti in Italia, sulla base di contratti con soggetti esteri. E ciò anche nel caso in cui tali spese si riferiscano ad attività che costituiscono prosecuzione di progetti iniziati nel corso di precedenti periodi d'imposta, <https://www.ipsoa.it/documents/quotidiano/2022/02/26/credito-imposta-r-s-2020-non-agevolabile-ricerca-commissionata-controllante-estera>.
7. La relazione della Corte dei Conti sull'avanzamento del PNRR (dicembre 2024) ha evidenziato che rispetto all'obiettivo rinegoziato di 6 mila borse di dottorati (tagliato da 15 mila), ovvero 2 mila per anno accademico, il valore conseguito è pari a 3.416 borse di dottorato assegnate, per una percentuale di conseguimento pari al 57%, mentre è ancora in corso la procedura di assegnazione per l'a.a. 2024/2025. Il MUR ha segnalato un grado di complessità alto per il raggiungimento dell'obiettivo di 6 mila borse assegnate entro dicembre 2024, per motivi da rintracciare sia nella distanza delle borse attualmente concesse rispetto al target, per il quale sono state previste dal d.m. n. 630 procedure di riallocazione che si sono chiuse a dicembre 2024 e che dovrebbero garantire il pieno raggiungimento dei target, sia nel numero di borse oggetto di rinuncia nei cicli precedenti, la cui imputabilità a target sarà stabilita dalla valutazione della Commissione Europea.
8. La legge 29 giugno 2022, n. 79 di riforma dei dottorati prevedeva l'istituto del contratto di ricerca, sola figura pre-ruolo in sostituzione dell'assegno di ricerca e della figura del ricercatore a tempo determinato tipo a (RTD-a), e una figura da ricercatore a tempo determinato in tenure track (c.d. RTT), idonea all'immissione nel ruolo di professore associato allorché il titolare della posizione sia in possesso dell'abilitazione scientifica nazionale. Malgrado l'abolizione della figura RTD-a e dell'assegno di ricerca, è stata in seguito più volte prorogata l'abolizione degli assegni di ricerca e i dottorati innovativi del PNRR prevedono ancora un inquadramento RTD di tipo a. Il DM n. 1170 di agosto 2024 ha introdotto figure con inquadramenti ancora diversi.



9. CNR, "Relazione sulla ricerca e l'innovazione in Italia", quarta edizione, settembre 2023, cap. 3.
10. Nel quadro della Milestone M1.C2-4 del PNRR e in coerenza con il "Piano di azione sulla proprietà intellettuale per sostenere la ripresa e la resilienza dell'UE", adottato dalla Commissione Europea.
11. Inaugurato il 1° giugno 2023, il brevetto unitario è un brevetto europeo per il quale il titolare abbia richiesto l'applicazione della validità unica in tutti gli Stati aderenti.
12. <https://taxfoundation.org/data/all/eu/patent-box-regimes-europe-2024>.
13. Nel periodo 2011-2021, il CNR ha depositato 478 domande di brevetto di priorità¹, a tutela di invenzioni generate nell'insieme delle sue attività che comprendono ricerca autonoma e ricerca finanziata, sia nell'ambito di rapporti di natura collaborativa con soggetti pubblici e/o privati sia nell'ambito di attività commissionate, tipicamente da soggetti privati. Da tali domande di priorità, depositate a piena titolarità dell'Ente o in contitolarità con altri soggetti, sono spesso derivate diverse estensioni internazionali, a tutela delle invenzioni in diversi Paesi/regioni. Per accompagnare le tecnologie sviluppate all'interno dell'Ente verso il mercato, è stata attivata una doppia linea di azione: da una parte, il (co)finanziamento di progetti di sviluppo e validazione di tecnologie proposte dai ricercatori dell'Ente (PoC amico) che ha facilitato l'innalzamento del TRL di due punti e il passaggio da invenzione accademica ad applicazione industriale di 8 progetti selezionati tra oltre 20 candidature, dall'altra la raccolta di finanziamenti per accelerare la tecnologia verso la costituzione di imprese spin-off, con l'avvio di progetti di sviluppo di tecnologie innovative e ad alto impatto, prevalentemente nei settori delle scienze chimiche e fisiche.
14. Diego Comin, Georg Licht, Maikel Pellens e Torben Schuber, "Do Companies Benefit from Public Research Organizations? The Impact of the Fraunhofer Society in Germany", Mannheim, ZEW – Leibniz Centre for European Economic Research, 2019.
15. <https://www.fraunhofer.it/>.
16. Pedro Llanos-Paredes, "The Effect of Applied Research Institutes on Invention: Evidence from the Fraunhofer Centres in Europe", London, London School of Economics and Political Science (LSE), 2023, https://eprints.lse.ac.uk/120473/1/Llanos_Paredes_effect_of_applied_research_institutes_published.pdf.
17. Il privilegio del professore prevede che, se un laboratorio universitario svolge un qualsiasi tipo di ricerca, il professore che guida il team di ricerca mantiene la proprietà intellettuale di qualsiasi invenzione derivata da quello sforzo collettivo. Dopo la sua abolizione, le università possono mantenere la proprietà del brevetto e concederlo in licenza se necessario. In Italia è stato introdotto nel 2021 e abolito nel 2023.
18. Elaborazione CNR dei dati presenti sui rispettivi siti istituzionali delle università e degli istituti di ricerca (anno di riferimento 2021), da CNR, "Relazione sulla Ricerca e l'Innovazione in Italia", quarta edizione, settembre 2023.
19. Charles Wessner e Federico Munari, "An Empirical Assessment of the ERC Proof-of-Concept Programme", Final Technical Report, - European Research Council Executive Agency and Scientific Council, dicembre 2017.
20. Per sostenere il percorso di innalzamento del livello di maturità delle invenzioni brevettate dai soggetti appartenenti al mondo della ricerca, il MISE ha sostenuto con 5,3 milioni di euro la nuova misura Bando PoC 2020 per finanziare attività di valorizzazione dei brevetti promosse dalle università, dagli enti pubblici di ricerca e dagli IRCCS attraverso progetti PoC. Nel 2022, il MISE ha rifinanziato la misura – e una nuova edizione del bando – mettendo a disposizione 8,5 milioni di euro a valere su fondi PNRR.
21. Per accompagnare le tecnologie sviluppate verso il mercato, CNR-UVR ha attivato una doppia linea di azione: da una parte, il (co) finanziamento di progetti di sviluppo e validazione di tecnologie proposte dai ricercatori dell'Ente (PoC amico) che ha facilitato l'innalzamento del TRL di due punti e il passaggio da invenzione accademica ad applicazione industriale di 8 progetti selezionati tra oltre 20 candidature, dall'altra la raccolta di finanziamenti per accelerare la tecnologia verso la costituzione di imprese spin-off, con l'avvio di progetti di sviluppo di tecnologie innovative e ad alto impatto, prevalentemente nei settori delle scienze chimiche e fisiche.
22. Questa proposta prende spunto dal sistema di ricerca applicata in Germania dove 76 centri di ricerca territoriali e 30.800 dipendenti fanno capo all'istituto pubblico Fraunhofer che gestisce un budget annuale per la ricerca di 2,8 miliardi di euro finanziati per circa un terzo da governi federale e statali (Länder) e il resto generati attraverso la ricerca da contratti con l'industria e da bandi per progetti di ricerca finanziati con fondi pubblici.
23. Le imprese ICT più strutturate con una divisione di R&S già utilizzano l'HPC per attività di simulazione e modellazione avanzate o allenamento di algoritmi di IA, per la progettazione di software di ultima generazione. Il supercomputer Leonardo ospita attività di IA/ Machine Learning per il 6% della sua potenza di calcolo, che invece è utilizzata per la quasi totalità per progetti scientifici in discipline quali fisica, astrofisica, meteorologia, ambiente (Anitec-Assinform, "Il Digitale in Emilia-Romagna", 2023).
24. Servizio Studi di "Monitoraggio dell'attuazione del Piano nazionale di ripresa e resilienza" della Camera, luglio 2024, <https://temi.camera.it/leg19/pnrr/politiche/OCD54-9/universita-e-ricerca.html>.
25. <https://openpnrr.it/misure>.
26. M4C2 Ambito 1: rafforzamento della ricerca e diffusione di modelli innovativi per la ricerca di base e applicata, condotta in sinergia tra università e imprese (cinque investimenti, per un totale di 6,46 miliardi di euro assegnati dal MUR). Ambito 2: sostegno ai processi di innovazione e al trasferimento tecnologico (tre investimenti, per un totale di 2,05 miliardi di euro assegnati dal MIMIT). Ambito 3: potenziamento delle condizioni di supporto alla R&I (tre investimenti, per un totale di 2,49 miliardi di euro, di cui 2,09 miliardi di euro assegnati dal MUR e 0,4 miliardi di euro dal MIMIT).
27. <https://www.mur.gov.it/atti-e-normativa/decreti-di-ammissione-al-finanziamento-avviso-3277-del-30-dicembre-2021>.





STATO E PROSPETTIVE DELLE QUANTUM TECHNOLOGIES IN ITALIA



LO STATO ATTUALE IN EUROPA E IN ITALIA

Le tecnologie e le applicazioni del Quantum

Le scienze e le tecnologie quantistiche sono alla frontiera dell'evoluzione della conoscenza non solo per la fisica ma anche per le applicazioni digitali.

Le tecnologie quantistiche sono basate su "qubit" (bit quantistici, ovvero particelle quantistiche). La manipolazione dei qubit da parte di dispositivi di controllo è alla base della capacità di elaborazione di un computer quantistico, facendo leva su due fenomeni unici:

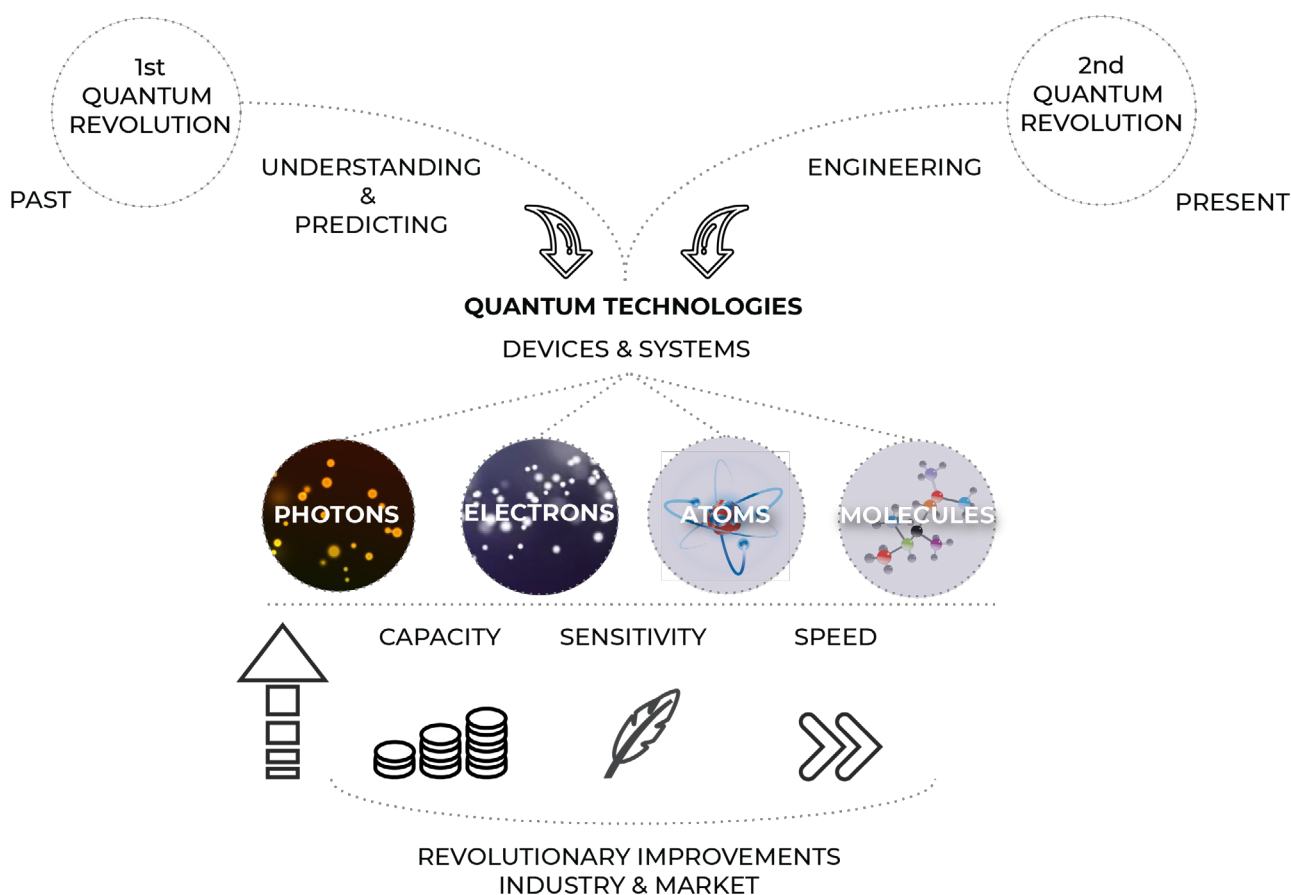
- la **sovrapposizione**, in cui le proprietà fisiche di un'entità quantistica rimangono indefinite fino a quando non vengono misurate, creando un meccanismo completamente nuovo per codificare le informazioni;
- l'**entanglement**, in cui le entità quantistiche, una volta misurate, manifestano delle correlazioni. L'azione su un'entità influenza istantaneamente l'esito delle azioni future sul suo gemello *entangled*, anche quando queste sono fisicamente separate.

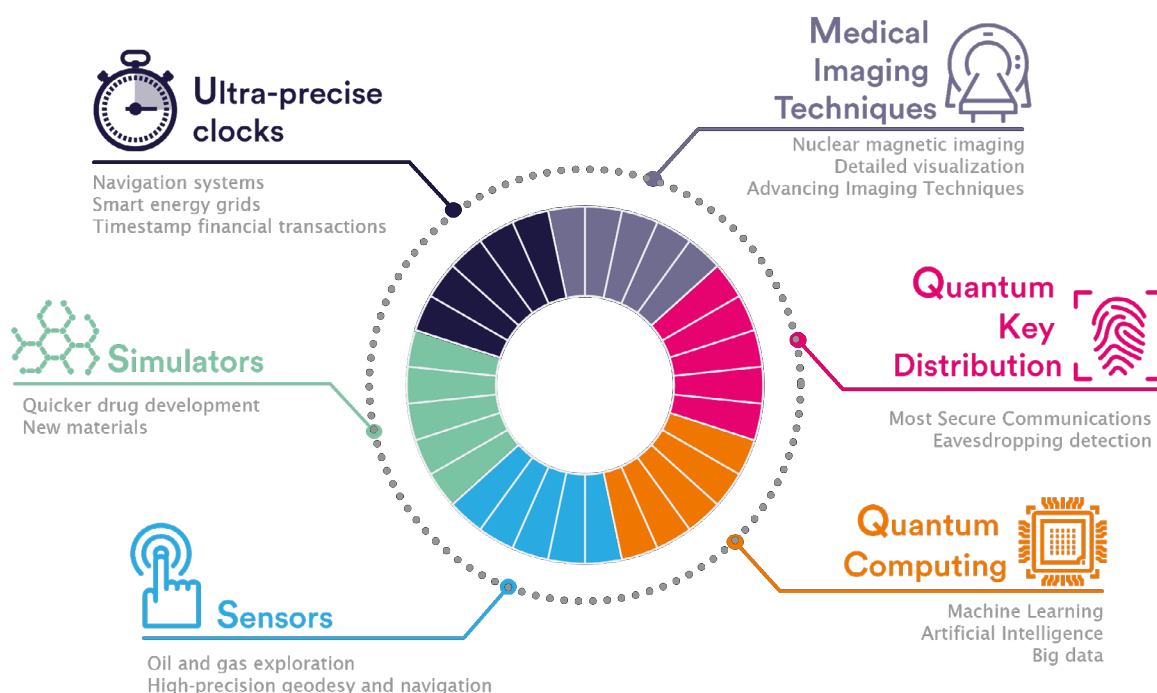
Portando i limiti quantistici a definire le prestazioni delle applicazioni di queste nuove tecnologie si arriverà a ottenere una crescita esponenziale delle potenze di calcolo, comunicazione di informazioni in modalità assolutamente sicura e misurazioni con precisione estrema.

Lo studio di questi fenomeni apre a grandi sfide in diversi campi applicativi: Quantum Computing, Quantum Communication, Quantum Imaging, Quantum Simulators, Quantum Sensors and Metrology¹ (Fig. 1).

FIGURA 1
Cosa sono le tecnologie quantistiche?

Fonte: Prof. Tommaso Calarco,
Università di Bologna





Queste nuove applicazioni del Quantum potranno essere utilizzate in modo trasversale in **diversi ambiti**: dalle comunicazioni al calcolo, dalla finanza alla sicurezza, dalle scienze della vita all'energia, dal settore manifatturiero e alle scienze ambientali e ai servizi (Fig. 2). Queste tecnologie promettono un grande salto in avanti in termini di velocità, precisione e sicurezza delle applicazioni. Diverse architetture quantistiche sono in fase di sviluppo nel nostro, come in tutti i maggiori Paesi e altre sono ancora in fase di ricerca. Un'articolata rassegna delle attività di ricerca appena ultimate o in corso in Italia, sia presso centri di ricerca che presso grandi aziende, è stata presentata a due eventi recenti: il "Quantum Computing Annual Meeting ICSC Research and Innovation Spoke10 Politecnico Mi" del settembre 2024² e il "Quantum Computing Workshop @ INFN" a Padova a fine ottobre 2024³. Se la piena transizione all'era del "calcolo quantistico fault-tolerant" (FTQC), con macchine in grado di eseguire calcoli con bassi tassi di errore, è lontana almeno un decennio, gli approcci ibridi classico-quantistico e di ispirazione quantistica già svolgono un ruolo fondamentale nella ricerca di soluzioni a problemi complessi in diversi campi. Numerosi casi d'uso sono stati illustrati nell'ultimo anno sia dai produttori di tecnologie Quantum che dagli osservatori economici⁴.

Quando le tecnologie quantistiche saranno a pieno regime daranno la possibilità di implementare applicazioni irrealizzabili con i sistemi classici. Se la diffusione commerciale del Quantum Computing propriamente detto si proietta su un orizzonte temporale almeno decennale, le tecnologie quantistiche per la sensoristica e la comunicazione sono invece molto più prossime al mercato, in particolare alcune tipologie di sensori, quali quelli magnetici, i sistemi di crittografia post-quantistica e le reti di comunicazione quantistica. Nell'informatica quantistica siamo nell'era Nisq (Noisy Intermediate-Scale Quantum), caratterizzata da dispositivi quantistici affetti da rumore. L'esplorazione di nuovi materiali mira a superare riduzione di peso, ingombro e costi, mentre si persegue il miglioramento dell'affidabilità dei componenti hardware, lo sviluppo di architetture di calcolo scalabili e tolleranti ai guasti e la creazione di tecniche pratiche di correzione degli errori. Secondo diverse fonti si prevede che entro 4-5 anni si avranno i primi prototipi di dispositivi quantistici in grado di raggiungere un livello di maturità sufficiente per ottenere un vero vantaggio quantistico⁵. Nel frattempo è già cruciale e strategico il ruolo degli

FIGURA 2

Le applicazioni del Quantum

Fonte: Prof. Tommaso Calarco,
Università di Bologna



emulatori quantistici che permettono di testare algoritmi quantistici su hardware classico, simulando il comportamento dei qubit (fino a un massimo di 30-40 qubit). Questo approccio offre alle aziende e ai ricercatori un'opportunità per iniziare a lavorare con il Quantum Computing, anche prima che i computer quantistici siano pronti per l'uso su larga scala e diventare così una realtà commerciale. Il NISC coordinato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare ha rilasciato la suite di applicazioni Quantum TEA (Quantum Tensor network Emulator Applications) che utilizzano metodi di rete tensoriale per simulare sistemi quantistici e risolvere attività di apprendimento automatico. La suite è ora accessibile alle aziende in cloud, insieme ad altri sei emulatori installati da CINECA sul Supercomputer Leonardo⁶. Un momento per arrivare al quale sono necessari ancora importanti investimenti e anni di sviluppo.

Attualmente il settore pubblico è il principale investitore nelle tecnologie quantistiche, poiché il costo elevato e la complessità rendono difficile per i player privati sostenere progetti su larga scala. In particolare, il Quantum Computing viene integrato nelle infrastrutture HPC, un innesto che genera valore già in questa fase, rappresentando un passo avanti verso l'adozione di un modello di calcolo ibrido, che combina le potenzialità del calcolo classico e quantistico per accelerare il processo di risoluzione dei problemi complessi. CINECA ha "collegato" due computer quantistici ai suoi sistemi e diversi centri di ricerca quantistica stanno lavorando su queste piattaforme ibride, mentre progressivamente si apre loro l'accesso a computer quantistici situati in Francia, Germania e Spagna nell'infrastruttura condivisa della rete europea di computer quantistici, attraverso progetti finanziati dall'Unione Europea⁷. Questo permette ai ricercatori di testare gli algoritmi su diverse architetture quantistiche. L'integrazione con l'HPC e lo sviluppo di algoritmi ibridi rappresentano un passo fondamentale per accelerare la transizione verso il momento in cui il Quantum Computing diventerà parte integrante del computing per le aziende.

Gli ambiti in cui si sta concentrando lo sforzo di messa a punto di casi d'uso e che con maggiore probabilità saranno impattati dal Computing quantistico sono la salute, la sicurezza informatica e la finanza⁸, con sviluppi interessanti anche in ambito manifatturiero, energetico e logistico. Nel settore industriale le prime a investire sul calcolo quantistico saranno le aziende che necessitano di elevate potenze di calcolo come quelle chimiche o farmaceutiche, e con la disponibilità di sistemi più versatili arriveranno investimenti anche dai settori aerospazio, automotive⁹. Ma serviranno piattaforme hardware più economiche ed efficienti e nuove tecniche algoritmiche per raggiungere il cosiddetto "vantaggio quantistico", per cui i computer quantistici diverrebbero più veloci dei computer classici nella risoluzione di numerosi problemi reali di grande rilevanza. Questo accadrà tra il 2030 e il 2040.

Nella **sensoristica quantistica**, oltre a un'estrema sensibilità e precisione diventano possibili misure non invasive senza contatto con tempi di risposta molto rapidi e misurazioni delle più piccole variazioni di tempo, gravità, temperatura, pressione, rotazione, accelerazione, frequenza e campi magnetici ed elettrici¹⁰. I sensori per il Quantum Imaging sfruttano le proprietà quantistiche della luce per realizzare sistemi di acquisizione di immagini a elevata sensibilità e risoluzione spaziale e spettrale. I casi d'uso attuali sono prevalentemente per difesa/aerospazio¹¹ e per industrie e applicazioni caratterizzati da produzioni massive, come l'elettronica, o di larga diffusione, come l'industria della salute e farmaceutica e il settore delle prospezioni geologiche ed energetiche. Tra le tipologie più adatte figurano i sensori di campo magnetico, applicabili nell'industria automotive e nei dispositivi indossabili, e gli orologi atomici, con un livello di accuratezza dell'ordine dei nanosecondi, tre ordini di grandezza superiore a quelli utilizzati nei dispositivi digitali attuali. La combinazione di orologi atomici e giroscopi o accelerometri quantistici potrà fornire capacità di navigazione di precisione, anche in ambienti privi di copertura GPS, con importanti applicazioni nel campo dei veicoli a guida autonoma, nello spazio, nell'industria e nella difesa, oltre che in ambito scientifico. Dopo il 2030 la riduzione di dimensioni e costo dei sensori permetterà l'allargamento delle applicazioni sopra elencate ad altri ambiti, quali il monitoraggio di infrastrutture come strade, dighe



o impianti industriali e la navigazione autonoma nell'industria automotive. Da sottolineare anche che i sensori quantistici avranno un ruolo fondamentale per le applicazioni trasversali del Computing quantistico e della comunicazione quantistica.

Nella **comunicazione quantistica** si riscontrano notevoli risultati nella ricerca anche da parte di operatori privati. Il focus di tecniche e applicazioni è sulla sicurezza dello scambio dei dati, in particolare sulle tecniche di crittografia quantistica, quelle di generazione di numeri "realmente" casuali, i ripetitori quantistici, e le tecnologie finalizzate alla realizzazione di un Internet quantistico, una rete di reti quantistiche che per fornire servizi di comunicazione quantistiche a organizzazioni sensibili alla sicurezza dei dati, oltre che per connettere computer quantistici presenti su cloud.

Vantaggi e Sfide del Quantum Computing



Il Quantum Computing offre una serie di potenziali vantaggi rispetto al calcolo classico, grazie alla sua natura squisitamente quantistica, che saranno apprezzabili solo quando la tecnologia diventerà sufficientemente matura. Ecco alcuni dei principali vantaggi e sfide.

Vantaggi

Velocità di elaborazione: tra i vantaggi più importanti della computazione quantistica rispetto al paradigma classico sicuramente c'è lo "speed-up" ossia una riduzione nel numero di risorse o tempo computazionale necessario per completarne l'esecuzione. Come riportato da quelli che sono stati degli articoli fondamentali del settore algoritmi come la "fattorizzazione dei numeri primi" (algoritmo di Shor) o la "ricerca di elementi in una lista non ordinata" (algoritmo di Grover) nella variante quantistica presentano uno speed-up, nel primo caso esponenziale e nel secondo quadratico, rispetto all'equivalente algoritmo classico.

Parallelismo intrinseco: fenomeno noto in letteratura come "quantum parallelism" che consiste nella capacità dei qubit di poter non solo acquisire alternativamente il valore zero o uno ma anche la coesistenza di entrambi. Questo fenomeno peculiare consente, negli algoritmi quantistici, di esplorare molte possibili soluzioni simultaneamente, piuttosto che in modo sequenziale.

Simulazione di molecole e sistemi fisici: come sottolineato dal premio Nobel alla fisica Richard Feynman, uno dei padri della computazione quantistica, uno dei punti forti di questo paradigma computazionale è la sua capacità di abilitare alla modellazione di modelli fisici/chimici/biologici altrimenti difficili o impossibili da trattare con la computazione classica. Permettendo così di accelerare il processo di ricerca e sviluppo in vari settori, dalla farmacologia alla scienza dei materiali.

Ottimizzazione: la formulazione matematica alla base del funzionamento dei qubit permette di poter mappare una classe di problemi di ottimizzazione, quelli che passano sotto il nome di Quadratic Unconstrained Binary Optimization Problems, abilitandone la risoluzione su macchine quantistiche.

Machine Learning, IA ed analisi dati: il paradigma di computazione quantistica offre un potenziale significativo per applicazioni nel Machine Learning e nell'analisi dei dati, ma solo la continua evoluzione della tecnologia potrà effettivamente aiutare a far emergere algoritmi confrontabili con gli equivalenti classici e permetterà di studiarne i potenziali vantaggi. ▶



Simulazione: diversi lavori hanno mostrato la capacità del paradigma quantistico di mostrare un vantaggio in termini di speed-up anche nel settore della simulazione Montecarlo, dove grazie anche alla proprietà del quantum parallelism è possibile rappresentare un gran numero di scenari superando la necessità di generare numeri random e permettendo di raccogliere uno speed-up rispetto all'equivalente classico (si veda <https://www.nature.com/articles/s41534-019-0130-6>).

Sfide

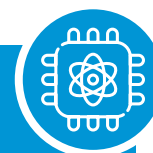
Rumore quantistico: lo stato della tecnologia attuale vede ancora hardware che implementano qubit estremamente sensibili all'interazione con l'ambiente esterno (decoerenza), tra gli stessi qubit (cross talk) oltre che gli errori più di origine classica nella lettura dei qubit (readout). Queste interazioni comportano la corruzione dell'informazione trasportata dal qubit inficiando il risultato del calcolo. Per combattere questa perdita di informazione la sfida è quella di aumentare la resilienza dei qubit andando ad aumentare i tempi di coerenza del qubit e limitare gli effetti dell'interazione tra qubit tramite lo sviluppo e l'applicazione di algoritmi di soppressione, mitigazione e correzione dell'errore (QEC). L'obiettivo finale rimane comunque la costruzione di quelli che prendono il nome di "qubit logici" ossia aggregati di qubit fisici capaci di realizzare la computazione secondo comportandosi in maniera "ideale".

Qualità delle operazioni: per ottenere un calcolo preciso è necessario minimizzare gli errori, oltre al rumore "fisico" è molto importante minimizzare anche l'errore dovuto all'applicazione delle operazioni di base (gates nel caso di computer quantistici gate based) così che per calcoli sempre più lunghi si riesca ad ottenere una propagazione limitata degli errori ottenendo così un risultato affidabile.

Tempi di esecuzione: per godere a pieno dei vantaggi della computazione quantistica sarà necessario che ciascuna delle operazioni di base sia svolta in un tempo sufficientemente limitato, in maniera da consentire l'esecuzione rapida degli algoritmi e poter misurare effettivamente lo speed-up teorizzato.

Competenze: carenza di figure specializzate in grado di supportare su larga scala lo sviluppo e l'adozione di questa tecnologia.

Prime applicazioni del Quantum Computing



Pur essendo ancora nelle fasi iniziali dello sviluppo e con molte sfide tecniche che devono essere superate prima di un utilizzo su larga scala, promette di rivoluzionare applicazioni in diversi settori.

Chimica e materiali. *Simulazione di molecole:* a un livello di precisione non raggiungibile dai computer classici, fondamentale per la scoperta di nuovi farmaci e materiali. *Catalisi chimica:* simulazioni per progettare nuovi catalizzatori che potrebbero rendere i processi chimici industriali più efficienti e meno inquinanti. ►



Medicina. *Progettazione di farmaci:* identificando rapidamente le molecole che potrebbero interagire efficacemente con specifici target biologici scoprendo nuovi farmaci. *Diagnostica medica:* migliorando l'analisi delle immagini mediche, rendendo più facile e veloce la diagnosi di malattie.

Finanza. *Ottimizzazione del portafoglio:* risolvendo in modo più efficiente problemi di ottimizzazione complessi (ad esempio, gestione del rischio, selezione del portafoglio). *Simulazione di mercati:* con una precisione maggiore, aiutando le istituzioni a prevedere meglio i movimenti del mercato.

Logistica e trasporti. *Ottimizzazione delle rotte di trasporto:* per ridurre i costi e migliorare l'efficienza. *Gestione delle flotte:* ottimizzando l'uso delle risorse e riducendo i tempi di inattività.

Intelligenza artificiale. *Machine learning:* accelera l'addestramento di modelli di machine learning, permettendo di risolvere problemi complessi in tempi molto più brevi. *Ottimizzazione degli algoritmi:* migliorando le prestazioni degli algoritmi di intelligenza artificiale, rendendoli più efficienti e accurati.

Sicurezza e crittografia. *Crittografia quantistica:* la crittografia quantistica offre un livello di sicurezza che non può essere violato dai computer classici, rendendo le comunicazioni più sicure. *Decifrazione di codici complessi* che attualmente sono considerati sicuri.

Energia. *Ottimizzazione delle reti energetiche:* il Quantum Computing può essere utilizzato per ottimizzare la distribuzione dell'energia nelle reti elettriche, migliorando l'efficienza e riducendo le perdite. *Simulazione di processi energetici:* le simulazioni quantistiche possono aiutare a progettare nuovi processi per la produzione e lo stoccaggio dell'energia.

Ambiente. *Modellazione del clima:* migliorando i modelli climatici, offre previsioni più accurate e aiuta a sviluppare strategie per mitigare i cambiamenti climatici. *Ottimizzazione delle risorse naturali:* riducendo gli sprechi e migliorando la sostenibilità.

Dinamiche diverse nelle filiere del Quantum

A livello globale, il mercato del Quantum Computing si attesta attualmente su livelli modesti: le stime di diverse fonti, a eccezione di una, sembrano convergere attorno a un valore complessivo tra 1 e 2 miliardi di dollari di spesa da parte degli utilizzatori finali per il 2023 (Tab. 1). Tuttavia la ripartizione tra i tre maggiori ambiti applicativi origina valori diversi tra le varie fonti, anche per differenze metodologiche e definitorie del mercato. Lo stesso vale per gli scenari di sviluppo che portano a una forchetta molto ampia di valori attesi entro il 2040 che vanno da una decina di miliardi di dollari a più di 100 miliardi di dollari. Come puntualizzato dai diversi istituti di ricerca molte delle ipotesi che guidano gli scenari sono legate ai progressi nello sviluppo tecnologico e alla capacità di fare diventare le tecnologie Quantum dei veri e propri mercati, capacità che dipendono molto dalla diffusione della consapevolezza dei benefici di queste tecnologie, che può avvenire a velocità molto diverse da regione a regione e da settore a settore. Il consenso è comunque verso un maggiore ottimismo grazie all'aumento degli investimenti pubblici e alla crescita del venture capital.

In Italia nel 2023 non ha raggiunto i 10 milioni di euro. Malgrado l'aumento di consapevolezza sulle potenzialità dirompenti di questa nuova generazione di tecnologie basate sulle proprietà quantistiche della materia, resta molto diffusa l'incertezza nel mondo imprenditoriale per l'attuale carenza di esempi di applicazioni industriali concrete. Alcune tecnologie di base per il calcolo quantistico hanno bisogno ancora di tempo per poter passare dalla fase di sperimentazione a quella di applicazione su larga scala,



TABELLA 1
Scenari sviluppo mercati
tecnologie Quantum fino al 2040
(Mld \$)

ma una volta raggiunto questo traguardo porterà innovazioni radicali in molti ambiti¹². Intanto la tecnologia Quantum continua a crescere e progredire. Il 2023 ha visto un'ondata di offerte nuove o migliorate (ad esempio, start-up che hanno reso il loro calcolo quantistico accessibile attraverso il cloud) e significativi progressi tecnologici, in particolare nella correzione e mitigazione degli errori quantistici, nonché un piccolo aumento dei brevetti depositati. Le iniziative nella ricerca diventano sempre più collaborative¹³ e cominciano ad affacciarsi anche sullo sviluppo delle piattaforme e delle applicazioni specifiche di settore. Inoltre, sono aumentati notevolmente i programmi con un focus maggiore sulla tecnologia quantistica offerti dalle università, con l'Unione Europea in testa al numero di laureati negli ambiti legati al Quantum.

Anche le dinamiche competitive si stanno diversificando all'interno del Quantum Stack (Fig. 3). Se la sfida nello sviluppo dell'hardware di calcolo quantistico è centrale a livello informatico, si stanno aprendo maggiori spazi di mercato nei settori della sensoristica e della comunicazione quantistiche, oltre che nello sviluppo di software quantistico per i player

	2022	2023	2024	2027	2030	2032	2034	2035	2036	2037	2040
Quantum Computing											
BCG											90-170
Fortune Market Insights		0,9	1,2			12,6					
Gartner											
IDC	1,1			7,6							
IDTechEx			0,01				0,28				1,6
McKinsey		5-9	8-15		16-37			28-72			45-131
Research Nester			1,7							52,8	
Statista	0,9			8,6							9-93
Quantum Sensing											
Allied Marker Research	0,3					1,1					
IDTechEx			0,3				1,4				3,7
Inside Quantum Technology		0,7				1,9					
McKinsey					0,7-1			0,5-2,7			1-6
Research Nester			22						76		
Statista											1-7
Quantum Communications											
IDTechEx			0,1				1,2				
Markets and Markets			0,7		5,5						
McKinsey								11-15			24-36
Research Nester			1,1							30,2	
Statista											1-7

Fonte:

<https://www.alliedmarketresearch.com/quantum-sensors-market-A15745>

<https://www.bcg.com/publications/2024/long-term-forecast-for-quantum-computing-still-looks-bright>

<https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/steady-progress-in-approaching-the-quantum-advantage>

<https://www.fortunebusinessinsights.com/quantum-computing-market-104855>

<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS51160823>

<https://www.idtechex.com/en/research-report/quantum-technology-market-2024-2034-trends-players-forecasts/1005>

<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/quantum-communication-market-143942501.html>

<https://www.researchnester.com/reports/quantum-computing-market/4910/market-size>



medi e piccoli con buone competenze scientifiche e tecnologiche e capacità industriali. Per le imprese ICT italiane si ipotizzano interessanti opportunità di investimento nell'integrazione di sensoristica quantistica in sistemi per applicazioni biomedicali, aerospaziali o di altra natura, nello sviluppo dell'elettronica di controllo e processamento del segnale, e in quello del software. Ciò sarà possibile anche senza sviluppi nelle tecnologie quantistiche propriamente dette, dal momento che in una prima fase i sistemi più diffusi saranno di natura ibrida classico-quantistica. Per entrare e operare con successo in questa filiera saranno comunque fondamentali le competenze per parlare il linguaggio delle tecnologie quantistiche, al fine di comprenderne il funzionamento e le problematiche. Un'ultima ma non meno importante caratteristica dell'evoluzione delle tecnologie quantistiche riguarda il fatto che, a differenza di altre tecnologie digitali emergenti, nel campo del Quantum Computing il ritardo dell'Europa nello sviluppo tecnologico rispetto a Stati Uniti e Cina è inferiore: le tecnologie non sono ancora mature e le diverse tecnologie proprietarie nate dalla ricerca condotta in tutto il mondo dalle molteplici start-up finanziate negli ultimi anni non sono ancora adottate in modo diffuso.

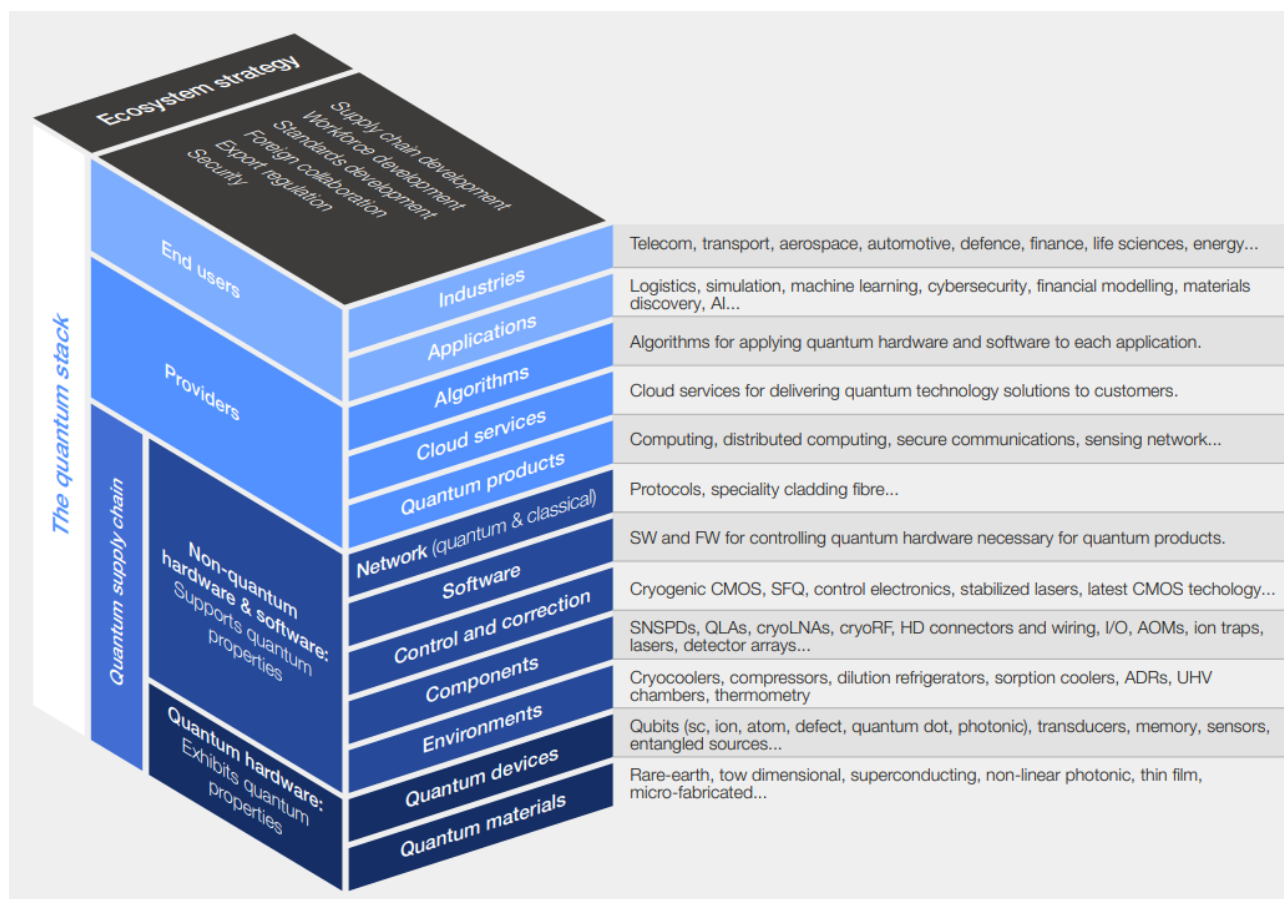
Sugli approfondimenti legati ai campi applicativi e agli ambiti di utilizzo nonché sulle tendenze per la filiera del Quantum in Italia si rimanda ai white paper pubblicati da Anitec-Assinform e realizzati con la collaborazione del CNR¹⁴. Partendo da uno scenario comune, i white paper approfondiscono distintamente due temi: le peculiarità e le applicazioni in molti dei settori dell'economia rese disponibili dalla tecnologia Quantum applicata all'IT e la Next generation per quanto riguarda il livello di sicurezza delle comunicazioni digitali.

Questa analisi si concentra sui Programmi di ricerca e sulle ultime iniziative in ambito Quantum messe in campo in Italia e in Europa, e sulle prospettive della ricerca e sulle misure specifiche di policy auspicabili nel breve periodo per un'accelerazione dello sviluppo della Quantum Industry in Italia.

FIGURA 3

Quantum Stack: componenti e materiali

Fonte: QED-C, Tracking the Global Supply Chain: A Framework for the Quantum Industry, 2023



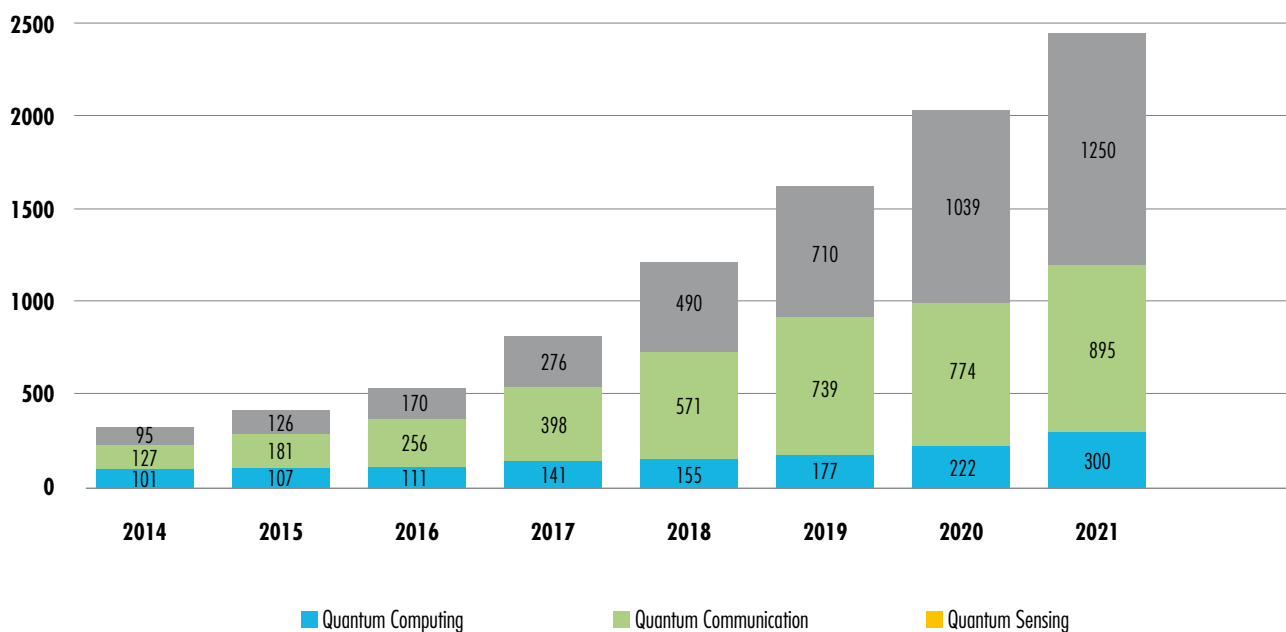
Brevetti Quantum e trasferimento dalla ricerca al mercato

Dopo un periodo di crescita limitata, a partire dal 2014, tanto in Europa che a livello globale, l'attività brevettuale si è ripresa con un'ondata di offerte nuove o migliorate (ad esempio, il calcolo quantistico accessibile attraverso il cloud), significativi progressi tecnologici (soprattutto nell'ambito della simulazione e del computing ibrido con HPC, nella realizzazione fisica dei computer quantistici, correzione/mitigazione degli errori quantistici, informatica quantistica e intelligenza artificiale/apprendimento automatico¹⁵) e un notevole aumento dei programmi di tecnologia quantistica offerti dalle università, con l'Unione Europea in testa. Ma dal 2022 il rilascio e la pubblicazione di brevetti non registra più una crescita sostenuta come negli anni precedenti, indicando potenzialmente che le sfide tecnologiche si fanno più complesse e richiedono più tempo. Secondo il Quantum Technology Monitor 2023 di McKinsey, nel 2022 sono state depositate 1.589 domande di brevetto per tecnologie Quantum, il 61% in meno rispetto al 2021¹⁶, e si è avuto un declino anche per gli articoli pubblicati in ambito Quantum (44.155 articoli, il 5% in meno rispetto al 2021). Per il 2023 sempre McKinsey ha stimato una crescita dell'1%, anche se su un perimetro 2021 di base più ampio rispetto a quello pubblicato l'anno precedente. Mentre il numero dei depositi brevettuali è ancora basso in Europa, l'attività brevettuale sta prendendo slancio nel campo dell'informatica quantistica, con un aumento generale del numero di domande di brevetto superiore rispetto a tutti i campi della tecnologia. Particolarmente dinamici sono i sottosettori "realizzazione fisica dei computer quantistici", "correzione/mitigazione degli errori quantistici" e, il più dinamico di tutti, "informatica quantistica e intelligenza artificiale/apprendimento automatico"¹⁷. Trend simili sono evidenziati dal Consorzio Europeo dell'Industria del Quantum (QuIC), anche se la metodologia utilizzata da QuIC è molto restrittiva in termini di assegnazione del brevetto all'ambito Quantum rispetto all'analisi alternativa sviluppata da McKinsey su fonte PatSnap (Fig. 4).

FIGURA 4
Brevetti* Quantum per famiglia tecnologica, 2014-2021

Fonte: QuIC e Orbit Intelligence

*Primi depositi di brevetto per data di priorità

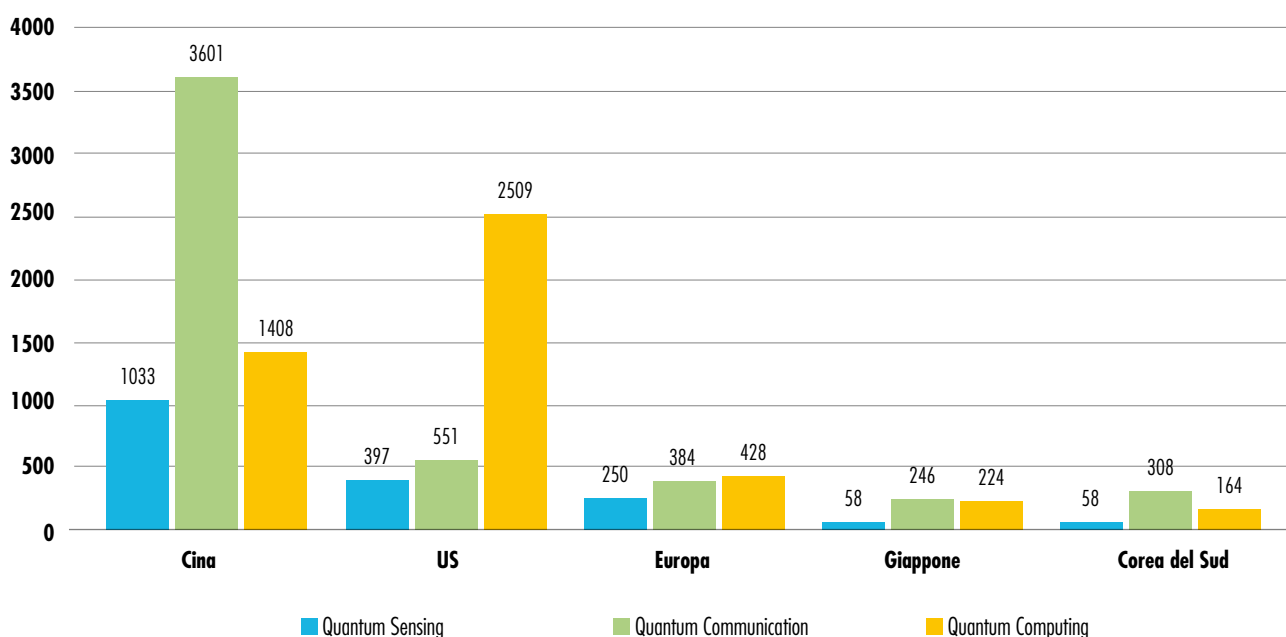


Con riguardo al **mix geografico**, dall'analisi dei brevetti Quantum assegnati tra il 2014 e i 2021 per famiglia tecnologica emerge la posizione dominante di USA e Cina, con una prevalenza per, rispettivamente, il calcolo quantistico e la comunicazione quantistica, mentre l'Europa possiede una quota decisamente inferiore e non ha un focus specifico rilevante (Fig. 5). Anche considerando che la Cina ha pochissimi brevetti estesi oltre la Cina e misurando la quota europea nel solo perimetro dei brevetti in attesa di estensione in due (o più) Paesi risulta che l'Europa, con il 22%, ha il doppio dei brevetti rispetto alla Cina (11%), ma meno della metà della quota USA (52%). Il divario con gli USA si riduce ma solo di poco considerando i soli Paesi dell'European Patent Office (EPO): solamente il 32% dei brevetti depositati in Europa proviene da un Paese europeo, contro il 6% che proviene dalla Cina e il 57% dagli USA. Queste differenze nella produzione di brevetti creano un rischio per l'Europa e per le imprese europee, che potrebbero trovarsi escluse dall'utilizzo delle tecnologie brevettate. Per salvaguardare l'autonomia dell'Europa e delle aziende europee impegnate nell'attività brevettuale nel mondo quantistico occorre una maggiore attenzione alla protezione della proprietà intellettuale da parte di produttori e governi per evitare il rischio di non potere utilizzare i brevetti come leva nei rapporti commerciali.

FIGURA 5
Brevetti* attivi Quantum per famiglia tecnologica e Paese/regione 2021

Fonte: QulC e Orbit Intelligence

*Concessioni



Il **panorama brevettuale** del Quantum evidenzia anche dinamiche interessanti dal punto di vista dell'interazione tra gli attori:

- il sistema dei brevetti sta attualmente incentivando la divulgazione pubblica verso un emergente bene comune dell'informazione quantistica soprattutto per gli operatori storici a grande capitalizzazione, mentre i nuovi operatori della tecnologia quantistica avranno maggiori probabilità di beneficiare di diritti di brevetto più forti;
- tuttavia si segnala anche la tendenza di dettagliare le caratteristiche hardware o divulgare come tecniche o applicazioni di livello superiore possano essere adattate o ottimizzate, in quanto permettono non solo di evidenziare le novità del brevetto, ma anche di differenziare efficacemente lo stato dell'arte e posizionarlo per potenziali sviluppi;
- si osserva molta vivacità nello sviluppo di brevetti in ambito middleware per la simulazione e il Computing ibrido HPC;
- l'informatica quantistica superconduttiva è l'approccio commercialmente più maturo e

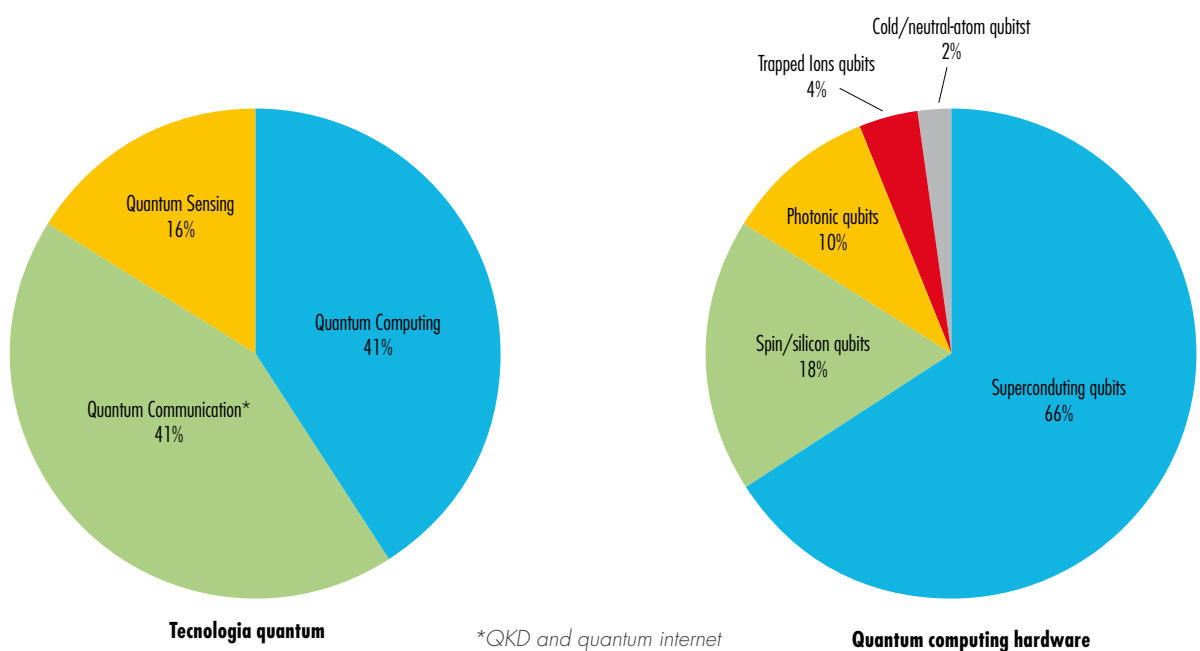


riflette l'influenza delle grandi aziende, ma, rispetto ai mercati dell'informatica classica, vi è una minore concentrazione tra i principali titolari di brevetti;

- man mano che i produttori iniziano a introdurre computer quantistici commercialmente validi che superano le controparti classiche e con entrate sostanziali, inizieranno a diventare bersagli per le rivendicazioni di brevetti, aumentando la concorrenza nel campo della proprietà intellettuale;
- a livello globale, oltre a note società a grande capitalizzazione, tra i principali assegnatari figurano PMI specializzate (ad esempio, D-Wave Systems), nuove imprese (ad esempio, Rigetti), università (ad esempio, MIT, Oxford, Yale, Harvard, Caltech, Stanford, U. Delft, U. California) ed enti governativi (ad esempio, US Gov, Japan Science & Tech, Gov. Abu Dhabi, Korea Elect Rest. Inst.);
- il volume delle domande di brevetto per la maggior parte delle modalità è ancora modesto rispetto ai settori più consolidati, questo campo relativamente aperto offre alle aziende opportunità uniche per ottenere brevetti ampi e di grande impatto;
- sebbene le aziende abbiano la possibilità di depositare brevetti a livello globale, c'è la tendenza a dare priorità ai depositi nei Paesi d'origine, seguiti dai depositi strategici nei principali mercati esteri. A livello di concessioni tale modello contempla la leadership di Cina, USA, Europa e Giappone nella ricerca e negli investimenti nell'informatica quantistica, ma riflette anche le loro significative dimensioni di mercato e i loro sistemi di brevetti consolidati. La novità più recente è che, in termini di numero di domande di brevetto depositate, l'Europa è arrivata a superare gli USA nel 2022;
- la percezione dell'informatica quantistica come una questione legata alla sicurezza nazionale potrebbe portare a ostacoli normativi per l'entrata in determinati mercati. La licenza di brevetto potrebbe diventare strategicamente vantaggiosa in mercati inaccessibili.

Nell'ambito del **Quantum Computing**, i progressi non sono solo nelle aree dell'informatica quantistica scalabile e della correzione degli errori quantistici, ma anche nello sviluppo di diversi approcci per la creazione di bit quantistici (qubit), con diverse metriche delle prestazioni come il numero di qubit, il tasso di errore, il tempo di decoerenza e la velocità del gate. La ripartizione tra le principali modalità evidenzia che il numero di domande di brevetto dirette al calcolo quantistico superconduttore, che ha il Technology Readiness Level più avanzato (ADLittle, <https://www.adlittle.com/en/insights/viewpoints/quantum-summer-or-winter>), ha generato due su tre dei brevetti attivi per il Quantum Computing Hardware (Fig. 6). Le altre

FIGURA 6
Brevetti attivi per segmento tecnologico Quantum e Quantum Computing Hardware
Fonte: QulC e Orbit Intelligence



Istituzione (Paese)	Numero di domande (2018-21)
Intel (US)	24
Deutsche Telekom (DE)	23
Arqit (GB)	20
Huawei Technologies Düsseldorf (DE)	20
LG Electronics (KR)	20
Toshiba (JP)	18
British Telecom (GB)	14
QuantumCTek (CN)	14
Huawei Technologies (CN)	12
MIT (US)	12
Ericsson (SE)	12
Fraunhofer (DE)	11
IBM (US)	11
PsiQuantum (US)	11
Eagle Technology (US)	10
Delft University of Technology (NL)	10
Corning (US)	9
ID Quantique (CH)	9
Microsoft (US)	9
South China Normal University (CN)	9

TABELLA 2

Istituzioni con più domande di deposito per brevetti transnazionali in ambito QComm negli anni 2018-2021

Fonte: Fraunhofer 2024

Metodologia: ricerca basata sia sui codici di classificazione brevettuale che testuale per titolo, abstract e rivendicazioni. Per consentire un confronto equo tra i Paesi, la ricerca è stata limitata alle domande di brevetto transnazionali, ovvero alle domande di brevetto presentate all'Ufficio europeo dei brevetti (EPO) o all'Organizzazione mondiale della proprietà intellettuale (OMPI). Questi brevetti si concentrano su invenzioni con un alto valore commerciale atteso.

modalità in ordine di rilevanza sono le domande per tecnologie basate su spin/silicon, metodi fotonici, a ioni intrappolati e topologici e ad atomo neutro. Le relativamente poche domande di brevetto per l'atomo neutro, la risonanza magnetica nucleare e l'informatica quantistica con azoto vacante indicano che queste tecnologie vengono sviluppate principalmente da istituzioni accademiche e da aziende in fase iniziale. L'aumento dell'attività brevettuale dell'informatica quantistica ad atomi neutri indica anche che, in un settore pieno di incertezze, che in futuro potrebbe favorire un'unica modalità o favorire la coesistenza o l'integrazione di più modalità, continua ad avere senso investire in aree meno protette perché potrebbe produrre rendimenti molto elevati. Investire in base ai segnali di un panorama brevettuale molto variegato è un fattore critico nella pianificazione strategica dei brevetti tanto quanto garantire una solida protezione brevettuale nella modalità principale.

L'attività brevettuale nel **Quantum Communication** (QComm) è dominata da USA, Cina e Giappone, anche se i brevetti cinesi sono prevalentemente a copertura domestica e quindi minore è la presenza di aziende cinesi nella classifica delle prime aziende per domande di brevetti transnazionali in QComm (Tab. 2). Le famiglie di brevetti relative alla QKD rappresentano attualmente circa l'80% di tutte le famiglie di brevetti (e l'internet quantistico ha di conseguenza circa il 20%).

Nel **Quantum Sensing**, sulla base dei primi depositi avvenuti nel 2021, il peso maggiore è associato ai centri NV. Le tecnologie SQUID/SQIF, basate sull'effetto Josephson, rimangono piuttosto attive, anche se possono essere considerate una tecnologia più datata; atomi freddi e atomi di Rydberg nell'insieme non arrivano al 20%.

Non va sottovalutato anche il **numero limitato di casi d'uso funzionanti**: la cre-



azione di nuove start-up sarebbe limitata proprio perché le possibilità di utilizzo sono ancora troppo poche e non sufficientemente sviluppate per l'implementazione commerciale, anche se, secondo il rapporto di IQM il numero di aziende che esplorano casi d'uso quantistici è raddoppiato, arrivando a 300, nel 2023. Le applicazioni principali includono la scoperta rapida di farmaci, la creazione di sistemi più sicuri dal punto di vista informatico e il miglioramento dell'ottimizzazione del portafoglio, la gestione del rischio e la prevenzione delle frodi nei servizi finanziari. Molte start-up in Europa hanno collaborato con grandi aziende per testare come le tecnologie quantistiche potrebbero potenziare le loro attività in futuro. La start-up svizzera Terra Quantum sta collaborando con il gigante bancario HSBC per ottimizzare l'asset allocation, PASQAL ha collaborato con l'azienda siderurgica sudcoreana POSCO per migliorare la sostenibilità del processo di produzione dell'acciaio e la britannica Quantinuum sta collaborando con BMW per sviluppare celle a combustibile, un componente chiave della mobilità alimentata a idrogeno.

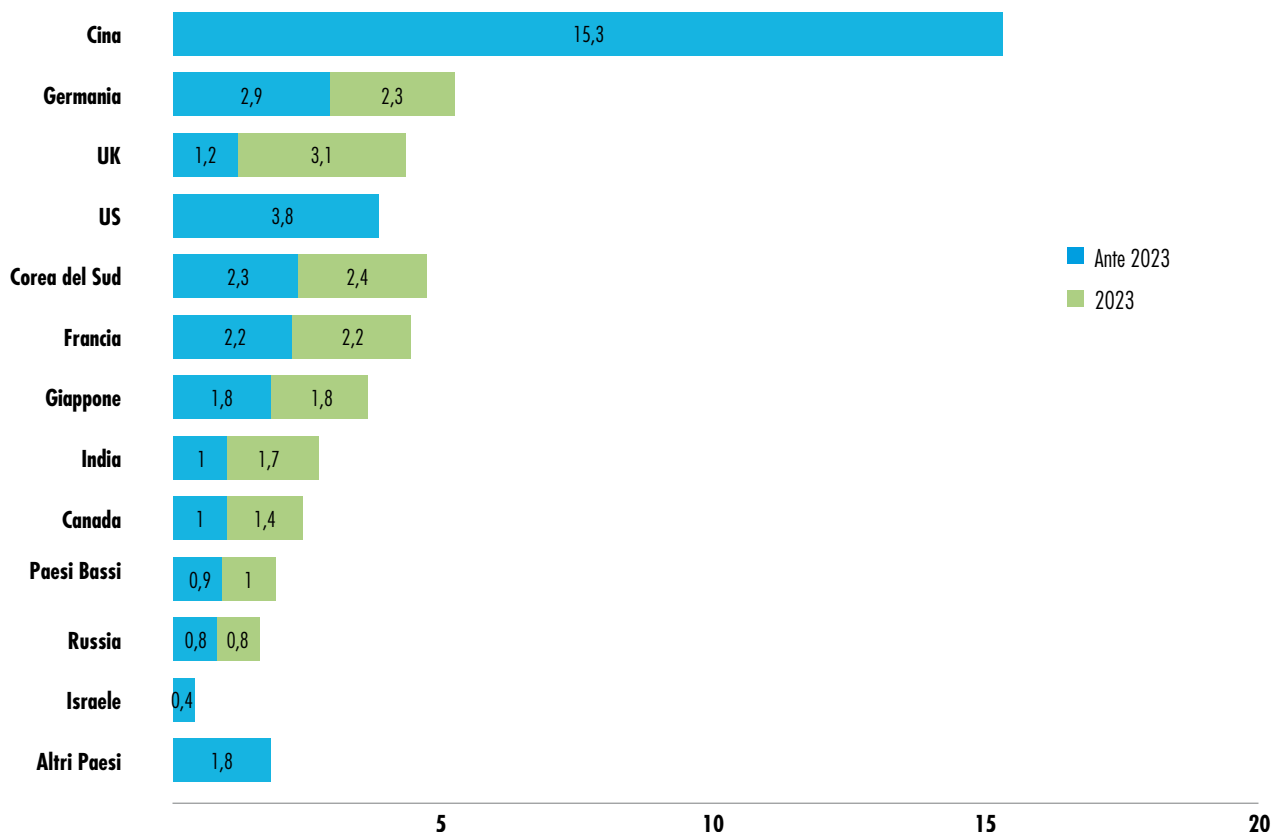
Finanziamenti pubblici in aumento e venture capital verso le scale-up

FIGURA 7
Investimenti pubblici*
nella ricerca in ambito Quantum
(Mld \$)

McKinsey Annual Quantum Technology
Monitor 2024

*Investimenti annunciati dai governi. La durata degli investimenti varia per Paese. I dati non sono esaustivi.

Essendo la tecnologia ancora in una fase prototipale, in mancanza di un volume di mercato sufficiente, sono i fondi governativi e il venture capital a trainare lo sviluppo degli ecosistemi del Quantum. Secondo McKinsey, i **finanziamenti pubblici** fino a oggi per le tecnologie quantistiche sono aumentati di oltre il 50% rispetto al 2022, arrivando a circa 42 miliardi di dollari¹⁸. Mentre la Cina con 15 miliardi e gli Stati Uniti con 3,8 miliardi hanno precedentemente dominato gli investimenti pubblici nello sviluppo di tecnologie Quantum, nuovi Paesi si sono aggiunti, come la Germania con 5,2 miliardi fino a oggi (di cui 2,3 miliardi annunciati nel 2023), Regno Unito con 4,3 miliardi (di cui 3,1 miliardi aggiunti nel 2023) e la Corea del



Sud con 2,4 miliardi (di cui 2,3 miliardi aggiunti nel 2023). Questi Paesi superano la Francia con 2,2 miliardi stanziati a oggi e il Giappone con 1,8 miliardi (Fig. 7). Altri finanziamenti di rilievo nel 2023 sono stati annunciati da Australia, Canada, India e Paesi Bassi.

La maggior parte di queste iniziative nazionali mira a stabilire la leadership e l'autonomia tecnologica, oltre a stimolare gli investimenti privati. Ad esempio, la National Quantum Strategy del Regno Unito con 3,1 miliardi di dollari di finanziamenti pubblici in dieci anni, mira a generare 1,3 miliardi di investimenti privati nelle tecnologie quantistiche.

Mentre i maggiori Paesi europei hanno stanziato fondi nell'ordine dimensionale dei miliardi di euro su un arco temporale anche fino a dieci anni, gli stanziamenti finora assicurati alla ricerca sul Quantum in Italia sono ancora nell'ordine delle centinaia di milioni su un arco di soli tre anni, attraverso la M4C2 del PNRR. È evidente che questi livelli molto limitati di investimento rispetto ai maggiori Paesi europei non risolvono l'arretratezza che abbiamo rispetto ad altri Paesi nell'innovazione quantistica non solo dal punto di vista HW ovviamente ma soprattutto software.

Al Centro Nazionale di Ricerca in High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing, gestito dalla Fondazione ICSC¹⁹, il PNRR M4C2I1.4 assegna 320 milioni, di questi circa 30 milioni di euro sono il budget dedicato allo Spoke 10 sulla computazione quantistica, a sua volta ripartito in finanziamenti da 3,2 milioni tra i sottosettori dello Spoke 10 con l'obiettivo di promuovere la creazione di una rete di collaborazione tra centri di ricerca, università e aziende.

Il secondo veicolatore dei Fondi PNRR in ambito Quantum è il partenariato esteso National Quantum Science and Technology Institute (NQSTI), lanciato a gennaio 2023, con un budget complessivo di 116 milioni di euro dalla Missione M4C2I1.3 del PNRR fino al 2025, con l'obiettivo di promuovere attività di ricerca fondamentale competitiva nella Quantum Science²⁰. Da questo budget circa 8 milioni sono allocati allo Spoke su Information Processing & Communication, e un'altra quota importante a ricerche a basso TRL (Technology Readiness Level) con potenziali impatti anche sul Computing. Nonostante sia un importante punto di partenza, i fondi governativi sulle tecnologie quantistiche nel nostro Paese sono ancora decisamente insufficienti se si vuole tenere il passo con gli altri Paesi.

Ulteriori co-finanziamenti alla formazione sono previsti per i dottorati in ambito Quantum attraverso il PNRR M4C2-I.3.3 "Introduzione di dottorati innovativi che rispondono ai fabbisogni di innovazione delle imprese e promuovono l'assunzione dei ricercatori da parte delle imprese".

I finanziamenti globali di **venture capital** per aziende specializzate in tecnologia quantistica nel 2023 hanno segnato invece un calo, secondo McKinsey²¹, del 27% (portando la quota a 1,71 miliardi di dollari, con circa il 74% allocato alle start-up attive nel Quantum Computing) o, secondo IQM²², del 50% (1,2 miliardi). Il calo segue la dinamica sostanzialmente piatta riscontrata nel 2022, quando gli investimenti erano aumentati solo dell'1% (arrivando a 2,35 miliardi) secondo McKinsey o stabili (0%, 2,2 miliardi) per IQM. Le start-up nella sensoristica e nelle comunicazioni Quantum registrano le maggiori diminuzioni.

Oltre a diminuire, la raccolta fondi è ancora più ardua per le nuove start-up Quantum, poiché circa il 78% delle operazioni riguarda aziende fondate prima del 2019, più consolidate e promettenti e con particolare attenzione alla loro scalabilità. Ne consegue che il funding delle sole nuove start-up è calato del 43% e il tasso di creazione di start-up a livello globale è rallentato e non ha tenuto il passo con gli investimenti, indicando che i flussi di capitali si stanno muovendo verso operatori consolidati.

La maggioranza degli investimenti è andata verso società statunitensi (più del doppio rispetto al Paese successivo), seguite da società in Canada e Regno Unito. Tra i diversi fattori che hanno portato alla diminuzione degli investimenti privati nelle start-up Quantum si evidenziano una crescente avversione al rischio degli investitori nei confronti delle start-up in fase iniziale e delle tecnologie o degli approcci non collaudati, una sottovalutazione del ruolo delle attività di sviluppo della simulazione quantistica su supercalcolatori di architettura tradizionale che potrebbero accelerare il passaggio alla fase successiva del Fault Tolerance quantistico, un significativo spostamento dell'attenzione verso l'IA genera-



tiva e la persistente percezione che le tecnologie Quantum si svilupperanno a lungo termine e il loro potenziale in vari settori sia ancora in fase di comprensione e valutazione. Se negli USA si è avuto un anno di consolidamento del ciclo di finanziamento dopo il picco di finanziamenti raggiunto nel 2022, in Europa si è registrata una maggiore dinamicità, con un aumento del 3% nel venture capital investito in aziende che operano in ambito Quantum, ma anche in questa regione con uno spostamento verso le aziende scale-up. La francese PASQAL ha raccolto 100 milioni di euro a gennaio; un mese dopo, la britannica Quantum Motion ha chiuso un round da 42 milioni di sterline, a ottobre la tedesca Quantum Systems ha completato il round di finanziamento di serie B da 63,6 milioni di euro e a fine anno la britannica Oxford Quantum Circuits ha raccolto una serie B da 100 milioni di dollari e la francese Quandelà una serie B da 50 milioni di euro. Questo conferma che gli investitori privati sono rassicurati dall'aumento costante in Europa degli investimenti in ambito Quantum, sostenuti da molti clienti soprattutto nei settori aerospaziale, farmaceutico e automobilistico. Tuttavia il Quantum rimane un settore di nicchia con una quota di meno dell'1% del totale dei finanziamenti di venture capital e molti investitori sono ancora scoraggiati dai costi elevati e dai lunghi cicli di sviluppo della tecnologia.

Ne consegue il rallentamento nella **creazione di nuove start-up Quantum** anche in Europa. Oltre alla preferenza dei finanziatori per le scale-up, tra le cause di questo calo vi sono anche un maggiore interesse degli investitori a finanziare le start-up in fase iniziale di intelligenza artificiale, nonché le condizioni difficili del mercato dei capitali, la mancanza di visibilità sulle start-up che decidono di rimanere in modalità "stealth" (invisibile) fino a quando le condizioni di mercato non migliorano, la carenza di specialisti più esperti (generalmente accademici specializzati nel Quantum) che potrebbero già lavorare in una start-up esistente.



Start-up e nuovi attori del Quantum in Italia

Algorithmiq start-up che opera nel settore del Quantum Computing, sviluppando software avanzato per applicazioni scientifiche con un focus su simulazioni molecolari e biotecnologie.

DSQM (Digital Superconducting Quantum Machines) spin-off dell'Istituto nanoscienze del CNR opera nello sviluppo di circuiti per le telecomunicazioni e i supercomputer basati sul Quantum.

Ephos nata dal CNR opera nel settore della produzione di chip fotonici quantistici che usano il vetro come substrato.

Eniquantic joint venture tra ENI e ITQuanta per lo sviluppo di una macchina quantistica per ottimizzazione matematica, modellazione e simulazione, intelligenza artificiale e altre applicazioni a supporto della transizione energetica.

ITQuanta impegnata nello sviluppo di un simulatore quantistico basato sugli atomi di Rydberg, più stabile e affidabile per l'industria.

LevelQuantum per lo sviluppo di un sistema per la distribuzione satellitare di chiavi quantistiche per un protocollo di crittografia sicuro che utilizza le leggi della fisica.

Rotonium start-up deeptech impegnata nello sviluppo di un processore commerciale basato sull'Edge Quantum Computing.

QuantumNet specializzata sulle tematiche software legate al Quantum Computing.

QTI (Quantum Telecommunications Italy) spin-off dell'Istituto Nazionale di Ottica (INO) del CNR attiva nel settore delle comunicazioni quantistiche e in particolare della Quantum Key Distribution.

QuantumX utilizza le tecnologie quantistiche per ottenere simulazioni sempre più precise e compiere analisi sempre più sofisticate dalle applicazioni di calcolo avanzato in ambito finanziario.

SEEQC impegnata nello sviluppo di una piattaforma di calcolo quantistico digitale per le aziende.

ThinkQuantum start-up e spin-off dell'Università degli Studi di Padova, con l'obiettivo di offrire soluzioni tecnologiche quantistiche per la cyber security.



Domanda esponenziale di nuove competenze Quantum

Se nella fase attuale prevale la domanda di machine learning engineer e sviluppatori di codice in grado di produrre simulatori quantistici emulati su supercalcolatori²³, comincia a emergere la necessità di creare una base solida e diffusa di competenze quantistiche. Aziende, consorzi, università e start-up quantistiche stanno investendo nella formazione, attrazione e mantenimento di professionisti provenienti da un'ampia varietà di discipline e competenze. È in crescita la domanda di esperti con competenze che spaziano dalla fisica quantistica, alla teoria dell'informazione quantistica, all'informatica con particolare attenzione alla teoria della complessità e ai compilatori e all'ingegneria del software. Una comprensione completa delle sfide future è essenziale per creare soluzioni scalabili efficaci per i sistemi operativi quantistici. Il Quantum Computing cambierà drasticamente lo scenario delle applicazioni di business in molti settori industriali. Questo richiederà nuove capacità di analisi sull'applicabilità delle tecnologie quantistiche in ambito industriale, finanziario, energetico, professionisti della programmazione quantistica, in grado di indirizzare i problemi attraverso algoritmi quantistici efficienti.

Questo non è semplice e, similmente all'intero settore ICT, il rischio di trovarsi con un collo di bottiglia importante è molto elevato anche per l'industria del Quantum. Diverse iniziative sono già in campo per garantire che un flusso costante di studenti e di esperti ICT già formati sulle tecnologie tradizionali sia formato con competenze in tecnologie Quantum, a diversi livelli:

- avvio di **nuovi corsi di laurea sulle tecnologie Quantum**. Se, in origine, i programmi di dottorato erano il percorso principale per entrare nel mercato del lavoro in tecnologie quantistiche, nel passato più recente sono aumentati i corsi di laurea e i master in tecnologie quantistiche (55% nel 2022 secondo McKinsey). In tutto il mondo le università offrono una gamma sempre più ampia di programmi, con l'Unione Europea in testa per numero di lauree nei campi rilevanti per il Quantum. Nel 2022 il numero di università con programmi in tecnologie quantistiche è aumentato dell'8,3%, a 195, mentre quelle che offrono master del 10%, a 55. L'Unione Europea e il Regno Unito hanno rispettivamente il numero e la densità più elevati dei laureati in tecnologie Quantum, seguita dall'India per numero e dall'UE per densità. Nuovi corsi accademici stanno formando esperti di processo per la fabbricazione di dispositivi quantistici e ibridi, progettisti di dispositivi, circuiti e sistemi quantistici per le comunicazioni e la sensoristica, sviluppatori di algoritmi di machine learning, esperti di simulazioni high-performance (ad esempio, per la farmaceutica, lo sviluppo di nuove proteine, la gestione di reti di comunicazione, trasporti, distribuzione di energia, esperti di sicurezza informatica e comunicazioni protette, sviluppatori di soluzioni economico-finanziarie basate sull'utilizzo di calcolatori quantistici;
- **conversione verso ambiti tematici del Quantum di corsi di laurea o master non ICT oppure tecnologici** ma non specifici;
- creazione di **nuovi pool di talenti all'interno della forza lavoro esistente o dei professionisti ICT esistenti**. Questo aspetto è fondamentale perché partire da skill già avanzati nella forza lavoro esistente e trasformarli in competenze quantistiche richiede meno tempo che partire da candidati con nessuna esperienza pregressa in ambito ICT. Piattaforme di formazione online sempre più avanzate attraggono candidati con background STEM o in altri domini e permettono di acquisire certificazioni specifiche. Questi nuovi corsi abilitano più iniziative congiunte tra la comunità quantistica e l'industria, promuovono percorsi di carriera tecnica più solidi e possono aiutare a reclutare e trattenere persone esperte di quantistica, senza richiedere un dottorato di ricerca;
- **attività di sensibilizzazione** sono sempre più diffuse per portare la quantistica agli educatori e aumentare la consapevolezza delle opzioni di una carriera quantistica.

Nel **breve periodo** la costruzione e il funzionamento dell'hardware Quantum Computing richiedono competenze interdisciplinari di fisica quantistica, termodinamica, fotonica, elettro-



TABELLA 3
Competenze necessarie per la
futura forza lavoro quantistica
 Fonte: QULC 2024

nica, teoria del controllo, elaborazione dei segnali e calcolo. Dal punto di vista del software, le competenze chiave richieste includono la logica sottostante, la rappresentazione dei dati, gli algoritmi computazionali, la teoria della complessità e l'accesso ai dati. Lo sviluppo di competenze software deve essere messo alla pari in termini di investimenti con quello delle competenze hardware. Lo sviluppo di algoritmi per computer quantistici richiede competenze in ogni campo dell'informatica classica, unite a una profonda comprensione della fisica atomica, fisica quantistica e computazione quantistica oltre a competenze in ottimizzazione matematica, machine learning, statistica, chimica quantistica, teoria dell'informazione quantistica. Il progressivo avvicinamento di molte tecnologie alla realizzazione del vantaggio quantistico richiederà l'utilizzo di conoscenze di dominio rilevanti per le aree di applicazione specifiche, come la scienza dei materiali, la progettazione di batterie o le previsioni meteorologiche fino alla capacità di tradurre i problemi aziendali in algoritmi che possono portare benefici quantistici. Lo stesso vale per le soluzioni di algoritmi crittografici. Gli architetti in Quantum Technologies, gli integratori di soluzioni e gli sviluppatori di software avranno bisogno di familiarità con Software Development Kit e librerie, dispositivi e servizi hardware quantistici, algoritmi esistenti e le loro applicazioni e meccanismi di integrazione. Nel rilevamento quantistico serve combinare una comprensione di base dei fenomeni quantistici con esperienza nei settori dell'ottica e della fotonica e con una formazione mirata nelle nuove tecnologie (ad

Tecnologia (prodotto/servizio)	Competenze richieste
Architettura hardware QC	Conoscenza dei sistemi fisici recenti e futuri e delle piattaforme utilizzate per l'elaborazione dell'informazione quantistica (ad esempio, ioni, atomi, elettroni, superconduttori, fotoni, ecc.) e delle tecnologie abilitanti necessarie per costruire un sistema di controllo qualità.
Architettura software QC	Progetta concetti e architetture e crea soluzioni aziendali per problemi computazionali complessi su computer quantistici, in base ai requisiti aziendali.
Soluzioni aziendali per il controllo qualità	Promuovere la consapevolezza del controllo qualità; Identificare e adottare le soluzioni giuste in base ai requisiti funzionali e non funzionali specifici del cliente.
Sviluppo software per il controllo qualità	Comprendere i fondamenti dei linguaggi di programmazione quantistica e QC, gli SDK e le loro interazioni in un'architettura applicativa.
Scienza dell'informazione quantistica	Comprendi come le discipline tradizionali come la fisica, la matematica, l'informatica e l'ingegneria possono essere sfruttate per migliorare notevolmente l'acquisizione, la trasmissione e l'elaborazione delle informazioni.
Chimica quantistica	Conoscenze di chimica computazionale; Applicazione della meccanica quantistica ai sistemi chimici.
Ottimizzazione quantistica	Comprendere e creare algoritmi quantistici per risolvere problemi di ottimizzazione.
ML quantistico	Comprendi gli algoritmi ML e applichi agli algoritmi QC.
Rilevamento quantistico	Comprendere l'uso di un sistema quantistico, le proprietà quantistiche o i fenomeni quantistici per eseguire la misurazione di una grandezza fisica; capacità di interpretare queste misurazioni nel contesto delle esigenze aziendali.
Fornitori di controllo qualità e servizi di cloud pubblico	Familiarità con il panorama contemporaneo delle aziende che offrono prodotti e servizi di controllo qualità; capire come vengono utilizzate le loro soluzioni.
Compilazione del circuito QC	Converti tra diverse architetture di dispositivi e ottimizza il circuito quantistico per un determinato sistema di destinazione.
Assemblaggio QC e ricerca e sviluppo a livello di impulsi	Esperienza nella costruzione, controllo, utilizzo, messa a punto o programmazione di basso livello di computer quantistici.
QComm	Competenza nella teoria dell'informazione quantistica e nel QComm — in particolare, argomenti come la QKD e l'internet quantistico.
FTQC	Capacità di lavorare con QEC, ad esempio, schemi come i codici di superficie.
Algoritmi quantistici variazionali per il controllo qualità	Comprendere gli algoritmi variazionali, parametrici e approssimativi. Familiarità con i circuiti parametrici (a volte noti come ansatz), ad esempio in ML e framework di ottimizzazione. Comprendere l'uso del principio variazionale nella costruzione di algoritmi QC.
Simulatori di controllo qualità (macchine virtuali quantistiche)	È in grado di utilizzare, codificare e ottimizzare i simulatori di controllo qualità, costruire e lavorare con modelli di rumore e simulare gli effetti quanto-meccanici di dispositivi e circuiti quantistici.
QuA	Familiarità con la teoria QuA, l'applicazione di QuA all'ottimizzazione e altri problemi.
Tecnologie abilitanti	Competenze ingegneristiche in elettronica, ottica e fotonica



esempio, orologi atomici, sensori magnetici o dispositivi di imaging quantistico). Man mano che la tecnologia diventa più robusta ci sarà una crescente domanda di competenze software, per creare modelli specifici di questi sensori, e di data scientist.

A **medio e lungo termine** con l'evoluzione delle nuove tecnologie Quantum dal primo sviluppo verso il "vantaggio quantistico" fino all'"ultimo miglio" della commercializzazione, anche la domanda di nuove competenze evolverà ulteriormente (Tab. 3). Nell'ambito della filiera dell'offerta delle soluzioni quantistiche e delle aziende "early adopters" si osserverà una quota crescente di competenze in grado di gestire le complessità di gestione, scalabilità e continuo aggiornamento dei sistemi. Ma per un utilizzo sempre più strategico delle tecnologie Quantum si guarderà anche a profili meno specializzati sulle tecnologie e più interdisciplinari, mentre industria e mondo accademico aumenteranno le collaborazioni per integrare aspetti tecnologici e business case in programmi di formazione e assicurare che le tecnologie Quantum siano immerse nei settori verticali il più pienamente possibile. Per arrivare a diffondere l'adozione delle nuove tecnologie Quantum serve una consapevolezza forte di vantaggi e sfide dei possibili casi d'uso e la capacità di comunicarli alle linee di business. Da una ricerca di EY emerge che un'azienda su due ritiene che la sfida più grande in termini di competenze non sia più solo sapere sviluppare la tecnologia Quantum, ma anche sapere e dimostrare come trarne vantaggio. Una grande parte delle organizzazioni accederà alle funzionalità di calcolo quantistico tramite il cloud, insieme ai servizi di Cloud Computing convenzionali. Includi i servizi di Private Cloud on premise che saranno fondamentali per accedere ai servizi di computazione avanzati erogati dai supercalcolatori che svolgeranno nei prossimi 5-6 anni un ruolo chiave nella simulazione di algoritmi quantistici utilizzando architetture IT tradizionali. Pertanto più che una profonda conoscenza tecnica, occorrono capacità e conoscenze per avere una comprensione ampia e funzionale della nuova tecnologia e dei concetti di calcolo quantistico in relazione alla gestione organizzativa e aziendale nel suo contesto competitivo e settoriale. Le aziende Quantum-oriented del futuro riconosceranno quando è vantaggioso utilizzare le tecnologie quantistiche e quando no e quindi quando fare appello a competenze tecniche più approfondite all'interno della loro organizzazione per supportare i loro obiettivi. Secondo McKinsey, attualmente l'Europa vanta il più alto numero di esperti in ambito quantistico con più di 135 mila laureati nel 2020 (ovvero una densità di 303 ogni milione di abitanti) contro più di 82 mila in India (densità di 58), quasi 58 mila in Cina (densità 41), più di 45 mila in USA (densità di 136).

Nell'ambito del programma Digital Europe sono finanziate due iniziative di sviluppo della forza lavoro quantistica, DigiQ (Digitally Enhanced Quantum Technology Master) e QTIndu (Quantum Technology Courses for Industry).

Quantum Technology Flagship ed evoluzione del funding europeo

Anche se tutte le principali regioni del mondo stanno investendo molto nel Quantum, una differenza importante tra Europa, USA e Cina risiede nel modo in cui gli obiettivi di sviluppo quantistico vengono indirizzati, dal mix tecnologico agli attori. In USA gli attori del Quantum sono, quasi esclusivamente, imprese private come IBM o Google, ma anche realtà più ridotte, altamente tecnologiche inserite nel mercato. L'Europa invece parte da un'offerta pubblica in grado di creare un network più trasparente e infrastrutture condivise più solide.

La **European Quantum Technology Flagship**²⁴, una delle iniziative su larga scala organizzate dal programma Future and Emerging Technologies, ha il triplice obiettivo di:

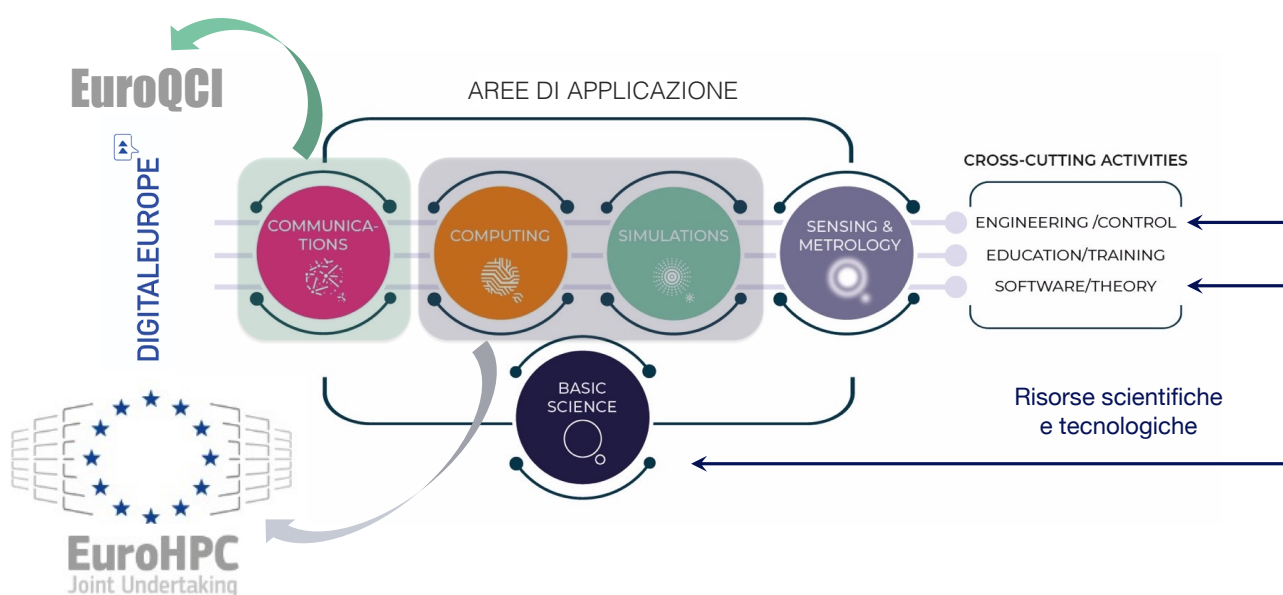
- consolidare ed espandere la leadership scientifica e l'eccellenza europee nel Quantum;
- dare il via alla creazione di un'industria europea competitiva della tecnologia quantistica;
- rendere l'Europa una regione dinamica e attraente per la ricerca innovativa, le imprese e gli investimenti in questo campo.



FIGURA 8
La Quantum Flagship Agenda di ricerca strategica europea

Fonte: Prof. Tommaso Calarco,
Università di Bologna

I bandi sui progetti sono pubblicati sulla base dell'agenda di ricerca della Flagship, garantendo che tutti gli attori siano allineati nel perseguimento di questi obiettivi. Approvata da oltre 3.500 rappresentanti del mondo accademico e dell'industria europea, la Quantum Technology Flagship è **stata lanciata nel 2018 con un bilancio di almeno 1 miliardo di euro su dieci anni** (Fig. 8). Ha finanziato oltre 5.000 ricercatori europei riunendo istituti di ricerca, mondo accademico, imprese, responsabili politici e finanziatori nella comune visione di sviluppare in Europa computer quantistici, simulatori e sensori interconnessi tramite reti di comunicazione quantistica. Il programma europeo per la **Digital Decade**²⁵ mira a far sì che l'Europa disponga del suo primo supercomputer con accelerazione quantistica entro il 2025, per essere all'avanguardia delle capacità quantistiche entro il 2030.



Nella **fase di avvio della Flagship (2018-2022)**, il suo bilancio complessivo è stato di 152 milioni di euro per un totale di 24 progetti, con oltre 1.600 ricercatori coinvolti. L'iniziativa ha finanziato progetti in quattro aree di applicazione principali:

1. informatica quantistica;
2. simulazione quantistica;
3. comunicazione quantistica;
4. rilevamento quantistico e metrologia.

Ha finanziato inoltre la ricerca sulla scienza di base a cui sono ancorate questi quattro settori sostenuti anche da attività trasversali come l'ingegneria, l'istruzione e la formazione e da iniziative di cooperazione internazionale.

Con risultati superiori alle attese questa prima fase della Quantum Technology Flagship pone così le basi per la creazione di una filiera continua tra ricerca fondamentale, ricerca applicata, sviluppo tecnologico e commercializzazione, per rendere attuabile la trasformazione della ricerca in applicazioni commerciali (Fig. 9).

Nel 2020 l'European Quantum Flagship ha pubblicato una **nuova agenda strategica di ricerca sulle tecnologie quantistiche** (SRIA)²⁶ per consolidare e avvicinare i risultati della ricerca allo sfruttamento industriale attraverso obiettivi migliorati per ciascuno dei quattro pilastri chiave dell'iniziativa e una tabella di marcia per trasformarli in realtà attraverso i nuovi progetti già in corso (Fig. 10). Alla nuova Agenda hanno contribuito oltre 2.000 esperti quantistici europei per delineare le tappe della visione a lungo termine di una cosiddetta "In-





FIGURA 9
I Risultati della Quantum Flagship

Fonte: Prof. Tommaso Calarco, Università di Bologna

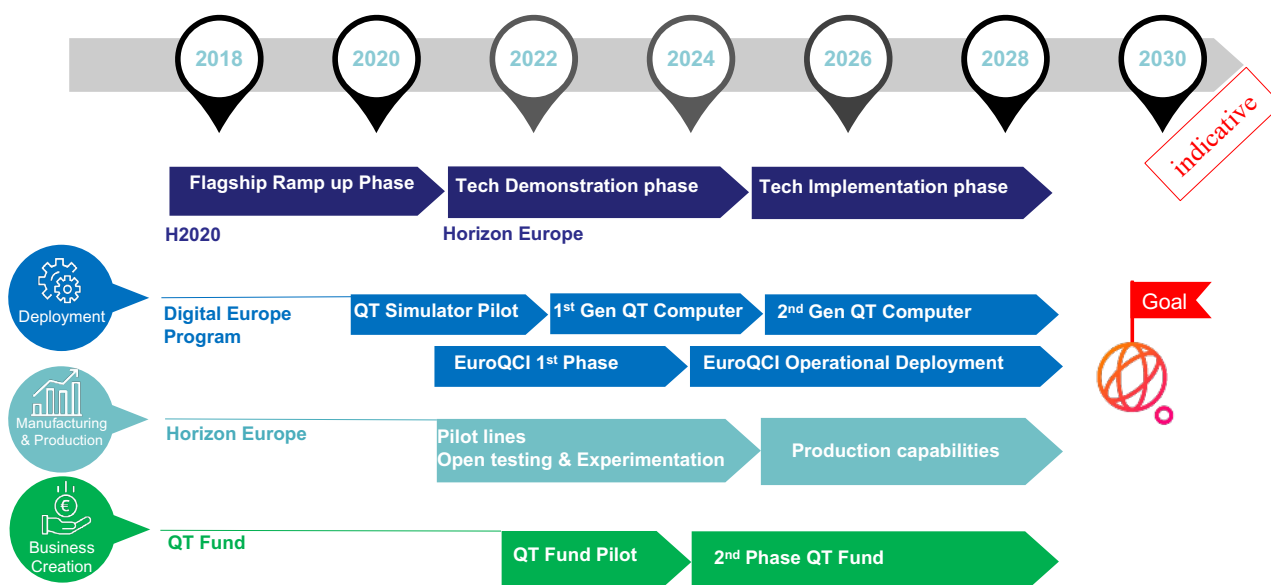
ternet quantistica", in cui computer quantistici, simulatori e sensori sono interconnessi tramite reti di comunicazione quantistica. La realizzazione di questa "Internet quantistica" richiede di:

- in ambito comunicazione, gettare le basi per una rete paneuropea fondamentale per lo sviluppo di EuroQCI²⁷, l'infrastruttura UE di comunicazione quantistica sicura;
- accelerare il futuro sviluppo industriale e il rafforzamento dei legami con altre iniziative dell'UE che riguardano le tecnologie quantistiche: in particolare EuroQCI, l'impresa comune europea per il calcolo ad alte prestazioni (EuroHPC JU), che sta già acquisendo i suoi primi computer quantistici, e l'European Chips Act.

Dal suo inizio, la Quantum Technology Flagship viene progressivamente affiancata da diversi altri strumenti di finanziamento, iniziative e azioni, che hanno sostanzialmente

FIGURA 10
L'agenda della ricerca europea sul Quantum

Fonte: Commissione Europea



più che raddoppiato il suo bilancio iniziale, trasformandola in un'intera "flotta quantistica" (Fig. 11).

Coordinata attraverso la Quantum Flagship's new Coordination and Support Action (QUCATS), la **fase attuale della Flagship (2022-2025)** si focalizza su:

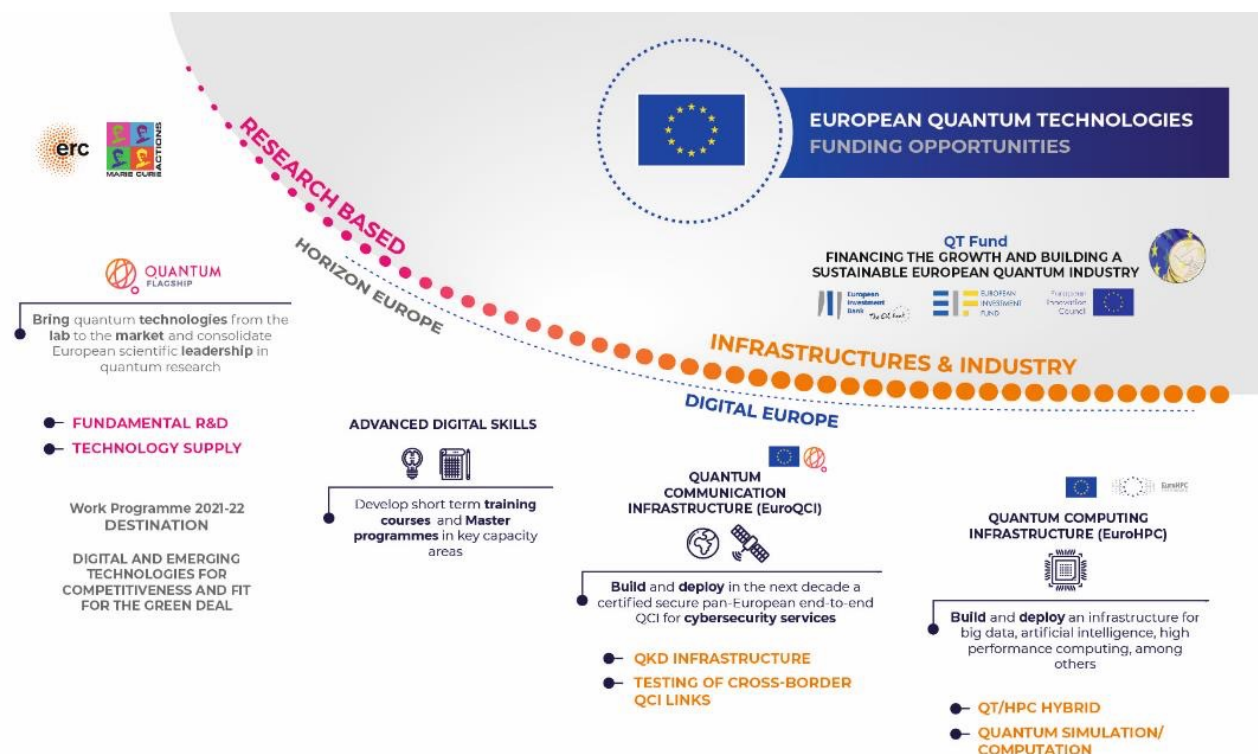
- sensibilizzazione, cooperazione e sfruttamento delle invenzioni;
- sviluppo di parametri di riferimento e di standard;
- istruzione e formazione di forza lavoro consapevole in termini quantistici.

Gli aspetti di infrastruttura e implementazione per la ricerca nelle fasi iniziali e la ricerca applicata sono confluiti sui canali di finanziamento di **Horizon Europe**, con un bilancio di oltre 400 milioni di euro e più di venti nuovi progetti in corso, con l'obiettivo di consolidare la ricerca e avvicinare i risultati allo sfruttamento industriale. Si è allargato l'orizzonte di intervento anche attraverso **Digital Europe** per il periodo 2021-2027 con lo sviluppo di infrastrutture e tecnologie per le attività a valle, come l'implementazione di computer quantistici e simulatori nel calcolo europeo ad alte prestazioni (**EuroHPC**) o l'attuazione di un'infrastruttura di distribuzione di chiavi quantistiche (QKD) nelle iniziative dell'infrastruttura europea di comunicazione quantistica (**EuroQCI**)²⁸. Si sono aggiunte le iniziative di supporto alle start-up dell'European Innovation Council e dell'European Investment Bank.

Per il periodo 2023-2024 la dotazione del Cluster 4 Digital, Industry and Space di Horizon Europe sul Quantum è di **40 milioni di euro**, di cui **25 milioni di euro** per la creazione di una rete paneuropea di gravimetri quantistici (sensori di gravità) per le misurazioni della gravità ad alta precisione in settori come l'osservazione della Terra e l'ingegneria civile. Altri 15 milioni di euro sono destinati a progetti transnazionali di ricerca e sviluppo nel campo delle tecnologie quantistiche di prossima generazione.

Per confermare l'impegno a finanziare i progetti Quantum anche dopo il completamento dei progetti finanziati con l'European Recovery Fund (PNRR) il Consiglio Europeo ha pubblicato la **European Quantum Computing Declaration** che tra dicembre 2023 e settembre 2024 è stata firmata da 26 Stati membri²⁹ a riconoscimento dell'importanza strategica delle tecnologie quantistiche per la competitività scientifica

FIGURA 11
Europe's commitment to QT:
Timeline: Commissione Europea
Fonte: Commissione Europea



e industriale dell'UE. Gli Stati firmatari si impegnano a collaborare allo sviluppo di un ecosistema di tecnologia quantistica di livello mondiale in tutta Europa e viene istituito un coordinamento interministeriale per gestire lo sviluppo dell'innovazione quantistica. Nel frattempo alcuni Paesi dell'UE hanno firmato o stanno negoziando accordi di cooperazione bilaterali (ad esempio, tra Francia e Paesi Bassi) e con Paesi terzi (ad esempio, Germania e Regno Unito, Paesi Bassi e Canada oppure gli accordi bilaterali di Germania, Francia, Paesi Bassi, Finlandia, Svezia, Danimarca con gli Stati Uniti)³⁰, per coordinare attività quantistiche, finanziamenti reciproci e scambi di studenti e ricercatori. La simultaneità di molte di queste iniziative non fa escludere il rischio di generare frammentazione. È in aumento anche l'impegno dei governi nazionali sul Quantum con strategie nazionali e reti dedicate di iniziative di co-finanziamento locale attraverso il Programma Quantum Technologies Public Policies in Europe (QuantERA)³¹ nella rete dello spazio europeo della ricerca (ERA-NET). Dal 2017 a fine 2023, collegando 41 organizzazioni di finanziamento della ricerca di 31 Paesi, QuantERA ha portato un finanziamento di oltre 118 milioni di euro per 101 progetti. Il rapporto sulle politiche pubbliche per il Quantum di QuantERA³² rileva che dei 31 Paesi europei analizzati nel 2023, 15 hanno un programma nazionale dedicato al finanziamento delle tecnologie Quantum o sono in fase di sviluppo, cinque Paesi, pur non avendo programmi nazionali dedicati o avendoli in cantiere, dispongono di meccanismi finanziari per sostenere la ricerca. La durata dei programmi di finanziamento nazionali varia notevolmente tra gli Stati. Aumentano anche le collaborazioni su attrazione di ricercatori, progettazione dei futuri finanziamenti, creazione di reti, scambio delle best practice.

Nella ricerca si fanno più frequenti le iniziative di co-design anche nei settori difesa, infrastrutture critiche, energia e clima. In Francia il Ministero della Difesa ha assegnato contratti a cinque società quantistiche nazionali per lo sviluppo di due prototipi di computer quantistici universali per i requisiti della difesa entro il 2032 in un programma noto come Proqima. Gli accordi quadro con Alice & Bob, C12, PASQAL, Quandela e Quobly hanno un valore fino a 545 milioni di dollari. La seconda fase del progetto prevede computer quantistici con 100-200 qubit logici su una scala temporale da sei a otto anni. La visione è che il programma di difesa alla fine avrà applicazioni pubbliche. EniQuantum, la joint venture fra ENI e ITQuanta, svilupperà una macchina quantistica integrata hardware e software, in grado di risolvere diversi problemi complessi, quali:

- generazione e stoccaggio di energia per il miglioramento dell'efficienza produttiva delle risorse energetiche, in particolare di quelle rinnovabili;
- modellazione e simulazione del comportamento della materia con tecniche di dinamica molecolare e meccanica quantistica, per la scoperta di nuovi materiali altamente performanti da applicare allo sviluppo di nuove fonti energetiche, come la fusione a confinamento magnetico;
- analisi avanzate di sistemi complessi per migliorare e ottimizzare le attività operative su tutta la catena del valore, a partire dal trading di energia e di altre commodities.

Questa macchina sarà anche in grado di avviare applicazioni del calcolo quantistico a supporto della transizione energetica utilizzando la capacità computazionale dei supercalcolatori HPC di ENI.

ENI aveva già avviato una collaborazione con PASQAL, nel 2022, per lo sviluppo di soluzioni HPC di informatica quantistica per il settore energetico. La start-up Planq ha ottenuto un finanziamento di 50 milioni di euro per affrontare i concorrenti globali con i computer quantistici Made in Germany basati su tecnologia sviluppata con il Max-Planck-Institute for Quantum Optics (MPQ). In particolare il nuovo finanziamento mira a creare un servizio cloud di calcolo quantistico e sviluppare software quantistico per applicazioni nella chimica, nella sanità, nella tecnologia climatica, nell'automotive e nella finanza.

L'orizzonte a lungo termine è di avere una "rete quantistica": computer quantistici, simulatori e sensori interconnessi tramite reti quantistiche che distribuiscono informazioni e risorse quantistiche come la coerenza e l'entanglement. Su di un orizzonte temporale di almeno dieci anni, l'aumento delle prestazioni quantistiche produrrà una potenza di calcolo senza precedenti, garantirà la privacy dei dati e la sicurezza delle comunicazioni e fornirà sincronizzazione e misurazioni ad altissima precisione per una gamma di applicazioni disponibili a tutti localmente e nel cloud.



Verso la produzione di scala di chip quantistici

La conversione dei risultati della Quantum Flagship in innovazione di mercato richiede lo sviluppo e la produzione di dispositivi quantistici su larga scala. I dispositivi quantistici sono attualmente in gran parte progetti proprietari “fatti a mano” inadatti per l'adozione su larga scala e le applicazioni del mercato di massa. La produzione di dispositivi quantistici su larga scala è possibile attraverso la produzione di chip quantistici³³, i quali sono cruciali per la miniaturizzazione dei dispositivi quantistici, per facilitarne l'integrazione con altri dispositivi (integrati), tra cui l'elettronica di controllo e la connettività, e migliorare l'affidabilità della fabbricazione.

In mancanza di investimenti in strutture specializzate necessarie per produrre tali chip, il rischio è che i produttori di dispositivi quantistici chiedano e ricevano i finanziamenti di cui hanno bisogno in altre regioni del mondo con il risultato che le competenze dell'UE in materia di tecnologie quantistiche alimenterebbero la creazione di campioni industriali non UE. Proposto a febbraio 2020 ed entrato in vigore a settembre 2023³⁴, l'European Chips Act vuole attenuare tale rischio. Nel quadro più ampio di sviluppo di un'industria dei chip europea, prevede lo sviluppo di linee pilota dedicate per la progettazione, la produzione a basso costo e ad alto volume e il collaudo di chip quantistici. Nello specifico:

- librerie di progettazione per piattaforme di qubit compatibili con i processi dell'industria classica dei semiconduttori (qubit basati su semiconduttori e fotonica), nonché per piattaforme di qubit alternative (qubit basati su superconduttori, ioni e atomi);
- linee pilota per integrazione di circuiti quantistici ed elettronica di controllo per ridurre la barriera d'ingresso per la produzione di componenti quantistici e accelerare i cicli di innovazione;
- strutture di prova e sperimentazione per test e validazione di componenti quantistici avanzati per chiudere il ciclo di feedback dell'innovazione tra progettisti, produttori e utenti di componenti quantistici.

Gli innovatori di chip quantistici hanno bisogno di accedere sia a camere bianche e fonderie dedicate per la prototipazione e la produzione, sia a strutture di prova in cui tali componenti possono essere esaminati e valutati. Per quanto riguarda il calcolo e la simulazione quantistici, esistono piattaforme qubit che potrebbero basarsi sui processi di fabbricazione consolidati dell'industria classica dei semiconduttori, che non solo potrebbero accelerare la capacità dell'UE di produrre in massa chip quantistici in modo riproducibile, ma anche facilitare l'integrazione di dispositivi quantistici come sensori o processori all'interno di microchip classici. Le piattaforme alternative (come atomi, ioni o fotoni) necessitano di librerie di progettazione e processi di fabbricazione innovativi e avanzati ad hoc. Le “capacità tecnologiche e ingegneristiche avanzate per accelerare lo sviluppo innovativo dei chip quantistici” del Chips Act apporteranno l'esperienza dell'industria dei semiconduttori, e “le capacità aperte di test e sperimentazione e di produzione pilota per le tecnologie quantistiche” l'esperienza dell'istruzione superiore.

La normativa sui chip è una leva importante per la European Quantum Flagship in quanto crea le condizioni e gli strumenti per portare le tecnologie quantistiche più promettenti “fuori dal laboratorio”, e così trasformarle in applicazioni commerciali che sfruttano appieno il potenziale del Quantum. In aggiunta dà all'UE la capacità (non presente all'interno dell'iniziativa faro stessa) di spostare i prototipi forniti dai progetti di ricerca verso l'alto nella scala TRL (Technology Readiness Level)³⁵.

La normativa europea sui chip ha proposto il quadro giuridico per un nuovo partenariato, l'“impresa comune per i chip”, sulla base dell'attuale KDT JU. Tale partenariato si basa sul suo predecessore, l'impresa comune “Tecnologie digitali fondamentali”. Ha nuovi obiettivi, un bilancio più consistente rivisto e un'operatività prevista fino al 2027.

I programmi quantistici nazionali sono insufficienti per lo sviluppo di processi di progettazione e produzione di chip quantistici a un livello di maturità tale da raggiungere una massa critica o la sostenibilità. Il coordinamento e l'aggregazione di queste iniziative ai sensi della normativa sui chip rende possibili importanti effetti di



scala, piuttosto che disperdere risorse nella creazione di attori subcritici. Inoltre garantisce che, indipendentemente dall'origine o dalla tecnologia di un dispositivo quantistico dell'UE, esso sia compatibile con i processi standardizzati di progettazione e produzione dei produttori europei che saranno sostenuti dalla normativa sui chip.

Chips JU ha allocato un budget di **200 milioni di euro di investimenti nei chip quantistici per il periodo 2024-2027**. Di essi, 65 milioni, finanziati attraverso Horizon Europe, sono dedicati a due bandi per accordi di partenariato quadro annunciati a settembre e in scadenza a gennaio 2025. Si tratta dei primi bandi di questo tipo sulle tecnologie quantistiche; ai 65 milioni di euro si aggiungerà il contributo analogo degli Stati membri.

Il bando **HORIZON-JU-Chips-FPA-QAC-1** ha come obiettivo quello di sostenere **due o più linee pilota** implementate attraverso un Accordo quadro di partenariato per una partnership a lungo termine tra Chips JU e consorzi di imprese, organizzazioni di ricerca e istituzioni nel campo delle tecnologie quantistiche. Le linee pilota di stabilità dovrebbero concentrarsi sul raggiungimento di un livello di maturità tecnologica (TRL) / livello di prontezza alla produzione (MRL) più elevato, migliorando le tecniche di produzione e integrazione su misura per soddisfare le esigenze dell'industria quantistica nel prossimo decennio. Le linee pilota possono riguardare la produzione di qualsiasi tipo di chip quantistici per il rilevamento quantistico, la comunicazione quantistica e il calcolo quantistico e dovrebbero essere rivolte alle tecnologie quantistiche più mature come gli atomi superconduttori, fotonici, semiconduttori, a base di diamante o neutri. Le proposte dovrebbero concentrarsi su piattaforme di elaborazione quantistica robuste e scalabili che aprano la strada all'industrializzazione della produzione di chip quantistici e alla commercializzazione degli stessi. Per ottenere un portafoglio diversificato, non sarà finanziata più di una linea pilota per tecnologia. Il risultato atteso è di avere almeno due linee pilota che portino a un'infrastruttura potenziata in grado di produrre chip quantistici ad alto rendimento, integrando varie tecnologie.

Il bando **HORIZON-JU-Chips-FPA-QAC-2** mira a sviluppare **un'infrastruttura di produzione scalabile per chip di calcolo quantistico a ioni intrappolati**, al fine di arrivare a processi di produzione automatizzati in Europa.

La linea pilota dovrebbe mirare ad accelerare in modo significativo l'industrializzazione e il time-to-market per l'ecosistema europeo dei chip a ioni intrappolati attraverso piani definiti di trasferimento di elementi o di tutta la tecnologia di processo ai partner industriali per la realizzazione di impianti di produzione di massa. Durante l'attuazione della linea pilota vanno soddisfatti KPI specifici, ad esempio, alto rendimento, chip quantistici di alta qualità, affidabilità, riproducibilità, prestazioni elevate e scalabilità della produzione. Piani di gestione dei rischi per la tecnologia e processi di produzione con tappe definite saranno adottati per un'attuazione realistica e limitata nel tempo.



Alcuni progetti Quantum di rilievo in Europa

L'UE prevede di disporre dei suoi primi computer quantistici entro il 2025 in sei siti specifici (attraverso l'impresa comune europea per il calcolo ad alte prestazioni EuroHPC JU): in Italia, con l'EuroQCS-Italy che sarà integrato nel supercomputer Leonardo all'interno del datacenter del Cineca al Tecnopolo di Bologna, LUMI-Q ospitato in Repubblica Ceca presso la sede del Centro Nazionale di Supercalcolo IT4Innovations di Ostrava, EuroQCS-France in Francia al Très Grand Centre de Calcul du Cea a Bruyères-le-Châtel, Euro-Q-Exa in Germania al Leibniz Supercomputing Cen-

tre vicino a Monaco, EuroQCS-Poland in Polonia al Supercomputing e Networking Center di Poznan e EuroQCS-Spain in Spagna al Barcelona Supercomputing Center. L'iniziativa europea per l'infrastruttura di comunicazione quantistica (EuroQCI) prevede di salvaguardare dati sensibili e infrastrutture critiche utilizzando le tecnologie di comunicazione quantistica per costruire una rete in fibra terrestre che collega siti strategici e una connettività sicura spaziale tramite satelliti (IRIS). I computer quantistici saranno cofinanziati dal bilancio dell'EuroHPC JU derivante dal



Programma Europa Digitale (DEP) e dai contributi dei pertinenti Stati partecipanti all'EuroHPC JU. L'impresa comune cofinanzierà fino al 50% del costo totale dei computer quantistici con un investimento totale previsto di oltre 100 milioni di euro (Fonte: dichiarazione stampa UE).

Oltre all'Unione Europea, anche a livello dei singoli Stati europei sono stati avviati una serie di programmi e iniziative, che vanno dal sostegno alla ricerca quantistica alla realizzazione di simulatori quantistici fino a data center per computer quantistici.

In Germania tra i simulatori di computer quantistici è di livello industriale quello in uso ad Amburgo realizzato dal consorzio QSea della DLR Quantum Computing Initiative tra NXP Semiconductors N.V., eleQtron e ParityQC. È il primo simulatore di computer quantistico full-stack basato su trappola ionica realizzato interamente in Germania, che consente l'accesso a risorse di calcolo quantistico per applicazioni di modellazione climatica, logistica globale e scienze dei materiali.

A Monaco di Baviera la startup tedesco-finlandese IQM Quantum Computers gestisce un cluster di sistemi quantistici, che attualmente ospita due computer quantistici ma con l'obiettivo di ampliare la capacità fino a dodici. IQM ha lanciato il suo primo computer quantistico prodotto industrialmente con processori quantistici a 50 qubit nel 2023. Con questo cluster IQM ha l'obiettivo di promuovere lo sviluppo di applicazioni industriali con capacità quantistiche, aprire l'utilizzo alla ricerca per migliorare le prestazioni e la tolleranza ai guasti dei computer quantistici e fornire alle aziende potenza di calcolo quantistico. Possibili casi di applicazione includono l'apprendimento automatico, la sicurezza informatica, l'ottimizzazione dei percorsi, la simulazione di sensori quantistici, la ricerca chimica e lo sviluppo farmaceutico.

IQM è impegnata anche nell'integrazione di un suo computer quantistico in un ambiente HPC professionale del sistema exascale del Leibniz Supercomputing Centre (LRZ) del consorzio GaQSea della DLR Quantum Computing Initiative, vicino a Monaco di Baviera, nell'ambito del progetto Euro-Q-Exa, citato ad inizio paragrafo. Qui, un computer quantistico IQM sarà integrato nel sistema exascale pianificato della LRZ. IQM aprirà un impianto di produzione ad alto rendimento per processori quantistici a superconduzione su larga scala, in Francia a Grenoble, integrando la fabbrica esistente in Finlandia.

Il 1° ottobre 2024 è stato inaugurato il primo Quantum Data Center europeo a Ehningen, grazie all'investimento di IBM, all'interno del quale sono attualmente installate due macchine quantistiche utility-scale con chip IBM Quantum Eagle a 127-qubit, e presto una terza con il nuovo chip quantum IBM Heron a 156-qubit.

Tutte sono tra le più avanzate attualmente disponibili sul mercato.

L'obiettivo del centro è fornire accesso al calcolo quantistico ad aziende e istituzioni europee, tra cui Bosch, Crédit Mutuel, E.ON e Volkswagen, per esplorare applicazioni che affrontano problemi complessi in settori come l'energia, la mobilità, le scienze dei materiali, la sanità e la farmacologia. Tra i partecipanti, Crédit Mutuel ha evidenziato come il centro consenta conformità normativa e prossimità operativa, mentre Bosch, E.ON e Volkswagen stanno sviluppando soluzioni per mobilità sostenibile e innovazione dei materiali. Con questo nuovo Quantum Data Center, gli utenti potranno sviluppare algoritmi più sofisticati, aprendo la strada a scoperte innovative.

Il centro è il risultato di una visione strategica che vede la collaborazione tra IBM, governi e aziende europee leader di varie industrie, e punta a consolidare l'Europa come hub per il calcolo quantistico.

In Francia varie aziende di calcolo quantistico offrono l'accesso ai propri sistemi attraverso cloud propri o di cloud services. OVHcloud, che offre servizi cloud, ha installato in uno dei suoi sei data center un quantum computer prodotto da Qandela. Il sistema MosaiQ a 2 qubit utilizza fasci di luce e principi fotonici per eseguire applicazioni quantistiche, evitando la necessità di un super raffreddamento criogenico su cui si basano altri sistemi. Oltre a vantare una quota del 20% dei quantum computer venduti a livello globale, il governo francese annuncia progressi importanti tra il 2023 e il 2024 in alcuni ambiti applicativi: la finanza, con la collaborazione tra Pasqal e Crédit Agricole Corporate and Investment Bank, nella fault-tolerance grazie ai progressi di Alice & Bob e Qandela nel calcolo quantistico fotonico, e nell'aerospazio design con Thales e Alice&Bob. Di rilievo anche il contratto assegnato nel 2024 dal Ministero della Difesa per circa 545 milioni di dollari a Alice & Bob, C12, Pasqal, Qandela e Quobly per lo sviluppo di due prototipi di computer quantistici universali per i requisiti della difesa entro il 2032 (programma Proqima). La seconda fase del progetto si rivolge a computer quantistici con 100-200 qubit logici su una scala temporale da sei a otto anni.

In UK un progetto di rilievo è il quantum data center del governo denominato "LYRA" in fase di realizzazione da parte di Cisco e della startup di quantum networking inglese Nu Quantum. L'architettura modulare faciliterà gli aggiornamenti sul campo, consentendo agli utenti di apportare modifiche senza richiedere un'ampia riconfigurazione o sostituzione del sistema. Questa architettura supporta anche varie modalità di computer quantistici e lunghezze d'onda alternative, migliorando la sua adattabilità all'evoluzione delle tecnologie di calcolo quantistico.

Fonti: <https://www.ibm.com/quantum/blog/europe-quantum-datacenter-launch> e <https://www.ibm.com/case-studies/eon>



IL PNRR MOTORE DELLA RICERCA QUANTISTICA IN ITALIA

Il Quantum in Italia: verso le opportunità dello stack applicativo

Malgrado le aspettative molto alte sui potenziali campi di applicazione e i nuovi modelli di business che ne conseguiranno, anche nel nostro Paese il Quantum è ancora lontano sia da una piena maturità tecnologica che da un vero decollo del mercato.

Rispetto alla tendenza internazionale e in linea con l'Europa, prevale decisamente l'investimento pubblico rispetto a quello dei venture capital e delle imprese utilizzatrici. Nel 2023 l'investimento privato nel Quantum Computing in Italia è stato ancora poco significativo, nell'ordine di alcuni milioni di euro, stanziati su personale dedicato interno all'azienda e all'esterno in tempo macchina, formazione e servizi. Gli investimenti pubblici sono aumentati grazie alle risorse stanziati dal PNRR per circa 320 milioni di euro in tre anni a favore del Centro Nazionale HPC, Big Data e Quantum Computing (ICSC)³⁶, per attività di ricerca e sviluppo, a livello nazionale e internazionale, per l'innovazione nel campo delle simulazioni, del calcolo e dell'analisi dei dati ad alte prestazioni. Nonostante rappresenti un importante impegno iniziale, si tratta di valori ancora modesti rispetto ai miliardi stanziati su cinque-dieci anni negli altri maggiori Paesi europei: per esempio la Germania ha allocato 2,65 miliardi di euro tra il 2018 e il 2028, la Francia 1,8 miliardi nell'orizzonte 2020-2026.

Ma a nostro favore giocano gli asset costruiti attraverso un percorso intrapreso da tempo. L'Italia ha una delle più grandi comunità scientifiche in questo settore: più di 60 gruppi di lavoro con alcuni tra i più autorevoli ricercatori e scienziati, molti dei quali vincitori di progetti nell'ambito della Flagship Europea di durata decennale sulle Quantum Technologies. L'Italia è stata anche tra le prime nazioni al mondo a implementare una rete in fibra ottica per la distribuzione dello standard di tempo/frequenza e per le comunicazioni quantistiche, gestita dall'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM) denominata "Quantum Backbone". Va tenuto presente che il rischio di frammentazione è elevato, poiché l'investimento è contenuto e i progetti numerosi, il che potrebbe compromettere l'efficacia complessiva, rallentare i progressi e rendere difficile ottenere risultati significativi a livello internazionale.



Il PNRR finanzia 175 milioni di euro in quattro anni per la ricerca di base e applicata sul Quantum

Con riferimento alle tecnologie Quantum, il PNRR prevede 6 Missioni, tra le quali una specifica, "M4 Istruzione e Ricerca – Componente 2: Dalla ricerca all'impresa", per finanziare progetti di ricerca fondamentale e applicata per rafforzare le filiere della ricerca nazionale e promuovere la loro partecipazione alle filiere strategiche europee e globali.

Il Piano stanZIA complessivamente circa 175 milioni di euro per il periodo 2022-2025 suddivisi in:

- 30 milioni di euro solo per il calcolo quantistico;
- 30 milioni per creare un'infrastruttura aperta e accessibile per fotonica e tecnologie quantistiche;
- 115 milioni per il lancio della National Quantum Initiative.

Le iniziative finanziate dal PNRR vogliono sviluppare un **ecosistema lungo tutta la filiera del Quantum**, perseguendo quattro ordini di obiettivi:

- promuovere l'Italia come player chiave nel campo delle tecnologie Quantum per computer e simulatori, sia come fornitore di tecnologie abilitanti, sia come sviluppatore di piattaforme integrate e algoritmi, sia come utente finale industriale;
- rendere l'Italia tecnologicamente indipendente con la creazione di filiere produttive verticali di dispositivi di comunicazione quantistica;
- creare in Italia, attraverso lo sviluppo del rilevamento quantistico e della metrologia quantistica, standard di ►



misura universali e altamente riproducibili; ad esempio, per la misura del tempo, della frequenza o dell'elettricità, con un forte impatto sulla ricerca di base, sull'industria, sull'economia e sulla società;

- promuovere nuovi percorsi interdisciplinari di alta formazione (master e dottorato di ricerca) in questo settore scientifico avanzato e in rapida evoluzione per preparare personale altamente specializzato con competenze trasversali coinvolgendo le realtà industriali nella formazione e nella ricerca accademica.

Nell'ambito della M4 Istruzione e Ricerca, le tecnologie Quantum sono incluse nei **progetti** che fanno capo a:

- **Centro Nazionale in High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing (ICSC)** con sede a Casalecchio di Reno (Bologna) e guidato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), sotto la supervisione del MUR. L'INFN svolge attività di ricerca teorica e sperimentale nel campo della fisica sub-nucleare, nucleare e astroparticellare, in collaborazione con le università. Il Centro ICSC è uno dei 5 Campioni nazionali di R&S sulle Key Enabling Technologies finanziati dalla linea di intervento 1.4 della Missione M4C2 del PNRR. In ambito Quantum il centro coordina le attività di sviluppo delle macchine Quantum attraverso i centri di sviluppo a Firenze, Padova, Napoli, Pisa;
- **Istituto Nazionale di Tecnologia Quantistica e delle Scienze (NQSTI)**, è uno dei 10 partenariati estesi previsti dal PNRR M4C2 linea di intervento 1.3. È costituito come consorzio tra 20 primari enti di ricerca in ambito Quantum. Ha una dotazione finanziaria di 116 milioni di euro in tre anni (2023-2025) dal PNRR M4C2 Linea di investimento 1.3 (Partenariati estesi a università, centri di ricerca, imprese e finanziamento progetti di ricerca). Per stimolare l'innovazione industriale futura agisce sull'intera filiera dell'innovazione: dal rafforzamento e coordinamento della ricerca alla sua traduzione in prototipi interfacciandosi con le esigenze industriali. Il primo semiconduttore quantistico realizzato in Italia è stato finanziato congiuntamente dallo Spoke 6 (Integrazione) del NQSTI;
- **Integrated Infrastructure Initiative in Photonic and Quantum Sciences (I-Phoqs)** e una rete di infrastrutture di ricerca (IR) in attuazione della linea di investimento 3.1 (Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e innovazione) della M4C2. È focalizzata sulla fotonica e sulla QST e fornisce un approccio unico integrato, intersettoriale e multiforme a complesse questioni scientifiche e tecnologiche.

I **settori prioritari** sono:

- calcolo quantistico e simulazione;
- comunicazione quantistica;
- rilevamento quantistico e metrologia;
- tecnologie quantistiche per l'energia e l'ambiente;
- infrastrutture quantistiche;
- istruzione/formazione in tecnologie quantistiche.

Per ciascuno dei settori prioritari sono stati identificati obiettivi, impatto economico e sociale e strategia di attuazione, tenendo conto di fattori strutturali, intersettoriali e legati alla formazione.

A livello di **comunità di ricerca quantistica**, lo sviluppo delle tecnologie Quantum prevede tre direttrici parallele, coerenti con la visione dell'European Quantum Flagship:

- creazione, nell'ambito del programma Horizon Europe, di una rete di Istituti Nazionali Quantistici per attivare sinergie e ottimizzare l'uso delle risorse portando risultati di ricerca in prodotti industriali;
- inclusione di nuove capacità di Quantum Computing all'interno dell'High Performance Computing Infrastructure (HPC/QC);
- realizzazione di una nuova infrastruttura europea di comunicazione quantistica (EuroQCI).

A livello di **trasferimento tecnologico dell'innovazione quantistica**, i soggetti privati possono contare sul "Patent Box" (ai sensi del D.Lgs. n. 146/2021) che prevede un regime fiscale opzionale connesso alle spese sostenute per lo svolgimento delle attività di ricerca e sviluppo in relazione a software protetti da copyright, brevetti industriali e disegni e modelli giuridicamente protetti.

Il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) è fortemente impegnato nell'attuazione dei progetti PNRR e della Flagship Europea. Il settore Quantum riceverà circa il 30% dei finanziamenti PNRR che fanno capo al CNR. Tra i progetti comunitari e nazionali in ambito Quantum in cui il CNR è coinvolto si ricordano:

- programmi finanziati dall'Unione Europea: QuantERA, azioni di sostegno al coordinamento, come QFLAG, QTEdu e QUCATS, iniziative faro come i progetti QOMBS, MUQUABIS e PASQANS2, il progetto EDF ADEQUADE;
- progetti finanziati a livello nazionale: coordinati ad esempio da MUR (progetto QUANCOM nella comunicazione quantistica, fondi UE-matching per la Distribuzione Nazionale di EuroQCI QUID) e Ministero della Difesa (come i Progetti QLAMP, QUSUB, Q4SEC);
- scuole di dottorato finanziate insieme alle università.

Prima dell'avvio del PNRR, il volume di finanziamento del CNR in ambito Quantum era di circa 2 milioni di euro all'anno negli ultimi cinque anni.



Il Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR) ha saputo cogliere l'importanza delle tecnologie quantistiche riconoscendo il comparto tra i settori strategici del Piano Nazionale della Ricerca.

Il CNR, nominato dal MUR per coordinare gli sforzi italiani all'interno della Flagship Europea, è stato fin da subito in prima linea nello sviluppo del programma quantistico, co-finanziando il programma di anticipazione della Flagship, QuantERA, portando al successo 23 progetti con partecipanti italiani su 38 complessivi. Dopo l'aggiudicazione di uno dei due grandi progetti di simulazione della Flagship, a coordinamento italiano, da parte del CNR-INO, e, nel quadro del programma di potenziamento infrastrutturale del MUR, il CNR ha deliberato la realizzazione di una infrastruttura per simulazione e calcolo quantistico che opera a Pisa e a Firenze. Tra le tecnologie quantistiche, la comunicazione quantistica, che comprende metodi di "teletrasporto" del singolo stato quantistico, è in grado non solo di collegare i computer quantistici del futuro, ma anche di rendere intrinsecamente inattaccabili i sistemi di comunicazione. In particolare, la crittografia quantistica fornisce un metodo sicuro per distribuire chiavi di autenticazione, come pin e password, consentendo di rivelare qualsiasi tentativo di intrusione. L'auspicio è che, come avvenne con il primo elaboratore elettronico italiano, una grande alleanza tra pubblico e privato, tra università, enti di ricerca e aziende, ancora una volta l'Italia riesca a cogliere la grande opportunità rappresentata dalle tecnologie quantistiche, in grado di ridisegnare il panorama industriale e socio-economico del prossimo futuro.

Potenziamento e sviluppo di infrastrutture Quantum in Italia

Il National Quantum Science Technology Institute (NQSTI) e il National Centre for HPC, Big Data and Quantum Computing (ICSC) promuovono i bandi e le attività dei progetti finanziati dal PNRR operando sull'intera filiera quantistica, dalla ricerca fondamentale e applicata al trasferimento tecnologico.

L'Istituto Nazionale di Scienza e Tecnologia Quantistica (NQSTI) utilizza i fondi del PNRR per rafforzare e fare avanzare la ricerca a basso TRL (Technology Readiness Level) fino alla sua traduzione in prototipi. Per questo promuove l'interfacciamento con le esigenze industriali grazie a programmi di outreach e formazione continua.

L'attività di ricerca indirizza:

- teoria con gli Spoke 1 Information Processing and Communication (Università di Pavia) e Spoke 2 Simulation, Sensing and Metrology (Università di Camerino);
- piattaforme con gli Spoke 3 Atom-Based (CNR), Spoke 4 Photon-Based (Sapienza Università di Roma) e Spoke 5 Electron-Based (Scuola Normale Superiore);
- integrazione con lo Spoke 6 (Università di Milano Bicocca);
- sistemi completi con lo Spoke 7 (Fondazione Bruno Kessler);
- trasferimento tecnologico con lo Spoke 8 (CNR);
- Education e Outreach (Università di Catania).

Un traguardo importante nell'ambito dello **Spoke 6 del NQSTI** è la realizzazione del primo qubit superconduttivo interamente costruito in Italia, presso i laboratori della Fondazione Bruno Kessler a Trento da ricercatori esperti in circuiti quantistici superconduttori. In Italia altri gruppi lavorano già con qubit superconduttivi, che sono però prodotti all'estero e "importati" nei laboratori italiani. Le prime misure sul dispositivo, condotte nel laboratorio criogenico, hanno dimostrato la natura quantistica del circuito, evidenziando che il qubit si comporta proprio come un atomo, con livelli energetici quantizzati. Per costruire gli elementi più complessi del qubit (giunzioni Josephson) è stato messo a punto uno specifico processo di microfabbricazione nelle Camere pulite. L'abilità di fabbricare un qubit basato su queste giunzioni dimostra l'eccellenza della ricerca italiana nel campo dello sviluppo delle scienze e tecnologie quantistiche. Ora i ricercatori si propongono di migliorare ulteriormente la tecnologia e ottimizzare le proprietà del circuito, per passare



alla microfabbricazione su larga scala.

Il centro ICSC, attraverso lo Spoke 10, si occupa dello sviluppo della tecnologia dei calcolatori quantistici, con una particolare attenzione su:

- **miglioramento tecnologico:** in riferimento ad affidabilità dei componenti e complessità di programmazione, che ancora ostacolano un utilizzo pratico dei calcolatori quantistici;
- **trasferimento al mercato:** in riferimento all'applicazione di informatica, comunicazioni e sensoristica quantistiche in molteplici campi e settori economici e alla formazione.

Per le attività di ricerca sul Quantum il centro ICSC fa leva sulle infrastrutture e le risorse del Quantum Computing Lab del CINECA a Bologna e promuove la creazione di una rete di collaborazione tra centri di ricerca, università, aziende e start-up specializzate in ambito quantistico. Il centro è stato selezionato come uno dei 6 Data Center europei che dal 2025 ospiteranno gli elaboratori quantistici EuroHPC³⁷. Le nuove macchine Quantum sono basate sulla tecnologia di qubit ad atomi neutri³⁸ e integrate con il supercomputer Leonardo per essere messe a disposizione di un vasto numero di utenti europei, delle comunità scientifiche, dell'industria e del settore pubblico (maggiori dettagli nel riquadro). Il costo dell'investimento è sostenuto dal bilancio EuroHPC JU attraverso il programma Digital Europe e da un contributo del governo italiano.

Lo Spoke 10 opera secondo tre linee di ricerca:

- a livello hardware/firmware: progettazione di computer quantistici di grandi dimensioni e scalabili;
- a livello middleware: sviluppo di tecnologie ibride HPC-Quantum Computing che facilitino la programmazione dei calcolatori quantistici e la loro interoperabilità con i calcolatori tradizionali;
- a livello software: sviluppo di applicazioni e algoritmi che sfruttino i calcolatori quantistici come acceleratori per risolvere problemi altrimenti insolubili.

Sulle tecnologie qubit operano quattro attività progettuali:

- circuiti superconduttivi a Napoli con l'Università Federico II, con il programma di passare dai 24 qubit attuali a 40 qubit entro fine 2024;
- circuiti fotonici a Roma, con Sapienza, CNR e le Università di Milano Bicocca, Napoli e Pavia, con l'obiettivo di arrivare a un layout 3D layout (128 mode), modulare e scalabile;
- ioni intrappolati a Padova, con l'Università di Padova a capo di una cordata di università ed enti di ricerca, imprese private e istituzioni pubbliche come CINECA, INFN o Neat;
- atomi neutri a Firenze, con l'Istituto Nazionale di Ottica del CNR (CNR-INO) in collaborazione con l'Università di Firenze e i Laboratori LENS.

Sul middleware l'Università di Padova con INFN e CINECA ha finalizzato il progetto QuantumTEA (Tensor-network Emulation Applications), una piattaforma per l'emulazione efficiente di Quantum Computing con 100+ qubits utilizzando tensor networks, destinata alle applicazioni di machine learning.

Sulle applicazioni il Politecnico di Milano con l'Università di Padova e il CINECA ha sviluppato una piattaforma per la valutazione comparativa di algoritmi e architetture focalizzata per machine learning e intelligenza artificiale, fruibile as-a-service via AWS e D-Wave e già utilizzata da 10 università internazionali.

Per lo sviluppo di applicazioni, l'ICSC sta attivando progetti congiunti, attività comuni e collaborazioni con le imprese sui tre maggiori ambiti strategici del Quantum – computing, comunicazioni sicure e sensoristica di precisione – in molteplici campi, tra cui salute, climatologia, scienze della terra e innovazione industriale.

Tra i **progetti di innovazione in corso presso le istituzioni affiliate a ICSC**, per un finanziamento complessivo di 1,8 milioni di euro, si evidenziano: Molecular Energy Landscapes (ENI), Fraud Detection (Intesa Sanpaolo), Quantum Credit Scoring (Intesa Sanpaolo), Quantum Algorithms for the Solution of Differential Equations (Leonardo, ENI, Thales, IFAB), Cybersecurity and Combinatorial Optimization (SOGEL, Autostrade, Intesa Sanpaolo), Quantum Optimization Algorithms for Aerospace & Telco Applications (Thales, Leonar-



do), Quantum Algorithm for the Detection of the Optimal Maximal Clique (UnipolSai), HPC and Quantum Computing Algos (SOGEI), Quantum Computing for Efficient Urban Logistical Ecosystem (Engineering, IFAB). Si stanno anche mettendo a punto percorsi di formazione sulle scienze quantistiche a livello universitario, per la qualificazione di ricercatori e l'aggiornamento delle figure professionali.

Le open calls per **progetti presso istituzioni non affiliate** hanno identificato 12 progetti in ambito software (2,1 milioni di euro), 2 in ambito middleware (300 mila euro) e 4 progetti in ambito firmware e hardware (800 mila euro).

Il **primo round di marzo 2024** ha finanziato 1,8 milioni di euro per i seguenti progetti



Una macchina Quantum EuroHPC JU al centro ICSC di Bologna per le nuove applicazioni³⁹

A cura di CINECA

Dal 2025 CINECA ospiterà una delle macchine Quantum basate interamente su tecnologie europee, che metterà a disposizione dei ricercatori italiani ed europei per sperimentazione.

Soddisfacendo criteri di diversità nelle tecnologie e nelle architetture quantistiche ricercati da EuroHPC per generare maggiori sinergie tra i diversi sistemi, il progetto in Italia mira a integrare una macchina quantistica di PASQAL⁹, basata su tecnologia di **qubit ad atomi neutri** con Leonardo, e sarà realizzata dal consorzio EuroQCS-Italy, guidato dall'Italia con partner la Germania e la Slovenia.

Il costo del computer quantistico sarà cofinanziato dal bilancio della EuroHPC JU attraverso il programma Digital Europe e un contributo del governo italiano. I computer quantistici non usano i bit ma i qubit: oltre allo 0 e all'1, ci sono anche stadi intermedi. Pur essendo già sul mercato, non sono ancora abbastanza grandi e affidabili per la ricerca industriale, anche se in alcuni ambiti sono molto più potenti degli attuali supercalcolatori. Per una fruizione ottimale andrebbero riscritti tutti i software. Per questo il progetto di integrazione con Leonardo prevede la standardizzazione dei componenti chiave, come l'interfaccia di programmazione dell'applicazione, il software di monitoraggio e gli strumenti di gestione dei lavori e degli utenti. Questo sistema sarà disponibile per fare ricerca e test in ambito di informatica quantistica, aggiungendo nuove capacità all'infrastruttura europea di supercalcolo. In particolare, indirizzerà compiti di calcolo che i supercomputer classici faticano a risolvere, quali l'ottimizzazione dei flussi di traffico, le reti intelligenti e lo sviluppo di nuovi farmaci e materiali basati su modelli di meccanica quantistica più accurati in chimica e fisica.

L'integrazione delle capacità di calcolo quantistico nelle applicazioni HPC consentirà ulteriori nuove scoperte scientifiche e opportunità per le innovazioni industriali. In particolare, CINECA ha avviato, già dal 2021, tre progetti pilota per esplorare le potenzialità della macchina a neutral atoms di PASQAL con Università di Firenze, Fondazione LINKS di Torino e Università di Bologna, riguardanti rispettivamente le tecniche di machine learning quantistico, l'ottimizzazione combinatoria su grafi e l'ottimizzazione bayesiana. Con Fondazione LINKS, inoltre, PASQAL ha firmato una collaborazione di ricerca nel 2022 per approfondire i temi esplorati nel suddetto progetto pilota.

Anche il nuovo datacenter di CINECA e dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) seguirà un piano di evoluzione in due fasi al fine di potere accogliere le nuove macchine. Nella prima fase (2021-2025) il datacenter sarà caratterizzato da 10 MW di carico IT, 1.240 m² di superficie della sala di calcolo, 900 m² di spazio ausiliario, una capacità di raffreddamento a liquido diretto di 8 MW. La seconda fase (2025-2030) vedrà un aumento del carico IT a 20 MW e un ulteriore spazio disponibile per la sala di calcolo di 2600 m², oltre a espansione del raffreddamento a liquido (16 MW raffreddato a liquido diretto + 4 MW raffreddato ad aria) e del raffreddamento ad aria (8 MW raffreddato a liquido diretto + 12 MW raffreddato ad aria)⁴⁰. Nella progettazione del datacenter è stata dedicata particolare cura al contenimento del PUE, stimato per Leonardo al di sotto di 1.1. L'edificio che ospiterà il datacenter sarà certificato con la certificazione LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) v.4 for BD+C: Data Center Environmental Certification System, protocollo specifico per edifici progettati e attrezzati per soddisfare le esigenze dei sistemi computazionali ad alta densità per l'archiviazione dei dati e in lavorazione.



al sud: Clustering on a Rydberg Atom Quantum Computer (BIP), Molecular Structure Generation and Docking with Quantum Computing (Dompé, E4 Computer Engineering), Qubit On-chip Digital Readout (SEEQC), Benchmarking Quantum Supremacy for Combinatorial Optimization and Machine Learning Problems (Spindox). Quantum Machine Learning Algorithms for Nuclear Theory and Edge Detection (Università della Campania), Holistic Approach to Quantum Computing Dependability (Università di Messina, Smartme.io), Hybrid Quantum Extreme Learning Machines (Università di Palermo). Gli altri progetti finanziati nel primo round di open calls per un totale di 800 mila euro sono: A Compressed Hybrid Quantum Optimizer and its Application to the Problem of Cash Flow Netting in High-Quality Liquid Assets (G2Q Computing), Critical Properties of Quantum Systems Ergodicity Breaking (The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics), High Velocity and High Transmittivity Loop Unit for Optical Quantum Computing (Università di Milano, Camgraphic), Quantum Sustainable Smart Design (IDEA-RE, Knowow). Infine il **secondo round di open calls di luglio 2024** ha finanziato per 900 mila euro i seguenti progetti: Quantum Optimization Variational Algorithms for Higher-Dimensional Systems (Università dell'Insubria), Advanced Quantum Machine Learning (Università di Parma), Qgraph-Graph Representation Methods for Photonic Quantum Compiling (Università di Milano), Fraud Detection for Quantum Computers (GFT Italia), Quantum Machine Learning in Energy & Utilities (PricewaterhouseCoopers), Quantum Customer Knowledge (RE:LAB, E4 Computer Engineering). Sono presenti centri di eccellenza o hub di innovazione Quantum a Roma, Trento, Trieste, Genova, Pisa, Bologna, Bari, Camerino, Catania, Firenze, Milano, Napoli, Parma, Pavia e Padova.

Le architetture Quantum per la ricerca in Italia

L'arrivo di nuovi computer quantistici in Italia rappresenta una svolta importante per la ricerca e l'industria, e la disponibilità di queste macchine accelererà lo sviluppo di soluzioni innovative in vari settori, rendendo le applicazioni quantistiche accessibili a un pubblico ampio, dall'industria all'accademia, e stimolando la crescita dell'ecosistema ibrido condiviso.

Sono partite le varie attività che coprono tutto lo sviluppo del calcolatore quantistico e sono realizzate in 4 laboratori dedicati a Padova, Firenze, Roma e Napoli, coprendo le 4 architetture maggiori che attualmente in tutto il mondo si stanno esplorando, ovvero quella basata sugli atomi neutri, alla base dei simulatori quantistici e di maggiore interesse in Europa⁴¹, quella dei qubit superconduttivi, percorsa dai grandi produttori americani, e quelle alternative basate sui fotoni (architettura con cui la Cina ha raggiunto il suo vantaggio quantistico) e sugli ioni intrappolati. L'approccio basato sugli ioni intrappolati, in competizione sia coi materiali superconduttori sia con la fotonica, è oggetto di studio da decenni ed era considerata la strada più promettente verso i computer quantistici, prima dell'ascesa inaspettata di Google e delle iniziative cinesi, che tuttavia non ne riducono il potenziale.

L'iniziativa **QCSC (Quantum Computing and Simulation Center)** è promossa dall'**Università di Padova** tramite il bando WCRI (World Class Research Infrastructure), nel contesto dello Spoke 10 del Centro Nazionale di Ricerca in HPC, Big Data e Quantum Computing, di cui fa parte anche CINECA. Il Dipartimento di Fisica e Astronomia (DFA) è capofila e coordinatore del progetto al quale partecipano dieci Dipartimenti dell'Università di Padova, il centro interdipartimentale per le tecnologie quantistiche Padua QTech e un centro di Ateneo, oltre a una cordata di università e enti di ricerca (CINECA, INFN, , Università di Pavia, Università dell'Aquila, Istituto di Trieste per la Teoria delle Tecnologie Quantistiche, il Quantum at Trento Laboratory (Q@TN), imprese private (Arakne-NEAT) e istituzioni pubbliche a sottolineare la natura interdisciplinare del programma. Il progetto prevede di sviluppare un computer quantistico general-purpose con **tecnologia "a ioni intrappolati"** presso il Dipartimento



di Fisica e Astronomia e, insieme ad attori locali, nazionali e internazionali, di creare un centro di competenza per guidare e alimentare lo sviluppo e l'inserimento delle tecnologie quantistiche nell'ambiente accademico e imprenditoriale nazionale. Sarà necessario attivare collaborazioni con laboratori di ricerca e start-up italiane e dell'UE per indirizzare diversi aspetti: teorico, sperimentale, algoritmico, di portabilità, di innovazione tecnologica, di applicazione al mercato e di ricerca. La tecnologia a ioni intrappolati presenta notevoli vantaggi, come tassi d'errore bassissimi e tempi di coerenza molto lunghi. Le principali applicazioni possono essere in settori cruciali come la sicurezza informatica, la privacy, la crittografia. In prospettiva si potranno avere inoltre applicazioni nel campo della medicina, nella ricerca di vaccini o nuovi farmaci, nell'analisi del genoma e dei big data, oltre che nella soluzione di equazioni differenziali per l'esecuzione di previsioni meteorologiche, sociali o finanziarie; dal machine learning al teletrasporto di informazioni.

Nel gennaio 2024 la Sapienza **Università di Roma** ha dato il via allo sviluppo di un computer quantistico europeo **basato su fotoni**, quale coordinatore del **progetto europeo EPIQUE**⁴², finanziato con 10.340.000 di euro dalla Commissione Europea realizzato da 18 partner di 12 Paesi. Questo progetto si aggiunge alle iniziative finanziate dal PNRR che vedono la Sapienza leader dello Spoke sulle tecnologie fotoniche nell'ambito del partenariato Quantum Technologies, e come partner dello Spoke sul Quantum Computing della fondazione ICSC. Trattandosi di dispositivi in fase prototipale sono ancora molte le possibili strade di sviluppo. Prototipi di computer quantistici basati su tecnologie fotoniche hanno dimostrato di avere una bassa decoerenza dei qubit che permette di minimizzare la perdita dell'informazione, una semplice infrastruttura che non richiede di operare a temperature vicine allo zero come nei processori a superconduttori e una naturale integrazione con i sistemi di comunicazione a fibra ottica per la creazione di reti. Ben 3 delle 4 dimostrazioni ad oggi pubblicate di Quantum Advantage⁴³ sono state ottenute usando tecnologie fotoniche, ma i risultati sono stati spesso limitati da apparati ingombranti e difficili da scalare. EPIQUE punta ora a raccogliere le tante realtà europee, sia il mondo accademico che le piccole e medie imprese, già oggi tra i leader al mondo in vari settori delle tecnologie fotoniche, per arrivare alla realizzazione di una piattaforma quantistica fotonica di uso generale. EPIQUE punterà allo sviluppo di 3 diversi prototipi dimostrativi di computer quantistici fotonici a decine di qubits e ad aprire la strada verso una più ambiziosa piattaforma quantistica di oltre 1.000 qubits. Integrando i progressi sia nelle tecnologie che sugli algoritmi il focus sarà sullo sviluppo di un percorso verso una piattaforma innovativa di calcolo quantistico, che potrà anche influenzare altre aree di applicazione, come il rilevamento quantistico e la metrologia.

Inaugurato a maggio 2024 alla Federico II, il **centro di computazione quantistica superconduttiva di Napoli** è finanziato per un importo di circa 4,5 milioni di euro dal progetto PNRR "ICSC – Centro Nazionale di Ricerca in High Performance Computing, Big Data and Quantum Computing", nell'ambito dello Spoke 10 dedicato alla Quantum Computation. Il nuovo computer quantistico di 24 qubit è progettato per essere scalabile, modulare e modificabile, potenzia l'originario laboratorio di Tecnologie quantistiche presso il Dipartimento di Fisica dell'Ateneo, nel Campus Universitario di Monte Sant'Angelo. Appartiene alla "famiglia tecnologica" dei computer **Quantum "a superconduttori"**. Può sostenere l'intera filiera, dalla ricerca di nuove soluzioni hardware, all'elaborazione di codici e algoritmi quantistici. Università, enti di ricerca e industrie possono sviluppare in sicurezza prima in-house e in un prossimo futuro in-cloud, oltre a potenziare il processo di scolarizzazione quantistica. Il computer sarà anche interfacciato a computer classici ad alte prestazioni per sviluppare su scala nazionale architetture di calcolo ibride classico/quantistico. Il nuovo laboratorio del centro di computazione quantistica superconduttiva è completato da sistemi di supporto con processori quantistici alternativi sviluppati a Napoli in collaborazione con centri di ricerca e industrie, ed è proiettato verso l'utilizzo di un processore quantistico con 40 qubit, la cui installazione è prevista entro la fine del 2024. Il laboratorio, che adotta sistemi di supporto con processori quantistici alternativi sviluppati dall'Università Federico II di Napoli in collaborazione con centri di



ricerca e industrie, mira inoltre ad ampliare a breve la propria attività, con l'istallazione entro la fine del 2024 di un processore quantistico con 40 qubit.

L'Istituto Nazionale di Ottica del CNR (CNR-INO)⁴⁴ in collaborazione con l'**Università di Firenze** e i **Laboratori LENS**⁴⁵, conduce attività di ricerca e sviluppo di simulatori quantistici basati su atomi e fotoni. La ricerca in ambito **materia fredda e simulazione quantistica** sviluppa attività sperimentale e teorica su gas atomici quantistici degeneri, atomi freddi di Rydberg e molecole stabili. Questi sistemi sono simulatori quantistici analogici ideali per una varietà di problemi a molti corpi che sono irrisolvibili anche utilizzando i più potenti supercomputer classici di oggi e che sono rilevanti per campi diversi come la fisica della materia condensata, la chimica quantistica, fino alla fisica delle alte energie. In particolare i **simulatori quantistici ad atomi freddi** sono utilizzati per la realizzazione dei cosiddetti co-processori quantistici per calcoli di fisica molecolare, che un giorno potrebbero essere utilizzati per progettare nuove molecole, anche per scopi farmaceutici. La ricerca in ambito **Ottica Quantistica, Informazione e Metrologia** conduce indagini sperimentali e teoriche degli elementi costitutivi della futura scienza e tecnologia quantistica nonché lo sviluppo di nuove piattaforme di informazione e di rilevamento basate su: ingegneria degli stati quantistici della luce, distribuzione quantistica delle chiavi, singole molecole organiche, centri di colore del diamante, optomeccanica quantistica, interferometria non classica. In particolare nella **Nanofotonica quantistica molecolare** è stata ottimizzata una nuova piattaforma nanofotonica in cui l'efficace interazione tra le molecole isolate e il campo luminoso ne consente l'utilizzo come efficienti sorgenti di fotoni singoli per applicazioni nella comunicazione quantistica, nel calcolo quantistico ottico lineare e nella metrologia. Oltre al loro ruolo nell'ottica quantistica, le singole molecole sono impiegate nei laboratori anche come sensori su scala nanometrica per campi elettrici, proprietà dei materiali e trasduttori ottici per altri parametri locali.

La ricerca sulla **Quantum Communication** mira a realizzare la piena integrazione della comunicazione quantistica nelle reti in fibra già esistenti, per garantire la sicurezza delle informazioni e abilitare la connessione tra futuri dispositivi come computer e sensori quantistici nelle future reti. I limiti computazionali delle macchine usate per le tecnologie crittografiche potrebbero essere improvvisamente infranti dai nuovi algoritmi e dall'avanzamento dei computer quantistici. La crittografia quantistica o distribuzione di chiavi quantistiche (QKD) è oggi l'unica tecnologia in grado di garantire la sicurezza incondizionata delle comunicazioni⁴⁶. Nelle

Collaborazioni internazionali di grandi centri di ricerca italiani

L'Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni (CNR-ICAR) e l'Istituto di Informatica e Telematica (CNR-IIT) del Consiglio nazionale delle ricerche dal 2022 fanno parte dell'IBM Quantum Network, una rete globale di oltre 250 organizzazioni che collaborano nelle attività di ricerca e condividono competenze disponendo di un accesso dedicato alle più avanzate risorse quantistiche hardware e software. In particolare, i membri del Network hanno attualmente accesso a più di 10 computer quantistici con più di 100 qubit, compresi i più recenti processori a 156 qubit.

Anche INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) e IIT (Istituto Italiano di Tecnologia) hanno avuto la possibilità di usare i computer quantistici di IBM in qualità di membri dell'hub del CERN, membro della IBM Quantum Network. INFN e IIT hanno aiutato il CERN, attraverso la sua Quantum Technology Initiative (QTI), a guidare le indagini su come le tecnologie quantistiche possano supportare la comunità di ricerca dell'LHC, così come in altri campi scientifici.

L'unione degli sforzi e l'identificazione di attività congiunte aiuta i membri dell'hub a esplorare la natura complessa della tecnologia di calcolo quantistico per sbloccare il pieno potenziale e accelerare compiti computazionalmente costosi.

Fonti: <https://www.icar.cnr.it/notizie/il-cnr-entra-a-far-parte-del-quantum-network-di-ibm>, <https://opentalk.iit.it/en/iit-and-infn-collaborating-with-cern-as-new-members-of-its-ibm-quantum-network-hub> e <https://journals.aps.org/prxquantum/abstract/10.1103/PRXQuantum.5.037001>





Padova al centro dell'ecosistema della simulazione quantistica europea

Le tecnologie quantistiche si sono evolute rapidamente negli ultimi anni, producendo numerose scoperte scientifiche sostanziali. Con diverse aree di applicazione future in vista, uno dei campi più promettenti è la simulazione di sistemi quantistici a molti corpi, come i materiali quantistici, le molecole per la ricerca farmacologica e i costituenti fondamentali della materia in condizioni estreme. Questi problemi possono essere affrontati da computer quantistici dedicati, noti come simulatori quantistici. Lo sviluppo di simulatori quantistici analogici e digitali ha compiuto progressi significativi negli ultimi anni. Con la progressione delle piattaforme in termini di scalabilità, stabilità e programmabilità, la simulazione quantistica si trasforma da un mezzo per i fisici per rispondere a domande scientifiche a strumento per affrontare i problemi del mondo reale e fornire applicazioni pratiche per l'industria. Ad esempio, i simulatori quantistici possono essere utilizzati in futuro per sviluppare nuovi materiali, analizzare processi chimici e risolvere problemi di ottimizzazione.

Uno sforzo di ricerca che ha contribuito in modo significativo al progresso delle tecnologie e delle applicazioni di simulazione quantistica è il progetto europeo Quantum Flagship PASQuanS (2018-2022). Collegando gruppi sperimentali, gruppi teorici e partner industriali, il progetto è riuscito ad aumentare considerevolmente le dimensioni dei simulatori quantistici.

Unendo la maggior parte dei membri del consorzio originario con altri esperti di spicco provenienti da istituti di ricerca, industrie, piccole e medie imprese e start-up di sette Stati membri dell'UE, PASQuanS2, lanciato nel 2023, si propone di trasformare ulteriormente lo sviluppo della simulazione quantistica programmabile realizzando simulatori quantistici atomici programmabili su larga scala di prossima generazione, che operano con un massimo di 10.000 atomi. Coordinato dall'Istituto tedesco

Max Planck di ottica quantistica, PASQuanS2 riunisce 25 partner accademici e tecnologici provenienti da Austria, Francia, Germania, Italia, Slovenia e Spagna. Un ruolo chiave nel progetto è svolto dall'**Università di Padova** contribuendo allo sviluppo delle teorie e delle simulazioni numeriche necessarie per sviluppare i futuri simulatori quantistici.

Il progetto PASQuanS2 è alla sua prima fase di progetto, finanziata con 16,6 milioni di euro nell'ambito di Horizon Europe e che durerà tre anni e mezzo, con lo sviluppo di simulatori quantistici con almeno 2.000 atomi e un percorso verso i 10.000, migliorando al contempo il controllo, la stabilità e la scalabilità. Oltre a far progredire tecnologicamente le piattaforme e a sviluppare una prima versione di uno stack software corrispondente per controllare i dispositivi, PASQuanS2.1 continuerà a esplorare le applicazioni industriali e a mappare i problemi della vita reale, creando al contempo un ecosistema sostenibile di utenti finali e piattaforme di simulazione quantistica aperte. Fondamentale è la collaborazione tra sperimentatori, teorici del mondo accademico e ingegneri di partner industriali, compresi i tecnologi hardware e software che lavorano insieme ai potenziali utenti finali. Al termine di questa prima fase si potrà disporre di un ecosistema di simulazione quantistica con piattaforme hardware e relativo software su misura. Nella seconda fase di PASQuanS2 questo ecosistema consentirà di dimostrare un vantaggio quantistico nei problemi accademici e industriali mentre una catena di fornitura hardware ormai integrata aiuterà a far progredire i sistemi modulari, che saranno implementati come elementi costitutivi negli esperimenti e trasferiti ai partner industriali per la produzione, guidata dall'industria, di simulatori quantistici e piattaforme online aperte.

future reti quantistiche i dispositivi quantistici emergenti, come i sensori quantistici, i simulatori quantistici e i potenti computer quantistici, saranno collegati tra loro attraverso reti in fibra ottica e collegamenti nello spazio libero. In questo contesto, CNR-INO mira a sviluppare sorgenti luminose non classiche per implementare protocolli di informazione quantistica. A questo fine sta studiando fonti efficienti e compatibili con le telecomunicazioni di stati entangled e punta a generare stati entangled in grado di essere manipolati in modo efficiente e mappati in una memoria quantistica: una pietra miliare per i ripetitori quantistici e le comunicazioni quantistiche a lunga distanza. Dal 2020 CNR-INO è anche attivo nel trasferimento tecnologico attraverso il suo spin-off QTI (Quantum Telecommunication Italy), una start-up innovativa partecipata da Telsy S.p.A, Centro di competenza per la crittografia e la cybersicurezza di TIM Enterprise. QTI ingegnerizza, sviluppa e produce architetture di Quantum Key Distribution (QKD) riconfigurabili e offre prodotti e soluzioni completamente made in Italy, con know-how



e competenze brevettate proprietarie che si avvalgono di una filiera strategica europea. Le architetture di comunicazione quantistica sono vendute ad aziende private, apparati governativi e istituti di ricerca. Anche il Ministero della Difesa è attivo nella ricerca di tecnologie QKD. Il progetto Qucryptnet condotto in collaborazione con la Sapienza e Leonardo, ha sviluppato tecnologie in grado di migliorare le prestazioni dei dispositivi di QKD, realizzandone, sia le componenti fondamentali, come apparati di generazione e rivelazione di stati quantistici, sia delle componenti architetture per garantire l'estensione delle distanze e l'interconnessione tra reti, mediante Device Independent QKD e ripetitore quantum, sia l'utilizzo di comunicazione in fibra e free space mediante nuovi stati quantistici e nuovi protocolli.

Entro il primo trimestre del 2025 nel data center del Politecnico di Torino è prevista l'installazione di un sistema quantistico a cinque qubit, sviluppato dalla finlandese IQM Quantum Computers⁴⁷.

L'operazione è parte del progetto condotto in partnership da Politecnico di Torino, Fondazione LINKS e Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM) finalizzato ad attrarre su Torino attività progettuali, centri di competenza di grandi imprese e talenti che possano contribuire allo sviluppo del Quantum Computing. Al fine di generare un forte impatto nell'ecosistema territoriale, i tre enti mettono in campo circa 30 esperti tra professori universitari, ricercatori e dottorandi con l'obiettivo di sviluppare algoritmi quantistici per applicazioni avanzate in vari campi, integrando tecnologie quantistiche con i sistemi tradizionali. Il Politecnico di Torino è attivo da tempo nella formazione quantistica: a partire dal 2023 oltre 60 studenti hanno partecipato ai Master in Quantum Computing o si sono iscritti al corso di laurea magistrale in Ingegneria Quantistica. Ai centri di ricerca nazionali sul Quantum si aggiunge l'iniziativa di co-design annunciata a luglio 2024 da ENI per la costruzione di un computer quantistico basato completamente su tecnologia italiana, attraverso la creazione di **Eniquantic**, lanciata nell'ambito delle iniziative di Eniverse (il corporate venture builder di ENI), la venture è partecipata al 6% dalla start-up ITQuanta (fondata nel 2021 su attività di ricerca avviate al CNR, al centro LENS di Firenze e universitaria) e al 94% da ENI. L'architettura della macchina quantistica sarà basata su un registro di memoria a singoli atomi di Rylberg ultrafreddi di itterbio⁴⁸ (meno sensibili alle perturbazioni dei campi magnetici) intrappolati con luce laser. ITQuanta apporta competenze nella manipolazione degli atomi di itterbio, in quanto il centro LENS di Firenze lavora già da una decina d'anni con questi atomi. Inoltre il loro funzionamento è già stato dimostrato con l'orologio atomico dall'INRiM (Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica) a Torino. Si tratta di una tecnologia più affidabile per l'industria e permette di maneggiare i qubit con laser a lunghezze adatte per le telecomunicazioni, quindi già pronto per l'Internet Quantistico. Il simulatore, combinando hardware e software, affronterà problemi complessi in vari settori, quali l'ottimizzazione matematica, la modellazione e simulazione avanzata e l'intelligenza artificiale, sfruttando la potenza del Green Data Center di ENI a Ferrera Erbognone (PV) e i supercalcolatori HPC di ENI per esplorare le sinergie tra le architetture quantistiche e classiche. La roadmap tecnologica di Eniquantic si focalizzerà su **alcune aree chiave per il futuro dell'energia**:

- generazione e stoccaggio di energia: ottimizzare processi di produzione e stoccaggio delle risorse energetiche, in particolare le rinnovabili, riducendo sprechi e aumentando l'affidabilità delle reti;
- simulazione e modellazione della materia: utilizzando tecniche avanzate di dinamica molecolare e meccanica quantistica, per scoprire nuovi materiali altamente performanti, cruciali per lo sviluppo di nuove fonti energetiche, come la fusione a confinamento magnetico;
- ottimizzazione delle attività operative: attraverso l'analisi avanzata di sistemi complessi, lungo tutta la catena del valore energetico, dal trading di energia alla gestione delle commodities.

Già nel 2022 ENI aveva avviato una collaborazione con la francese PASQAL per lo sviluppo di soluzioni HPC (High Performance Computing) di informatica quantistica per il settore energetico. ENI ha acquisito i computer e gli algoritmi quantistici di PASQAL con l'obiettivo di integrare i flussi di lavoro HPC convenzionali in aree come l'ottimizzazione



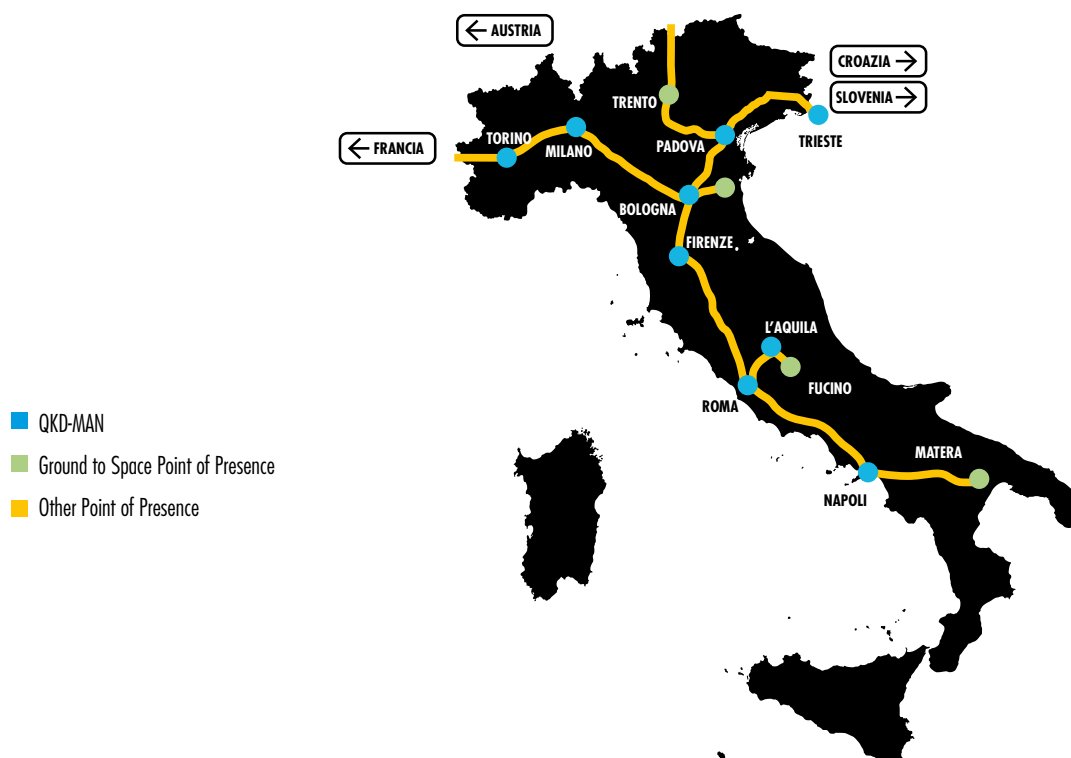


FIGURA 12
Futura copertura del Quantum backbone italiano
Fonte: INRIM

e l'apprendimento automatico e di accelerare la ricerca per creare nuove soluzioni ai problemi più urgenti del settore energetico. Questa collaborazione nella ricerca e sviluppo si basa sull'investimento di round serie A di ENI in PASQAL nel 2021 attraverso il proprio veicolo di corporate venture capital ENI Next, dedicato agli investimenti in start-up ad alta crescita per promuovere la transizione energetica. PASQAL ha utilizzato questo finanziamento per produrre il suo attuale computer quantistico commerciale da 100 qubit e per sviluppare i suoi sistemi di prossima generazione.

Attività e punti di forza del progetto QUID



Il progetto QUID (Quantum Italy Deployment) per la realizzazione dell'Infrastruttura per la Comunicazione Quantistica (QCI) in Italia fa parte di un più ampio progetto europeo (EuroQCI). Il progetto prevede una prima fase di installazione di sistemi e di reti, sul territorio nazionale, per testare le tecnologie di comunicazione quantistica, in particolare la distribuzione quantistica di chiavi crittografiche (QKD), in modo da integrare questa tecnologia con l'attuale rete in fibra ottica, dedicata alle telecomunicazioni. Il progetto ha completato la prima delle due fasi previste.

La **prima fase** ha previsto:

- l'installazione di sistemi e reti QKD in sette delle maggiori città italiane (Torino, Milano, Padova, Trieste, Firenze, Roma, Napoli), riferite in seguito come reti di comunicazione quantistica metropolitane (QMANs);
- la connessione tra le differenti QMAN, utilizzando fibre ottiche installate sulla Italian Quantum Backbone (IQB), un'infrastruttura di fibra ottica che copre il territorio italiano da nord a sud;
- lo sviluppo di due collegamenti geografici a lungo raggio (Bologna-Trieste, Fucino-L'Aquila-Roma);



- l'installazione dell'infrastruttura iniziale per la connessione di altre QCI nazionali (Francia, Austria, Slovenia e Croazia).

La **seconda fase**, fino a fine 2029, prevede:

- l'integrazione nella rete europea delle comunicazioni quantistiche pienamente operativa;

- l'aggiornamento con tecnologie e dispositivi di nuova generazione;

- l'integrazione del settore spaziale: si sta procedendo con lo sviluppo anche di satelliti, sotto la guida dell'Agenzia Spaziale Europea, realizzati in modo specifico per inviare comunicazioni quantistiche su lunghe distanze e che dovranno integrarsi alle reti a fibre ottiche;

- la realizzazione di una vera e propria rete internet quantistica, ovvero non solo l'invio di chiavi quantistiche, cioè brevi stringhe per codificare messaggi, ma una rete che metta in diretta connessione computer quantistici con lo scambio di dati quantistici.

Le principali caratteristiche e punti di forza del progetto QUID riguardano:

1. l'utilizzo della **sola tecnologia QKD italiana** grazie alla presenza nel consorzio delle tre aziende italiane produttrici (Cohaerentia, QTI e ThinkQuantum), supportate rispettivamente dal mondo accademico (Politecnico di Milano, Consiglio Nazionale delle Ricerche e Università di Padova). QUID metterà le reti quantistiche a disposizione delle industrie operanti a diversi livelli della rete, dal dispositivo QKD all'integrazione, alla gestione della rete, al customer care: una filiera completamente italiana. Per una corretta integrazione tra la tecnologia quantistica e quella classica, QUID coinvolge TIM e TOP-IX, per l'integrazione di sistemi Telespazio, TAS-I, Leonardo e per la sicurezza Telsy e Leonardo;

2. l'ampia disponibilità di sistemi e reti per **l'esecuzione e il collaudo** con diversi utenti reali con un alto livello di sicurezza, collegando molte autorità pubbliche all'interno del Paese. Il coordinamento dell'Istituto Nazionale di Ri-

cerca Metrologica assicura l'allineamento dei protocolli e delle campagne di test con i modelli adottati dagli enti di certificazione e standardizzazione, sia per i componenti che per i dispositivi;

3. lo sviluppo di **comunicazione quantistica a lunga distanza**. Il progetto QUID si rivolge a due reti di comunicazione quantistica a lunga distanza, utilizzando le architetture a nodi "trusted" e "untrusted". QUID coinvolge istituti e aziende quali INRiM, CNR, Leonardo, TAS-I, TIM, che hanno già partecipato attivamente alla definizione delle architetture complessive di sistema EuroQCI in progetti della EC come OQTAVO e QSAFE;

4. l'operatività di sistemi e tecnologie nelle reti di telecomunicazione tradizionali per preparare **la diffusione e l'uso su larga scala**. QUID fa leva sull'esperienza di TIM e TOP-IX per la gestione di reti di telecomunicazioni e di infrastrutture critiche nazionali. Il progetto QUID renderà le reti quantistiche disponibili alle industrie che gestiscono la rete a differenti livelli;

5. **l'integrazione di sistemi di sicurezza informatica quantistica e tradizionale** nei sistemi di comunicazione. QUID coinvolge Telsy e Leonardo con attività dedicate all'integrazione della sicurezza informatica tradizionale con dispositivi quantistici e soluzioni post-Quantum;

6. **l'interfaccia tra i sistemi spaziali della QCI e quelli terrestri**. QUID coinvolgerà l'Agenzia Spaziale Nazionale (ASI) e la sua sede a Matera, ovvero il sito italiano più rilevante per i collegamenti terrestri e spaziali dell'EuroQCI con l'Italia. Inoltre, QUID collegherà il sito di Matera al resto del Paese utilizzando l'infrastruttura di fibre ottiche italiana IQB;

7. la **formazione** di personale tecnico e di ricerca nonché degli utenti nazionali. QUID coinvolge direttamente cinque università italiane coinvolte nella comunicazione quantistica: Sapienza Università di Roma, Padova, Trieste, L'Aquila e Napoli.

Infrastruttura per la Comunicazione Quantistica (QUID)

Il progetto **QUID** (Quantum Italy Deployment) è il contributo italiano alla realizzazione della European Quantum Communication Infrastructure (EuroQCI), infrastruttura europea per la comunicazione quantistica⁴⁹. QUID è finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del programma Digital Europe per 7,5 miliardi di euro per il periodo 2021-2027. Il consorzio selezionato dalla Commissione Europea per il progetto QUID è guidato dall'INRiM e riunisce aziende italiane e istituti di ricerca coinvolti nella comunicazione quantistica, sia per il segmento terrestre che per il segmento spaziale, oltre a cinque università impegnate nell'innovazione e nella formazione in ambito quantum⁵⁰. Grazie a questo coinvolgimento l'ecosistema fruisce di una rete di competenze diversificate e in continuo aggiornamento. Il principale obiettivo del progetto è la protezione delle infrastrutture critiche, come istituzioni governative, controllo del traffico aereo, strutture sanitarie, banche e reti elettriche, dalle attua-



li e future minacce informatiche, offrendo un livello di sicurezza contro i rischi informatici che non può essere raggiunto con le tecnologie convenzionali. QUID prevede di integrare le infrastrutture di comunicazione esistenti, come reti in fibra ottica o radio, con sistemi di distribuzione quantistica di chiavi crittografiche (QKD) ed estendere la rete di comunicazione quantistica includendo le nuove tratte di Roma, Padova, Trento e Trieste, che si aggiungeranno a quella già presenti che comprendono Torino, Milano, Bologna, Firenze, Napoli e Matera. Inoltre vuole aumentare lo sviluppo di nodi all'interno delle reti metropolitane di comunicazione quantistica (QMAN), che saranno collegati attraverso l'Italian Quantum Backbone (Fig. 12). La rete quantistica metropolitana di Milano PoliQI è stata inaugurata nel 2022 con tre nodi a cui ne sono stati aggiunti altri due successivamente⁵¹. A febbraio 2024 è stata connessa la QMAN di Napoli⁵¹. Importanti sperimentazioni finanziate anche a livello regionale sono in corso in Friuli Venezia-Giulia con il progetto Quantum FVG⁵². Questa rete distribuirà segnali di tempo e frequenza campione con un livello di stabilità e precisione senza precedenti, utilizzando le fibre ottiche commerciali. I nodi QMAN effettueranno scambi di chiavi quantistiche tra di loro utilizzando sistemi QKD a variabili discrete. Distanze superiori a quelle metropolitane verranno coperte utilizzando nodi di fiducia o tecniche innovative come il Twin-Field QKD (con nodi non di fiducia). L'Italian Quantum Backbone copre una parte importante del nostro Paese e è lunga 1.850 chilometri e allacciata successivamente alle reti metropolitane. Allo stesso tempo, QUID promuove lo sviluppo delle aziende italiane che producono sistemi e servizi per la comunicazione quantistica in quanto prevede l'utilizzo della sola tecnologia QKD italiana. La distribuzione delle chiavi a livello metropolitano avviene grazie ai sistemi QKD testati tra i diversi nodi, mentre per la distribuzione a lunga distanza sono previsti nodi "trusted" o metodi basati sulla tecnica del Twin Field QKD (che sfrutta nodi "untrusted" per coprire grandi distanze). QUID collega inoltre i siti italiani rilevanti per l'interconnessione con il segmento spaziale europeo della QCI. Poiché la QKD offre ancora importanti possibilità di innovazione, QUID dedicherà spazio al miglioramento delle caratteristiche dei dispositivi QKD, in particolare il rate di trasmissione, l'uso di fibre innovative e lo sviluppo di nuove tecniche QKD in aria, utili in caso di sistemi mobili o in assenza di fibra ottica.

PROSPETTIVE E SFIDE IN EUROPA E IN ITALIA

Prospettive e sfide per il Quantum Computing in Europa⁵³

Fra tutti gli ambiti applicativi delle tecnologie quantistiche, il calcolo/simulazione è quello che evidenzia le maggiori criticità sia da un punto di vista economico-industriale, guardando all'intera filiera, sia dal punto di vista delle attività di sviluppo.

Guardando all'intera filiera e al suo posizionamento a livello globale, è evidente che, sebbene l'informatica quantistica sia ancora in una fase iniziale di sviluppo, gli Stati Uniti sono in testa alla corsa mondiale in questa tecnologia, grazie a una presenza più forte lungo la catena del valore attraverso leader aziendali globali e a un mercato più consolidato rispetto all'Unione Europea.

L'Europa compete su un piano di **parità con USA e Cina nella ricerca e sviluppo e nello sviluppo di componenti**. L'UE è in testa insieme alla Cina per quanto riguarda i risultati della ricerca, mentre gli Stati Uniti eccellono nelle principali pubblicazioni. Dal punto di vista della forza dell'industria, l'UE è al terzo posto dopo gli Stati Uniti e la Cina in termini di quota mondiale di valore aggiunto nei prodotti correlati. La **quota di valore aggiunto dell'UE nel calcolo quantistico è particolarmente concentrata in Germania e Francia**, che hanno i più grandi programmi quantistici nazionali in Europa. Sebbene l'UE abbia ancora la possibilità di competere



con gli Stati Uniti, sono necessari investimenti ampi e mirati in strutture e sistemi per la fabbricazione di processori quantistici paragonabili a quelli degli Stati Uniti o della Cina e un approccio strategico in materia quantistica a livello europeo.

Attualmente, le imprese Quantum statunitensi possono raccogliere quasi tre volte più investimenti privati che le imprese all'interno dell'UE. Dal punto di vista del settore pubblico, sia il governo americano con 4 miliardi di euro che quello cinese con almeno 14 miliardi di euro nei prossimi cinque anni stanno sovvenzionando pesantemente l'informatica quantistica. A differenza degli Stati Uniti, dove diversi grandi operatori tecnologici dominano lo spazio dell'informatica quantistica, l'industria quantistica europea **è in gran parte basata su start-up**, con molti operatori più piccoli – concentrati principalmente in Francia, Finlandia, Paesi Bassi, Germania e Spagna – che operano in diverse fasi della catena del valore. In generale:

- nessuna impresa dell'UE sembra avere una presenza significativa nella fase 1 (ricerca in meccanica quantistica) più a monte⁵⁴, dominata dalle aziende statunitensi: IBM, Google e Honeywell;
- in ciascuna delle fasi da 2 a 5 della catena del valore la presenza delle imprese UE è collettivamente significativa, ma nessuna o solo pochissime di esse entrano nell'elenco ristretto delle principali aziende per ognuna di queste fasi. Queste aziende tendono ad essere start-up, in particolare nel segmento dello sviluppo di software, e PMI, tra cui QuTech, IQM, QMWare, Terra Quantum e altre. Pertanto si ritiene che l'UE abbia una presenza modesta in tutte le fasi della fornitura.

Questo è il passaggio cruciale e irrisolto che modellerà le prospettive future.

In considerazione dell'elevata concentrazione del mercato extra-UE nella fase complessa e ad alta intensità di capitale dello sviluppo dell'hardware, il rischio complessivo per la catena del valore del Quantum Computing dell'UE è valutato come moderato. Tuttavia, data la presenza nelle altre fasi attraverso start-up e PMI, **la sua posizione globale è altamente vulnerabile** a meno che non sia sostenuta da un livello di investimenti più elevato che le consenta di adeguare le strutture per camere bianche necessarie per produrre chip quantistici e processori alle capacità e alle dimensioni richieste. La perdita del vantaggio quantistico potrebbe rappresentare un rischio per la futura competitività dell'UE, esponendo le imprese dell'UE nella catena del valore dell'informatica quantistica a potenziali limitazioni di accesso ai chip quantistici necessari o a costi di accesso più elevati. Infine, sebbene le tecnologie quantistiche siano ancora un settore nascente, ci si aspetta che siano centrali in termini militari e di difesa, con implicazioni cruciali per la sicurezza dell'UE.

Per rimanere un attore chiave nella corsa globale all'informatica quantistica, Digital Europe sottolinea l'importanza per l'UE di:

- aumentare sostanzialmente gli investimenti per eguagliare quelli negli USA e in Cina e concentrarli nella costruzione di **strutture centralizzate per la fabbricazione di chip quantistici**. Ciò rafforzerebbe l'UE in un segmento cruciale e irrisolto della catena di approvvigionamento che è proibitivo e pone elevate barriere all'ingresso nel mercato per qualsiasi piccolo operatore. Inoltre, l'UE dovrebbe concentrare i finanziamenti sulla **costruzione di sistemi di calcolo quantistico all'avanguardia e su larga scala**, nonché sulle **applicazioni go-to-market**, piuttosto che solo sulla ricerca, dove l'Europa sta già eccellendo;
- incoraggiare una strategia coordinata dell'UE in materia di quantistica, affrontando l'attuale frammentazione dei piani nazionali e avvicinando gli attori delle imprese agli istituti di ricerca per **accelerare l'innovazione**⁵⁵;
- **evitare di regolamentare questa nuova tecnologia troppo presto** prima di comprenderne il potenziale, in quanto ciò potrebbe compromettere la capacità dell'UE di ottenere un vantaggio quantistico.

Alle sfide di natura economico-industriale si aggiungono le sfide legate alla progressione dello **sviluppo tecnologico** delineate chiaramente dagli operatori industriali. Nel corso dell'ultimo anno, l'industria europea del Quantum Computing ha raggiunto diversi traguardi significativi grazie a decisioni di finanziamento precoci che hanno sostenuto questi sviluppi. I progressi continueranno poiché diverse aziende hanno pubblicato tabelle di marcia aggres-



sive sostenute da finanziamenti di venture capital e dell'UE. In tutte le modalità, il numero di qubit fisici sta attualmente raddoppiando ogni anno, in qualche modo limitato a causa della miriade di componenti necessari per costruire sistemi completi. Parallelamente, continuano gli sforzi per far avanzare la qualità dei qubit attraverso miglioramenti della produzione e modifiche iterative del design. I primi benchmark si sono concentrati sulle misurazioni del "volume quantistico" a livello di hardware. L'ultima area di interesse è rappresentata dai tentativi di confrontare le piattaforme di Quantum Computing e ibride utilizzando benchmark standardizzati orientati alle applicazioni. Una serie completa di benchmark è stata pubblicata e diverse iniziative sulla progettazione di benchmark sono già state avviate. Man mano che questi sforzi maturano diventerà possibile confrontare più facilmente le prestazioni dei computer quantistici. Sarà necessario estendere le loro tempistiche oltre l'attuale periodo di 41 mesi e **consentire una capacità sostenibile per garantire che le aziende che utilizzano queste strutture possano portare i loro prodotti sul mercato.**

I partner industriali nutrono inoltre diverse preoccupazioni in merito alla gestione della proprietà intellettuale relativa alle linee pilota. In particolare, è importante **coinvolgere l'industria il prima possibile e definire un approccio comune alla gestione della proprietà intellettuale** per tutte le linee pilota, fin dalla fase iniziale. **Per l'industria questo approccio è fondamentale.** C'è l'impressione che l'IP per le precedenti linee pilota (ad esempio, nella fotonica) sia stato gestito in modo incoerente tra i vari RTO (Research Technology Organization o centri di ricerca) e le università, con il rischio di spiacevoli problemi legali. Di conseguenza, nello sviluppo di queste tecnologie potrebbe essere necessario prendere in considerazione la protezione della proprietà intellettuale ed evitare l'impollinazione incrociata della proprietà intellettuale tra i partner del consorzio. Le licenze open source dei kit di progettazione, combinate con la possibilità per le aziende di includere funzionalità protette aggiuntive, possono aiutare a risolvere questi problemi. Tuttavia, possono essere necessari anche accordi speciali per una partnership separata. In ultima analisi, è probabile che la concessione di licenze e il trasferimento della linea pilota completata a una o più società saranno necessari per garantire la fornitura a lungo termine di componenti specializzati.

Ogni modalità richiede anche uno **sviluppo continuo delle tecnologie abilitanti** (criogenia, fotonica, crioelettronica ed elettronica RF/microonde, FPGA, ecc.), quindi è **necessario un sostegno per queste tecnologie di base** anche nell'ambito dei piani di finanziamento generali dell'UE (ad esempio, l'European Chips Act). In questa fase, alcune tecnologie chiave devono essere importate da altre giurisdizioni (e viceversa) e, sebbene da un punto di vista strategico o di sicurezza possa sembrare sensato che l'UE sviluppi alternative locali, i costi possono essere proibitivi e tali progetti presentano un rischio di fallimento molto elevato. È probabile che un approccio più efficace per garantire la stabilità dell'approvvigionamento sarà quello di **accordi commerciali internazionali e di sostegno alla localizzazione strategica di risorse critiche (ad esempio, fonderie di silicio) da parte di aziende internazionali.** Subordinatamente al successo dell'attuazione della strategia delineata, i membri di QuIC concordano sul fatto che i computer quantistici fault-tolerant saranno disponibili entro il 2035 e diverse aziende sono infatti fiduciose di poterlo raggiungere anche prima.

È essenziale ampliare e rafforzare l'accessibilità delle risorse di Quantum Computing all'industria per promuovere l'aggiornamento della forza lavoro e **sviluppare applicazioni per progredire verso il vantaggio quantistico. Un modo per raggiungere questo obiettivo potrebbe essere quello di consentire l'uso commerciale dell'infrastruttura EuroHPC a un costo ragionevole.** Per accedere in modo uniforme alle varie risorse di Quantum Computing, sono necessarie interfacce standardizzate. Nell'interesse dell'autonomia europea, sarebbe utile **disporre di uno stack di software europeo di adozione comune.** Dovrebbe essere open source, con interfacce standardizzate tra i livelli. Il sostegno a questa attività potrebbe anche consentire alle interfacce standardizzate di accedere in modo uniforme alle varie risorse di Quantum Computing (EuroHPC). Inoltre, **gli utenti finali devono essere supportati per aumentare l'adozione delle tecnologie Quantum.** Massimizzare l'utilità dei computer quantistici richiederà algoritmi di calcolo aggiuntivi e pacchetti che incorporino i nuovi algoritmi insie-



me agli algoritmi esistenti all'interno di librerie incentrate sull'applicazione. Il software dovrà tenere il passo con il numero crescente di qubit. Ciò è particolarmente vero per componenti come compilatori e software per il controllo e la calibrazione dei qubit. Poiché non sarà più possibile indirizzare manualmente migliaia o addirittura milioni di qubit, le tecniche di automazione diventeranno sempre più importanti. È **necessario un set di benchmark applicativi universali** a livello hardware per facilitare i confronti tra diverse modalità di qubit. Inoltre, dovrebbero essere sviluppati **benchmark specifici per l'applicazione** per valutare il potenziale di scalabilità di ciascuna modalità.

Il lavoro di ricerca e sviluppo è essenziale per le tecnologie abilitanti, in previsione della rapida e crescente domanda di componenti e sistemi nella catena di fornitura quantistica. Le **tecnologie abilitanti (criogenia, fotonica ed elettronica di controllo)** sono un pilastro importante della catena del valore dell'industria quantistica e il loro sviluppo darà un contributo significativo a tutti e tre i pilastri principali: Quantum Computing, QComm, rilevamento e metrologia. **Diverse tecnologie abilitanti importanti non sono attualmente disponibili in Europa.** L'assenza di approvvigionamento europeo crea un rischio di dipendenza e quindi di vulnerabilità nella catena di approvvigionamento esistente, e potrebbe limitare la capacità dell'Europa di espandersi e sviluppare nuove tecnologie. Queste lacune devono essere colmate. L'Europa può favorire l'emergere di operatori industriali di livello mondiale nelle catene di approvvigionamento quantistico del futuro.

Strumenti di astrazione per lo sviluppo di applicazioni quantistiche: esempio di collaborazioni internazionali con start-up europee



Gli esperimenti sui computer quantistici nella utility-scale richiedono competenze tecniche complesse e metodi avanzati di mitigazione degli errori. Per questo motivo sono stati messi a disposizione sul mercato degli strumenti che consentono agli sviluppatori di accedere a funzioni che astraggono e semplificano lo sviluppo di algoritmi e applicazioni quantistiche. Questi permettono di accedere ad algoritmi quantistici avanzati ad alte prestazioni a un livello di astrazione superiore. In tale ambito, la stretta collaborazione tra IBM con start-up innovative, come Algorithmiq ha consentito, introducendo strumenti di riduzione del rumore tramite post-elaborazione, un incremento di precisione ed efficienza dello strumento a beneficio della comunità aperta. Questa collaborazione ha quindi contribuito a compiere un passo in avanti verso l'utilità pratica dei computer quantistici. Esempi come questo, che rappresentano dunque soluzioni aperte alla collaborazione e messa a fattor comune delle conoscenze in essere, possono determinare contributi significativi alla sfida quantistica.

Fonti: <https://www.icar.cnr.it/notizie/il-cnr-entra-a-far-parte-del-quantum-network-di-ibm>, <https://opentalk.iit.it/en/iit-and-infn-collaborating-with-cern-as-new-members-of-its-ibm-quantum-network-hub> e <https://journals.aps.org/prxquantum/abstract/10.1103/PRXQuantum.5.037001>



Prospettive e sfide per le Quantum Comms in Europa⁵⁶

In termini di portata e ambizioni di sviluppo, Cina e Corea del Sud sono a uno stadio molto avanzato. La Cina ha implementato e testato diversi progetti QKD: la dorsale Pechino-Shanghai, di nuova costruzione, fornisce una dorsale QComm sicura che collega Pechino e Shanghai, passando attraverso diverse città, coprendo una lunghezza totale superiore ai 2.000 km di cavo in fibra ottica e un collegamento satellitare che copre 2.600 km tra due osservatori. Ora sta lavorando a miglioramenti significativi delle sue capacità QKD basate su satelliti. L'integrazione di collegamenti QKD in fibra e in spazio libero consentirà di estendere la portata delle reti QKD, rendendo possibile a QComm di estendersi su oltre 4.000 km. Nel 2022 la Corea del Sud ha lanciato un ampio progetto governativo per collegare 48 istituzioni pubbliche con una rete nazionale di QKD. Il nucleo della rete sarà composto da dozzine di collegamenti QKD in una topologia multi-anello connessa.

Le reti QKD terrestri basate su fibra sono intorno a TRL 5 in Europa. Oltre agli sviluppi tecnologici necessari per arrivare alla piena implementazione, le altre due sfide più importanti sono la sicurezza e i costi elevati che creano rilevanti barriere nell'esecuzione e implementazione. Gli elevati livelli di **sicurezza** abilitati all'interno della QKD si applicano solo ai componenti quantistici dei dispositivi. Non appena il token o le chiavi lasciano il componente quantistico, si applicano le classiche sfide di sicurezza IT. Meccanismi di monitoraggio della sicurezza dovranno essere presi in considerazione anche per i dispositivi di sicurezza quantistica. Con riguardo ai costi, anche se i prodotti QKD più maturi oggi disponibili possono essere utilizzati in ambienti di produzione, le spese di capitale e operative sono troppo elevate per generare un grande mercato. I **costi** dell'hardware diminuiranno con l'aumentare del volume di produzione, ma per raggiungere questo obiettivo è necessaria anche una migliore tecnologia a livello di componenti. Come già rilevato per le macchine di calcolo e simulazione, in alcuni casi i **componenti necessitano di ulteriore ricerca di base** prima di poter essere industrializzati. Oltre alla ricerca di base per portare i ripetitori quantistici a un TRL più elevato, le tecnologie QKD possono beneficiare della ricerca di base su componenti (sorgenti, modulatori, rivelatori e loro integrazione) della ricerca sull'integrazione della QKD nella rete di trasporto ottico; miglioramento degli schemi di ibridazione e dei casi d'uso per la combinazione QKD crittografia post Quantum (PQC); migliori prove di sicurezza che consentono SKR più elevati. Si tratta di importanti tecnologie abilitanti e i responsabili delle politiche di ricerca dovrebbero quindi **prestare particolare attenzione a questo settore. In una certa misura, questo sta già accadendo attraverso iniziative più piccole e più grandi come l'European Chips Act.** Con l'aumentare della complessità delle reti diventano importanti anche **standardizzazione e certificazione**. Interfacce standard devono garantire interoperabilità, la rete deve essere scalabile, i costi di espansione della rete restare entro un certo livello. Il lavoro di standardizzazione (ETSI, ITU-T) ha prodotto i primi risultati ma va continuato per abilitare ulteriori collaborazioni su progetti pilota come l' EuroQCI. L'Europa punta ad avere la prima certificazione di sicurezza QKD entro pochi anni, tuttavia serve intensificare gli sforzi per garantire questa tempistica superando problemi importanti quali la carenza di accademici ed esperti qualificati per lavorare sui fondamenti della sicurezza QKD, la necessità di maggiore collaborazione interdisciplinare tra la QKD e le comunità della sicurezza, che tradizionalmente provengono da aree diverse (rispettivamente fisica e matematica/ingegneria), la necessità di **investimenti nell'ecosistema della certificazione** composto da autorità nazionali e laboratori di valutazione accreditati. I progetti in questo settore sono in corso, ma devono essere accelerati e sostenuti da ulteriori finanziamenti pubblici e incentivi per la collaborazione interdisciplinare. In particolare occorre considerare il rischio di attacchi durante la migrazione su sistemi Quantum (attacchi "intercept-now decrypt-later") come pure non sottovalutare le potenzialità delle tecnologie future come la crittografia post-Quantum che sarà cruciale per la protezione dei dati sensibili o classificati. Per questo servono anche linee guida chiare o regolamentazione sull'utilizzo delle QKD in caso di elaborazione e trasmissione delle informazioni.



La **QKD** spaziale offre comunicazioni a lungo raggio a un livello di sicurezza inferiore, è quindi complementare alla QKD terrestre, più sicura, ma anche con una portata limitata (attualmente circa 100 km). I principali integratori di sistemi spaziali hanno condotto studi significativi sull'architettura dei sistemi, nell'ambito dei progetti CE/ESA, con specifiche coerenti sia per la componente terrestre che per quella spaziale, per arrivare a **un'infrastruttura di Quantum Communication complessiva**. Gli sforzi di sviluppo maggiori sono nella ricerca per aumentare capacità: per fornire servizi utili a più utenti finali con sicurezza elevata, nello sviluppo di un sistema di certificazione delle implementazioni (richiesto dalle agenzie di sicurezza nazionali) con eventuali requisiti su metodi di lavoro e infrastruttura di sviluppo, definizione di standard di interoperabilità e conformità alla sicurezza. Dal punto di vista dell'implementazione si stanno cercando soluzioni per una gestione efficiente della rete in generale e metodi di distribuzione delle chiavi ottimizzati per la QKD spaziale (per soddisfare esigenze eterogenee) nonché lo sviluppo di terminali utente semplificati, compatti e convenienti. Continuano gli sviluppi paralleli dei protocolli PM ed EB, tra loro complementari (PM per la tecnologia attuale, EB per il potenziale di evoluzione per fornire la distribuzione dell'entanglement per le future reti di informazione quantistica). L'adozione di sistemi satellitari pienamente operativi è prevista tra il 2025 e il 2029, sia nel settore istituzionale che in quello privato. Il loro utilizzo porterà all'identificazione di nuovi casi d'uso e potenzialmente nuovi requisiti e a un'ulteriore evoluzione.

In futuro entrambi i paradigmi (terrestre e satellitare) lavoreranno insieme per fornire servizi QKD continentali o addirittura globali. Tuttavia, i **singoli elementi costitutivi sono a diversi TRL**, ovvero presentano diversi gradi di rischio tecnico e diverse tempistiche di rilascio. Le decisioni relative all'architettura di rete o ai requisiti di sicurezza, nonché l'evoluzione delle esigenze degli utenti, avranno un impatto significativo sul ruolo della QKD basata su fibra e satellitare. I sistemi più diffusi in tutto il mondo e in Europa sono le soluzioni DV QKD mentre le soluzioni CV QKD iniziano a essere commercializzate e guadagneranno presenza all'interno delle reti metropolitane. Altre tecnologie sono disponibili anche come prodotti commerciali o pre-commerciali. Per costruire reti QKD che vanno oltre un singolo collegamento punto-punto,

Raccomandazioni generali del Consorzio QuIC



1. Consolidare le attività di ricerca nell'ambito delle tecnologie di comunicazione quantistica e di calcolo quantistico, per aumentare le capacità di entrambi i pilastri in modo sinergico.
2. Stabilire stretti legami tra la simulazione quantistica e l'informatica quantistica, nonché con la metrologia e il rilevamento quantistici, in particolare attraverso tabelle di marcia mirate per il settore.
3. Promuovere la dimostrazione di casi d'uso con rilevanza per gli utenti finali.
4. Identificare problemi praticamente rilevanti in cui ci si aspetta un vantaggio quantistico.
5. Facilitare lo sviluppo di prototipi a costi ragionevoli estendendo le soluzioni Europractice ai partner commerciali nel contesto della ricerca accettata.
6. Identificare le esigenze e le aspettative precise dei partner del settore.
7. Aumentare la consapevolezza generale dell'industria europea sulla simulazione quantistica.
8. Sostenere lo sviluppo di standard aperti per collegare meglio i progetti e facilitare il trasferimento tecnologico.
9. Supportare le tecnologie abilitanti strategiche (criogenia, microonde, laser, nonché i circuiti superconduttori classici, importanti sia per l'informatica che per la comunicazione).
10. Mantenere l'accesso democratico alle risorse, sia per i computer quantistici che per le tecnologie.



sarà necessario anche un **software** non solo per distribuire la chiave, ma per controllare e gestire il funzionamento dell'intera rete con funzionalità che devono ancora essere progettate. Le attuali attività di standardizzazione in tutto il mondo stanno lavorando su concetti di architettura di rete approvati e interfacce interoperabili tra i moduli. In futuro, dopo il 2030 la componente spaziale sarà integrata all'interno di una rete di informazione quantistica, come mezzo per distribuire l'entanglement su grandi distanze. L'infrastruttura dipenderà dai ripetitori terrestri, necessari per superare la limitazione della portata e facilitare la scalabilità. Emergeranno anche implementazioni alternative attualmente impossibili grazie ai progressi attesi in ambiti quali i ripetitori quantistici di bordo o i collegamenti intersatellitari quantistici, e alla maggiore sinergia tra QComm e tecnologie Quantum che saranno imbarcate sui satelliti (sensori quantistici, navigazione quantistica, Quantum Computing).

Mentre la tecnologia QKD sta diventando matura e applicabile, la ricerca sta progredendo anche sulla prossima generazione di tecnologia di rete quantistica, **l'Internet quantistico** per fornire reti quantistiche completamente entangled in grado di collegare computer quantistici, QPU e sensori quantistici. Le prime implementazioni che collegano due computer quantistici nella stessa area metropolitana hanno vantaggi limitati rispetto alla potenza di calcolo dei prodotti autonomi. Grazie alla diffusione di QKD e crittografia post-Quantum sarà possibile collegare computer quantistici situati nella stessa regione in reti con potenza di calcolo combinata sostanzialmente superiore alla somma dei singoli dispositivi. La funzionalità principale sarà la distribuzione end-to-end dell'entanglement, grazie a ripetitori quantistici e memorie quantistiche per estendere le distanze. Le prime implementazioni dei nuovi servizi QComm come l'Internet quantistico saranno in applicazioni di nicchia (dove sono accettabili costi elevati e chiavi limitate). La tecnologia aumenterà il suo TRL nei prossimi anni con il lancio di banchi di prova per sviluppare e industrializzare una varietà di prodotti e casi d'uso. Un consorzio leader in questo campo in Europa è la Quantum Internet Alliance.

Prospettive e sfide per rilevamento quantistico e metrologia in Europa⁵⁷

I sensori quantistici hanno molte applicazioni nella strumentazione, nella biologia, nel rilevamento di radiofrequenze, nell'elaborazione, nelle applicazioni di rilevamento e telemetria, nella misurazione e navigazione di tempo/frequenza, nella gravimetria e nella metrologia. Esistono tre classi principali di sensori quantistici, basati rispettivamente sulla fisica dello stato solido (con la maggior parte delle piattaforme basate su centri NV a TRL 3, oltre agli SQIF [Superconducting Quantum Interference Filter] e le tecniche SHB [Spectral Hole Burning] a TRL 5), sui gas atomici (celle di vapore a TRL 3, gli atomi freddi su un chip a TRL 4 e clock ad atomi freddi a TRL 4-5) e sugli stati quantistici della luce (utilizzati in strumenti di grandi dimensioni). Se oggi sono pochi i prodotti sul mercato (gravimetri quantistici terrestri e i microscopi a risoluzione nanometrica), grazie **all'ampio lavoro di ricerca e sviluppo in corso**, si prevede che una gamma più ampia di sensori quantistici raggiungerà TRL medi (4-6) e alti (7-9) in tutti e tre i filoni entro al massimo i prossimi quattro anni, fino ad arrivare a un'ampia diffusione per i sensori a stato solido e a gas atomici a partire dal 2030. Le applicazioni includono strumentazione, biologia, rilevamento ed elaborazione RF, applicazioni radar, misurazione e navigazione tempo/frequenza, gravimetria, metrologia, dove le tecnologie quantistiche possono aggiungere nuove funzionalità e offrire una sensibilità maggiore rispetto ai sensori classici. Poi si passerà a considerare applicazioni in ambienti difficili come lo spazio e applicazioni consumer.

I buoni risultati di diversi produttori europei suggeriscono la necessità di **continuare a finanziare la ricerca e sostenere l'industrializzazione e la filiera** per i prodotti di alta gamma e per i prodotti di massa attraverso diverse misure:

- promuovere la pubblicazione di una "Quantum Sensing Toolbox", ovvero di un catalogo di sensori/dispositivi europei ad alte prestazioni a cui i potenziali acquirenti



TABELLA 4 Offerta di Lauree Magistrali e Master Quantum in Italia*

Fonte: Anitec-Assinform
* a ottobre 2024, non esaustiva

Università**	Nome Corso	Tipologia	Lingua	Sede	Posti max disponibili	Durata	Struttura Proponente	Partner	Collaborazioni
Università degli Studi di Bologna	Fisica - Theoretical Physics	Laurea Magistrale LM-17	inglese	Bologna	accesso libero	due anni, lezioni, laboratorio, applicazioni pratiche	Dipartimento di Fisica e Astronomia - DIFA	INFN CNR CINECA	
Università Cattolica del Sacro Cuore	Fisica - Theoretical and Quantum Physics	Laurea Magistrale LM-17	inglese	Brescia	accesso libero	due anni, lezioni, laboratorio, applicazioni pratiche	Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali	CNR - INO	QTI, Pasqal, Leonardo
Unicam - Università di Camerino****	Fisica - Quantum Technologies	Laurea magistrale LM-17	inglese	Camerino	accesso programmato	due anni, lezioni, laboratorio, stage formativi	Scuola di Scienze e Tecnologie	INRIM, Fondazione Links, NKT Photonics	
Università degli Studi di Firenze	Fisica - Scienze e Tecnologie Quantistiche	Laurea Magistrale LM-17	italiano	Firenze	accesso libero	due anni, lezioni teoriche e sperimentali, laboratori, attività computazionali	Dipartimento di Fisica ed Astronomia	LENS, CNR, INFN, INRIM	
Politecnico di Milano	High Performance Computing	Laurea Magistrale LM-32	inglese	Milano	accesso libero	due anni, lezioni con progetti pratici e applicati, attività di laboratorio	Scuola di Ingegneria Industriale e dell'Informazione, MOCS - Dipartimento di Matematica	ENI, AWS, Dompè, CINECA, IBM, Jülich S.C., Barcelona S.C., E4 Computer Engineering, PSNC, HEAP, NECST, INFN, D-Wave,	IdeaRE, FermiLab, SEEQC, Spindox, GZX, BIP
Università degli Studi di Milano Bicocca	Fisica - Tecnologie Quantistiche	Laurea Magistrale LM-16	inglese/italiano	Milano	accesso libero	due anni, lezioni, laboratori, lavoro sperimentale	Dipartimento di Fisica "G. Occhialini", BIQUITE	INFN, Fondazione Bruno Kessler (FBK), INRIM, Superconducting Quantum Materials and Systems Center (SQMS) at Fermilab	
Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia	Fisica - Nano-physics and quantum technologies	Laurea Magistrale LM-17	inglese	Modena	accesso libero	due anni, lezioni, laboratori, progetti	Dipartimento di Scienze Fisiche, Informatiche e Matematiche (FIM)	Istituto di Nanoscienze del CNR, Fondazione Bruno Kessler, Ferrari, UnipolSai	
Università degli Studi di Napoli Federico II	Quantum Science and Engineering	Laurea magistrale LM-44	inglese	Napoli	accesso libero	due anni, lezioni, sessioni laboratorio interattive e seminari, un anno per laureati magistrali in fisica/ingegneria	Dipartimento di Fisica Ettore Pancini e Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione	QuantumNet, Leonardo	
Università degli Studi di Padova	ICT For Internet and Multimedia - MIMe - Quantum Information and Photonics Track	Laurea magistrale LM-27	inglese	Padova	accesso libero	due anni, lezioni teoriche e applicative	Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione	Leonardo, Qascom, Delta Ohm, CEIT, NTSG, Infineon, SIT, Nitec Medical	
Università degli Studi di Pavia*****	Fisica - Physics of Quantum Technologies	Laurea magistrale LM-16	inglese/italiano	Pavia	accesso libero	due anni + 1 semestre opzionale project work	Dipartimento di Fisica	CEA-LETI, INFN, CNR, INAF-IASF, Fondazione CNAO, ENI, Xanadu Quantum Technologies, IBM Research GmbH	
Università di Pisa	Fisica - Quantum Computing and Technologies	Laurea Magistrale LM-16	italiano	Pisa	accesso libero	due anni, lezioni e laboratori didattici	Dipartimento di Fisica	CINECA, INFN, CNR	Fermilab, OpenAI
Politecnico di Torino	Quantum Engineering	Laurea magistrale LM-29	inglese	Torino	accesso libero	due anni, lezioni, laboratori sperimentali e computazionali	Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni	INRIM, Fondazione Links	
Università degli Studi di Trieste	Scientific and Data-Intensive Computing - Quantum	Laurea magistrale LM-44	inglese	Trieste	65	annuale, lezioni, laboratori, internships, in presenza	Dipartimento di Matematica Informatica e Geoscienze	Università di Udine, SISSA - Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati, ICTP, AREA Science Park, OGS, INAF	
Università degli Studi di Bari Aldo Moro	Quantum Science and Technology	Master II livello	inglese	Bari	22	annuale, 1500 ore, 362 ore lezione, 525 ore stage in azienda, 35 ore seminari	Dipartimento Interateneo di Fisica	Planetek Italia, QTI, Lutech, Xanadu (Toronto), Quside, Geophysical Applications Processing srl, Exprivia, Optoprim, Luxquant, Quandela, Leonardo	
Università degli Studi di Bologna	High-performance and quantum computing	Master II livello	inglese	Bologna	25	annuale, 1500 ore, 289 ore lezione, 575 ore tirocinio, applicazioni pratiche	Dipartimento di Fisica e Astronomia "Augusto Righi"	INAF, CINECA, INFN, INGV, Italia Meteo, Centro euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC), ARPAE, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), E4 Computer Engineering, Esteco Engineering,	Fondazione Alma Mater, INAF, CINECA, Ferrari, IBM-Quantum Italy, Leithä-Unipol
Università degli Studi di Catania	Quantum Science and Technology	Master II livello	inglese	Catania	20	annuale, 1500 ore, 279 ore didattica frontale; 771 ore studio individuale, 400 ore stage	Dipartimento di Fisica e Astronomia "Ettore Majorana"	"SeeQC"	imprese NOSTI, imprese quantum fw, start-up sw
Università degli Studi di Palermo	"Quantum Electronics and Communications Engineering"	Master II livello	inglese	Palermo	15	annuale, 1500 ore, 400 ore lezione, 350 tirocinio, 750 ore progetto e tesi	Dipartimento di Ingegneria	Ministero della Difesa, CNIT, CNR, Uni Camerino	
Sapienza Università di Roma	Optics and Quantum Information	Master II livello	inglese/italiano	Roma	20	annuale, 1500 ore, tre trimestri, lezioni teoriche, laboratorio, stage industriali o di ricerca	Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria (Ing. civile e industriale) con Ing. dell'informazione	"CNR-IFN, Università degli Studi di Firenze e altre 9 università europee, CNRS France, CEA France, Quandela, Single Quantum Bv, Qubiq GmbH, Nkt Photonics"	
Politecnico di Torino	Quantum Communication and Computing	Master II livello	italiano	Torino	14	annuale, 720 ore di cui 420 ore lezione e 300 ore tirocinio, project work	"DAUIN - Dipartimento di Automatica e Informatica del Politecnico di Torino"	INRIM, Fondazione Links	Intesa Sanpaolo, Consorzio Top IX, TIM
Università Ca' Foscari Venezia	Quantum Machine Learning	Master II livello	italiano	Venezia	20	annuale, 1500 ore, 300 ore lezioni, 250 ore stage, misto presenza/online	Dipartimento di Economia, Dipartimenti di Managmt, Scienze Amb., Inform. e Statist., Scienze Molec. e Nanosistemi	Deep Learning Italia, IBM	
Università degli Studi dell'Insubria	Quantum Technologies	Perfezionamento per LM STEM	inglese	Como	75	6 mesi, 204 ore lezioni, project work	Dipartimento di Scienze e Alta Tecnologia	CINECA	
Università di Napoli Federico II	Quantum Computing Academy	Academy	italiano	Napoli	23	6 mesi, 400 ore, lezioni pratiche e teoriche	CeSMA (Centro Serv. Metrologici e Tecn. Avanzati), Dipartimenti di Fisica, Ing. Elettrica e Tecn. dell'Informazione	QuantumNet, NetCom Group, Leonardo, Accenture, QuantWave	

** Diverse università italiane hanno attivato corsi di laurea magistrale, master o dottorati di ricerca in tecnologie quantistiche, in collaborazione anche con enti di ricerca e fondazioni.

*** Altre iniziative di approfondimento sulle tecnologie quantistiche sono offerte in forma di corsi brevi, seminari, o corsi estivi all'università Vanvitelli di Caserta, alle Università dell'Insubria, Pavia, Parma, Perugia, Trento, Udine, Verona

**** La Quantum Computing Academy nasce dalla collaborazione tra CeSMA (Centro Servizi Metrologici e Tecnologici Avanzati), l'Università di Napoli "Federico II" e QuantumNet, con l'obiettivo di creare un percorso formativo, innovativo e sfidante, nel settore della computazione quantistica



possono accedere per capire come sono adatti e possono essere implementati nelle loro linee di produzione e servizi esistenti;

- incentivare le start-up a specificare meglio i requisiti e il livello di prestazioni delle tecnologie in fase di sviluppo oltre alle modalità di soddisfazione dei requisiti;
- incentivare l'uso di componenti dell'UE, in particolare nei sistemi prodotti per le organizzazioni europee, coordinandosi con i produttori europei che seguono le certificazioni richieste, per discutere le normative che potrebbero aiutarli a sviluppare i loro prodotti;
- rafforzare il coordinamento nelle attività di sviluppo tra tecnologie per il rilevamento quantistico e la metrologia e lo sviluppo della fotonica per garantire che le tecnologie abilitanti rilevanti siano sostenute in modo coerente da tutte le iniziative;
- nei bandi per i progetti quantistici europei includere un compito per il coordinamento con altri gruppi;
- stimolare i finanziamenti privati da parte degli investitori;
- favorire il coordinamento tra start-up e organizzazioni di ricerca o strutture tecnologiche per facilitare il raggiungimento del mercato a costi e tempi inferiori.

Occorre inoltre rafforzare la **consapevolezza sulla reale fattibilità di percorsi verso l'industrializzazione di componenti prodotti in Europa**. Alcuni componenti hanno un costo e serve che il mercato sia pronto a pagarne il prezzo almeno in fase iniziale. Per questo servono valutazioni del rischio delle tecnologie critiche, per stabilire quali tecnologie devono essere prodotte strategicamente in Europa, valutare il costo di queste strategie ed essere pronti a pagare il costo di componenti che potrebbero non essere competitivi nel mercato globale.

Lo sviluppo di competenze quantistiche in Europa e in Italia⁵⁸

L'aumento degli investimenti in tecnologie Quantum ha intensificato la domanda di una forza lavoro quantistica diversificata ed esperta. Secondo il consorzio europeo dei produttori di tecnologie quantistiche (European Quantum Industry Consortium, QuIC) serve una strategia **in due fasi**: dapprima, **nel breve termine, riqualificare o aggiornare la forza lavoro** nelle discipline correlate potrebbe aiutare a colmare il divario, **mentre nel lungo termine occorre sviluppare e adattare i programmi educativi e aumentare il profilo delle discipline quantistiche nel mondo accademico**.

Aziende e start-up quantistiche stanno investendo nella formazione, nell'attrazione e nel mantenimento di talenti provenienti da varie discipline e competenze. Soprattutto nel breve termine, un elemento chiave è la collaborazione internazionale e il superamento di



SWOT della ricerca quantistica in Italia

Punti di forza:

- robusto settore industriale, secondo in Europa, con molti potenziali utilizzatori della tecnologia quantistica;
- integrazione nel mercato unico europeo e nei programmi di ricerca europei sulle tecnologie quantistiche;
- base scientifica di livello apprezzabile per ampiezza delle pubblicazioni: ottava per numero di pubblicazioni su discipline quantistiche e decima per pubblicazioni a maggiore impatto (WoS);
- rapida creazione del Centro Nazionale ICSC e dei centri di competenza dedicati al Quantum finanziati dalla missione 4 del PNRR, mettendo a sistema le diverse iniziative di ricerca già presenti a Roma, Trento, Trieste, Ge-

nova, Pisa, Bologna, Bari, Camerino, Catania, Firenze, Milano, Napoli, Parma, Pavia, Padova;

- buone capacità della ricerca di realizzare prototipi ai livelli 2-5 della catena del valore (chip, componenti piattaforma, controllo e software), soprattutto in ambito comunicazione (tecnologia QKD), simulazione (ottica quantistica e fotonica) e sensoristica;
- sviluppo coordinato attraverso il Centro ICSC di computer quantistici general purpose con diverse tecnologie (ioni intrappolati, Padova; fotoni, Roma; a superconduttori, Napoli) e simulatori quantistici ad atomi freddi (Firenze);
- realizzazione del primo chip Quantum superconduttivo italiano (Trento);



- infrastruttura importante con la presenza di due calcolatori Quantum full-stack a Napoli (basato su tecnologia americana di Seeqc) e a Bologna (basato su tecnologia francese di Pascal) disponibili per ricerca e test in ambito quantistico anche in sinergia – grazie allo sviluppo di middleware ibridi – con le macchine HPC e tradizionali;
- realizzazione del Quantum Backbone italiano di 1.850 km con il progetto QUID (Quantum Italy Deployment) interconnesso con la European Quantum Communication Infrastructure (EuroQCI) e con l'integrazione di comunicazione quantistica e tradizionale, terra e spazio. Roadmap di operatività entro il 2027;
- continuo scambio tra scienza e industria nel quadro della ricerca collaborativa rafforzata anche dalla collaborazione interministeriale tra MUR e Ministero delle Imprese;
- solida formazione universitaria;
- apertura di diversi corsi tecnici superiori e accademici specializzati su tecnologie e applicazioni Quantum.

Punti di debolezza:

- bassa consapevolezza e conoscenza dell'offerta di tecnologie quantistiche e delle loro applicazioni nel mondo industriale e conseguente mancanza di propensione all'utilizzo;
- poca sperimentazione: nel settore privato solo una su dieci grandi aziende italiane ha avviato sperimentazioni di tecnologie quantistiche, molte non hanno strumenti per valutare l'investimento;
- bassa produzione brevettuale: Italia decima con il 2% nei brevetti in tecnologie Quantum con protezione internazionale e undicesima con 1,8% nei brevetti triadici (PatStat);
- limitato accesso a competenze e infrastrutture avanzate a causa della scarsa collaborazione con aziende leader nel settore quantistico internazionale;
- nel campo dell'informatica quantistica completa dipendenza dalle aziende nordamericane;
- assenza nella fase 1 della catena del valore e presenza limitata in ciascuna delle fasi da 2 a 5 e nessuna azienda con i volumi sufficienti a entrare nell'elenco ristretto delle principali aziende per ognuna di queste fasi;
- bassa massa critica dal settore ICT su cui potere fare leva per risorse tecnologiche e di conoscenza, rispetto agli USA e alle maggiori economie;
- finanziamento pubblico molto limitato (circa 140 milioni in tre anni) rispetto ai finanziamenti miliardari delle altre maggiori economie;
- bassissimo capitale di rischio per le start-up, poche start-up e nessuna scale-up in ambito quantistico, mentre tutte le maggiori economie hanno più di 50 start-up e almeno una scale-up;
- bassa propensione alle materie STEM a livello di istruzione terziaria riduce il potenziale bacino di potenziali studenti di materie legate alle tecnologie quantistiche.

Opportunità:

- i settori industriali italiani con maggiore orientamento alle esportazioni potrebbero beneficiare in modo molto elevato dell'utilizzo della tecnologia quantistica (materie prime e specialità farmaceutiche, macchine e impianti, microelettrica e componenti, chimica, aerospazio ecc.);
- individuazione di nuove sinergie da una più estesa collaborazione interministeriale anche con Sanità, Ambiente, Interni, Difesa;
- base solida di sviluppo verso TRL elevati, soprattutto in ambiti come ottica quantistica e metrologia, componentistica, QKD, tecnologie quantistiche per la comunicazione nello spazio;
- opportunità di collaborazioni di co-design per i fornitori e gli utenti della tecnologia con il progredire dei TRL;
- nuovi mercati per le PMI-high tech italiane come produttori di componenti per tecnologie e dispositivi quantistici;
- grande potenziale economico dei settori della comunicazione e della tecnologia dei sensori dove più avanzata è la ricerca (sia di base che applicata) e di maggiore impatto le sinergie tra le diverse tecnologie quantistiche;
- grande opportunità a valle della filiera dell'informatica quantistica (middleware e software applicativo) attraverso lo sviluppo di nuove applicazioni;
- economie di scala rilevanti dalla collaborazione con i programmi di ricerca e trasferimento tecnologico europeo mirati a mantenere l'autonomia tecnologica in Europa;
- grande potenzialità dalla rete QUID se implementata nelle tempistiche concordate.

Minacce:

- carenza di forza lavoro qualificata;
- trasferimento verso i Paesi più avanzati o con più risorse di scienziati ed esperti di alto livello;
- progressi più lenti del previsto nella ricerca applicata e nel trasferimento tecnologico in assenza di collaborazioni internazionali che potrebbero velocizzarne il percorso;
- minacce alle infrastrutture critiche nazionali a causa dell'uso di computer quantistici in grado di superare sistemi di cyber sicurezza avanzati da parte di altri Stati;
- potenziali esclusioni dall'utilizzo delle tecnologie brevettate in altri Paesi extra-europei;
- mancanza di fiducia nella tecnologia per bassa qualità o mancanza di casi di utilizzo significativi;
- mancanza di comparabilità per il lento sviluppo dell'offerta;
- mancanza di certificazioni indipendenti dei componenti della tecnologia quantistica;
- esclusione da iniziative di collaborazioni bilaterali con gli USA⁷⁰;
- gli standard sono stabiliti al di fuori dell'Europa e sono incompatibili con i prodotti nazionali;
- difficoltà a raggiungere massa critica nelle risorse e nei risultati a causa di una eccessiva frammentazione e distribuzione territoriale che parcellizza risorse e competenze e ostacola la focalizzazione sugli ambiti a maggiore potenziale.



normative che spesso impediscono agli specialisti non europei di lavorare in Europa al di fuori di un ambiente accademico. Le disposizioni per i visti di lavoro generalmente non includono ancora gli specialisti in tecnologie Quantum.

Nella formazione accademica si stanno organizzando sia nuovi percorsi di apprendimento, rispondendo alla domanda generata dalla ricerca e dall'industria in termini di competenze e requisiti, **che modifiche degli attuali percorsi**, aggiungendo nuove materie/moduli in ambito Quantum.

A livello europeo, il progetto DigiQ (Digitally Enhanced European Quantum Technology), finanziato da Digital Europe, coinvolge 24 istituzioni in 10 Paesi (in Italia, l'Università di Pisa) per offrire master specializzati in tecnologie Quantum ma anche percorsi di aggiornamento e riqualificazione. Modificare i programmi di apprendimento esistenti è importante quanto crearne di nuovi. Il cambiamento più importante sarebbe quello di inserire i concetti quantistici nei curricula esistenti per l'informatica, le telecomunicazioni e le discipline correlate. Dovrebbero anche essere disponibili punti di ingresso in ogni fase dell'istruzione, per attirare studenti il cui obiettivo principale non è una materia specificamente correlata alla quantistica, ma che sono interessati a comprenderne alcuni aspetti, ad esempio, per valutare potenziali applicazioni quantistiche, gestire progetti relativi alla quantistica e altri compiti simili.

In Italia negli ultimi anni molte università hanno potenziato la formazione superiore in ambito Quantum secondo diverse modalità: attivando lauree magistrali specifiche sulle tecnologie quantistiche, formalizzando percorsi di studio specialistici sul Quantum nell'ambito delle lauree magistrali in fisica o ingegneria, oppure attivando dei nuovi master di secondo livello su filoni specifici delle tecnologie quantistiche, dal machine learning alle comunicazioni. In tutti i casi hanno ampliato le partnership e le reti di collaborazione con centri di ricerca internazionali e grandi aziende nazionali attive nella ricerca (ENI, UnipolSai, Intesa Sanpaolo, Thales Alenia, TIM per fare alcuni esempi) (Tab. 4). Diverse università stanno offrendo PhD cofinanziati dal PNRR M4C2-I3.3 in ambito Quantum. Alle università che insieme ai master di primo e secondo livello specializzati sulle tecnologie quantistiche offrono PhD in generale sugli stessi percorsi di ricerca e di sperimentazione, si aggiungono altre università che fanno leva su collaborazioni universitarie o di ricerca internazionali. Borse di studio per PhD in ambito Quantum sono così offerte anche nelle Università dell'Aquila, Parma, Trento, Trieste, allo SPIN Institute (CNR) di Salerno e alla Scuola Superiore Sant'Anna e alla Scuola Normale Superiore di Pisa, per citare alcuni esempi. All'offerta di nuovi master e PhD in alcuni casi si accompagna anche l'apertura di nuovi laboratori di ricerca quantistica (Napoli, Trieste), grazie ai finanziamenti dal PNRR M4C2-I3.1 e dei Piani di coesione europei finanziati attraverso le Regioni.

L'obiettivo è che entro il prossimo decennio l'istruzione sui fenomeni quantistici e sulle tecnologie Quantum sia ampiamente disponibile in Europa e in Italia a più livelli, dall'istruzione secondaria al dottorato, con obiettivi di apprendimento allineati alle competenze richieste dall'industria e dalla ricerca.

Per **la formazione e lo sviluppo della forza lavoro esistente** servono programmi di formazione professionale specifici per il Quantum, ma che non richiedano un ampio background in fisica quantistica. Avranno lo scopo di fornire una comprensione del settore e la capacità di tradurre i problemi aziendali gestibili con applicazioni quantistiche. Nel medio termine, con l'aumentare della conoscenza quantistica nelle aziende, i corsi formeranno all'utilizzo delle tecnologie quantistiche, in particolare i computer quantistici, in modo efficace e da trarne benefici per i processi aziendali. Finanziato anch'esso da Digital Europe, il progetto QTIndu⁵⁹ si concentra sulla riqualificazione dell'attuale forza lavoro in allineamento con l'attuale QTEdu Competence Framework⁶⁰ (per passare da esperti a professionisti attivi) attraverso corsi offerti da produttori o enti di formazione specializzati. Con l'evoluzione delle tecnologie quantistiche e la loro industrializzazione si potranno mappare con più chiarezza competenze e ruoli specifici, in base alle diverse tecnologie quantistiche e settori di attività. Le aziende con un'adozione avanzata delle tecnologie quantistiche disporranno di opzioni di sviluppo delle competenze per reparti e aree specifiche. La quantità di persone da formare e la velocità della trasformazione dipenderanno dai modelli industriali e di business e dall'evoluzione della forza lavoro quantistica.



Opportunità e sfide per l'industria del Quantum in Italia

Nel 2024 il governo italiano ha annunciato investimenti significativi nella ricerca e nello sviluppo della tecnologia quantistica con progetti e programmi di formazione. Nonostante le tempistiche e le somme investite non siano ancora in linea con i principali Paesi europei, per il Quantum italiano il potenziale resta molto alto.

La progressione dell'ecosistema Quantum può offrire nuove opportunità per la creazione di tecnologie Quantum avanzate e la loro diffusione sul mercato. Ma per seguire il passo delle altre maggiori economie serve una ricognizione oggettiva e accurata del progresso finora raggiunto rispetto agli obiettivi concordati nella European Quantum Flagship e degli obiettivi realisticamente raggiungibili alla luce dello stato dell'arte della ricerca nelle sue diverse fasi a livello nazionale.

Alla luce dei dati pubblicati e delle informazioni divulgate sui progetti (come illustrato nei paragrafi precedenti), la posizione dell'Italia nelle tecnologie quantistiche è apprezzabile ma non ancora sufficientemente solida lungo tutti i livelli della filiera. Per beneficiare dello sviluppo delle tecnologie quantistiche e ambire a stabilire un accesso sovrano a questa tecnologia futura serve migliorare la nostra posizione e mettersi al passo con gli altri leader tecnologici. Insieme al rafforzamento della ricerca di base è urgente individuare fin da subito i filoni su cui garantire un sostegno mirato e a lungo termine così da potere consolidare delle posizioni rilevanti quando il Quantum diventerà un vero e proprio mercato.

Una valutazione articolata della situazione attuale potrebbe essere quella evidenziata nel riquadro.

Questa analisi può essere migliorata e approfondita, ma già è sufficiente per mostrare:

- **dal punto di vista nazionale**, il potenziale dell'Italia per lo sviluppo di una filiera quantistica nazionale competitiva ma anche il rischio elevato di non riuscire ad attuarlo se non vengono delineati chiaramente gli obiettivi prioritari alla luce del contesto nazionale, rafforzate le risorse e consolidate le roadmap alla ricerca di maggiori sinergie;
- **nel contesto internazionale**, la necessità di mettersi al passo con i leader tecnologici mondiali o attivare delle collaborazioni con essi garantisce **lo sviluppo tecnologico**, per sfruttare il potenziale di creazione di valore e aprire grandi opportunità per l'uso della tecnologia quantistica prodotta anche in Italia nell'economia.

A tal fine, lo sviluppo e l'implementazione di un'Agenda Nazionale per le Tecnologie Quantistiche non solo è urgente per non rimanere troppo indietro rispetto ad altri Paesi europei, agli USA e alla Cina, ma vanno pensati, costruendo sui risultati raggiunti, nello scenario delineato dall'Agenda Europea per il Quantum a garanzia di livelli di attività e di mercato coerenti con i volumi di investimento necessari. L'agenda europea per creare un ecosistema di tecnologia quantistica competitivo a livello mondiale è appena stata riconfermata attraverso la "Dichiarazione europea sulle tecnologie quantistiche" sottoscritta dalla quasi totalità dei Paesi dell'Unione, a conferma e aggiornamento della roadmap definita dalla European Quantum Flagship (raccomandazioni nel riquadro).





Dichiarazione europea sulle tecnologie quantistiche

Gli Stati membri firmatari riconoscono l'importanza strategica delle tecnologie quantistiche per la competitività scientifica e industriale dell'UE e si impegnano a collaborare allo sviluppo di un ecosistema di tecnologia quantistica di livello mondiale in tutta Europa, con l'obiettivo ultimo di fare dell'Europa la "valle quantistica" del mondo, la regione leader a livello mondiale per l'eccellenza quantistica e l'innovazione [...]

Dichiarazione

Alla luce di queste considerazioni, gli Stati membri firmatari convengono di collaborare tra loro e con la Commissione Europea nel settore strategico e ad alto potenziale delle tecnologie quantistiche, con l'obiettivo finale di rendere l'UE la valle quantistica del mondo. Al fine di raggiungere questo obiettivo, gli Stati membri convengono di collaborare tra loro e con la Commissione europea per:

1. **Allineare e/o coordinare** i principali programmi e iniziative di R&S europei, nazionali e regionali nel settore delle tecnologie quantistiche e avviare attività di **cooperazione** per intensificare gli sforzi europei per essere un attore leader nella R&I quantistica a livello globale, nonché un soggetto normativo, definendo standard quantistici con i partner internazionali e gli organismi governativi di normazione competenti.
2. Coordinare gli sforzi per **accelerare la transizione dal "laboratorio" al "fab"**, colmare le lacune nella catena di approvvigionamento europea e facilitare la trasformazione della ricerca quantistica europea di alta qualità in dispositivi e applicazioni commerciabili con un notevole valore economico e sociale.
3. Sostenere una **rete coordinata di cluster di competenze quantistiche**. La missione di questi cluster di competenze sarebbe quella di promuovere negli Stati membri attività di ricerca, innovazione e sostegno

incentrate sulla quantistica e orientate all'industria e di contribuire alla loro messa in rete a livello dell'UE. Esse riguarderebbero la combinazione di diverse attività dell'ecosistema della tecnologia quantistica, conformemente alle preferenze e agli obiettivi di ciascuno Stato membro.

4. Impegnarsi in attività per costruire collettivamente le **infrastrutture quantistiche paneuropee** del futuro, sia sulla terra che nello spazio, nell'informatica e nella simulazione quantistica, nelle comunicazioni sicure, nel rilevamento quantistico e nella metrologia.

5. Sviluppare ulteriormente tutti i settori dell'ecosistema quantistico europeo, in particolare attraverso il **sostegno alle start-up e alle scale-up**, nonché azioni volte a incentivare i finanziamenti privati, anche incoraggiando le grandi imprese di molti settori industriali a investire nella quantistica.

6. Sostenere **maggiori investimenti pubblici** nell'innovazione quantistica europea, rafforzando la sicurezza economica e l'autonomia tecnologica dell'UE.

7. Individuare le misure di **sviluppo delle competenze e di formazione** necessarie per sostenere e far crescere l'ecosistema quantistico dell'UE e adottare misure coordinate per attuarle.

8. Intraprendere attività per acquisire una **comprensione più approfondita dell'impatto sociale ed economico** delle tecnologie quantistiche e delle sfide che l'informatica quantistica può sollevare per le attuali tecniche di crittografia.

9. Monitorare le prospettive globali delle tecnologie quantistiche, allineare le misure orientate a livello internazionale per rafforzare la sicurezza economica dell'UE, individuare gli sviluppi, le opportunità e le minacce principali e impegnarsi attivamente nell'individuazione e nello sviluppo di **futuri accordi a livello dell'UE e di opportunità di collaborazione in materia quantistica con i Paesi terzi e le organizzazioni internazionali**.

Impegno del G7 sulle scienze e tecnologie quantistiche

I Ministri della Scienza e della Tecnologia del G7, nella riunione di luglio 2024 sotto la Presidenza italiana, hanno confermato il ruolo centrale che la scienza, la tecnologia, l'innovazione, la formazione superiore e l'"advanced training" svolgono nel contribuire a un futuro sostenibile, e riaffermato l'impegno comune a sostenere il progresso nella ricerca con una rafforzata collaborazione.

Per accelerare la produttività e affrontare le pressanti sfide sociali è necessario consolidare e facilitare l'adozione delle tecnologie nuove ed emergenti quali la tecnologia quantistica, ma anche l'intelligenza artificiale, il calcolo ad alte prestazioni, i materiali avanzati, la biologia sintetica e le biotecnologie, le nanotecnologie e la robotica. Su questo fronte sostengono la ricerca responsabile e le innovazioni tecnologiche e il loro relativo trasferimento di scala, sempre volontario e a condizioni reciprocamente concordate, dal mondo accademico alle imprese. Il rafforzamento della cooperazione nella ricerca avanzata sulla

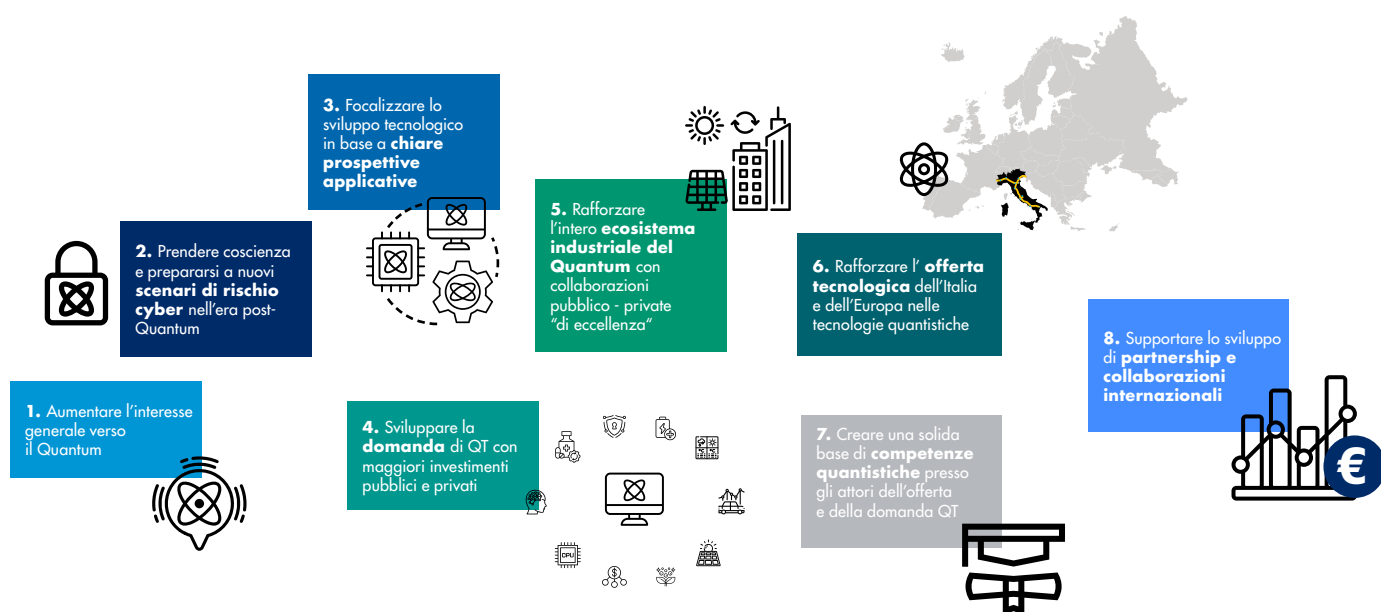


quantistica, sull'IA e su altre tecnologie emergenti dovrebbe consentire progressi più rapidi, una maggiore efficienza, risultati migliori per la società e maggiori opportunità per una loro commercializzazione. Tutti i membri del G7 ritengono fondamentali le strategie nazionali in materia di IA e quantistica per migliorare le loro capacità tecnologiche e rafforzare la cooperazione internazionale. A ottobre 2024, i gruppi di lavoro G7 Industria e tecnologia, a guida Ministero delle imprese e del made in Italy, e Scienza e tecnologia, a guida Ministero dell'università e della ricerca, si sono confrontati in un workshop.

AMBITI E PROPOSTE DI POLICY

Proposte per il rafforzamento dell'industria del Quantum in Italia

Sebbene le tempistiche di adozione risultino ancora incerte, gli investimenti attualmente in corso e quelli futuri a livello internazionale ed europeo promettono uno sviluppo rapido delle capacità dei dispositivi Quantum. Per questo, è necessario e urgente che si ponga la dovuta attenzione su tale ambito, in modo da non rimanere irrimediabilmente svantaggiati in un contesto dove diversi attori hanno già dichiarato le proprie intenzioni ed hanno avviato, o stanno per avviare, importanti filoni di ricerca e sviluppo per incorporare la tecnologia quantistica nei sistemi sociali ed economici dei rispettivi Paesi. A questo proposito, positiva è certamente la definizione di una strategia nazionale per le tecnologie quantistiche, la cui prima proposta risulta in dirittura d'arrivo a cura di MiMIT e MUR e con la partecipazione di tutti gli stakeholder. Per il nostro Paese si palesa la necessità dei seguenti filoni di azione.



1. Aumentare l'interesse generale verso il Quantum

L'informatica e le tecnologie quantistiche apriranno un'ampia gamma di nuove possibilità. I settori su cui è atteso un maggior impatto, nel breve periodo, sono settore pubblico, servizi finanziari, energetico, automotive, chimico-farmaceutico e scienze biologiche. Anche nelle applicazioni tradizionali, l'integrazione delle procedure quantistiche in algoritmi classici ne snellisce il carico computazionale.

Per rendere le tecnologie quantistiche comprensibili e utilizzabili non solo dalla ricerca ma anche dalle imprese e dalle istituzioni è necessario stimolare non solo il loro sviluppo, con un approccio sempre più interdisciplinare, ma anche il loro utilizzo, aumentando la consapevolezza dei loro vantaggi e delle modalità di utilizzo con una formazione di base diffusa. Anche se i percorsi di sviluppo cominciano solo ora a far venire alla luce i primi prototipi di tecnologie e componenti quantistiche, è già chiaro che:

- le metodologie e le implicazioni derivanti dall'applicazione delle tecnologie quantistiche portano con sé anche un **potenziale miglioramento della qualità percepita** e della capacità dei servizi offerti agli utenti finali;
- le applicazioni dove questo è più evidente **sono di natura one-to-many** legate a servizi di tipo infrastrutturale o pubblico.

Molta conoscenza e sperimentazione già confermano come una più accurata e rapida pianificazione dell'utilizzo della rete di comunicazione dei telefoni cellulari possa avere un impatto nella qualità del servizio che l'utente percepisce o come una maggiore efficacia negli algoritmi per la definizione dei percorsi rapidi dei più diffusi navigatori possa ridurre i tempi di percorrenza e i livelli di traffico urbano. Sono dimostrabili i benefici indiretti che un consumatore finale potrebbe sperimentare dalla potenziale velocizzazione della messa in commercio di nuovi farmaci grazie alle simulazioni quantistiche sulle molecole. In ambito energetico il miglioramento dell'efficienza produttiva, soprattutto delle energie rinnovabili, potrebbe portare benefici economici di un costo inferiore del percorso verso la sostenibilità energetica. In ambito finanziario, migliori applicazioni dei sistemi di previsione del mercato, o di tecniche di contenimento del rischio di investimento, potrebbero portare a un guadagno maggiore per l'investitore privato e per l'istituto finanziario.

Per questo stride la bassa consapevolezza tra operatori e investitori sulle potenzialità delle tecnologie quantistiche, che limita l'adozione delle prime tecnologie già sul mercato, la volontà di sperimentazione delle imprese e anche la messa a disposizione di capitale di rischio. Serve abbassare queste "barriere" di conoscenza con azioni sia sui percorsi di sviluppo, che sulla commercializzazione e la formazione:

- accelerare la **produzione di prototipi e di casi d'uso** per espandere la conoscenza e la consapevolezza delle possibilità di utilizzo e dei benefici in tutti gli ambiti applicativi (informatica, comunicazioni, sensoristica);
- focalizzare lo sviluppo per **applicazioni più ottimizzate e più vicine a un utilizzo su larga scala**. Il focus potrebbe essere maggiore nei settori finanziario e industriale, soprattutto nelle filiere in cui l'Italia ha elevati volumi di interscambio con l'estero e posizioni di leadership, per avvicinarsi più rapidamente all'utilizzo su larga scala e alla creazione di un vero mercato;
- **velocizzare la messa a punto di soluzioni full-stack** combinando la tecnologia resa disponibile dalla ricerca nazionale ed europea, con tecnologie rese disponibili attraverso accordi di scambio bilaterale, non solo per restare al passo con gli altri Paesi ma anche per mantenere un livello accettabile di conoscenza e capacità tecnologiche soprattutto nel Quantum Computing;
- **rafforzare le competenze per la progettazione e lo sviluppo di algoritmi quantistici**⁷¹ in ambiti prioritari di ricerca, soprattutto in quelli dove la ricerca italiana vanta posizioni migliori nel confronto internazionale (ad esempio, simulazione, ottimizzazione, ottica quantistica);
- **accelerare lo sviluppo e la commercializzazione** dei primi componenti di comunicazione quantistica già pronti per l'applicazione, così da porre le basi per la creazione di un'industria della comunicazione quantistica italiana e per favorire il trasferimento tecnologico dalla ricerca all'industria. Finanziamenti o incentivi all'a-



dozione possono ulteriormente sviluppare i volumi di business di start-up o spin-off universitari produttori di queste componenti;

- **rafforzare la commercializzazione dei prodotti basati sulla tecnologia dei sensori quantistici** attraverso diverse applicazioni di utilizzo pratico ormai già pronte per il mercato;
- accelerare lo **sviluppo della prossima generazione di sensori quantistici** basati su satelliti in collaborazione con i partner europei per arrivare più rapidamente alla maturità tecnologica e all'immissione sul mercato;
- **studiare e valutare gli effetti e i benefici delle tecnologie quantistiche** applicate ai processi amministrativi e ai servizi della pubblica amministrazione e della sanità, ma anche nelle infrastrutture critiche e nella difesa con il coinvolgimento di tutti i ministeri rilevanti;
- accrescere la consapevolezza di attori economici e amministrazioni pubbliche sulla **necessità di avviare iniziative di formazione della forza lavoro** su come funzionano e che cosa possono fare queste nuove tecnologie;
- acquisire **personale con le competenze necessarie** per implementare e utilizzare le tecnologie Quantum più rapidamente e più diffusamente.

2. Prendere coscienza e prepararsi a nuovi scenari di rischio cyber nell'era post-Quantum

La portata della tecnologia quantistica non risiede solo nella sua componente applicata a tecniche di analisi e predizione dei dati, ma anche, in larga parte, al suo impiego nel campo della cyber sicurezza. Il rischio per la sicurezza delle informazioni legato all'avvento del Quantum hardware è reale e elevatissimo. Molte metodologie su cui si basano gli attuali sistemi di protezione dei dati dipendono dall'assunzione di intrattabilità di particolari problemi matematici in tempi utili, immaginando di risolverli con gli attuali elaboratori. Con tale approccio si va incontro a rischi incalcolabili. Questa assunzione cade di fronte ai computer quantistici, capaci di violare alcuni dei più diffusi protocolli di crittografia attualmente in uso a chiave asimmetrica (o pubblica) e delle funzioni hash (lo schema crittografico alla base delle blockchain), nonché di indebolire i sistemi a chiave simmetrica (o privata). Anche le strategie e soluzioni di cyber sicurezza più avanzate di oggi, nel breve periodo saranno esposte a rischi nell'era post-Quantum.

Su fronte della ricerca servirà progredire velocemente nello sviluppo della crittografia post-quantistica (PQC) e delle tecnologie QKD e dei relativi standard per stimolarne la commercializzazione⁶¹. Sul fronte delle implementazioni sarà necessario esplorare alternative Quantum-safe con percorsi strategici ben chiari per la gestione della sicurezza delle informazioni soprattutto in contesti di enti pubblici e privati con infrastrutture critiche. Sul fronte geopolitico è importante non sottovalutare come sia già in atto una competizione per il raggiungimento di nuovi standard di crittografia resilienti in una futura era post-Quantum.

Diventa pertanto importante:

- accrescere la **consapevolezza riguardo ai futuri rischi sulla cyber sicurezza** tradizionale se non verrà rafforzata attraverso la crittografia quantistica;
- incoraggiare o anche prescrivere entro tempistiche brevi la **conduzione di Quantum Risk Assessment** per le minacce date dall'avvento di tecnologie quantistiche nel proprio settore. L'assessment deve restituire una mappatura sistemica delle tecniche di cifratura usate nei vari sistemi informatici a protezione dei dati, in modo da evidenziare eventuali debolezze ed essere a conoscenza di quando e quali protocolli sostituire con i loro corrispettivi Quantum-proof;
- prevedere un piano di investimenti, sin da subito, in **attività in assesment in sicurezza**; in relazione, ad esempio, agli impatti potenzialmente provenienti dalle reti già sviluppate in area BRICS. In tema di cyber sicurezza, infatti, il livello operativo, a differenza del livello infrastrutturale, è già attuale;
- incoraggiare l'urgenza di **tenersi pronti alle future minacce** alla sicurezza dalla crittografia post-quantistica presso le organizzazioni cui sono affidate informazioni private o sensibili e dati personali (settore finanziario, settore energetico, utilities, sanità, difesa);





QKD o PQC o entrambe?

Ad agosto 2024 il NIST (National Institute of Standards and Technology) del Dipartimento del Commercio USA ha annunciato la standardizzazione di quattro nuovi algoritmi di cifratura Quantum-proof e sta ora incoraggiando le aziende di tutto il mondo a migrare dai tradizionali schemi di crittografia ai nuovi algoritmi di crittografia post-quantistica (PQC). Gli algoritmi sono ML-KEM (o CRYSTALS-Kyber), ML-DSA (o CRYSTALS-Dilithium), SLH-DSA (o SPHINCS+), tutti già disponibili, e FN-DSA (o FALCON), che sarà disponibile entro fine 2024. Il NIST segnala CRYSTALS-Dilithium come primo schema crittografico nell'ambito della firma multipla e CRYSTALS-Kyber come insieme di codifiche quantistiche basato su un meccanismo di incapsulamento delle chiavi (KEM) per la cifratura asimmetrica. Sono stati tutti sviluppati da ricercatori IBM, o che si sono uniti a IBM, e in collaborazione con partner accademici e di settore e sono ora riconosciuti come Federal Information Processing Standard (FIPS). Le prime applicazioni PQC sono attese in ambiti che richiedono segretezza a lungo termine, come la crittografia di dati sensibili governativi o aziendali o di cartelle cliniche individuali. Esempi dimostrati di recente includono la comunicazione sicura di sequenze genomiche umane e la replicazione di dati intersito nel settore finanziario.

Mentre la PQC è basata su algoritmi matematici, il mondo della ricerca da più di un decennio sta sviluppando sistemi di QKD (Quantum Key Distribution) in cui la sicurezza delle chiavi generate e scambiate è basata non su un algoritmo matematico ma su un principio fisico quantistico. In base a questo principio, qubit "entangled" possono memorizzare le loro informazioni condivise in modo così sicuro che qualsiasi sforzo per scoprirlo è inevitabilmente rilevabile⁶². Cina, India e una serie di organizzazioni tecnologiche in Europa e USA stanno sviluppando QKD e standard di pesatura per fare della QKD una valida "alternativa" alla PQC. Trattandosi di una tecnologia commercialmente disponibile ormai da alcuni anni, Big Tech e importanti gruppi industriali come pure piccole start-up hanno già superato la fase di sperimentazione di soluzioni QKD che renderanno produttive nel breve periodo. Ma lo stato dell'arte non dà certezze che la QKD sarà completamente a prova di futuro, tanto da diventare lo standard globale per le comunicazioni digitali sicure entro il 2030.

Se non è possibile affermare con certezza che gli algoritmi PQC non potranno essere violati quando saranno disponibili le macchine quantistiche più potenti, anche per la QKD, l'argomento per cui non è possibile rompere una rete QKD, secondo la legge della fisica quantistica, trova delle limitazioni⁶³. Le implementazioni QKD nel mondo reale potrebbero ancora essere violate attraverso attacchi sui dispositivi o su altri canali, e comunque richiedono l'accesso diretto a una rete in fibra ottica di livello quantistico e a una tecnologia di comunicazione quantistica in via di costruzione, anche in Italia, ma disponibili su larga scala dopo il 2030.

Nel frattempo il crescente livello di attività nelle comunicazioni quantistiche genera la necessità di sviluppare standard industriali per garantire l'interoperabilità delle apparecchiature e dei protocolli in sistemi complessi e anche per stimolare l'intera filiera di componenti, assemblaggi e applicazioni attraverso la definizione di interfacce comuni. ETSI ISG in QKD sta lavorando su questi aspetti⁶⁴ coinvolgendo grandi aziende, operatori di telecomunicazioni, PMI, NMI, laboratori governativi e università del Nord America, Asia ed Europa, ma c'è ancora molto da fare. Iniziative e gruppi di lavoro sono attivi anche presso l'Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione (ISO), la Commissione Elettrotecnica internazionale (IEC) e la IEEE Communications Society per promuovere sia le tecnologie QKD che gli standard emergenti che stanno prendendo forma.

Con la disponibilità di standard PQC il governo americano incoraggia ora imprese ed enti a pianificare, prepararsi e preventivare una transizione efficace verso algoritmi quantisticamente resistenti (QR), per garantire una protezione continua dei sistemi di sicurezza nazionale (NSS) e delle risorse correlate. Anche la Commissione Europea con la Raccomandazione dell'11 aprile 2024 richiede la predisposizione entro il 2026 di una tabella di marcia per l'attuazione coordinata della transizione alla crittografia post-quantistica, cui seguiranno lo sviluppo e l'adeguamento dei piani di transizione per la PQC dei singoli Stati membri. Ma nonostante l'analisi rigorosa della comunità accademica e le roadmap governative, nessuno degli standard è stato sottoposto a test nel mondo reale in termini di scala o implementazioni mission-critical e, come precedenti esperienze hanno dimostrato, la modifica degli standard di crittografia su larga scala è un processo molto lungo.

Secondo la visione di diversi esperti, un probabile futuro vedrà la PQC come lo standard predefinito per le comunicazioni più sicure in un mondo di informatica quantistica pervasiva, anche se non potrà evitare il suo potenziale tallone d'Achille contro algoritmi e macchine quantistiche sempre più potenti. In questo la QKD potrà offrire la prospettiva di comunicazioni sicure ibride che la PQC da sola non potrebbe mai fornire⁶⁵. Un ibrido di QKD e PQC sarà la soluzione più probabile per una rete quantistica sicura in cui la QKD fornirà la sicurezza (teorica) delle informazioni, mentre la PQC consentirà la scalabilità – ad esempio utilizzando soluzioni QKD per il physical layer di sicurezza e algoritmi PQC per il livello applicativo e nella fase di autenticazione – anche se gli sforzi per studiare le tecnologie e gli standard ibridi QKD-PQC al momento attuale sono "molto limitati". Anche in un mondo in cui la PQC rimanesse la soluzione preminente, lo sviluppo della tecnologia QKD continuerà perché la QKD è destinata non solo all'impiego nel futuro Internet quantistico, ma in diverse altre applicazioni come l'informatica quantistica distribuita, i data center quantistici e le reti di sensori quantistici.



- rimuovere la percezione che si tratti esclusivamente di una minaccia futura. I dati cifrati con le tecniche classiche, qualora esfiltrati, potrebbero essere facilmente codificati in un futuro prossimo, mediante i cosiddetti retroactive attacks;
- **promuovere con campagne di awareness** e incentivi l'investimento culturale e finanziario nel rafforzamento della cyber security Quantum-proof. Qualificandosi "Quantum-proof" le organizzazioni possono aumentare la fiducia dei visitatori del sito, dei clienti e di coloro che condividono informazioni private. Inoltre, le aziende possono proteggere i loro beni e la loro reputazione da compromissioni o danni, riducendo il potenziale impatto finanziario;
- **partecipare proattivamente ai tavoli di confronto europei** per concordare come e quando integrare standard e requisiti nelle Quantum-proof roadmap nei principali quadri normativi che regolano la sicurezza informatica e la protezione dei dati in Europa e nei singoli Stati membri;
- in particolare, sul tema dell'adattamento alle normative, i professionisti dovranno essere in grado di **seguire le nuove regolamentazioni** e gli standard che emergeranno dalle raccomandazioni degli Istituti Nazionali di Scienza e Tecnologia, per garantire la conformità e l'implementazione efficace delle tecnologie crittografiche. A questo proposito, risulta essenziale favorire la partecipazione di realtà nazionali (imprese e università) ai lavori di standardizzazione a livello internazionale;
- **sviluppare e condividere casi d'uso** e attuazioni a sostegno di standard QKD per integrare le comunicazioni quantistiche nelle reti e stimolarne la commercializzazione. È importante per consentire la futura interoperabilità delle reti di comunicazione quantistica e garantire che la crittografia quantistica sia adottata in modo sicuro, mitigando il rischio di canali laterali e attacchi attivi. La definizione di standard e interfacce comuni abiliterà reti globali per la fibra ottica e le comunicazioni mobili e stimolerà i mercati dei componenti, dei sistemi e delle applicazioni;
- incoraggiare con incentivi la **migrazione verso tecnologie PQC e standard di PQC su larga scala** specialmente nelle applicazioni che coinvolgono infrastrutture critiche, informazioni sensibili e processi finanziari;
- completare nelle tempistiche previste la **rete geografica di distribuzione delle chiavi crittografiche** come servizio di sicurezza;
- perseguire continui miglioramenti e innovazioni nei **dispositivi QKD**, in particolare con riguardo al rate di trasmissione, l'uso di fibre innovative e lo sviluppo di nuove tecniche QKD in aria, utili in caso di sistemi mobili o in assenza di fibra ottica;
- **applicare strategie di cyber sicurezza by design**, attuando le indicazioni previste dalla Misura #22 del Piano di Implementazione della Strategia Nazionale di Cybersicurezza 2022-2026, e promuovere l'utilizzo della crittografia fin dalla fase di progettazione di reti, applicazioni e servizi.

3. Focalizzare lo sviluppo tecnologico in base a chiare prospettive applicative

Come illustrato nelle sezioni precedenti, ogni filone tecnologico ha livelli di maturità e possibilità di applicazione diverse:

- il **calcolo quantistico** ha le maggiori potenzialità, anche se le implementazioni tecnologiche sono diverse e vi sono ancora sfide da superare, sia in termini di hardware che di software, per raggiungere livelli di diffusione e utilizzo di massa;
- la **simulazione quantistica** già fornisce casi d'uso, ad esempio per i servizi meteorologici e nella modellizzazione dei cambiamenti climatici e delle loro conseguenze;
- un'ampia varietà di metodi di **comunicazione quantistica** è stata dimostrata ma la portata e la velocità di trasmissione dei dati rappresentano ancora una sfida per l'ampia rilevanza delle applicazioni e serve lo sviluppo di ripetitori quantistici per estendere le distanze di trasmissione;
- la tecnologia di **sensori e metrologia quantistica**, nonché le tecnologie di base associate, hanno più maturità tecnologica, un'ampia varietà di tecnologie e numerosi progetti promettenti, alcuni dei quali sono già pronti per il mercato;



- per l'ulteriore sviluppo delle tecnologie quantistiche, è fondamentale il campo trasversale delle **tecnologie abilitanti o componenti**. Il loro potenziale economico è già in via di sviluppo: sono già emersi i primi mercati per laser speciali, elettronica di controllo e tecnologia di raffreddamento per sistemi quantistici, generando opportunità di mercato per le start-up altamente specializzate e le piccole e medie imprese (PMI). Standardizzazione e qualificazione⁶⁶ dei componenti renderanno stabile e affidabile la catena del valore per lo sviluppo su larga scala dell'industria della tecnologia quantistica.

Alla luce delle diverse fasi nello sviluppo dei singoli ambiti tecnologici servono per ognuno misure specifiche in base a tempistiche e percorsi delle relative prospettive applicative:

- garantire ed espandere la posizione raggiunta nelle tecnologie di base rafforzando gli **accordi di collaborazione interdisciplinari** e anche con Paesi terzi per restare al passo con le traiettorie di sviluppo europee per le tecnologie Quantum;
- **valorizzare know-how e competenze sviluppate** attraverso la collaborazione dell'INFN con il centro di ricerca SQMS presso il Fermilab⁶⁷ nell'ambito del progetto di sviluppo del processore superconduttivo a 9- e a 36-qubit (con prestazioni mai raggiunte) e di sviluppo di sensori con importanti applicazioni in fisica fondamentale. INFN sta impiegando dispositivi quantistici realizzati dal centro SQMS per sviluppare rilevatori più sensibili per l'osservazione di particelle esotiche che potranno essere impiegati in esperimenti sulla materia oscura, aprendo la strada a studi teorici più accurati e a nuove metodologie di analisi dei dati a elevate prestazioni applicabili anche in altri ambiti tecnico-scientifici come la biologia e le biotecnologie;
- continuare nello **sviluppo di chip di prossima generazione** per le tecnologie quantistiche, per computer quantistici o applicazioni di sensori quantistici, seguendo le tempistiche definite nella roadmap europea;
- procedere nello sviluppo di **piattaforme di calcolo quantistico** secondo i diversi filoni tecnologici cercando di superare le problematiche che ancora ne ostacolano l'utilizzo su ampia scala (errore, raffreddamento) e garantire i progressi nella scalabilità (la Germania ha definito l'obiettivo di passare da 10 qubit a 100 qubit nel breve termine a 500 qubit nel medio termine), tenendo il passo con gli sviluppi europei e internazionali. Continuare anche nello sviluppo di hardware ad alte prestazioni per campi di applicazione idonei. L'impegno contemporaneo su diversi filoni tecnologici rischia di disperdere risorse finanziarie ma è giustificato fino a quando saranno più chiare le prospettive di utilizzo su larga scala e di creazione di mercati;
- proseguire nello **sviluppo del middleware e nel co-design di soluzioni applicative** in collaborazione con grandi attori industriali ed economici nazionali, start-up e fornitori ICT, ottimizzando le potenzialità delle specifiche tecnologie (ioni intrappolati, atomi freddi, chip superconduttivi, fotoni, ecc.);
- prevedere lo **sviluppo di hardware speciale** ad alte prestazioni per campi di applicazione adeguati;
- sviluppare o rafforzare le **competenze per la progettazione e lo sviluppo di algoritmi quantistici**, inizialmente testati su architetture HPC, software per il calcolo avanzato e software embedded in vari ambiti di ricerca, come nel campo dell'ottimizzazione o dell'apprendimento automatico quantistico;
- iniziare o rafforzare le **attività a valle della catena del valore** delle tecnologie quantistiche (middleware, software di gestione dei sistemi, software applicativo);
- favorire l'apprendimento di un mix di competenze interdisciplinari, sia di natura quantistica che classica, che devono collaborare e lavorare in team, necessarie sia per la simulazione quantistica di algoritmi che vengono fatti girare su grandi supercalcolatori HPC, sia per il design e lo sviluppo di algoritmi quantistici testati oggi soprattutto su architetture HPC tradizionali;
- potenziare e commercializzare **componenti chiave** commerciabili per sensori, navigazione e comunicazione terrestre e spaziale;
- stabilire un'infrastruttura di qualità e una **metrologia quantistica affidabile** al fine di creare caratterizzazioni, qualifiche e standardizzazione indipendenti per componenti specifici per le tecnologie quantistiche;



- definire linee guida e **requisiti di riferimento per certificazioni**, qualifiche e standardizzazione indipendenti per componenti specifici per le tecnologie quantistiche;
- sviluppare o aggiornare casi d'uso e **potenziare metodologie e framework** alla luce dei progressi raggiunti.

4. Sviluppare la domanda di tecnologie Quantum con maggiori investimenti pubblici e privati

Per tenere il passo con gli altri Paesi e mantenere elevato il livello di competitività della ricerca italiana è necessario colmare il gap nel livello di investimenti dedicati alle tecnologie quantistiche sia nel settore pubblico che in quello privato. Se uno sviluppo mirato delle tecnologie quantistiche deve tenere sempre d'occhio i possibili scenari applicativi, anche le misure a sostegno dell'attività di sviluppo devono partire dalle applicazioni e quindi incentivare, rafforzare o accelerare gli investimenti privati attraverso il co-finanziamento pubblico. Diverse forme di sostegno possono essere adottate:

- **finanziamento di progetti:** nel caso di temi di interesse pubblico, il sostegno alla ricerca e allo sviluppo nelle aziende, nelle università e negli istituti di ricerca prende la forma di sovvenzioni a fondo perduto per il finanziamento di progetti. Principalmente sono rivolte a consorzi di progetti orientati all'applicazione che coprono la catena del valore dallo sviluppo tecnologico all'utente finale;
- **aggiudicazione di contratti pubblici:** nel caso di prodotti già commerciabili il settore pubblico è un riferimento di mercato centrale per le aziende che sviluppano e producono tecnologie quantistiche in Italia. Il settore pubblico può sostenere la domanda di tecnologie quantistiche in diversi ambiti applicativi: ricerca di base, sostenibilità ambientale, gestione degli eventi naturali estremi, previsioni e simulazioni meteorologiche per l'ottimizzazione dei processi in ambito energetico, idrico, agricolo, ricerca aerospaziale, simulazioni ambientali, cyber sicurezza. Start-up attive nello sviluppo di tecnologie Quantum per le comunicazioni e la cyber sicurezza hanno già vinto inviti di partecipazione a progetti di sviluppo congiunto o a gare di fornitura (ad esempio, LevelQuantum⁶⁸ con ESA e NATO);
- **contratti di accesso a infrastrutture Quantum:** le agenzie pubbliche potrebbero acquistare computer quantistici (o relativo tempo macchina) per uso proprio attraverso contratti di ricerca sul mercato. Diverse attività sono in fase di testing presso i centri Quantum nazionali, ma sono ancora di impatto molto limitato come canale di finanziamento per un ecosistema imprenditoriale di calcolo quantistico in Italia⁶⁹;
- **partecipazioni dirette nelle start-up:** per coprire le esigenze di finanziamento delle giovani imprese che portano nuovi sviluppi alla maturità del mercato. Molte delle start-up attive nel Quantum in Italia hanno una quota societaria detenuta da enti o grandi aziende con i quali condividono un progetto strategico di sviluppo a grande impatto (ad esempio, Eniquantic con ENI e ITQuanta);
- **investimento diretto nel capitale di rischio:** ampliare l'investimento diretto in società deep tech specializzate in tecnologie Quantum con la creazione di "Fondi Quantum" e loro pubblicizzazione attraverso i centri di ricerca e università attive sul Quantum nel territorio ma anche all'estero per attrarre nuovi esperti e competenze. Al momento attuale il Fondo Evoluzione di CDP con focus sulle deep tech ha 150 milioni di euro di capitali sottoscritti a fronte di un target di raccolta di 200 milioni di euro, ma nessuna delle 15 aziende in portafoglio è attiva sul Quantum. Anche Quantum Italia e Scientifica, veicoli d'investimento con focus sulle tecnologie quantistiche, non hanno aziende quantum in portafoglio. Un esempio di riferimento potrebbe essere quello del Deep Tech and Climate Fund (DTCF) nell'ambito del Future Fund adottato nel 2021: il governo tedesco ha ampliato fino a 1 miliardo di euro gli investimenti diretti in società deep tech incluse quelle specializzate in tecnologie quantistiche con una prospettiva a lungo termine⁷⁰;



5. Rafforzare l'intero ecosistema industriale del Quantum con collaborazioni pubblico-private "di eccellenza"

Per aumentare l'impatto economico delle attività innovative, specie nelle tecnologie di frontiera come il Quantum, è prioritario lo **sviluppo di un ecosistema industriale integrato e competitivo** basato sulla collaborazione fondata su valori condivisi tra gli attori di diversa dimensione con una visione e obiettivi comuni e piani di investimento coerenti. 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 lo sviluppo di componenti e tecnologie Quantum diventino un'opportunità di mercato anche per le start-up e le PMI innovative "deep tech" in un'ottica di collaborazione e supporto con le grandi aziende Big Tech impegnate in attività progettuali di scala maggiore.

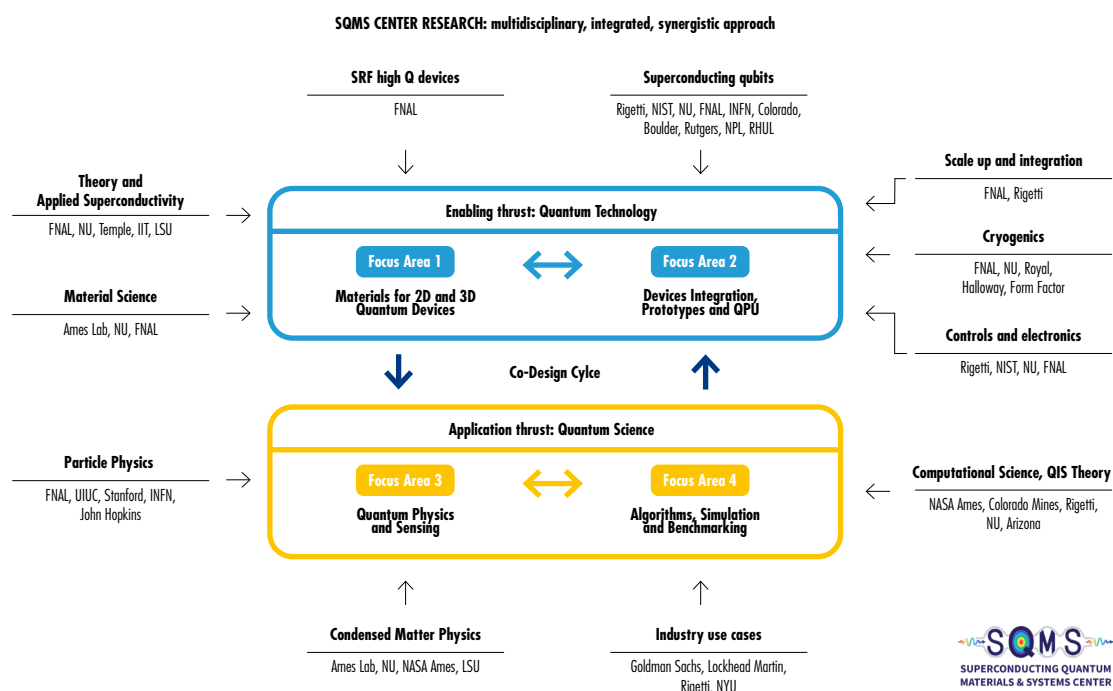
La caratteristica principale della ricerca sulle tecnologie Quantum è l'importanza della collaborazione a livello internazionale per accelerare i tempi di sviluppo e passare dal prototipo alla dimostrazione applicativa alla produzione di scala, per fare questo occorre accedere a infrastrutture molto sofisticate e disporre di conoscenze multidisciplinari.

Queste infrastrutture sono i computer quantistici più avanzati al giorno d'oggi e le mettono a disposizione aziende che insistono su questo campo del Quantum da molti anni, a titolo di esempio IBM già nel 2016 aveva messo a disposizione di tutti e gratuitamente nel cloud i primissimi computer quantistici a 5 qubit. Un altro esempio è il progetto in corso per lo sviluppo della macchina Quantum del FermiLab a Chicaco coinvolge 31 partners tra università, centri di ricerca (incluso il centro INFN del Gran Sasso) e aziende per un totale che supera i 500 collaboratori (Fig. 13).

Per contribuire allo sviluppo della tecnologia del Quantum nel panorama internazionale è dunque fondamentale creare e mantenere un contesto favorevole:

- alla **creazione di nuove imprese deep tech** e all'attrazione di nuove risorse (finanziarie, capitale umano) per la ricerca sulle tecnologie quantistiche, con incentivi che stimolino l'attività di sviluppo, ma anche la estendano verso nuovi ambiti di utilizzo;
 - al **consolidamento delle interazioni nella filiera del Quantum** per arrivare più rapidamente all'industrializzazione del Quantum e al trasferimento tecnologico.
- Più favorevole è il contesto e più rapido è il raggiungimento della fase di mercato delle

FIGURA 13
Ecosistema interdisciplinare per il
Centro di Ricerca SQMS al
FermiLab di Chicago
Fonte: FermiLab



applicazioni quantistiche strategicamente critiche per la competitività economica e la sicurezza del nostro Paese.

Un contributo importante nel rendere il contesto favorevole sarà quello delle collaborazioni pubblico-private. In passato gli esiti di questi modelli di collaborazione sono stati controversi. Tuttavia il contesto delle tecnologie di frontiera si presta a risultati promettenti se si andasse nella direzione di concentrare le risorse verso ambiti di ricerca promettenti e di sviluppare delle relazioni strutturate, in cui le organizzazioni leader nel campo della ricerca e della produzione di tecnologie quantum per il mercato possano svolgere un ruolo di traino per l'intera filiera innovativa. Come nel modello dei cluster di eccellenza tedeschi⁷¹, la realizzazione di partnership strutturate con aziende più grandi può, infatti, fornire diversi importanti vantaggi alle imprese deep tech di minori dimensioni, come l'accesso a infrastrutture e risorse che altrimenti non sarebbero disponibili, sinergie dalle relazioni con enti e organizzazioni di ricerca e, soprattutto, la possibilità di entrare a far parte delle filiere del Quantum europee o internazionali, con evidenti ricadute in termini di competitività e crescita.

In questa prospettiva si propone di agire a diversi livelli:

- adottare una **logica di collaborazione tra pubblico e privato** chiara e pervasiva ai diversi progetti in tutte le fasi di passaggio dall'idea al mercato. Si tratta di un processo lungo e in continua evoluzione, oltre a comprendere una serie di tappe intermedie. Nelle tappe intermedie di questo percorso sono coinvolti attori differenti, che hanno bisogno di essere coordinati, informati e supportati: le start-up, gli enti di ricerca e i progetti di sviluppo collaborativi, i venture capital e gli enti territoriali che finanziano i progetti, gli enti e istituti di formazione, le aziende che partecipano alla ricerca e portano le nuove applicazioni Quantum sul mercato;
- **razionalizzare le collaborazioni tra gli enti** che oggi in Italia, a diverso titolo, si occupano di ricerca: università e centri di ricerca, technology transfer office, incubatori e acceleratori, centri di innovazione, competence center e distretti territoriali al fine di creare le connessioni tra università e imprese sui territori per realizzare un migliore incontro tra domanda e offerta;
- **creare sinergie stabili tra pubblico e privato** in grado di coniugare gli aspetti scientifici e metodologici del Quantum Computing con gli aspetti applicativi di interesse industriale. Strumenti come i dottorati industriali e, ancor di più, la costituzione di laboratori congiunti e l'interazione con network internazionali tematici possono essere i fattori abilitanti per uno sviluppo significativo delle competenze della programmazione quantistica orientate alle grandi sfide industriali;
- favorire una stretta **interconnessione tra tutti gli attori coinvolti** nella filiera della ricerca a livello scientifico, accademico, imprenditoriale e di governo e incentivare le iniziative di condivisione di know-how multidisciplinare e di infrastrutture avanzate per la ricerca, come pure la condivisione di contributi finanziari per accelerare il trasferimento delle tecnologie in applicazioni reali. La costruzione o l'accesso più aperto alle infrastrutture per i test è estremamente importante per accelerare l'industrializzazione e l'applicazione diffusa della comunicazione quantistica;
- **promuovere la collaborazione con leader internazionali** per mantenere il passo nello sviluppo applicativo in ambito del Quantum Computing;
- **rafforzare i modelli di collaborazione pubblico-privati** attuali prevedendo strumenti e incentivi per le attività connesse all'integrazione della filiera, all'allargamento della filiera di sviluppo a esperti multidisciplinari anche internazionali, alla condivisione di infrastrutture per le attività di simulazione e testing in un contesto generale di collaborazione tra grandi imprese, start-up, PMI e istituti di ricerca;
- **diversificare gli strumenti di intervento pubblico** per rafforzare le collaborazioni pubblico-private. Possono essere strumenti finanziari, come incentivi fiscali o sovvenzioni per la ricerca e lo sviluppo, ma anche di tipo operativo, come strumenti di valutazione e condivisione del rischio, trasferimento di conoscenze dalla ricerca pubblica e accordi di governance per coordinare gli attori pubblici e privati;
- **estendere la collaborazione interministeriale** MUR-MIMIT sul Quantum anche ad



altri enti e ministeri rilevanti per l'utilizzo di macchine di calcolo/simulazione, tecnologie di comunicazione o sensori quantistici, come Ministero della Difesa, Ministero dell'Interno, Ministero della Salute, Ministero dell'Ambiente, Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale;

- **rafforzare l'istruzione e la formazione degli specialisti** nel campo delle tecnologie quantistiche con programmi ritagliati sulle applicazioni specifiche e coerenti con le esigenze settoriali, coinvolgendo accademici, ricercatori ed esperti provenienti dalle imprese;
- assicurare **condizioni finanziarie e regolamentari favorevoli** per sostenere la creazione di nuove start-up e spin-off del mondo accademico e il passaggio di quelle già attive alla fase di scale-up;
- definire **obiettivi minimi temporali** e discreti per le attività a supporto del trasferimento tecnologico e incentivi al deposito dei brevetti;
- promuovere una stretta **collaborazione con i partner europei** a tutti i livelli;
- diffondere la **cooperazione su questioni tecnologiche** e lo sviluppo di norme comuni, comprese quelle per un uso responsabile e un'infrastruttura comune di qualità.

6. Rafforzare lo sviluppo tecnologico dell'Italia nelle tecnologie quantistiche

Diventa sempre più evidente e condivisa la necessità di aggiornare le competenze tecnologiche in Europa. Le tecnologie quantistiche abilitano innovazioni radicali nei processi e nei servizi con opportunità rilevanti di sviluppo di nuovi mercati e la comunicazione quantistica sicura garantisce la sicurezza nazionale, la protezione dei segreti e della privacy, nonché l'integrità dei processi economici e politici.

Per rafforzare la proposizione tecnologica dell'Europa e dei singoli Paesi membri nell'ambito delle applicazioni quantistiche e per essere in grado di comprenderle a livello di sistema e svilupparle e produrle, è necessario superare diverse sfide che ancora impediscono di avere i giusti presupposti per un'ampia adozione di mercato. Converge il consenso degli analisti economici su alcune misure di vitale importanza⁷². Molte sono già state individuate nei paragrafi precedenti per il loro contributo a diversi livelli:

- **riduzione dei costi** delle infrastrutture di ricerca, che attualmente sono molto elevati;
- **investimenti continui** nelle infrastrutture nazionali ed europee;
- **accordi di collaborazione** pubblico-privato a maggiore impatto;
- **roadmap e tempistiche definite** per l'ulteriore sviluppo delle tecnologie;
- **sensibilizzazione ai rischi** per la sicurezza informatica nella società e tra i potenziali utenti;
- **continui finanziamenti pubblici** della domanda di tecnologie Quantum;
- **creazione di una Agenzia Nazionale per il Quantum Computing** che lavori in sincronia con l'Agenzia Nazionale per la Cybersicurezza;
- **incentivi all'acquisto** per gli utenti finali dell'industria;
- **promozione del trasferimento di tecnologia** all'industria;
- **eliminazione degli ostacoli burocratici**;
- stretta **cooperazione tra le autorità** degli Stati membri dell'UE;
- rapido **sviluppo di nuove competenze quantistiche** di base e avanzate (sia per la ricerca/produzione che per l'utilizzo);
- **pubbliche relazioni** e programmi educativi.

Con riferimento all'Italia non è realistico concepire misure di rafforzamento della proposizione tecnologica senza pensare alle specifiche criticità italiane sia dal lato dell'offerta, dove abbiamo una tradizione di ancora più elevata dipendenza tecnologica per le tecnologie digitali, che da quello della domanda, dove facciamo più fatica a raggiungere volumi di domanda e quindi di ricavi sufficienti alle aziende deep tech per ottenere l'equilibrio operativo e finanziario. In particolare abbiamo costi ancora più elevati della media europea per le infrastrutture di ricerca, una bassa produzione brevettuale, una limitata presenza nei progetti internazionali e di progetti internazionali ospitati in Italia, carenza di competenze avanzate ma presenza individuale diffusa all'estero di ricercatori italiani, limitato mercato potenziale interno a causa della struttura economica con



elevata presenza di PMI meno propense a investire in tecnologie di frontiera. Queste lacune devono essere individuate nelle progettualità in corso e future e colmate, o almeno mitigate, per ridurre il rischio di dipendenza tecnologica.

Le complessità da affrontare sono molte e richiedono un elevato impegno finanziario, ma è importante notare che questo è il momento giusto per affrontarle senza rimandare, perché diverse tecnologie abilitanti fondamentali per la fabbricazione di soluzioni quantistiche non sono ancora disponibili attualmente né in Europa né a livello internazionale. L'assenza di un approvvigionamento interno crea un'opportunità se si rafforza la filiera del Quantum oppure un rischio di gravosa dipendenza se non si fanno investimenti.

Per arrivare a condizioni quadro più idonee a raggiungere un'autonomia tecnologica nazionale nel Quantum si deve dare priorità a:

- promuovere **l'accesso e l'uso sovvenzionato di linee pilota e strutture di prova** soprattutto alle entità di ricerca più piccole, in quanto sono fondamentali per accelerare lo sviluppo di tecnologie quantistiche nel time-to-market necessario per essere competitive. L'opportunità di entrare in nuovi mercati è ora;
- a seconda della loro maturità tecnologica e del loro orientamento applicativo, **supportare l'attuazione operativa dei progetti di ricerca nelle fasi più a valle della filiera (test e produzione)** con programmi collaborazione sempre più specializzati sui bisogni dei mercati target nonché da misure di attuazione concrete dei piani di adozione su larga scala da parte dei ministeri e delle amministrazioni territoriali coinvolte. Rispetto al bisogno enorme di tecnologie Quantum avanzate per ottimizzare i processi dei settori della difesa, sanitario, energetico e ambientale la rete attuale di collaborazioni pubblico-private attivate a livello nazionale ed europeo è molto sottodimensionata;
- **potenziare lo sviluppo e la gestione della proprietà intellettuale.** Un processo ben progettato per la gestione della proprietà intellettuale e delle licenze è fondamentale e porterà notevoli vantaggi commerciali a tutti gli attori del settore. I governi europei dovrebbero creare incentivi per la generazione di proprietà intellettuale e promuovere la cooperazione tra le start-up e le grandi aziende consolidate. È inoltre importante istituire un processo di trasferimento tecnologico a livello europeo da parte delle università e delle Research Technology Organization, sulla base delle migliori pratiche del passato. È chiaro che le tecnologie Quantum (QT, Quantum Technologies) hanno un enorme potenziale per cambiare il nostro mondo. Avranno un impatto su una moltitudine di settori, come la medicina e la scoperta di farmaci, le comunicazioni e la privacy, l'energia e l'ambiente, l'agricoltura, la finanza e la sicurezza nazionale. È quindi imperativo che i responsabili politici e decisionali prendano nota delle raccomandazioni incluse nella presente relazione e amplino la gamma di sostegno per la commercializzazione delle QT in Europa;
- **rafforzare la domanda di Quantum soprattutto per i processi e i servizi strategici/critici o di natura "one to many".** Il settore pubblico deve essere tra i primi ad adottare le QT. Al fine di stimolare la domanda, devono essere attuati programmi di acquisizione di prodotti e servizi quantistici per risolvere le sfide sociali e commerciali. Questi programmi dovrebbero inoltre avere ricadute positive nell'accelerare l'adozione anche nel settore privato, in quanto non solo consentirebbero alle imprese di sperimentare l'uso e i benefici delle QT, ma darebbe una forte accelerazione allo sviluppo di standard industriali;
- **costruire o rafforzare la collaborazione e la cooperazione tra Paesi e governi** per accedere a una catena di approvvigionamento affidabile di componenti, stabilire standard internazionali, condividere informazioni e sviluppare linee guida comuni per l'uso e il trasferimento responsabile delle QT. Il rafforzamento della collaborazione bilaterale con il Department of Commerce e il Department of Energy americani è prioritario per non restare esclusi dai tavoli di cooperazione dove già partecipano i maggiori Paesi europei che hanno accordi bilaterali attivi con gli Stati Uniti a livello ministeriale;
- definire o collaborare alla definizione di linee guida per aiutare a **prevenire o scoraggiare il finanziamento dello sviluppo di soluzioni Quantum in entità o**



Paesi non autorizzati;

- stabilire **quadri legislativi completi e chiari per disciplinare lo sviluppo, l'esportazione e il trasferimento delle QT** nel nostro Paese e per ridurre la burocrazia che rallenta l'intera filiera produttiva. I quadri dovrebbero essere adattabili e reattivi oltre ad affrontare i potenziali rischi e le preoccupazioni di sicurezza associati all'uso improprio delle QT;
- potenziamento delle **infrastrutture** e delle **piattaforme sperimentali** (ad esempio, sistemi di supercalcolo a supporto dei programmi di ricerca) e favorirne la disponibilità in una logica open source;
- rapido completamento della **Missione 4 del PNRR** per creare centri di competenza dedicati alle tecnologie più all'avanguardia;
- finanziamento prioritario e completamento della cosiddetta **"dorsale sud" Napoli-Matera-Bari della rete QKD** e valutazione di estensioni internazionali della rete QKD come, ad esempio, le reti Italia-Canada e Italia-Malta;
- completamento tempestivo del progetto QUID per la realizzazione di **un'infrastruttura di rete fissa nazionale per la QKD**, nelle aree metropolitane e nei distretti industriali, e della sua connessione alla rete europea, oltre al consolidamento delle attività di testing;
- definire e ampliare standard e procedure di accreditamento a livello di settore. Man mano che le QT maturano e vengono adottate più ampiamente crescerà l'importanza di **standardizzazione e certificazione delle QT prodotte e delle competenze** per svilupparle e utilizzarle. L'importanza degli standard;
- **sviluppare un'offerta di specialisti in QT ampia e qualificata.**

7. Supportare lo sviluppo di partnership e collaborazioni internazionali

Come ampiamente discusso, lo sforzo in ricerca, design e innovazione nel campo delle tecnologie quantistiche comporta investimenti e know-how consistenti. È opportuno quindi un approccio condiviso – in termini di accesso alle infrastrutture e alle competenze – al fine di rendere disponibili e accessibili a tutti gli attori le soluzioni e le applicazioni già esistenti e di lavorare congiuntamente, con le competenze, le risorse e gli obiettivi di tutti, allo sviluppo di nuove. Pensiamo, da un lato, ad esempio, alla disponibilità di tempo di calcolo per PMI e start-up per progredire nelle loro attività di innovazione valorizzando così l'intera filiera e, dall'altro, alla creazione di filiere internazionali per i grandi progetti.

Supportare le partnership tra i grandi player tecnologici internazionali, le autorità nazionali, le più importanti realtà industriali e l'ecosistema delle start-up più innovative, risulta quindi vitale; in linea con lo spirito del Rapporto Draghi, vanno quindi valorizzate le iniziative ispirate a una logica di condivisione e collaborazione.

Ecco alcuni esempi, riportati in questo report, che evidenziano l'importanza delle collaborazioni internazionali per non perdere terreno nello sviluppo e nell'adozione dei casi d'uso applicativi:

- **INFN e il Superconducting Quantum Materials and Systems Center (SQMS):** l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) è l'unico partner non statunitense nel progetto SQMS, finanziato con 115 milioni di dollari dal Department of Energy degli Stati Uniti e coordinato dal FermiLab di Chicago. L'INFN contribuisce con il suo know-how scientifico e tecnologico, e realizzerà una facility per dispositivi quantistici nei Laboratori Nazionali del Gran Sasso. Questa collaborazione internazionale mira a sviluppare un computer quantistico d'avanguardia basato su tecnologie superconduttive e nuovi sensori quantistici con applicazioni in fisica fondamentale, rafforzando il ruolo dell'Italia nella ricerca quantistica globale;
- **il CERN ha accolto INFN e IIT come nuovi membri del suo hub** nell'IBM Quantum Network nell'ambito della Quantum Technology Initiative (QTI) a guida italiana, con l'obiettivo di esplorare l'utilizzo del calcolo quantistico in ambito scientifico, in particolare nella fisica delle alte energie. Inoltre, il CNR, tramite i suoi istituti CNR-ICAR e CNR-IIT, ha aderito nel 2022 alla Network, offrendo ai suoi ricercatori



l'accesso a risorse avanzate per lo sviluppo di applicazioni innovative in vari settori, tra cui quelli previsti dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR);

- **Quantum Data Center in Europa:** il 1° ottobre 2024, IBM ha inaugurato a Ehningen, Germania, il primo Quantum Data Center europeo. Questo centro fornisce accesso al calcolo quantistico ad aziende e istituzioni europee, tra cui Bosch, Ikerbasque, E.ON, Crédit Mutuel e Volkswagen, per esplorare applicazioni in settori come energia, mobilità, scienze dei materiali, sanità e farmacologia. Il centro mira a consolidare l'Europa come hub per il calcolo quantistico, promuovendo l'innovazione tecnologica e favorendo la collaborazione internazionale per raggiungere il vantaggio quantistico nella risoluzione di problemi pratici.

8. Creare e difendere una solida base di competenze quantistiche presso gli attori dell'offerta e della domanda di tecnologie Quantum

Serve formare urgentemente nuove competenze in QT, anche facendo leva sulle competenze avanzate ICT in architettura classica, e, parallelamente, riconvertire o rafforzare tali competenze nella forza lavoro esistente.

Serve formare urgentemente nuove competenze in QT, anche facendo leva sulle competenze avanzate ICT in architettura classica, e, parallelamente, riconvertire o rafforzare tali competenze nella forza lavoro esistente.

Per formare nuove competenze in QT è necessario che **l'istruzione su fenomeni e tecnologie quantistiche diventi ampiamente disponibile a più livelli**, dall'istruzione secondaria al dottorato.

A livello di **istruzione secondaria** serve:

- sviluppare e diffondere corsi di formazione aggiuntivi per insegnanti/educatori per stimolare l'interesse degli studenti per le materie relative alla quantistica;
- aggiungere i fenomeni quantistici e il loro impatto tecnologico come argomenti standard nei programmi della scuola secondaria superiore;
- organizzare corsi brevi di formazione o stage scuola-lavoro presso i centri di ricerca per creare interesse verso le tecnologie quantistiche;
- sviluppare corsi online di avvicinamento al Quantum indirizzato a studenti come pure ad aziende (come, ad esempio, QT Indu).

Molto si sta già facendo **a livello universitario**.

Tuttavia, **l'offerta dei percorsi Quantum è ancora molto eterogenea** e richiederebbe un approccio più coordinato e mirato:

- offrire **nuovi piani di studio "Quantum Centred"** anche interdisciplinari nelle facoltà STEM per formare nuovi profili professionali ICT in grado di sfruttare queste tecnologie. In particolare, saranno richiesti profili come Quantum Scientist, Quantum Engineer, Quantum Developer e specialisti in crittografia⁷³ oltre a competenze approfondite in ambito cyber security. Non si tratterà soltanto di acquisire nuove competenze, ma anche di avere un approccio "quantistico" nello sviluppo degli algoritmi di calcolo e nell'analisi dei problemi;
- **istituire corsi di base e avanzati in ambito meccanica quantistica, informatica e comunicazioni quantistiche, supercomputer, intelligenza artificiale, fisica atomica, scienza dei materiali quantistici** per le lauree STEM, oltre alla fisica, in particolare anche per ingegneria, informatica ed economia, al fine di familiarizzare tutti i laureati STEM con le QT, i loro benefici e le implicazioni anche economiche derivanti dal loro utilizzo sempre più diffuso e anche allargare il bacino di studenti e laureati che possono partire da competenze intermedie per arrivare alla formazione dei profili già citati;
- istituire corsi di approfondimento sulle **tecniche di trasferimento tecnologico** dalla ricerca al mercato, con casi studio, simulazioni economiche, approfondimenti sui processi brevettuali e di creazione di start-up per aumentare la capacità di sfruttamento delle nuove tecnologie nelle fasi a valle della ricerca e prendere consapevolezza dei requisiti per entrare nei nuovi mercati delle QT;
- **estendere le collaborazioni tra istituzioni accademiche** che lavorano su



temi quantistici sia a livello internazionale (comunque già esplorato da tempo) che anche nelle regioni con minore presenza di centri di ricerca quantistici, per estendere l'educazione condivisa sulle QT.

In merito alle priorità di formazione, gli ambiti con maggiore urgenza di risorse professionali riguardano:

- **lo sviluppo di software per applicazioni quantistiche** inclusa la familiarità con linguaggi di programmazione e strumenti specifici per la scrittura di algoritmi quantistici in una logica di SW engineering, ma anche esperienze di apprendimento condivise con esperti con competenze in ambito di linguaggi di programmazione classica, per potere creare applicazioni che girano su nodi ibridi ad architettura quantistica e ad architettura classica;
- **le competenze per l'utilizzo e lo sviluppo di sistemi crittografici avanzati** con conoscenze specifiche sulla crittografia post-quantistica, assolutamente critiche sia per PQC che per QKD, inclusi la comprensione e le tecniche di sviluppo degli algoritmi e dei protocolli che possono resistere agli attacchi dei computer quantistici;
- **la cyber security e la gestione del rischio:** per comprendere come integrare le nuove tecnologie di crittografia all'interno delle infrastrutture esistenti, garantendo la sicurezza e la protezione dei dati.

Il PNRR offre risorse e progetti per accelerare la collaborazione tra università, centri di ricerca e imprese. Ma i fondi si esauriranno nel 2025. **Per estendere finanziamenti e percorsi di collaborazione** è necessario:

- attivare e monitorare **nuovi canali** di finanziamento pubblico alla ricerca anche non europei se necessario e coerente con gli obiettivi di ricerca;
- pubblicizzare in modo diffuso nelle filiere specifiche le opportunità istituire e **co-finanziare PHD** industriali in ambito Quantum;
- moltiplicare gli **hub di conoscenza e ricerca per le QT** tra istituzioni accademiche e attori dell'industria per mettere in comune know-how e best practice e fungere da punti di contatto con nuove imprese;
- incoraggiare le collaborazioni tra aziende quantistiche e mondo accademico per progetti congiunti facendo **leva sui risultati e le conoscenze sviluppate** nei progetti già in corso;
- diffondere la conoscenza dei casi d'uso così da **far prendere maggiore consapevolezza dei benefici delle QT** agli attori economici sia nel settore pubblico che, per filiere e processi, nel settore privato e aumentare la propensione a investire nelle QT;
- **istituire incentivi locali o di filiera con obiettivi ben definiti e misurabili** per l'accelerazione dei progetti verso le fasi di prototipizzazione e di industrializzazione e l'aumento dei brevetti in QT.

Con riguardo ai professionisti ICT attivi, per aumentare l'interesse ad **approfondire o riconvertire le proprie competenze avanzate ICT** verso temi quantistici è auspicabile:

- supportare il cambiamento di mindset e culturale nelle aziende attraverso iniziative di Change Management⁷⁴;
- promuovere corsi di "avvicinamento al Quantum" che non richiedano conoscenze approfondite di fisica quantistica ma creino le competenze per identificare e valutare i problemi aziendali gestibili con applicazioni quantistiche;
- organizzare percorsi di **formazione quantistica dedicata a filiere specifiche** con la collaborazione delle imprese utenti delle nuove applicazioni delle tecnologie quantistiche, con casi d'uso, best practice, progetti, periodi di affiancamento focalizzati sui processi e gli ambiti di utilizzo delle applicazioni quantistiche specifici della filiera (energetica, finanziaria, biotech ecc.). Per le aziende con un'adozione avanzata delle tecnologie quantistiche individuare opzioni di sviluppo delle competenze per reparti e aree specifiche;
- organizzare **academy dedicate in presenza oppure online** con percorsi di studio brevi e specialistici che permettano ai professionisti informatici già nel mercato del lavoro di crescere professionalmente accedendo a contenuti aggiornati, applicazioni



pratiche essenziali per evolvere le proprie competenze verso le QT. Nel medio termine, con l'aumentare dell'adozione e delle conoscenze delle QT nelle aziende, questi corsi saranno sempre più orientati a formare all'utilizzo delle QT traendone benefici;

- promuovere con incentivi aziendali (bonus, avanzamenti di carriera, accesso a progetti innovativi) la frequenza delle Quantum Academy già accessibili online (ad esempio, <https://www.qt.io/academy>);
- definire standard di profili professionali in ambito Quantum in allineamento con l'attuale **QTedu Competence Framework**⁷⁵ che mappa il panorama di competenze, conoscenze e skill per le tecnologie quantistiche;
- definire **requisiti di certificazione** delle nuove competenze e pubblicizzare l'offerta di nuovi corsi da produttori o enti di formazione specializzati per orientare la formazione dei professionisti ICT verso le specializzazioni Quantum emergenti.

Infine occorre prendere in esame anche il rischio di deflussi di know-how verso altri Paesi. In questo contesto servono misure volte a **prevenire il deflusso di competenze tecnologiche in QT**, ad esempio attraverso:

- lo strumento del rinnovo di contratti e licenze nell'ambito delle iniziative progettuali in corso;
- incentivi di fidelizzazione, definizione di percorsi di crescita nella carriera accademica o imprenditoriale;
- iniziative e misure nel quadro degli scambi internazionali ed europei.



Note:

1. <https://qt.eu/about-quantum-flagship/quantum-technologies-in-a-nutshell>
2. <https://www.quantum.polimi.it/cnhpc2024/>.
3. <https://agenda.infn.it/event/42801/contributions/>, <https://agenda.infn.it/event/42801/contributions/245890/attachments/127613/188815/INFN-WorkshopQCSiarrino.pdf>.
4. https://s201.q4cdn.com/339170267/files/doc_presentations/2024/Jan/23/d-wave-quantum-inc-2024-analyst-day-presentation-final.pdf, <https://www.dwavesys.com/learn/featured-applications/>, https://docbox.etsi.org/Workshop/2024/05_QuantumSafeCryptoConference/TECHNICAL_TRACK/S4_QKDNTWKS/UNIOFLORENCE_BACCO.pdf.
5. European Quantum Flagship, Key Performance Indicators for Quantum Technologies in Europe, marzo 2024, https://qt.eu/media/pdf/KPI_booklet_2024.pdf; <https://ico.org.uk/media/about-the-ico/research-reports-impact-and-evaluation/research-and-reports/technology-and-innovation/ico-tech-futures-quantum-technologies-l-0.pdf>, https://www3.weforum.org/docs/WEF_Quantum_for_Society_2024.pdf.
6. <https://www.quantumtea.it/running-q-tea/>.
7. https://agenda.infn.it/event/42801/contributions/245888/attachments/127723/188984/80_EuroQCS-technologyTracking.pdf.
8. <https://www.cipa.it/altre-pubblicazioni/gruppi-lavoro/tecnologiequantistiche/tecnologiequantistiche.pdf>.
9. <https://initiatives.weforum.org/quantum/application-hub>.
10. <https://www.ism.cnr.it/it/tempism/analisi/magnetismo-e-trasporto/magnetometria-squid/squid-mpms-xl-5.html>.



11. <https://www.astrospace.it/2024/08/07/la-nasa-sta-sviluppando-sensori-che-lavorano-su-scala-quantistica-per-misurare-campi-magnetici-nello-spazio/>.
12. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Quantum_for_Society_2024.pdf; <https://timetech.in/quantum-sensors-vs-quantum-computers-idtechex-takes-a-look/>.
13. Ad esempio, la rete dell'ecosistema quantistico di IBM può contare su più di 400 mila utenti registrati (erano 300 mila nel 2021), 2 trilioni di circuiti quantistici eseguiti (4 miliardi al giorno), più di 25 Quantum Computer condivisi pubblicamente sul cloud IBM Quantum Services e una letteratura originale di oltre 1.500 paper scientifici (erano 400 nel 2021).
14. "Il Quantum Computing a supporto della Trasformazione Digitale Italiana", <https://www.anitec-assinform.it/publicazioni/policy-paper/quantum-computing.kl> e "Tecnologie Quantistiche per la sicurezza delle Comunicazioni Digitali", <https://www.anitec-assinform.it/publicazioni/policy-paper/quantum-secure-communications.kl>.
15. "European Patent Office Quantum Insight Report Quantum Computing", gennaio 2023, https://link.epo.org/web/epo_potent_insight_report-quantum_computing_en.pdf.
16. Oppure il 35% in meno se confrontato al dato del Consorzio Europeo dell'Industria del Quantum (QulC) basato sullo studio di Orbit Intelligence, "A Portrait of the Global Patent Landscape in Quantum Technologies", gennaio 2024, <https://www.euroquic.org/wp-content/uploads/2024/03/QulCWhite-Paper-IPT-January-2024.pdf>.
17. "European Patent Office Quantum Insight Report Quantum Computing", gennaio 2023, https://link.epo.org/web/epo_potent_insight_report-quantum_computing_en.pdf.
18. "McKinsey Quantum Technology Monitor", aprile 2024, <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/steady-progress-in-approaching-the-quantum-advantage>.
19. Il Centro Nazionale di Ricerca in HPSC gestito dalla Fondazione ICSC mette insieme 49 partecipanti, di cui 15 imprese e 34 tra università ed enti pubblici di ricerca. Tra le aziende partecipanti figurano, ad esempio, Ferrovie dello Stato Italiane, ENI, Intesa Sanpaolo e Sagei mentre tra le università e i centri di ricerca ritroviamo, oltre al Politecnico di Milano, la Sapienza Università di Roma, l'Università degli Studi di Padova, l'Università degli Studi di Napoli Federico II e il CINECA — Consorzio Interuniversitario sul supercalcolo.
20. Il partenariato esteso Istituto Nazionale di Scienza e Tecnologia Quantistica (NQSTI) riunisce in consorzio i seguenti 20 centri di ricerca specializzati nelle tecnologie quantistiche: CNR, Fondazione Bruno Kessler (FBK), International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Istituto Italiano di Tecnologia (IIT), Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Leonardo, Sapienza Università di Roma, Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati (SISSA), Scuola Normale Superiore (SNS), Scuola Universitaria Sant'Anna, Thales Alenia Space, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Università degli Studi di Camerino, Università degli Studi di Catania, Università degli Studi di Firenze, Università degli Studi di Milano Bicocca, Università degli Studi di Napoli Federico II, Università degli Studi di Parma, Università degli Studi di Pavia, Università degli Studi di Trieste.
21. "McKinsey Quantum Technology Monitor", aprile 2024, <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/steady-progress-in-approaching-the-quantum-advantage>.
22. "McKinsey Quantum Technology Monitor", aprile 2024, <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/steady-progress-in-approaching-the-quantum-advantage>.
23. Perché è dal Computing HPC ibrido che è necessario passare per poi poter sviluppare o trasformare gli algoritmi attuali in algoritmi quantistici inizialmente su un numero limitato di qubit.
24. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/quantum-technologies-flagship>.
25. Il programma strategico che guida la trasformazione digitale dell'Europa con traguardi e obiettivi concreti per il 2030.
26. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/new-strategic-research-agenda-quantum-technologies>.
27. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-quantum-communication-infrastructure-euroqci>.
28. Nell'ambito dell'iniziativa EuroHPC, i primi computer quantistici europei sono ospitati in sei siti in Europa: Cechia, Germania, Spagna, Francia, Italia (Bologna) e Polonia. L'investimento totale previsto per questa iniziativa è di oltre 100 milioni di euro (50% UE e 50% finanziato dai 17 Paesi europei partecipanti al progetto). Questo sarà il primo passo verso la realizzazione di un'infrastruttura europea di calcolo quantistico, che sarà accessibile agli utenti europei della scienza e dell'industria tramite il cloud su base non commerciale. Sarà dedicata ad accelerare la creazione di nuove conoscenze, affrontare complessi problemi di simulazione e ottimizzazione, in particolare nello sviluppo di materiali, nella scoperta di farmaci, nelle previsioni meteorologiche. L'iniziativa EuroQCI, lanciata nel 2019, costruirà un'infrastruttura di comunicazione quantistica sicura che si estenderà a tutta l'UE. È progettata dal consorzio, guidato da Airbus, di cui fanno parte Leonardo, Orange, PwC France e Maghreb, Telespazio (Leonardo 67%, Thales 33%), il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM). Per il segmento terrestre la prima fase di attuazione dell'EuroQCI è iniziata nel gennaio 2023, finanziata da Digital Europe, con i progetti industriali (Petrus Euro QCI) per sviluppare l'industria della comunicazione quantistica in Europa, e i progetti nazionali per la costruzione di reti nazionali di comunicazione quantistica, un primo passo verso servizi di distribuzione di chiavi quantistiche (QKD) altamente sicure. Parallelamente, il meccanismo Connecting Europe Facility finanzia collegamenti tra reti nazionali e interconnessioni con la componente spaziale di EuroQCI. Nel gennaio 2024 è stato avviato il progetto quadriennale (NOSTRADAMUS) per un'infrastruttura di test e valutazione di tecnologie e servizi basati sulla QKD in vista della certificazione, che sarà progressivamente implementata e poi trasferita al Centro comune di ricerca della Commissione a Ispra (avvio delle attività operative a partire dal 2026). Per il segmento spaziale, la Commissione collabora con l'ESA alle specifiche di una costellazione di satelliti EuroQCI di prima generazione.
29. Austria, Belgio, Bulgaria, Cipro, Croazia, Danimarca, Estonia, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Italia, Lettonia, Lituania, Lussemburgo, Malta, Paesi Bassi, Polonia, Portogallo, Repubblica Ceca, Romania, Slovacchia, Slovenia, Spagna, Svezia e Ungheria.
30. <https://www.quantum.gov/competitiveness/>.
31. <https://quantera.eu/about/>.



32. <https://quantera.eu/quantum-technologies-public-policies-2023/>.
33. I chip quantistico elabora informazioni a livello di singoli sistemi quantistici, con un livello di integrazione dei componenti variabile su un singolo chip a seconda della piattaforma quantistica utilizzata. È impiegato in macchine di calcolo, come computer quantistici autonomi o acceleratori per supercomputer, o nelle reti, dove può fornire servizi completamente nuovi come comunicazioni ultra-sicure o marcature temporali ultra-precise.
34. Il 21 settembre 2023 sono entrati in vigore l'European Chips Act e la modifica del regolamento che istituisce le imprese comuni (Joint Undertaking). Come risultato diretto di questi cambiamenti, KDT JU è stata rinominata Chips JU. Ad aprile 2024 la Chips JU ha selezionato le proposte per linee pilota innovative, per un investimento di 1,67 miliardi di euro, a cui si aggiungeranno contributi privati e nazionali.
35. Strumento unificato per misurare il grado di maturità tecnologica di una tecnologia/servizio/soluzione. È stato introdotto nella progettazione dalla Commissione Europea come indicatore dei progetti finanziati da Horizon 2020 e quindi Horizon Europe. La scala TRL si articola su nove livelli: TRL 1. Principi di base osservati, TRL 2. Concetto tecnologico formulato, TRL 3. Prova sperimentale del concetto, TRL 4. Tecnologia convalidata in laboratorio, TRL 5. Tecnologia convalidata in un ambiente rilevante (ambiente industriale nel caso di KETs, Key Enabling Technologies), TRL 6. Dimostrazione della tecnologia in un ambiente rilevante (ambiente industrialmente rilevante nel caso di KETs), TRL 7. Dimostrazione del prototipo del sistema in ambiente operativo, TRL 8. Sistema completo e qualificato, TRL 9. Sistema effettivo collaudato in ambiente operativo (produzione competitiva nel caso di KETs; o nello spazio).
36. Il Centro Nazionale HPC, Big Data e Quantum Computing è uno dei cinque Centri Nazionali previsti dal PNRR. Proposto dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) e istituito nel 2022, con sede a Casalecchio di Reno (Bologna), fa leva sul centro di calcolo del CINECA e del Supercomputer Leonardo. Attraverso i suoi 10 Spoke, ha il triplice obiettivo di costruire un'infrastruttura di supercalcolo italiana (Spoke 0), di aggregare le risorse di ricerca e di innovazione nei settori maggiormente strategici per il Paese e di posizionarsi come la piattaforma nazionale a supporto di iniziative scientifiche e industriali. Gli Spoke 9 - Future HPC & Big Data e 10 - Quantum Computing hanno inoltre carattere tecnologico e mirano allo sviluppo di chip e microchip avanzati e di tecnologie emergenti, come quelle per il calcolo quantistico.
37. Su questo farà leva la Bologna Quantum Alliance (BOQA), annunciata lo scorso luglio, che riunisce Università di Bologna, CINECA, CMCC (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), CNR, INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica), INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) e INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) per collaborare allo sviluppo di un ecosistema tecnologico quantistico nel solco tracciato dall'"European Declaration on Quantum Technologies".
38. La tecnologia di qubit ad atomi neutri è una recente novità nel mondo del Quantum Computing. È simile a quella trappola ionica, tuttavia, per intrappolare il qubit e mantenerlo in posizione, questa tecnologia sfrutta la luce anziché le forze elettromagnetiche. Dato che gli atomi non sono carichi e i circuiti possono funzionare a temperatura ambiente, questa nuova tecnologia offre una maggiore versatilità e configurabilità rispetto alla maggior parte delle altre tecnologie, senza la necessità di operare a temperature criogeniche. Per questo è un candidato ideale per mostrare le potenzialità del calcolo quantistico nel breve-medio periodo, con applicazioni nel campo dell'ottimizzazione combinatoria, nella chimica quantistica e nella simulazione di altri sistemi quantistici in generale, da cui il nome Quantum Simulators.
39. Estratto da "Il Digitale in Emilia-Romagna", Anitec-Assinform, 2024, <https://www.anitec-assinform.it/publicazioni/studi/il-digitale-in-emilia-romagna-2024.kl>.
40. Nell'ottica di arrivare ad una Net Zero Carbon Emissions è auspicabile l'uso del solo raffreddamento a liquido diretto come tecnologia al 100% ossia senza il raffreddamento ad aria che comporta un enorme spreco di calore e di energia nonché di emissioni di CO₂.
41. La start-up francese PASQAL nel 2022 ha raccolto 100 milioni di euro di finanziamenti privati per la realizzazione della sua macchina Quantum ad atomi neutri, mentre la Commissione Europea ha deciso di investire nell'acquisto di 5 macchine Pascal ad atomi neutri (di cui una presso il CINECA a Bologna) nell'ambito dell'iniziativa comune sul calcolo ad alte prestazioni EuroHPC, che con il progetto HPCQS mira a far lavorare insieme supercomputer e simulatori quantistici.
42. EPIQUE (European Photonic Quantum Computer) è uno dei sei progetti, sulla base di altrettante soluzioni tecnologiche, ideati per sviluppare fisicamente un computer quantistico europeo nell'ambito della Quantum Flagship lanciata dalla Commissione Europea nel 2018 e finanziata con circa 1 miliardo di euro. Se i computer classici funzionano grazie al flusso di elettroni attraverso circuiti microelettronici, una dinamica simile si rispecchia nei computer quantistici fotonici, che si avvalgono di circuiti fotonici integrati. In questi circuiti, i singoli fotoni sono incaricati di realizzare calcoli complessi.
43. Ossia la capacità di eseguire un processo di calcolo di fatto impossibile per un computer tradizionale.
44. Creato nel 2010 dall'aggregazione dell'Istituto Nazionale di Ottica Applicata (INOA), con le sue sezioni di Firenze, Napoli e Lecce, di una parte dell'Istituto per i Processi Fisco-Chimici (IPCF) di Pisa, e del Centro sulla condensazione di Bose-Einstein (BEC) di Trento, con sede presso il LENS di Sesto Fiorentino. Nel 2013 è stato inserito anche il Sensor Lab (ex-INFN) di Brescia. Questa integrazione ha portato ad un'ampia rappresentatività delle aree più significative e moderne dell'Ottica.
45. LENS è un centro di ricerca scientifica europeo che fornisce strutture laser e spettroscopiche avanzate per ricercatori provenienti da diverse università europee che partecipano attraverso accordi con l'Università di Firenze. Ha un'impronta interdisciplinare, tra fisica, chimica, biologia e medicina, e il personale senior è composto da professori dell'Università di Firenze e di altre università associate.
46. Fondata nel 2018 come spin-out della Aalto University and VTT Technical Research Center of Finland, ha raccolto 200 milioni di euro di finanziamenti evolvendo dalla gestione dei qubit alla fabbricazione dei semiconduttori Quantum fino alla messa appunto di macchine Quantum full-stack e applicazioni.
47. La cui importazione potrebbe essere messa a dura prova dalla crescente velocità e portata delle restrizioni alle esportazioni di terre rare dalla Cina. È presente anche in Svezia e Norvegia.
48. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-quantum-communication-infrastructure-euroqci>.
49. Partecipano al consorzio QUID: Leonardo, Thales Alenia Space Italia e Telespazio, vede il coinvolgimento del Consiglio Nazionale delle



Ricerche (CNR), Agenzia Spaziale Italiana (ASI), Coherentia, QTI, ThinkQuantum, TIM SPA, Telsy, Consorzio TOP-IX, Università degli Studi di Napoli Federico II, Politecnico di Milano, Università degli Studi dell'Aquila, Sapienza Università di Roma, Università degli Studi di Padova e Università degli Studi di Trieste.

50. <https://alumni.polimi.it/2022/06/16/poliqi-la-prima-rete-di-comunicazione-quantistica-e-made-in-poli>.
51. <https://www.unina.it/-/52867403-a-napoli-la-prima-rete-di-comunicazione-quantistica-metropolitana-permanente>.
52. <https://conf24.garr.it/it/documenti/conferenza-garr-2024/presentazioni-13/900-conf24-04-bassi/file>.
53. Per i contenuti di questo paragrafo si è attinto a "THE EU'S CRITICAL TECH GAP Rethinking Economic Security to put Europe back on the map", Digital Europe, giugno 2024 e a "Strategic Industry Roadmap", QulC, gennaio 2024.
54. Questa valutazione è basata sulla rappresentazione della supply chain mutuata dalla filiera dei semiconduttori e aggiornata per il Quantum con la raccolta di dati secondari e di una ricerca documentale più ampia. Le fasi della catena del valore dell'informatica quantistica sono:
- R&D in meccanica quantistica: ricerca teorica e di base sulla meccanica e la fisica quantistica;
 - input, componenti, tecnologie di supporto: materie prime, componenti di produzione, infrastrutture e tecnologie di supporto per la fabbricazione di chip e processori;
 - piattaforma hardware e assemblaggio: progettazione e fabbricazione della piattaforma di calcolo quantistico, dove vengono effettuati i calcoli;
 - piattaforma di gestione e accesso al sistema: sviluppo del sistema di controllo alla base del motore quantistico;
 - sviluppo software e application discovery: progettazione e scrittura di software utilizzato nell'informatica quantistica;
 - utilizzi finali: usi commerciali e di ricerca per l'informatica quantistica e il software.
55. In Italia è particolarmente importante promuoverci i finanziamenti anche nel pubblico/privato e il venture capital può consentire ad aziende che stanno già investendo in ricerca e soluzioni quantistiche (ad esempio come ENI, Unipol, IntesaSanpaolo, Thales Alenia) di poter aumentare la capacità computazionale quantistica e accelerare l'innovazione.
56. Per i contenuti di questo paragrafo si è attinto a "THE EU'S CRITICAL TECH GAP Rethinking Economic Security to put Europe back on the map", Digital Europe, giugno 2024 e a "Strategic Industry Roadmap", QulC, gennaio 2024.
57. Per i contenuti di questo paragrafo si è attinto a "THE EU'S CRITICAL TECH GAP Rethinking Economic Security to put Europe back on the map", Digital Europe, giugno 2024 e a "Strategic Industry Roadmap", QulC, gennaio 2024.
58. Per alcuni contenuti di questo paragrafo si è attinto a "THE EU'S CRITICAL TECH GAP Rethinking Economic Security to put Europe back on the map", Digital Europe, giugno 2024 e a "Strategic Industry Roadmap", QulC, gennaio 2024.
59. Il consorzio QTIndu (<https://qtindu.eu>) è formato da diverse istituzioni accademiche con esperienza nel campo delle tecnologie quantistiche (in Finlandia, Paesi Bassi e Germania), l'Istituto nazionale di metrologia della Germania, la PMI Qureca focalizzata sull'istruzione e le competenze per la forza lavoro quantistica, due reti professionali in Germania e Paesi Bassi, due istituzioni accademiche con una rete di PMI (in Danimarca e Spagna) e Airbus. Fungono da consulenti i consorzi Quantum Valley Lower Saxony, e QulC.
60. Non appena sarà disponibile, l'hardware di calcolo quantistico per utilizzare l'algoritmo di Shor sarà in grado di decifrare la crittografia a chiave pubblica utilizzata oggi a protezione di comunicazioni e dati sensibili.
61. Il protocollo QKD è usato per produrre una chiave casuale, tramite l'utilizzo di un apposito generatore quantistico di numeri casuali (Quantum Random Number Generator, QRNG), e per distribuirlo su un canale di comunicazione quantistico inattaccabile. La QKD è impiegata per realizzare protocolli crittografici a chiave simmetrica, come l'Advanced Encryption Standard (AES).
62. Non sono ancora disponibili sul mercato ripetitori QKD non hackerabili da intercettatori, ovvero in grado di replicare alla cieca lo stato quantistico di un singolo fotone senza perdere alcuna informazione distintiva sui singoli fotoni che lo attraversano. Tale tecnologia è realizzabile tra almeno cinque o dieci anni.
63. ETSI Industry Specification Group (ISG) QKD sta lavorando su specifiche per: profilo di protezione per i sistemi QKD, protezione contro attacchi Trojan horse nei sistemi QKD unidirezionali, caratterizzazione dell'uscita ottica dei moduli trasmettitori QKD, interfaccia di controllo per SDN (Software Defined Networks), revisione dell'architettura di rete, interfaccia applicativa (API) in risposta ai nuovi sviluppi della rete.
64. "Quantum Cryptography Has Everyone Scrambling China, India, the EU, and the US are all pursuing divergent approaches", Margo Anderson, agosto 2024, <https://spectrum.ieee.org/quantum-key-distribution>.
65. Garanzia di parametri di prestazione di qualità, tracciabili, sicuri e comparabili.
66. L'INFN riceverà un contributo da parte del Department of Energy di circa 1,6 milioni di dollari e contribuirà al progetto SQMS sia con le competenze in fisica teorica, nelle tecnologie superconduttive e criogeniche e nello sviluppo di rivelatori, che con la realizzazione di una facility per misure, test e validazione di dispositivi quantistici ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso unico per attività a bassissime radioattività ambientali e competenze in ambito criogenico. Al Fermilab lavorano oltre 150 ricercatori italiani.
67. La start-up LevelQuantum è incubata dal PoliHub di Milano e dal Business Incubation Center di Torino dell'Agenzia spaziale europea. È stata anche scelta dalla Nato per il suo programma Diana nell'area dedicata alla sicurezza delle telecomunicazioni. La soluzione, utilizzando le proprietà fisiche dei fotoni, realizza un modo nuovo di verifica basato sulla correlazione quantistica ed è in grado di stabilire con totale certezza se una comunicazione digitale è avvenuta correttamente o è accaduto qualche tipo di problema che ne ha compromesso l'integrità. Per ottenere questo risultato opera a livello atomico utilizzando le proprietà fisiche dei fotoni. Nel primo trimestre 2024 ha completato il prototipo per la realizzazione di un dispositivo pronto per il mercato ed entro giugno un software per collegare il sistema quantistico alle infrastrutture informatiche esistenti. Collaborerà anche con l'Istituto italiano di tecnologia per accelerare ulteriormente lo sviluppo di tutte le componenti della soluzione. Entro inizio 2025 ha in programma di consegnare i primi sistemi ai clienti. Il suo primo round finanziario vede il coinvolgimento di investitori e fondi di venture capital dei settori spazio e cyber security.
68. In Germania il Centro aerospaziale tedesco (DLR), che è finanziato da fondi di base, ha assegnato contratti per un valore di circa 600 milioni di euro dal pacchetto di stimolo economico per acquistare computer quantistici innovativi per uso proprio.



69. Dal luglio 2024, il DTCF partecipa al finanziamento di serie A di 50 milioni di euro a Planqc, attiva da anni nello sviluppo di computer Quantum Made in Germany facendo leva sulla ricerca decennale del Max-Planck-Institute. L'investimento è cofinanziato anche dal family office europeo CATRON Holding, dal Bayern Kapital, dalla Fondazione Max-Planck, da altri investitori privati, dagli investitori esistenti UVC e Speedinvest e include una sovvenzione non diluitiva da parte del Ministero federale tedesco dell'istruzione e della ricerca (BMBF). Il nuovo finanziamento sarà utilizzato per creare un servizio cloud di calcolo quantistico e per sviluppare software quantistico per applicazioni in settori come la chimica, la sanità, la tecnologia climatica, l'automotive e la finanza. Oggi, Planqc sta già utilizzando l'apprendimento automatico quantistico per lavorare su simulazioni climatiche o batterie più efficienti per veicoli elettrici.
70. Finanziati dal Ministero della Ricerca, i "cluster di eccellenza" nel settore della scienza e dell'industria sono il fiore all'occhiello della strategia high-tech della Germania. Hanno l'obiettivo di trasformare più velocemente le idee in nuovi prodotti, processi e servizi, generando così posti di lavoro e crescita e aumentando il potenziale della Germania quale Paese in cui condurre attività di ricerca e innovazione. Per ottenere il finanziamento i cluster devono sviluppare una strategia comune che si basi sui punti di forza dei partecipanti e coinvolga l'intera catena dell'innovazione, dall'idea alla commercializzazione. Le strategie sono selezionate in base alle potenzialità di sviluppo nonché alla creatività e al carattere innovativo dell'approccio verso i mercati futuri del loro settore. I fondi per un singolo cluster arrivano fino a 200 milioni di euro da investire in un arco temporale massimo di cinque anni. Il presupposto è che ricerca e sviluppo sono sempre più basati su conoscenze connesse in una rete e interdisciplinari e le imprese sono sempre più consapevoli dell'impossibilità di operare da sole e della necessità di concludere partenariati strategici a lungo termine.
71. Come indica lo studio, coordinato da Thomas Schmaltz del Fraunhofer ISI e da Christoph Becher dell'Università del Saarland, "Monitoring Report 1 Quantum Communication", luglio 2024, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Universität des Saarlandes, <https://www.isi.fraunhofer.de/en/presse/2024/presseinfo-19-quantenkommunikation-quantensichere-Kommunikation.html>.
72. Con le competenze specifiche per l'utilizzo di sistemi crittografici avanzati si garantisce la sicurezza nell'uso del cloud computing ad alte prestazioni (HPC). L'infrastruttura di comunicazione che collegherà i nodi HPC dovrà essere, infatti, "Quantum Compatible" non soltanto perché all'interno dei nodi HPC saranno presenti i primi Quantum Computer, ma anche per rafforzare la sicurezza della computazione classica.
73. Digital Europe "The EU Critical Tech Gap", https://cdn.digitaleurope.org/uploads/2024/07/DIGITALEUROPE-CRITICAL-TECHNOLOGIES-REPORT-FINAL_JULY_WEB.pdf.
74. https://qt.eu/news/2024/2024-04-16_version-2.5-of-the-european-competence-framework-for-qt-published, https://qt.eu/media/pdf/Competence_Framework_for_QT_v2_5_2024_official-version.pdf?m=1723785803&.

Conclusioni

Lo studio della materia alla scala atomica apre oggi la possibilità di sviluppare nuove tecnologie ICT in campo informatico e delle telecomunicazioni: per realizzare computer, simulatori, sistemi di comunicazione, sensori, strumenti di misura radicalmente innovativi. Gli avanzamenti tecnologici raggiungeranno un sufficiente livello di maturità da rendere possibile una vera e propria esplosione di mercato di nuove applicazioni dirompenti del Quantum. Sarà una sfida rilevante per il sistema della formazione, il mondo della ricerca e quello delle imprese affinché si trovino pronte a indirizzare le nuove opportunità degli ambiti applicativi delle tecnologie quantistiche o ibride classico-quantistiche che porteranno innovazione nelle filiere a elevata intensità tecnologica. Aerospazio, telecomunicazioni, automotive, mecatronica, servizi avanzati, industria della salute, della difesa, dell'energia e dell'ambiente potranno avvalersi della simulazione di sistemi complessi, dell'apprendimento automatico, della guida autonoma e sistemi di navigazione, del monitoraggio ambientale, della diagnostica per immagini, della sensoristica avanzata, della sicurezza informatica e calcolo avanzato così come di molte altre applicazioni che possono trarre vantaggio dalle più elevate performance offerte dalle nuove tecnologie quantistiche e della miniaturizzazione dei componenti.

Per accelerare questo processo sarà importante contare su un "ecosistema quantistico" in grado di fare convergere ricerca scientifica, ricerca industriale, formazione e politiche pubbliche di sostegno su un unico percorso di collaborazione. In particolare, sarà fondamentale orientare le tecnologie quantistiche verso lo sviluppo di soluzioni che possano accelerare la trasformazione digitale e green dei settori produttivi, prestando attenzione alle potenziali applicazioni strategiche e duali di queste tecnologie al fine di consolidare l'autonomia tecnologica nazionale e rafforzare la sicurezza in settori critici. I Paesi di tutto il mondo hanno identificato le QT come una risorsa strategica per il loro futuro. Sebbene l'Europa abbia una lunga tradizione di ricerca nel campo della fisica quantistica, gli Stati Uniti hanno un bacino più ampio di investimenti privati nelle QT e la Cina ha fornito la quota maggiore di investimenti pubblici che ha generato una solida produzione brevettuale.

In tale contesto di competizione globale, l'Europa deve mobilitare le risorse finanziarie necessarie, mettere a disposizione infrastrutture all'avanguardia e facilitare l'attrazione e lo sviluppo di talenti all'interno dell'ecosistema. L'Italia ha una buona posizione solo nel numero di pubblicazioni sulle tecnologie quantistiche, ma manca all'appello in diversi altri confronti internazionali, in termini di risorse finanziarie pubbliche e private dedicate al Quantum, in termini di numero di start-up Quantum create, in termini di brevetti registrati, in termini di competenze Quantum disponibili.

Di fronte alle opportunità di sviluppo delle QT l'Italia deve fare i conti con la propria struttura economica caratterizzata da minori dimensioni di impresa rispetto ai principali Paesi industrializzati e modulare di conseguenza le sue politiche di intervento per lo sviluppo di una filiera produttiva delle QT affinché la maggiore prevalenza di segmenti di utenza meno propensi all'innovazione non finisca per agire da freno per il Paese nella capacità di generazione e utilizzo di queste nuove tecnologie.

In tale contesto, la presenza di un importante nucleo di grandi imprese potrebbe rappresentare un elemento su cui fondare le capacità del sistema economico nel suo complesso di cogliere le opportunità innovative e di mercato delle QT.

Questo implica che per aumentare l'impatto economico delle QT, il settore ICT, le grandi aziende capofiliera e il settore pubblico devono non solo sostenere il sistema della formazione, della ricerca e garantire un adeguato sistema di incentivi alle imprese, ma anche cercare di rafforzare la struttura delle relazioni tra le diverse organizzazioni presenti sul territorio nazionale e, in particolare, stimolare le interazioni tra tutti gli attori, grandi e piccoli, che possono dare vita a una solida e competitiva filiera di produzione delle QT.



	STATO ATTUALE	BREVE (2025-2030)	LUNGO (2030-2035)
Superconduttori a Qubit	Una delle tecnologie QC più mature nello sviluppo. Usata in prevalenza nella R&S QC. Accesso limitato prevalentemente a istituzioni accademiche che producono dispositivi e tecnologie per i loro laboratori di ricerca. Recentemente quattro startup olandesi hanno cominciato a produrre componenti dello stack. Deve superare alti tassi di errori quantistici e elevate temperature.	Raggiungimento di qubit logici, dimostrazione di FTQC e FTQC universale attraverso insieme minimo di porte quantistiche necessario per raggiungerlo. Aumento dell'utilità del QC attraverso aumento numero di qubit nella CPU e aumento qualità. Richiederà un 3D avanzato architetture e tecniche di assemblaggio, esplorazione di nuovi progetti di qubit superconduttori per ottenere migliori tempi di coerenza o interconnessione di processori separati tramite collegamenti fotonici.	Sviluppo impianti di fabbricazione su scala industriale, in grado di miniaturizzare, assemblare e integrare QPU. Nuova ricerca sullo sviluppo di materiali, tecniche di fabbricazione e metodi di lavorazione. Ulteriore sviluppo dell' hardware che si connette alle QPU, come raffreddatori criogenici, sistemi elettronici e cablaggio.
Qubit di Spin	Molti team di ricerca e aziende europee attive per migliorare la qualità dei qubit (materiali migliorati, nuove architetture, riproducibilità dei processi, fedeltà di lettura a qubit singolo e multi-qubit) e gli aspetti di sistema (temperatura operativa, architetture fisiche dei qubit, indirizzabilità dei qubit, nuovi codici di correzione degli errori, connettività all'elettronica classica, progettazione crioelettronica e circuiti ADC e RF a basso consumo energetico).	Investire nello sviluppo di wafer multi-progetto con la flessibilità di modificare le regole di progettazione per supportare i qubit di spin e nella crioelettronica avanzata. I primi dispositivi quantistici basati sul qubit di spin saranno basati sulla combinazione pragmatica di funzionalità di QPU analogiche e a modello gate. Da superare ancora diversi ostacoli: prestazioni dei qubit di spin, tecnologia del silicio criogenico funzionante a 1 K, silicio 3D, progettazione e imballaggio, progettazione elettronica a bassa potenza, algoritmi di correzione degli errori e compilatori software che si adattano all'architettura.	I miglioramenti scoperti da qui al 2030 saranno incorporati in processi di produzione su commessa di wafer di silicio per ospitare i qubit di spin. Nodi logistici di dimensioni ridotte si tradurranno in qubit con prestazioni più elevate e mitigheranno la sfida della densità di cablaggio inerente alla tecnologia attuale.
Ioni intrappolati	Diverse componenti alla prima fase di sviluppo sono disponibili in Europa (laser, sensori, componenti ottiche, meccanismi di raffreddamento). I due approcci principali, a controllo ottico e a microonde, stanno affrontando le sfide legate allo sviluppo su larga scala e l'accesso alle macchine quantum agli sviluppatori via rete o cloud. Ricerca di nuovi approcci di interconnessione e studio del trasporto di ioni (tra diverse zone di elaborazione sullo stesso chip o tra chip diversi) e accoppiamento fotonico. Molti gruppi europei già abilitano connessioni ottiche tra due trappole ioniche remote. Servono miglioramenti nella velocità di accoppiamento e nella fidelity.	"Fino a alcune centinaia di qubit in nuove architetture trap più integrate e scalabili. Introduzione di architetture trap più veloci e meglio integrate e soluzioni di controllo qubit scalabili nei domini elettronici e ottici. Prima implementazioni di correzione degli errori con un numero elevato di qubit. Automazione completa, con l'autocalibrazione e gestione automatizzata delle risorse, con obiettivo 24x7. Integrazione con le risorse HPC. Mappatura delle conoscenze di gestione delle risorse dal classico computer distribuito ai computer quantistici a trappola ionica distribuita, aprendo così la strada al futuro QC a cluster."	Quantum scalabile completamente integrato, dispositivo comprendente trappole interconnesse (o segmentate), elettronica di controllo e in un processo di produzione affidabile, fattibile a livello industriale e scalabile. Fino a qualche migliaia di qubit con la promessa di scalabilità fino a decine di migliaia di qubit. Livello di maturità per l'hardware per il CQ distribuito.
Atomi Neutri	Il QC a atomi neutri è meno maturo e gli sviluppi attuali seguono varie direzioni: fedeltà con trappole a 2 qubit e a 3 o multi-qubit, codice torico. Al momento è più adatto in ambito simulazioni. I dispositivi per generare qubit ad atomo neutro (sorgente e trappola a atomi neutri, laser dedicati, componenti ottici e sensori, meccanismi di vuoto e raffreddamento, elettronica di controllo e misurazione) sono disponibili in Europa come prodotti in fase iniziale per ambienti di ricerca e su piccola scala.	La sfida della scalabilità comporterà lo sviluppo di una nuova sofisticata tecnologia di pinzette ottiche che offra flessibilità per indirizzare singoli siti o qubit nel reticolo ottico generato con frequenze ottiche o radio multiple. Iniziato il lavoro sull'affidabilità dell'ambiente di supporto ma è difficile da portare avanti. Il lavoro futuro si concentrerà sul miglioramento delle qualità dei gate e sulla completa parallelizzazione delle operazioni nonché sullo sviluppo di compilatori specifici per i dispositivi a atomo neutro in termini di set di porte e capacità di parallelizzazione.	I principali obiettivi per il resto del decennio sono: - QPU digitale disponibile; - Elevato livello di parallelizzazione dei gate; - Esplorazione di architetture fault-tolerant e sviluppo di progetti QRAM.
Fotoni	Concettualmente diverso dalle piattaforme precedenti basate sulla materia, sfruttata sia un solido quadro teorico che componenti disponibili commercialmente (circuiti ottici, generatori di fotoni, rivelatori a nanowires superconduttivi). I due approcci a fotoni singoli e a fotoni entangled proposti da inizio 2000 hanno raggiunto la maturità tecnologica. Il produttore Qandela ha consegnato macchine full-stack anche a clienti privati e abilitato servizi di accesso in cloud. Finanziato dal programma europeo Future and emerging technologies, è in corso il progetto di integrazione delle tre tecnologie: generatori di qubit di interconnessione, circuiti integrati e sistemi di rivelatori per sviluppare due grandi sistemi ottici a Roma (Università la Sapienza) e a Enschede (presso Quix Quantum). Malgrado i progressi sulla scalabilità, restano i limiti legati alla perdita di fotoni attraverso la catena dei componenti e alla purezza quantistica dei fotoni. L'interconnettività nativa di queste piattaforme consente di scalare la potenza di calcolo collegando QPU separate senza necessità di trasduzione qubit da materia a fotone.	La connettività a lungo raggio consentirà di esplorare i codici di correzione degli errori con rapporti qubit logico-fisico molto più favorevoli, riducendo il numero di Qubit fisici necessari. La ricerca assemblerà piattaforme ottiche riconfigurabili con fino a 50 qubit digitali entro il 2027 e fino a 1000 entro il 2030, produrrà circuiti ottici riconfigurabili in algoritmi specializzati; aumenterà la velocità di generazione di fotoni in una modalità ottica dal 50% al 70% entro il 2027 e a più dell'80% entro il 2030, la purezza del singolo fotone (indistinguibilità) dal 95% al 98% e la fedeltà dei cluster a tre fotoni (entro il 2027) e a 10 fotoni (entro il 2030) fino a > 95%. Svilupperà velocità di commutazione e numero di uscite dei router fotonici e fornire di fino a 200 circuiti riconfigurabili in modalità on-chip con ~1 dB in perdita ottica. Entro il 2027 svilupperà circuiti integrati e sorgenti a lunghezze d'onda reciprocamente compatibili, integrerà interruttori rapidi e a bassa perdita. Entro il 2030 migliorerà riproducibilità e produzione su larga scala degli emettitori a singolo fotone, assemblerà più emettitori e router identici a fotone singolo e implementerà circuiti integrati modulari con fino a 1000 modalità. Implementerà il controllo feed-forward tra moduli e distribuirà la correzione degli errori su un numero ridotto di qubit logici utilizzando fino a 1000 modalità ottiche fisiche per dimostrare prototipi universali di controllo qualità. Integrerà completamente sorgenti, circuiti e rivelatori su chip.	Verranno interconnesse diverse QPU ottiche con centinaia di migliaia di qubits attraverso collegamenti ottici e distribuzione a entanglement. La piattaforma opererà con un modello basato sulla misurazione, inclusi protocolli feed-forward e codici di correzione degli errori. Sarà dimostrata la generazione efficiente di grandi (> 10.000) cluster di fotoni entangled tramite moduli esterni e la generazione diretta da fonti deterministiche. Sarà sviluppato il controllo feed-forward dal rilevamento alla generazione di qubit e saranno implementati i codici di correzione degli errori non locali con un rapporto qubit logico-fisico altamente favorevole. Si raggiungerà il ridimensionamento arbitrario di un computer quantistico universale tramite moduli interconnettibili.
QC a diamante (Centro NV o centro azoto-lacuna)	Nei centri NV nel reticolo di carbonio diamantato un atomo di carbonio è mancante e un altro, nel vertice adiacente, è sostituito da un atomo di azoto. Grazie alle proprietà fisiche forniscono lunghi tempi di coerenza anche a temperatura ambiente. I qubit nucleari producono tempi di coerenza molto più lunghi rispetto ai qubit elettronici a hanno un entanglement diretto. Da oltre un decennio si utilizzano per la memorizzazione di informazioni quantistiche nelle QPU. La tedesca SaxonQ vende un sistema quantistico NV a trappola programmatica mobile e la australiana/tedesca Quantum Brilliance sta lavorando a un computer quantistico e a sistemi ibridi con computer NV incorporati nei supercomputer classici. I paesi europei, in particolare la Germania, stanno investendo anche su altri progetti.	Per ottenere la scalabilità di una QPU NV a un numero elevato di qubit, molti centri NV necessitano di accoppiamento tramite risonatori ottici esterni pure l'accoppiamento dipolo-dipolo di NV vicini tra loro che consente anche il trasferimento di informazioni quantistiche oltre all'entanglement. Tecnologia di impiantazione ionica per fabbricare artificialmente centri NV ad alta resa e computer quantistici con array di centri NV sono stati brevettati in Europa. Le basse temperature offrono una coerenza ancora maggiore, altri meccanismi di controllo e lettura possono essere impiegati e portare a sistemi con una fedeltà ancora maggiore. La ricerca è attiva per aumentare il numero di qubit a diverse centinaia accoppiando molti centri NV, migliorare l'efficienza di lettura e la fedeltà del gate, ridurre le dimensioni complessive del sistema, implementare codici QEC adeguati.	Integrare la tecnologia NV con i controlli CMOS; aumentare il numero di qubit fisici nell'intervallo da diverse migliaia a un milione; aumentare il numero di qubit logici a diverse centinaia.
Controllo dei qubit	Il controllo o manipolazione dei qubit allunga i tempi di coerenza e permette di orchestrare le coppie di qubit per una migliore prestazione dei gate. Diversi fornitori europei: nell' hardware QteTech, Qblox e Zurich Instruments, nel software QUARTIQ, QuantroOx, Riverlane e Qruise. Le sfide attuali nel controllo dei qubit includono: ottimizzazione dell'instradamento del segnale; aumento della velocità e dell'efficienza di lettura dei qubit; caratterizzazione e mitigazione delle sorgenti sonore; gestione efficiente e scalabile; avvicinamento dell'elettronica di controllo e misura ai qubit fisici. La caratterizzazione dei qubit comporta la misurazione delle proprietà dei singoli qubit e la qualità del trasferimento delle informazioni tra coppie di qubit. Combinate, queste caratteristiche forniscono una comprensione completa del sistema quantistico, essenziale nel ciclo di sviluppo e nel processo di fabbricazione di nuove QPU. Orange Quantum Systems, QuantroOx e Qruise, producono tecnologie per la caratterizzazione dei qubit.	Controllo qubit: man mano che i computer quantistici crescono in numero di qubit, i sistemi di controllo dovranno indirizzare quantità maggiori di qubit, riducendo il rumore e la diafonia, ma mantenendo alta precisione e bassa latenza. Attualmente sono in uso potenti controller basati su FPGA. Le applicazioni future potrebbero basarsi su ASIC e diversi livelli di controllo. Interconnessioni QPU : i produttori stanno esplorando modi per collegare le QPU tra loro per accelerare la scalabilità delle dimensioni del processore. Per superare la necessità di temperature criogeniche per i sistemi qubit che operano a frequenze a microonde si sta sviluppando hardware per convertire in modo efficiente e silenzioso singoli fotoni tra frequenze a microonde circa 5 GHz e ottiche circa 200 THz. Funzionando senza rumore a temperatura ambiente, le informazioni possono essere comunicate a distanza di chilometri in fibra ottica e le QPU da dispositivi monolitici isolati con carico termico e complessità crescenti diventano una rete riconfigurabile e scalabile. L'olandese QphoX e la svizzera Miraex stanno sviluppando hardware per la conversione.	Aumentare il numero di qubit controllabili contemporaneamente in linea con lo sviluppo delle QPU e aumentare l'integrazione dei dispositivi di controllo. Lato hardware: ottimizzare e rendere scalabile la gestione del segnale di controllo parallelamente allo sviluppo di nuove QPU interconnesse; migliorare la velocità per consentire cicli di feedback rapidi tra lettura dei qubit e controllo errori; ridurre il rumore; aumentare il livello di integrazione con l'ambiente immediato dei qubit; includere elementi di controllo qubit nello stack di semiconduttori per la produzione in serie. Ridurre i tempi e i costi di esecuzione riducendo la dipendenza dai materiali e componenti provenienti da fonti extraeuropee. La standardizzazione è fondamentale: un framework concordato porterebbe a iterazioni più rapide nella progettazione dell' hardware e a una più rapida crescita del settore.
Correzione degli errori quantistici	Per l'esecuzione di algoritmi su computer quantistici a larga scala, il sistema deve gestire il rumore tecnico intrinseco nell'hardware (causato da decoerenza degli stati qubit, perdita di fotoni, comportamento non ideale di processi di manipolazione quantistica). Nella prima fase è necessario ridurre le fonti di rumore tecnico (es. vibrazioni acustiche o rumore di commutazione dell'algoritmo) adottando strategie di mitigazione basate su software in grado di compensare parzialmente il rumore che si accumula durante l'esecuzione dell'algoritmo, e nella seconda fase adottare una strategia di correzione degli errori attraverso codici QEC ora in fase di sviluppo che consentano di eseguire algoritmi quantistici molto complessi con output affidabili anche in ambienti rumorosi. Tra i primi produttori di decoder sono Riverlane, la tedesca QC Design e l'olandese Qblox.	La realizzazione di computer quantistici su larga scala e corretti in caso di errore richiede una stretta sinergia tra i software di sviluppo fino al livello di controllo dei qubit e miglioramenti nell'hardware classico e quantistico, ovvero uno stack Qubit Error Control completo. A questo stanno lavorando Riverlane e altre aziende europee come l'austriaca ParityQC. Per ridurre al minimo il numero di qubit necessari per attuare il codice, alcune tecnologie qubit correggono automaticamente un singolo errore di due qubit (bit flip) grazie a design speciali nell'hardware, come i codici bosonici superconduttivi, utilizzando codici di correzione degli errori "non locali" (controlli di parità a bassa densità). Le sfide attuali nel QEC includono: riduzione tasso errore logico al di sotto del tasso di errore fisico progettando codici di correzione ottimizzati in base alla topologia dei qubit e al rumore; esecuzione di una decodifica rapida e in tempo reale senza rallentare criticamente il calcolo, dimostrare le funzionalità della memoria quantistica e la capacità di conservare informazioni memorizzate in un qubit logico ben oltre il tempo di decoerenza tipico del qubit fisico; dimostrare operazioni logiche tra più qubit logici.	Arrivare a dimostrare cicli di correzione degli errori in tempo reale che sopprimano il tasso di errore logico al di sotto del tasso di errore fisico per ciascuna delle principali tecnologie qubit, dimostrare algoritmi QEC in grado di gestire > 2 e > 10 qubit logici; sviluppare chip di correzione degli errori integrabili con sistemi qubit di diverse tipologie per creare sistemi in grado di scalare fino a almeno un trillione di operazioni quantistiche senza errori.



PROFILO ANITEC-ASSINFORM

Anitec-Assinform è l'Associazione Italiana per l'Information and Communication Technology (ICT). Con sedi a Milano e Roma e oltre 700 associati – fra soci diretti e indiretti attraverso le Associazioni Territoriali di Confindustria.

Un settore che nel suo insieme fattura oltre 81 mld e occupa quasi 700.000 addetti. È l'espressione di unione delle aziende dell'high-tech digitale, operanti in Italia, di ogni dimensione e specializzazione: dai produttori di software, sistemi e apparecchiature ai fornitori di soluzioni applicative e di reti, fino ai fornitori di servizi a valore aggiunto e contenuti connessi all'uso dell'ICT ed allo sviluppo dell'innovazione Digitale.

È portavoce nazionale del settore ICT, motore dell'Innovazione dei processi aziendali e della pubblica amministrazione, elemento di sviluppo industriale competitivo, supporto indispensabile alla cittadinanza attiva. Anitec-Assinform aderisce a Confindustria ed è socio italiano e membro dell'Executive Board di DigitalEurope, l'Associazione Europea dell'Industria ICT con sede a Bruxelles.

L'Associazione garantisce un'ampia gamma di servizi e attività; si fa portavoce delle necessità e delle esigenze delle imprese dell'ICT in diversi ambiti: legislativo (nazionale e comunitario), economico e di business, promozionale, formativo. Sul fronte della rappresentanza, Anitec-Assinform è il canale privilegiato di dialogo fra le principali forze economiche che, politiche ed istituzionali e del mondo digitale.

Anitec-Assinform - Associazione Italiana per l'Information Technology

Sede legale e uffici di Milano: Via San Maurilio, 21 – 20123 Milano

Tel. 02 0063 28 01 - Fax. 02 0063 28 24

Uffici Roma: Via Barberini, 11 - 00187 Roma

Tel. 0645417522

www.anitec-assinform.it - segreteria@anitec-assinform.it



Realizzato e pubblicato da:
Anitec-Assinform

In collaborazione con:
APRE Agenzia per la Promozione della Ricerca Europea

Contenuti:

Luisa Bordoni (Anitec-Assinform), Gruppo di Lavoro Ricerca, Sviluppo e Innovazione (Anitec-Assinform)

Con il supporto di:

- Serena Borgna (APRE)
- Diego Coglitore (APRE)
- Giovanna Labartino (Centro Studi Confindustria)
- Francesca Mazzolari (Centro Studi Confindustria)
- Alessandro Faramondi (Istat)
- Valeria Mastrostefano (Istat)
- Daniele Binosi (Fondazione Bruno Kessler)
- Tommaso Calarco (Università di Bologna)

Revisione editoriale:

Filippo Cavazzoni

Coordinamento:

Luisa Bordoni e Francesco Giuffrè (Anitec-Assinform)

Grafica e impaginazione:

Studio Zanoni sas - Milano

Pubblicato in versione elettronica – Gennaio 2025

Chiusura testi – Dicembre 2024

Le informazioni contenute in questo studio sono di proprietà di Anitec-Assinform e di tutte le fonti citate. L'accesso, l'utilizzo o la riproduzione di parti o dell'intero contenuto, in forma stampata o digitale, nonché la distribuzione delle stesse a terze parti sono vietati senza l'autorizzazione dei proprietari e senza citazione chiara della fonte e dell'anno di pubblicazione.

Per informazioni rivolgersi alla Segreteria Anitec-Assinform.



Anitec-Assinform
www.anitec-assinform.it
segreteria@anitec-assinform.it
tel. 02 00632801

