

RICERCA E INNOVAZIONE ICT IN ITALIA

EXECUTIVE SUMMARY

*2^A EDIZIONE
GENNAIO 2025*



Anitec-Assinform

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



EXECUTIVE SUMMARY

Prima Parte – La Ricerca e Innovazione ICT in Italia

La Ricerca e Innovazione (R&I) in ambito ICT contribuisce a generare conoscenze, tecnologie e competenze fondamentali per affrontare determinate sfide sociali, economiche e politiche. Investire nella R&I ICT, dalla ricerca all'applicazione, fino alle start-up e scale-up innovative, è più che mai un imperativo di politica economica, non solo industriale, di estrema urgenza.

Diversi cambiamenti hanno caratterizzato lo scenario geo-economico dalla prima edizione di questo studio. La globalizzazione dei mercati ha ceduto il passo a transizioni profonde nell'ordine economico e nella società. 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&I 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: come motore di conoscenza avanzata, come abilitatore delle grandi transizioni e infine come mezzo per affermare l'autonomia tecnologica e rendere la nostra economia più indipendente e competitiva.

Un ruolo forte della R&I in ambito ICT aiuterà il sistema economico a migliorare i risultati della ricerca di base e applicata, accelerare la creazione di nuovi mercati tecnologici e rafforzare il posizionamento in quelli già esistenti, riducendo il divario tecnologico con i concorrenti globali.

CAPITOLO 1. La spesa delle imprese per R&I ICT

La spesa delle imprese per R&I ICT intra-muros nel 2022 è ritornata ai livelli pre-pandemici e ha la quota maggiore di spesa R&I intra-muros di tutti i settori

Con un investimento complessivo nel 2022 di 2,5 miliardi di euro (allo stesso livello pre-pandemia), per 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. 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 spesa in R&S ICT e un tasso di crescita del 5,1% nel 2022. In aumento è anche la quota sostenuta dalle aziende ICT di produzione di computer e apparati (crescita del 7,1% nel 2022). Con una quota del 15,4%, supera in valore la spesa R&I intra-muros in tutti i settori economici.

Rispetto alle fonti di finanziamento, la quota autofinanziata si riduce dall'87,4% nel 2017 all'83,2% nel 2022. 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, mentre il finanziamento delle imprese resta stabile a 2,1 miliardi di euro. L'autofinanziamento è concentrato nel software e servizi IT (da 937 milioni di euro nel 2018 a 884,3 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. Queste dinamiche vanno lette anche alla luce dell'impatto positivo dei finanziamenti pubblici per la ricerca ICT europei (con Horizon 2020 e Horizon Europe dal 2021) e nazionali (attraverso i primi finanziamenti del PNRR dal 2022).



Il rallentamento recente non deve diventare un trend di lungo periodo: l'apertura di nuovi mercati offre ritorni economici dalla R&I ICT

Dall'analisi della serie storica della spesa R&I nel settore ICT emerge una forte crescita tra il 2007 e il 2010, seguita da una dinamica sostanzialmente in linea con la media di tutti i settori fino al 2020, e un leggero calo nel 2021 e 2022. Questa dinamica può portare a diverse riflessioni: non tutta la potenzialità di crescita degli investimenti in ricerca nel settore ICT è stata realizzata, il mix di fonti di finanziamento private o pubbliche è cambiato con alcuni stop importanti negli anni, in altri settori si sono perseguiti maggiori sforzi di investimento in R&I (ambiente, vaccini, robotica industriale), la ricerca privata nel settore ICT è svolta sempre più fuori dall'Italia ed è sempre più intrecciata con le dinamiche internazionali.

Qualunque sia il vero motivo di questa contrazione nella crescita della spesa per R&S ICT, per migliorare la competitività del nostro Paese in ambito ICT si deve investire di più e più velocemente nella R&I nel settore ICT. Questa contrazione non deve diventare un trend nel futuro.

L'accelerazione del progresso tecnologico delle ICT, le politiche industriali nazionali e la pressione competitiva hanno richiesto al settore ICT in primis (insieme ad altri settori di punta) un maggiore impegno in termini di R&S in tutti i canali di finanziamento pubblico e privato. Finanziando più dell'83% della spesa R&S di settore, le imprese ICT fanno la loro parte anche in co-finanziamento con i programmi Horizon Europe e Digital Europe a livello europeo e al Piano Nazionale della Ricerca e al PNRR a livello nazionale. Tuttavia spiccano anche molte criticità: il mancato boom del capitale di rischio che ha beneficiato la R&I ICT delle maggiori economie europee, la bassa patrimonializzazione delle piccole imprese ICT, il contributo meno "intensivo" (ma in aumento) della ricerca universitaria e pubblica al settore ICT rispetto ad altri settori di punta, la presenza ridotta di leader tecnologici, la mancanza di ricercatori in ambito ICT, la meno vivace attività brevettuale, la bassa domanda di digitale associata a un tasso di trasformazione più lento, la minore esposizione alla pressione innovativa dalle filiere industriali.

Ma non tutto è perso. L'apertura di nuovi mercati tecnologici associati alle tecnologie abilitanti (intelligenza artificiale, cybersicurezza, supercomputing e quantum technologies) offre un potenziale di mercato elevato e tassi di ritorno notevoli alla R&S ICT in tempi molto brevi. Lo scenario può ancora migliorare e fa presagire una crescita più marcata per gli anni prossimi, soprattutto nei prodotti ICT e nel software e servizi IT. Servono riferimenti e meccanismi di supporto finanziario chiari dal settore pubblico e dal mercato finanziario affinché siano ridotte le complessità e i tempi di attivazione di progetti di ricerca innovativi e di impatto e si recuperi lo svantaggio accumulato dalla spesa in R&I del settore ICT negli ultimi anni.

Il divario da colmare in intensità di spesa R&I con le maggiori economie è sempre più preoccupante

Quanto è il divario da colmare con le maggiori economie? Dall'analisi di alcuni parametri di intensità di spesa rispetto a Europa a 27, Francia, Germania e USA emerge una fotografia ancora molto preoccupante, per alcuni aspetti peggiorata, in confronto alla fotografia scattata per la prima edizione del rapporto. Pur restando il terzo Paese nel perimetro EU27 per volume di spesa in R&I nel settore ICT, nel complesso la quota europea della spesa R&S ICT italiana è addirittura diminuita dal 9,5% nel 2010 al 6,7% nel 2022. La spesa R&I delle imprese ICT in Italia non è pari nemmeno a un terzo di quella in Germania (8,8 miliardi di euro nel 2021 ovvero un quarto dell'intera UE) e nemmeno alla metà di quella in Francia (6,2 miliardi di euro nel 2021). Mentre in Italia si sono



susseguite dinamiche alterne, di calo e di crescita molto variabili di anno in anno, in Germania piani strategici pluriennali hanno guidato una dinamica sempre in crescita per la spesa R&I ICT a eccezione del solo 2009. Rispetto all'EU27, l'Italia registra dinamiche inferiori nel periodo 2010-2014, mentre raggiunge tassi di crescita superiori sia a inizio periodo che negli ultimi anni. Infine, come per tutta Europa, notevole è il gap 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&I USA in tutti i settori (in aumento rispetto al 23,5% nel 2017).

La dimensione complessiva della spesa R&S ICT dell'Italia non regge il confronto con gli altri Paesi, sia in termini di quota sul totale di tutti i settori (15,8% rispetto al 28,6% USA) sia perché la bilancia complessiva della spesa R&S in Italia è comunque bassa come evidenziato nei confronti degli indicatori di intensità di spesa R&S. Infatti, 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.

CAPITOLO 2. Il capitale umano nella R&I ICT

I ricercatori nelle strutture R&I delle imprese ICT sono ancora troppo pochi e il divario con UE e Germania è peggiorato

Da diversi studi emerge una forte complementarità, ai fini dell'attività innovativa, tra la presenza di lavoratori con elevato capitale di conoscenza e la spesa in R&I. L'Italia, da decenni, necessita di aumentare sensibilmente il numero dei ricercatori che, in proporzione, è assai inferiore a quello dei suoi principali partner scientifici, tecnologici e commerciali. L'aumento sostanziale di investimenti privati e pubblici per la ricerca e per i dottorati attraverso il PNRR sta migliorando lo scenario anche se permangono sfide importanti da affrontare. Le imprese del settore ICT raccolgono 52.000 addetti nella R&I (o 38.000 in termini di unità equivalenti a tempo pieno), in leggero aumento dopo due anni di cali, mentre i ricercatori, con tre anni di cali consecutivi, ancora non arrivano a quasi 19.600 (più di 15.150 in unità equivalenti a tempo pieno) e ancora non eguagliano i livelli pre-pandemia. Più di due terzi sono nei servizi IT, mentre nei prodotti ICT la dinamica è di crescita, in controtendenza rispetto a servizi IT e di telecomunicazione. 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. I ricercatori sono leggermente più concentrati nel nord-ovest e nelle isole. La spesa R&S per addetto R&S e per ricercatore è sostanzialmente stabile o in leggera diminuzione a eccezione dei servizi di telecomunicazione.

Ne risulta che, anche per addetti R&I e ricercatori nel settore ICT, l'Italia si allontana dai livelli degli altri Paesi europei, soprattutto rispetto alla Germania e in particolare con riguardo alla quota di ricercatori sul personale nelle divisioni R&I e alla spesa R&I per ricercatore. Nel confronto temporale emerge che, mentre la quota di addetti R&S per il settore ICT sul totale dei settori aumenta in Germania (da 10,9% nel 2017 a 13,1% nel 2022), Francia (da 21,2% a 29%) ed Europa (da 18,7% a 21,3%), in Italia cala 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 diminuisce da 21,6% a 15,8%, quasi sei punti. Purtroppo i dati sui ricercatori nelle imprese ICT evidenziano le stesse criticità già evidenziate nella prima edizione di questo studio, con un divario non colmato ma addirittura peggiorato rispetto a Germania ed EU27 in generale. In particolare, la numerosità è ancora limitata per i ricercatori (sia in numero effettivo che in unità equivalenti a tempo pieno), il calo è peggiorato nel 2022 nei servizi di telecomunicazione e la distribuzione territoriale è rimasta eterogenea.



Il potenziale rispetto alle risorse non è ottimizzato nella brevettazione ICT

Se il sottodimensionamento della R&S intra-muros nelle imprese ICT è peggiorato sia in termini di spesa che in termini di ricercatori, la situazione della produzione della ricerca, ovvero i brevetti, è ancora più preoccupante. Già a livello complessivo di tutti i settori di ricerca (imprese, centri di ricerca e università), in ogni comparto economico l'Italia non supera i 130 brevetti (EPO e WIPO) per milione di abitante, contro i più di 650 della Svizzera, i quasi 500 della Svezia e i quasi 400 della Germania.

Per il solo ambito ICT, i dati più recenti dell'Ufficio Italiano Brevetti (UIB) sulle domande di brevetto evidenziano una quota media del 6,8% nel periodo 2011-2020, molto bassa rispetto alla quota del 40,9% dell'ingegneria meccanica, del 16,9% della chimica, del 13,9% degli strumenti di misura. Considerando una quota della spesa R&S intra-muros nel settore ICT del 16,2% su tutti i settori, e del 15,2% per i ricercatori nel 2022, il potenziale che potrebbe raggiungere la quota di brevetti potrebbe essere maggiore di quello attuale e dell'ultimo decennio.

In concomitanza con la bassa produttività brevettuale della R&I in ambito ICT, non solo intra-muros presso le imprese del settore ICT, ma anche presso i centri di ricerca e le università, spicca la bassa partecipazione ai cluster digitali e un livello medio-basso di brevetti ICT per milione di abitanti in Italia come evidenziato dalla piattaforma di monitoraggio dei cluster di collaborazione europei della Commissione EU (Science, Research and Innovation Performance of the EU 2024, settembre 2024). Similmente, risulta meno importante la posizione dell'Italia rispetto a Germania, Francia e Regno Unito, come luogo di ricerca e produzione e come mercato nel campo dell'informatica quantistica, secondo i detentori di brevetti in tale campo (EPO, Quantum Insight Report, gennaio 2023).

CAPITOLO 3. I fondi pubblici per la R&S ICT

Dal 2020 i nuovi meccanismi del credito di imposta per la R&S e del Patent Box hanno ridotto il sostegno al settore ICT

Gli incentivi alle imprese per la realizzazione di attività legate alla R&I 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&I delle imprese è andato orientandosi verso incentivi automatici e indiretti piuttosto che diretti. In Italia nel 2015 è stato potenziato il credito d'imposta per la R&S, e si è introdotto il Patent Box.

Per il credito R&S le modifiche più recenti hanno previsto, nel 2020, l'esclusione dal beneficio per i contratti commissionati dall'estero e il cambio della base di commisurazione del credito d'imposta dalla spesa incrementale alla spesa totale (volume-based). Questi due mutamenti per il settore high-tech, dove è elevata la presenza delle filiali italiane delle multinazionali, non si sono tradotti, in generale, in un maggior credito d'imposta. Per il Patent Box, a partire dal 2021, è stata sostituita 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, in allineamento con diversi Paesi europei. Anche le analisi compiute dall'Istat confermano che le modifiche al credito d'imposta e al Patent Box dopo il 2020 comportano una minore probabilità di accesso all'agevolazione per le imprese high-tech più grandi, mentre hanno maggiori difficoltà 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, mentre l'impatto è più positivo per le imprese più distanti dalla frontiera tecnologica. La dinamica della R&S



nel settore ICT riflette gli stessi trend evidenziati per le imprese high-tech, maggiormente beneficiate con il credito d'imposta commisurato al meccanismo incrementale e con più elevati massimali di spesa piuttosto che con quello commisurato all'intero ammontare di spesa. 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, il ritorno al meccanismo basato sui volumi di spesa, ma aperto solo per i progetti commissionati in Italia e con massimali di molto ridotti, si è tradotto in un calo marcato del valore della spesa R&S intra-muros per il settore ICT proprio dal 2020, mentre negli altri Paesi, dove il credito è applicabile anche ai progetti commissionati dall'estero, questo non si è verificato. Le divisioni R&S delle filiali italiane delle multinazionali sono anche rimaste penalizzate restando spesso escluse dai progetti R&S della casa madre, a causa di questa mancanza di incentivi fiscali. 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 spesa per R&I ICT italiana in Europa.

Dal PNRR un approccio più sistematico e circa 4,4 miliardi di euro assegnati alla R&S ICT fino al 2026

Gli investimenti del PNRR dedicati alla ricerca sono inclusi principalmente nella missione M4C2 "Dalla ricerca all'impresa". Funzionale alla realizzazione dei progetti della missione 4, il PNRR ha previsto anche la riforma "Attuazione di misure di sostegno alla R&I per promuovere la semplificazione e la mobilità". Al fine di riformare il percorso professionale dei ricercatori per concentrarsi maggiormente sulle attività di ricerca, è stata istituita 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. In generale la riforma vuole spingere verso un approccio più sistematico alle attività di R&S evitando dispersione e frammentazione delle priorità, e posiziona gli Enti pubblici di ricerca (EPR) come possibili leader progettuali per i partenariati, i campioni nazionali e gli ecosistemi territoriali. Un effetto positivo molto importante di questa riforma è evidente nell'accelerazione delle attività di ricerca sul Quantum computing (illustrate nella seconda parte dello 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, enti e aziende privati.

L'importo complessivo del finanziamento assegnato nella contabilità ReGiS ai progetti con CUP "ricerca" o "Infrastrutture ICT" da M4C2 e M4C1I4.01 era 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. Da un'analisi più approfondita del database estratto dalla contabilità ReGiS, gli importi assegnati alle attività R&S ICT toccano i 4,4 miliardi di euro per circa 670 CUP associati a progetti/borse di studio/dottorati. L'importo è ripartito tra implementazione di infrastrutture ICT per 0,1 miliardi di euro, progetti di diffusione e cooperazione pubblico-privata per 2,1 miliardi, progetti di ricerca e di innovazione presso le imprese per 0,8 miliardi e progetti di ricerca presso università e istituti di ricerca per 1,4 miliardi di euro.

La spesa R&I privata del settore ICT è riorientata verso progetti di ricerca extra-muros in co-finanziamento o in collaborazione

Le fonti di finanziamento di questi 4,4 miliardi di euro evidenziano l'identificazione di nuovi percorsi nel solco della riforma della ricerca orientata ad attività di co-finanziamento e col-



laborative in quanto “solo” 2,3 miliardi sono finanziati dal PNRR mentre 1,5 miliardi sono generati da finanziamenti privati e i restanti 0,7 da altro finanziamento pubblico. Degli 1,5 miliardi di euro finanziati dalle imprese, quasi 1,3 miliardi finanziano progetti di diffusione e cooperazione pubblico/privata, 103 milioni finanziano 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. Se una quota importante dei finanziamenti privati è trainata dai progetti in co-finanziamento e/o di tipo collaborativo, allora la spesa R&S privata del settore ICT non sta arretrando ma riorientando i fondi, inizialmente destinati alla ricerca intra-muros, verso progetti di ricerca extra-muros in co-finanziamento o in collaborazione. Parimenti con il PNRR è in aumento la quota di stanziamento pubblico nazionale a favore dell'ICT: nel 2018 era stimata a 801,7 milioni di euro, con il PNRR è passata a 2,9 miliardi di euro (2,3 dal PNRR e 0,6 altri fondi pubblici) fino al 2026 in aggiunta ai fondi ordinari. 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. Questi attori si stanno rafforzando con tecnologie e competenze avanzate ma anche con collaborazioni multidisciplinari e internazionali.

Partecipazione italiana a Horizon 2020 al quarto posto per contributi ricevuti

Secondo i dati estratti dalla dashboard Horizon della Commissione Europea¹, i finanziamenti Horizon 2020 per progetti di R&S in ambito ICT in Italia ammontano a 724,1 milioni di euro per l'intera durata del programma, 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.

Il contributo di 724,1 milioni di euro posiziona l'Italia al quarto posto nella classifica dei Paesi beneficiari, dopo Germania, Francia e Spagna. Le domande presentate nel perimetro ICT hanno superato le 11.800 unità e quelle accolte arrivano a 1.060, per un tasso di successo dell'8,9% contro il 13,2% di Germania e Francia, 10,5% la Spagna e 11,2% medio di tutti i Paesi. 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. Le 1.060 proposte accolte hanno coinvolto 2.719 soggetti italiani richiedenti o partner e dato luogo all'approvazione di 1.089 concessioni. Il contributo medio per grant ICT nel periodo 2014-2020 è stato di 664,9 mila euro, inferiore del 35% a quello della Germania (1.019,6 mila euro) ma anche inferiore 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 per tipo di organizzazione assegnataria vede quasi a pari livello enti privati (con una quota del 27,7%) e PMI (27,5%) seguiti da Istituti di istruzione superiore (22,9%) e organizzazioni di ricerca (18,3%).

In quanto all'accesso ai progetti, poche organizzazioni di ricerca italiane hanno consolidato nel tempo le proprie posizioni di forza nell'ambito delle reti di collaborazione internazionali, le quali tendono a rimanere stabili, mentre è difficile e onerosa l'entrata di nuovi soggetti. 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.



Raddoppia il tasso di successo della partecipazione italiana a Horizon Europe

Horizon Europe è il Programma quadro europeo per la Ricerca e l'Innovazione in corso per il periodo 2021-2027. Secondo gli aggiornamenti disponibili dalla dashboard Horizon della Commissione Europea a fine 2024 (<https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/horizon-dashboard>), i finanziamenti Horizon Europe per progetti di R&S in ambito ICT in Italia ammontano a 293,2 milioni di euro, ovvero l'8,5% dei 3,42 miliardi di fondi complessivi ricevuti dall'Italia per il periodo che va dall'inizio del 2021 a fine 2024, e il 9,4% dei finanziamenti assegnati in ambito ICT (superiore al 7,7% dei contributi complessivi ricevuti con Horizon 2020). La quota per le PMI del 24,4% sui contributi ai progetti ICT è allo stesso livello del totale complessivo di Horizon Europe e di molto inferiore alla quota PMI in Horizon 2020.

Il contributo di 293,2 milioni di euro posiziona l'Italia al quinto posto tra i Paesi beneficiari, dopo Germania (560,8 milioni di euro), Francia (358,6 milioni), Spagna (319,2 milioni) e Paesi Bassi (301,7 milioni). L'Italia arretra di un'altra posizione rispetto a Horizon 2020 a favore dei Paesi Bassi. I contributi ricevuti dall'Italia sono relativamente più bassi per Quantum e Key Digital Technologies, mentre il nostro Paese vanta una quota maggiore di finanziamenti in ambito dati (quarta posizione) e Human Technologies (terza posizione).

Le proposte ICT presentate hanno raggiunto le 1.688 unità e quelle ammesse al finanziamento sono state 306, per un tasso di successo del 18,1%, il penultimo tra i maggiori Paesi europei, ma quasi doppio rispetto al tasso di successo di Horizon 2020. L'Italia conferma comunque il terzo posto tra i Paesi europei per numero di proposte finanziate e il quarto posto per numero di grant approvati. In termini di contributo medio per grant, l'Italia condivide un posizionamento medio. La ripartizione per tipo di organizzazione assegnataria in Italia vede quasi a pari livello enti privati (quota del 23,2%) e PMI (24,4%) e relativamente ridotta la quota degli enti privati (20,8%). 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%). Molto piccola risulta la quota assegnata agli enti pubblici (1,2%). Dal punto di vista territoriale è ampio il divario di partecipazione tra nord e sud.

Progetti di testing/implementazione e formazione di competenze avanzate guidano la partecipazione italiana a Digital Europe

Il programma Digital Europe supporta la trasformazione digitale europea, in linea con gli obiettivi nella Comunicazione "European Digital Compass 2030", finanziando progetti di ricerca allo stadio avanzato di sviluppo o di trasferimento o adozione tecnologica in ambito HPC, intelligenza artificiale, cybersicurezza, competenze digitali avanzate, implementazione e interoperabilità e, da settembre 2023, semiconduttori. Il programma integra i finanziamenti disponibili da Horizon Europe, European Connecting Facility (per le infrastrutture digitali), Recovery and Resilience Facility e fondi strutturali.

Secondo gli aggiornamenti disponibili dalla dashboard Digital Europe della Commissione Europea a fine 2024 (https://dashboard.tech.ec.europa.eu/qs_digit_dashboard_mt/public/extensions/CNECT_DIGITAL_dashboard/CNECT_DIGITAL_dashboard.html), i finanziamenti Digital Europe in Italia sono stati di 133,2 milioni di euro dal 2021 a fine 2024, ovvero l'8,7% dei finanziamenti assegnati a tutti i Paesi partecipanti (meglio dell'8,2% di Horizon 2020 ma non del 9,4% di Horizon Europe) e il terzo posto nella classifica dei Paesi beneficiari, dopo Germania (211,5 milioni di euro) e Francia (155,7 milioni). Di questi, 51,1 milioni sono destinati a progetti di testing/im-



plementazione, 35,5 a intelligenza artificiale, 24 a cybersicurezza e quasi 20 milioni alla formazione di competenze digitali avanzate. La quota dell'8,7% varia a seconda degli obiettivi, con un margine positivo per test/deployment e competenze e invece un importante divario in ambito high-performance computing con solo il 3,6%. Ogni 5 euro di contributi finanziati almeno 1 euro arriva a una PMI, che diventano 2 per i progetti in ambito di intelligenza artificiale e 3 nei progetti di trasferimento tecnologico. Nel mix degli obiettivi, per l'Italia è proporzionalmente maggiore il contributo ricevuto nella formazione di competenze avanzate ICT e deployment, in linea con gli altri Paesi per intelligenza artificiale e sensibilmente minore per cybersicurezza e HPC, mentre le PMI ricevono una quota relativamente minore sulla formazione avanzata ICT, maggiore su intelligenza artificiale e sono assenti in ambito HPC. Nel confronto tra Paesi spicca la forte concentrazione dei contributi HPC in Germania, dove sono diretti 35,4 milioni degli 82,7 milioni di euro complessivi, contro 3,7 in Francia, 3,5 in Spagna e 3 in Italia. Ma essendo parziale, il dato va letto con estrema cautela. Il tasso di successo delle proposte (35,1%) vede l'Italia in penultima posizione (i maggiori Paesi hanno un indice del 40% o superiore). Migliore è il posizionamento in termini di valore medio delle concessioni assegnate anche se il valore medio dei grant tedeschi distanzia tutti gli altri Paesi (1,94 milioni di euro contro una media di tutti i Paesi di 0,98). La ripartizione per tipo di organizzazione assegnataria vede quasi tutte le tipologie allinearsi nell'intervallo 18%-22%, con la quota maggiore alle PMI (21,8%) e l'eccezione degli enti pubblici (5,3%). La maggiore quota di 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.

Con il programma Digital Europe aumenta la partecipazione delle imprese ICT alla ricerca extra-muros

Gli obiettivi del programma Digital Europe generano molteplici attività progettuali interessanti. In base alla concentrazione dei finanziamenti in Italia la parte del leone spetta allo sviluppo e alla gestione della rete degli Innovation Hub con 37,2 milioni di euro (28%) seguiti da formazione specialistica per competenze ICT chiave, con 14,6 milioni (11%), e testing e sperimentazione nel campo dell'agri-food, con 9,6 milioni (7,2%). Nelle prime 20 attività si concentra più dell'80% dei contributi, con ambiti comuni per semiconduttori e architetture di supercalcolo, nuova rete quantistica, strutture di testing e sperimentazione per vari settori (dal manifatturiero all'intelligenza artificiale), realizzazione di "data-space" verticali, cybersicurezza. Altrettanto importante all'interno del programma Digital Europe è la forte connessione con il territorio, che in Italia evidenzia però un divario importante sia per i finanziamenti che per la partecipazione. Le regioni leader dove si concentrano gli ecosistemi collaborativi, esperienza, asset e risorse sono Lazio, Lombardia, Emilia-Romagna, Toscana, Piemonte, Provincia Autonoma di Trento.

Questo quadro conferma che le imprese italiane sono attive in molte aree di ricerca ICT a monte (semiconduttori, supercalcolo, quantum) e a valle (trasferimento tecnologico con i Digital Innovation Hub) della filiera della ricerca ICT. 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.



CONCLUSIONI

Rispetto alle maggiori economie, l'attività di ricerca e innovazione italiana in ambito ICT è caratterizzata da un significativo sottodimensionamento.

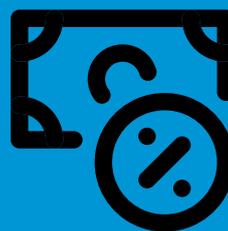
Alla luce di questo contesto in lento miglioramento ma ancora preoccupante per la R&I nel settore ICT in Italia, emergono quattro temi di fondo importanti sulle iniziative a supporto della R&I nel settore ICT.

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



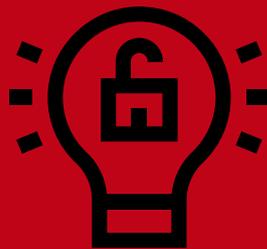
PIÙ CREDITO D'IMPOSTA R&I

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



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

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 e coordinamento di programmi specifici di co-finanziamento dei progetti finanziati da Horizon Europe e Digital Europe delle imprese ICT italiane;
- potenziamento delle reti di collaborazione e apertura a potenziali nuovi partner anche PMI e da Paesi esteri, per aumentarne la centralità;
- valutare il lavoro svolto, varietà e progressi del portafoglio progettuale;
- controllare processi e risultati sia rispetto agli obiettivi specifici che al quadro complessivo;
- identificare cambiamenti o effetti inattesi su processi e risultati e valutare la necessità di eventuali rifinanziamenti o diverse iniziative.

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 messi in campo da questi progetti.



PIÙ CREDITO D'IMPOSTA R&I per promuovere la spesa per la R&I intramuros 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 se avessero maggiori incentivi. La normativa vigente sul credito d'imposta per la R&I non favorisce la filiera ICT né in termini di risorse né in termini di meccanismi applicativi. 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 negli attuali e futuri schemi di credito di imposta, come è già previsto in Francia, Germania, Svezia e in linea con le forme di collaborazione internazionale;
- valutazione di un meccanismo incrementale eventualmente applicabile alle aree più innovative della R&I (es. IA, Quantum, Cybersicurezza);
- semplificazione: in linea con Francia e Germania allineare le diverse tipologie di ricerca su un unico schema di applicazione e semplificare aspetti procedurali;

PIÙ RICERCATORI ICT per aumentare il capitale umano e avvicinarlo alla ricerca applicata

Tre ordini di criticità legate al capitale umano 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 autostima nel perseguire le attività della ricerca applicata, soprattutto con riguardo alla valorizzazione delle scoperte con più domande per ogni brevetto.

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 applicata in ambito ICT, ma non sempre l'interazione università-imprese offre l'opportunità di condividere la progettazione 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 di alcuni bandi di dottorato innovativi.

Diversi strumenti possono comunque avvicinare i ricercatori al mondo della ricerca nel settore ICT e incoraggiarli a intraprendere una carriera:

- workshop, incontri, interazioni sulle opportunità del 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;
- 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);
- predisporre piattaforme di scambio (per quanto possibile e compatibilmente con le necessità di 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 a 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;
- 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) rispetto a 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 obbligo di concorso quali il dottorato "libero", il dottorato "strutturato" e il dottorato "industriale" presso grandi aziende.

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 brevettuale della ricerca nel settore ICT è legato principalmente a due fattori:

- il 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 nuove tecnologie;
- una bassa tendenza a brevettare e a depositare più domande per ogni invenzione perché il contesto della regolamentazione e della "cultura della ricerca" non è del tutto ottimizzato verso la promozione della ricerca applicata e dell'attività di brevettazione.

Già si è commentato sui bassi incentivi per gli investimenti in R&I rispetto agli altri Paesi: in un mondo in cui la ricerca e l'innovazione tecnologica sono sempre più collaborative 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 (da detassazione dei profitti a riduzione della base imponibile) e con la mini-riforma del Codice della proprietà industriale del 2023 (potenziamento degli strumenti di tutela e valorizzazione della proprietà industriale e semplificazione amministrativa, oltre all'abolizione del "Professor's Privilege" e l'assegnazione dei diritti all'università). Questo agevola il processo di trasferimento tecnologico e di co-creazione con



stakeholder esterni (enti, imprese, associazioni).

Ma 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 si riflette nella maggiore propensione dei ricercatori italiani verso l'attività di insegnamento e di pubblicazione piuttosto che verso l'attività di ricerca applicata, fatto non estraneo al basso interesse riscosso dai dottorati innovativi promossi dal PNRR o ai numeri insufficienti dei dottorati di ricerca e dei ricercatori in generale e in ambito ICT.

La promozione della ricerca applicata e dei processi di trasferimento tecnologico è partita nelle università e presso il CNR, quest'ultimo con iniziative di (a) 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) accompagnamento alla creazione di imprese generate grazie al trasferimento tecnologico stesso. I centri di trasferimento tecnologico negli altri Paesi sono espressione sia delle università tipicamente a copertura territoriale, che di centri di ricerca pubblici. Rilevante in Germania il centro di ricerca pubblico concepito espressamente per la ricerca applicata e il trasferimento tecnologico: Fraunhofer-Gesellschaft (FhG) 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 amplificatori dell'impatto dei risultati della ricerca. In particolare è stato calcolato che il ritorno degli investimenti pubblici e privati nei FhG è di dimensioni paragonabili al rendimento stimato dei sussidi alla R&S, mentre di rilievo è anche l'impatto dei centri FhG stabiliti all'estero (in Italia a Bolzano) sull'accelerazione della produzione brevettuale. Non è un caso se l'Alto-Adige ha il cluster di brevetti digitali a partecipazione più ampia in Italia, secondo l'analisi JRC sui cluster dei brevetti digitali europei. 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.

Per far avanzare il livello di TRL (Technology Readiness Level) 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 CNR mostrano che le esperienze universitarie più significative e il CNR stesso hanno purtroppo una performance di tipo 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) ha finanziato 27 nuovi progetti (dei 36 candidati).

Pur apprezzando le diverse iniziative in campo (Proof-of-Concept Network, CNR-UVR, misura Brevetti+ e altri sostegni PNRR alla proprietà industriale, Accordi di Innovazione PNRR) per accelerare la transizione dei risultati scientifici verso applicazioni commerciali e sociali e arrivare a livelli di brevettazione paragonabili alle maggiori economie, oltre alla revisione dei meccanismi del credito alla R&I per il settore ICT, sono necessari due livelli di intervento: 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.

1) 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:



- aumentare i finanziamenti Proof-of-Concept alle università, per portare nuove idee 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 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 continuità nei processi attivati;
- potenziare il training dei ricercatori universitari sui processi di trasferimento tecnologico (condivisione di best practice, affiancamenti, debrief sui progetti completati, scambi) e sulle competenze trasversali di business, per capire e parlare il linguaggio delle imprese;
- moltiplicare le occasioni di comunicazione tra mondo accademico, 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.

Questo stato di fatto e le relative auspicabili iniziative si sviluppano sul sistema attuale di interazione tra ricerca e impresa che in prevalenza vede la convalida "ex-post" di risultati scientifici ipotizzandone le potenzialità di mercato.

2) Per potenziare il sistema della ricerca applicata e raggiungere dimensioni di scala competitive è necessario anche concepire un percorso complementare al sistema università-impresa esistente, che garantisca maggiore indipendenza e potenzialità nei processi di ricerca applicata per le imprese ICT.

Questo modello potrebbe fare leva sulla costituzione di un modello a rete di ricerca ICT focalizzato al 100% "by design" sulla ricerca applicata, con chiari obiettivi di produzione brevettuale ICT e un'impostazione imprenditoriale a tutti i livelli organizzativi, 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 ICT;
- potenziare e integrare in modo sinergico le attività di ricerca già presenti presso le imprese ICT, i suoi primi partner strategici, per ampliare e approfondire ambiti di applicazione delle tecnologie emergenti più rilevanti per l'economia nazionale;
- potenziare il budget di ricerca attingendo 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;
- individuare le applicazioni 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;
- operare su obiettivi specifici per il settore ICT e misurati da indicatori di performance, quali 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 a rete “by design” della ricerca applicata in ambito ICT avrebbe diverse ricadute positive:

- maggiori possibilità di attrarre e orientare capitale di rischio verso obiettivi condivisi e iniziative di scala rilevante anche a livello internazionale;
- meno rischi o minori costi attuali dovuti a frammentazione, dispersione o, peggio, duplicazione delle iniziative di ricerca;
- accesso a competenze multidisciplinari;
- condivisione diffusa degli obiettivi imprenditoriali;
- creazione di importanti linee di ricerca tecnologiche con maggiore probabilità di elevato impatto economico;
- indipendenza degli istituti di ricerca in termini di risultati del progetto, impatto scientifico e finanziamento;
- indipendenza in termini di orientamento tecnico, distribuzione delle risorse, acquisizione e gestione dei progetti;
- costruzione di collaborazioni di ricerca multidisciplinari;
- apertura alle PMI della ricerca applicata, con economie di scala e di conoscenza significative;
- attrazione di capitale di rischio;
- maggiore coinvolgimento nelle reti collaborative di ricerca internazionali;
- maggiore motivazione e più possibilità di carriera nella ricerca applicata per il personale della ricerca.

L'attività dei campioni nazionali della ricerca finanziata attraverso il PNRR costituiscono una best practice di riferimento importante soprattutto con riguardo ai network collaborativi attivati, ma sussistono anche differenze importanti: i campioni nazionali finanziati con il PNRR hanno obiettivi in ambiti tecnologici specifici che non rispecchiano l'intera filiera ICT, fanno riferimento a infrastrutture e linee di ricerca già esistenti, seguono la necessità di fare convergere obiettivi di diversa natura. Alla filiera ICT serve un modello a rete della ricerca applicata ICT 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 adesso di conquistare un ruolo più competitivo.

In conclusione, investire nella ricerca e innovazione ICT, dalla ricerca all'applicazione, fino alla capacità finanziaria di centri di ricerca 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'Italia, questo percorso sarà molto più in salita che per le altre maggiori economie, ma permetterà di perseguire obiettivi realistici di specializzazione economica nei settori high-tech emergenti.

Saranno necessari dei cambi di prospettiva e strategie adeguate anche radicali, ma tutto ciò è ancora possibile.

Prima di tutto su incentivi e livelli di spesa per la R&I in ambito ICT: allineare i nostri parametri di intensità di investimento pubblico e privato nella ricerca ICT sui valori delle maggiori economie è imprescindibile.



Secondo e non meno importante, sul potenziamento della ricerca applicata in ambito ICT, ripensando il sistema della ricerca lungo tre direzioni:

- di maggiore coordinamento e ottimizzazione delle risorse già in campo;
- di sviluppo di capacità e talenti lungo percorsi alternativi di formazione affidati alla filiera della ricerca applicata ICT;
- di maggiore massa critica in termini di invenzioni e brevetti per potere attrarre nuovi capitali e linee di ricerca collaborative nel nostro Paese, attraverso un modello a rete della ricerca applicata ICT.

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.



Seconda Parte – Stato e prospettive delle Quantum Technologies in Italia

CAPITOLO 1. Lo stato attuale delle tecnologie Quantum

Le tecnologie e le applicazioni del Quantum

Le scienze e le tecnologie quantistiche (QT) sono alla frontiera dell'evoluzione della conoscenza non solo per la fisica ma anche per le applicazioni digitali. 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. Numerosi casi d'uso sono stati illustrati nell'ultimo anno sia dai produttori di tecnologie Quantum che dagli osservatori economici.

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. Si perseguono miglioramenti dell'affidabilità dei componenti hardware, sviluppo di architetture di calcolo scalabili e tolleranti ai guasti e creazione di tecniche pratiche di correzione degli errori.

Gli ambiti in cui si sta concentrando lo sforzo di messa a punto di casi d'uso sono la salute, la sicurezza informatica e la finanza, 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 dell'aerospazio e dell'automotive. Serviranno piattaforme hardware più economiche ed efficienti e nuove tecniche algoritmiche per raggiungere il cosiddetto "vantaggio quantistico", per cui i computer quantistici diventeranno 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 elettrici. I casi d'uso attuali sono prevalentemente per difesa/aerospazio e per industrie e applicazioni caratterizzate 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. La combinazione di orologi atomici e giroscopi potrà fornire capacità di navigazione di precisione, 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 ad altri ambiti, quali il monitoraggio di infrastrutture e impianti industriali e la navigazione autonoma. I sensori quantistici avranno un ruolo fondamentale anche per le applicazioni trasversali del computing e della comunicazione quantistica.



Nella comunicazione quantistica il focus 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 per fornire servizi di comunicazione quantistiche a organizzazioni sensibili alla sicurezza dei dati, oltre che per connettere computer quantistici presenti su cloud.

Dinamiche diverse nelle filiere del Quantum

A livello globale, il mercato del Quantum si attesta attualmente su livelli modesti: le stime di diverse fonti convergono attorno a un valore complessivo tra 1 e 2 miliardi di dollari di spesa da parte degli utilizzatori finali per il 2023. La ripartizione tra i tre maggiori ambiti applicativi origina valori e scenari di sviluppo diversi che portano a una forchetta molto ampia di valori attesi entro il 2040, da una decina di miliardi di dollari a più di 100 miliardi di dollari. 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, con dinamiche 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, il mercato non ha raggiunto i 10 milioni di euro, mentre resta molto diffusa l'incertezza nel mondo imprenditoriale per l'attuale carenza di esempi di applicazioni industriali concrete.

Anche le dinamiche competitive si stanno diversificando all'interno del Quantum Stack. 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 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.

Un'ultima ma non meno importante caratteristica riguarda il fatto che nel campo del Quantum Computing il ritardo dell'Europa nello sviluppo tecnologico rispetto a Stati Uniti e Cina è inferiore rispetto ad altre tecnologie emergenti. 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 CNR: “Il Quantum Computing a supporto della trasformazione digitale italiana”², e “Tecnologie Quantistiche per la Sicurezza delle Comunicazioni Digitali”³. Questa analisi si concentra su programmi e prospettive di ricerca in ambito Quantum e sulle misure specifiche di policy auspicabili nel breve periodo.

Brevetti Quantum e trasferimento dalla ricerca al mercato

Dal 2022 il rilascio e la pubblicazione di brevetti su tecnologie quantistiche non registra più una crescita sostenuta come negli anni precedenti, indicando potenzialmente che le sfide tecnologiche si fanno più complesse e richiedono più tempo. Per il 2023 McKinsey ha stimato una crescita dell'1% a livello globale. Mentre il numero dei depositi brevettuali è ancora basso in Europa, si registra un aumento generale del numero



di domande di brevetto con i sottosectori “realizzazione fisica dei computer quantistici”, “correzione/mitigazione degli errori quantistici” e, il più dinamico di tutti, “informatica quantistica e intelligenza artificiale/apprendimento automatico” particolarmente dinamici. 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 (calcolo quantistico) e Cina (comunicazione quantistica), mentre l’Europa possiede una quota decisamente inferiore e non ha un focus specifico rilevante. 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 questo aumenta l’attenzione alla protezione della proprietà intellettuale da parte di produttori e governi.

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

- il sistema dei brevetti sta incentivando la divulgazione pubblica, mentre i nuovi operatori della tecnologia quantistica avranno maggiori probabilità di beneficiare di diritti di brevetto più forti;
- la tendenza di dettagliare le caratteristiche o tecniche per differenziare efficacemente lo stato dell’arte e posizionarlo per potenziali sviluppi;
- molta vivacità nello sviluppo di brevetti in ambito middleware per la simulazione e il Computing ibrido HPC;
- una minore concentrazione tra i principali titolari di brevetti nell’informatica quantistica superconduttiva;
- man mano che i produttori iniziano a introdurre computer quantistici commercialmente validi crescerà la concorrenza nel campo della proprietà intellettuale;
- a livello globale, oltre a note società a grande capitalizzazione, tra i principali assegnatari figurano PMI specializzate, nuove imprese, università ed enti governativi;
- il volume delle domande di brevetto in ambito Quantum è ancora modesto rispetto ai settori più consolidati;
- 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;
- la percezione dell’informatica quantistica come una questione legata alla sicurezza nazionale potrebbe portare a ostacoli normativi per l’entrata in determinati mercati e rendere vantaggiosa la licenza di brevetto in mercati inaccessibili.

Nell’ambito del Quantum Computing, il numero di domande di brevetto dirette al calcolo quantistico superconduttore, che ha un vantaggio di due-tre anni in termini di maturità tecnologica, ha generato due su tre dei brevetti attivi per il Quantum Computing Hardware, seguono in ordine di rilevanza le domande per tecnologie basate su spin/silicon, metodi fotonici, a ioni intrappolati e topologici e ad atomo neutro. Investire in aree meno protette potrebbe ancora produrre rendimenti molto elevati. L’attività brevettuale nel Quantum Communication è dominata dalle famiglie di brevetti relative alla QKD (80%) mentre l’Internet quantistico ha 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 Ridberg nell’insieme non arrivano al 20%.



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

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 dollari. Mentre la Cina con 15 miliardi di dollari e gli Stati Uniti con 3,8 miliardi di dollari hanno precedentemente dominato gli investimenti pubblici nello sviluppo di tecnologie Quantum, nuovi Paesi si sono aggiunti, come Germania con 5,2 miliardi di dollari, Regno Unito con 4,3 miliardi di dollari e Corea del Sud con 2,4 miliardi di dollari. La maggior parte di queste iniziative nazionali mira a stabilire la leadership e l'autosufficienza tecnologica, oltre a stimolare gli investimenti privati. Gli stanziamenti finora assicurati alla ricerca sul Quantum in Italia sono ancora nell'ordine delle centinaia di milioni di euro su un arco di soli tre anni, attraverso la M4C2 del PNRR. Al Centro Nazionale di Ricerca in High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing, gestito dalla Fondazione ICSC, il PNRR M4C211.4 assegna 320 milioni di euro, di cui circa 30 milioni di euro sono il budget dedicato allo Spoke 10 sulla computazione quantistica. 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 M4C211.3 del PNRR fino al 2025. È evidente che questi livelli non possono permetterci di tenere il passo con gli altri Paesi nell'innovazione quantistica.

I finanziamenti globali di venture capital per aziende specializzate in tecnologia quantistica nel 2023 hanno segnato invece un calo, secondo McKinsey, del 27% (portando la quota a 1,71 miliardi di dollari) dopo una dinamica sostanzialmente piatta nel 2022. Tra i diversi fattori che hanno determinato questo calo si evidenziano una crescente avversione al rischio degli investitori nei confronti delle start-up in fase iniziale e 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, oltre a uno spostamento dell'attenzione verso l'IA generativa e la persistente percezione che il potenziale delle tecnologie Quantum in vari settori sia ancora in fase di comprensione e valutazione. Nel 2022 in Europa si è registrata una maggiore dinamicità, con un aumento del 3% nel venture capital investito in ambito Quantum, ma anche in questa regione con uno spostamento verso le aziende scale-up e sempre come settore di nicchia con meno dell'1% del totale dei finanziamenti di venture capital nella regione. Ai fattori già evidenziati a livello globale in Europa si aggiungono anche le condizioni difficili del mercato dei capitali, la mancanza di visibilità sulle start-up che decidono di rimanere in modalità "stealth", la carenza di specialisti più esperti che potrebbero già lavorare in una start-up esistente.

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 supercalcolatori, comincia a emergere la necessità di creare una base solida e diffusa di competenze quantistiche. 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.

Diverse iniziative sono già in campo per garantire che un flusso costante di studenti e di esperti ICT già formati sulle tecnologie tradizionali maturi competenze in tecnologie Quantum, a diversi livelli:

- avvio di nuovi corsi di laurea sulle tecnologie Quantum;



- conversione verso ambiti tematici Quantum di corsi di laurea o master non ICT o tecnologici ma non specifici;
- creazione di nuovi pool di talenti all'interno della forza lavoro esistente o dei professionisti ICT esistenti;
- attività di sensibilizzazione per aumentare la consapevolezza delle opzioni di una carriera quantistica.

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

Mentre 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, in Europa è significativo il ruolo di un'offerta pubblica in grado di creare un network e infrastrutture condivisi.

Approvata da oltre 3.500 rappresentanti del mondo accademico e dell'industria europea, la European Quantum Technology Flagship è stata lanciata nel 2018 dalla Commissione Europea con un bilancio di almeno 1 miliardo di euro su dieci anni (raddoppiato dagli altri strumenti di finanziamento, iniziative e azioni che la affiancano). Ha il triplice obiettivo di consolidare ed espandere la leadership scientifica europea nel Quantum, promuovere la creazione di un'industria europea, rendere l'Europa una regione dinamica e attrattiva per la ricerca, le imprese e gli investimenti in ambito Quantum.

La prima fase chiusa nel 2022 ha posto 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, nel solco dell'agenda strategica di ricerca pubblicata nel 2020 a cui hanno contribuito oltre 2.000 esperti quantistici europei per delineare le tappe della realizzazione di una "Internet quantistica", basata su una infrastruttura UE di comunicazione quantistica sicura e sul rafforzamento dello sviluppo delle tecnologie quantistiche: EuroQCI, EuroHPC JU 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 più che raddoppiato il suo bilancio iniziale, trasformandola in un'intera "flotta quantistica".

La fase attuale della Flagship (2022-2025) si focalizza su sfruttamento delle invenzioni, sviluppo di parametri di riferimento e di standard, istruzione e formazione con finanziamenti per ricerca di base e applicata da Horizon Europe (400 milioni di euro) e per lo sviluppo di infrastrutture e tecnologie per le attività a valle, come EuroHPC, QKD e EuroQCI da Digital Europe. Per confermare l'impegno a finanziare e collaborare sui 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 membri. Nel frattempo alcuni Paesi dell'UE hanno firmato o stanno negoziando accordi di cooperazione bilaterali 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) nella rete dello spazio europeo della ricerca (ERA-NET).

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 quantistici cruciali per la miniaturizzazione dei dispositivi quantistici, per facilitarne l'integrazione con altri dispositivi 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 2023, 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. Il coordinamento e l'aggregazione dei programmi quantistici nazionali 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.

CAPITOLO 2. 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. 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 ma con valori ancora modesti rispetto ai miliardi erogati su cinque-dieci anni negli altri maggiori Paesi europei. Ma a nostro favore giocano gli asset costruiti attraverso un percorso intrapreso da tempo. L'Italia ha una delle più grandi comunità scien-



tifiche in questo settore ed 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, denominata “Quantum Backbone”. 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.

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 finanziati dal PNRR operando sull’intera filiera quantistica, dalla ricerca fondamentale e applicata al trasferimento tecnologico. L’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. Un traguardo importante nell’ambito dello Spoke 6 dell’NQSTI è la realizzazione del primo qubit superconduttivo interamente costruito in Italia, presso i laboratori della Fondazione Bruno Kessler a Trento. Ora i ricercatori si propongono di migliorare ulteriormente la tecnologia e ottimizzare le proprietà del circuito, per passare alla microfabbricazione su larga scala. Altri gruppi lavorano già con qubit superconduttivi, che sono però “importati” nei laboratori italiani.

Il centro ICSC, attraverso lo Spoke 10, si occupa dello sviluppo della tecnologia dei calcolatori quantistici, con una particolare attenzione su miglioramento tecnologico e trasferimento al mercato in molteplici campi e settori economici e sulla formazione facendo leva sulle infrastrutture e le risorse del Quantum Computing Lab del CINECA a Bologna. 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 vari campi, tra cui salute, climatologia, scienze della terra e innovazione industriale.

Le architetture Quantum Computing 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. Nel 2023 sono partite le varie attività che coprono tutto lo sviluppo del calcolatore quantistico e sono realizzate in quattro laboratori dedicati a Padova, Firenze, Roma e Napoli, coprendo le quattro architetture maggiori che attualmente in tutto il mondo si stanno esplorando, ovvero quella basata sugli atomi neutri (Firenze), alla base dei simulatori quantistici e di maggiore interesse in Europa, quella dei qubit superconduttivi (Napoli), percorsa dai grandi produttori americani, e quelle alternative basate sui fotoni (Roma), architettura con cui la Cina ha raggiunto il suo vantaggio quantistico, e sugli ioni intrappolati (Padova).

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 di Google e delle iniziative cinesi, che tuttavia non ne riducono il potenziale. Nel paragrafo dedicato sono disponibili maggiori dettagli sui quattro approcci architetture. Infine, entro il primo trimestre del 2025, nel data center del Politecnico di Torino è prevista l’installazione di un sistema quantistico a cinque qubit, come parte del progetto di creazione di un centro



di sviluppo di algoritmi quantistici per applicazioni avanzate in vari campi, integrando tecnologie quantistiche con i sistemi tradizionali.

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 della joint-venture Eniquantic) con architettura a singoli atomi di Ryllberg ultrafreddi. Il simulatore affronterà problemi complessi in vari settori, quali l'ottimizzazione matematica, la modellazione e simulazione avanzata e l'intelligenza artificiale, sfruttando le sinergie tra le architetture quantistiche e classiche, per aree chiave per il futuro dell'energia (generazione e stoccaggio, simulazione e modellazione della materia, ottimizzazione delle attività operative).

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 quantistica. 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 Quantum. Il principale obiettivo del progetto è la protezione delle infrastrutture critiche.

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 quelle 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. La rete quantistica metropolitana di Milano PoliQI è stata inaugurata nel 2022, a febbraio 2024 è stata connessa la QMAN di Napoli, sperimentazioni finanziate anche a livello regionale sono in corso in Friuli Venezia-Giulia.

Una caratteristica rilevante del progetto QUID riguarda 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.

CAPITOLO 3. Prospettive e sfide per il Quantum in Europa e in Italia

Prospettive e sfide per il Quantum Computing in Europa

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



- aumentare sostanzialmente gli investimenti 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;
- 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 sfide⁴ 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. Affrontando questi aspetti l'Europa può favorire l'emergere di operatori industriali rilevanti nelle catene di approvvigionamento quantistico del futuro.

Prospettive e sfide per le Quantum Comms in Europa

In termini di portata e ambizioni di sviluppo, Cina e Corea del Sud sono a uno stadio molto avanzato. Le reti QKD terrestri basate su fibra sono intorno a TRL cinque in Europa, mentre sicurezza e costi elevati creano rilevanti barriere nell'esecuzione e implementazione. In alcuni casi, i componenti necessitano di ulteriore ricerca di base prima di poter essere industrializzati. Con l'aumentare della complessità delle reti diventano importanti anche standardizzazione e certificazione.

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 per arrivare a un'infrastruttura di Quantum Communication complessiva si concentrano nella ricerca per aumentare capacità, per una gestione efficiente della rete in generale e metodi di distribuzione delle chiavi ottimizzati per la QKD spaziale. In futuro entrambi i paradigmi (terrestre e satellitare) lavoreranno insieme per fornire servizi QKD continentali o addirittura globali, anche se per ora i singoli elementi costitutivi sono a diversi TRL, con differenti gradi di rischio tecnico e diverse tempistiche di rilascio. 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.

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. La tecnologia aumenterà il suo TRL nei prossimi anni con il lancio di Proof-of-Concept per sviluppare e industrializzare una varietà di prodotti e casi d'uso.



Prospettive e sfide per rilevamento quantistico e metrologia in Europa

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. 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) entro quattro anni, fino ad arrivare a un'ampia diffusione per i sensori a stato solido e a gas atomici a partire dal 2030.

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. Ma 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 Italia

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, mentre nel lungo termine occorre sviluppare e adattare i programmi educativi e aumentare il profilo delle discipline quantistiche nel mondo accademico.

Nella formazione accademica si stanno organizzando sia nuovi percorsi di apprendimento che modifiche degli attuali percorsi, aggiungendo nuove materie/moduli in ambito Quantum. Il cambiamento più importante sarebbe quello di inserire i concetti quantistici nei curricula esistenti per l'informatica, le telecomunicazioni e le discipline correlate. 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.

In Italia negli ultimi anni molte università hanno potenziato la formazione superiore in ambito Quantum 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.

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 QTIndu si concentra sulla riqualificazione dell'attuale forza lavoro in allineamento con l'attuale QTedu Competence Framework. 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.

Ma per seguire il passo delle altre maggiori economie serve una ricognizione oggettiva e accurata del progresso finora raggiunto e realisticamente raggiungibile alla luce dello stato dell'arte della ricerca lungo tutti i livelli della filiera. 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.



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, Genova, 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 (ba-

sato 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 pensione all'utilizzo;
- poca sperimentazione: nel settore privato solo una grande azienda italiana su dieci 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 l'1,8% nei



- brevetti triadici (PatStat);
- limitato accesso a competenze e infrastrutture avanzate a causa della scarsa collaborazione con aziende leader del settore quantistico internazionale;
- 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 co-

municazione 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'autosufficienza tecnologica in Europa;
- grande potenzialità della 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;
- possibile sviluppo di dipendenza da tecnologie quantistiche hardware e software non europee;
- minacce alle infrastrutture critiche nazionali a causa dell'uso di computer quantistici in grado di superare sistemi di cybersicurezza 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 USA;
- 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 distribuzione territoriale che parcellizza risorse e competenze e ostacola la focalizzazione sugli ambiti a maggiore potenziale.

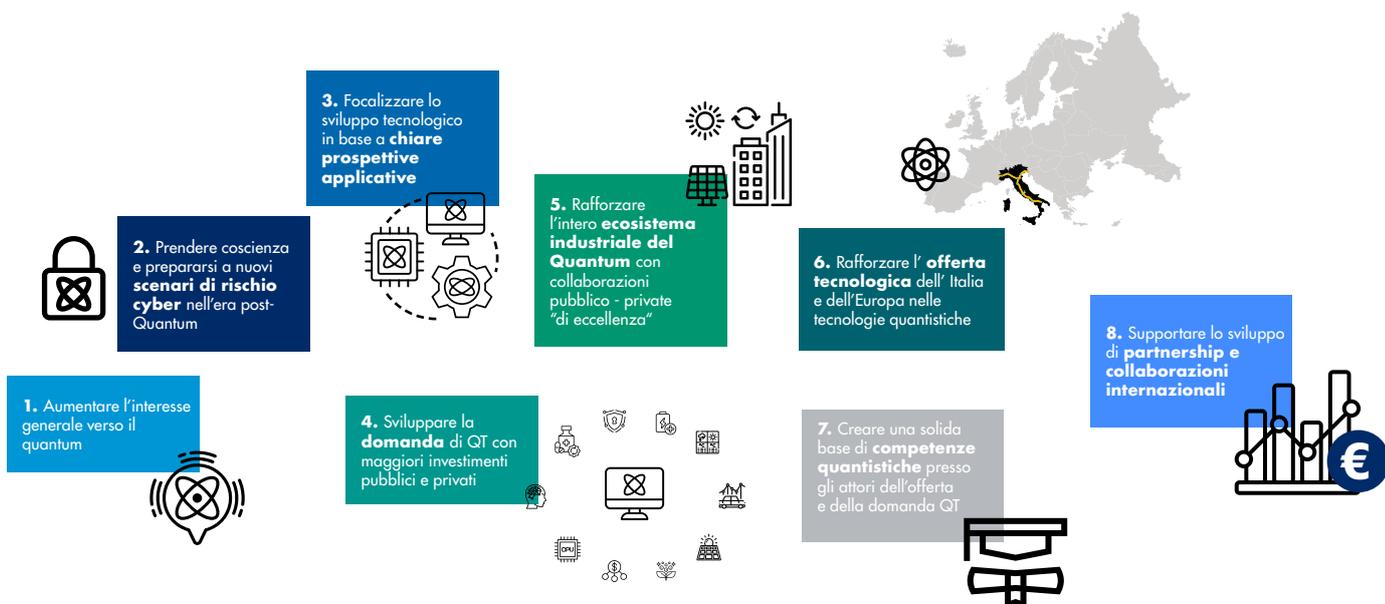


Questa analisi può essere migliorata e approfondita, ma già è sufficiente per mostrare:

- dal punto di vista nazionale, il potenziale dell'Italia per lo sviluppo di una filiera quantistica nazionale competitiva delineando chiaramente gli obiettivi prioritari alla luce del contesto nazionale, rafforzando le risorse e consolidando 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 ma vanno costruiti sui risultati raggiunti, alla ricerca di livelli di attività e di mercato coerenti con i volumi di investimento necessari.

AMBITI E PROPOSTE DI POLICY



Proposte per il rafforzamento dell'industria del Quantum in Italia

Per il nostro Paese si palesa la necessità dei seguenti filoni di azione.

1. Aumentare l'interesse generale verso il Quantum

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 autosufficienza tecnologica, soprattutto nel Quantum Computing;
- rafforzare le competenze per la progettazione e lo sviluppo di algoritmi quantistici 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'adozione 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 funzionamento e potenzialità delle QT;
- 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

Anche le strategie e soluzioni di cybersicurezza più avanzate di oggi, nel breve periodo saranno esposte a rischi nell'era post-Quantum. Diventa importante:

- accrescere la consapevolezza riguardo ai futuri rischi sulla cybersicurezza tradizionale;
- incoraggiare la conduzione di Quantum Risk Assessment settoriali;
- prevedere un piano di investimenti in attività in assesment in sicurezza;
- incoraggiare l'urgenza di tenersi pronti alle future minacce alla sicurezza dalla crittografia post-quantistica soprattutto nei settori finanziario, energetico, utilities, sanità, difesa;
- 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 cybersecurity Quantum-proof;
- partecipare proattivamente ai tavoli di confronto europei per concordare come e quando integrare standard e requisiti nelle Quantum-proof roadmap nei principali quadri normativi;
- 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, anche partecipando 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, 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 PQK 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 cybersicurezza 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;
- elaborare, sin da subito, un piano di investimenti in attività in assesment in sicurezza; in relazione, ad esempio, agli impatti potenzialmente provenienti dalle reti già sviluppate in area BRICS. In tema di cybersicurezza, infatti, il livello operativo, a differenza del livello infrastrutturale, è già attuale.

3. Focalizzare lo sviluppo tecnologico in base a chiare prospettive applicative

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 collaborazioni internazionali come quella dell'INFN con il centro di ricerca SQMS presso il FermiLab nell'ambito del progetto di sviluppo del processore superconduttivo a 9- e a 36-qubit. 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 in altri ambiti 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 cercando di superare le problematiche che ancora ne ostacolano l'utilizzo su ampia scala (errore, raffreddamento), garantendo i progressi nella scalabilità e tenendo il passo con gli sviluppi europei e internazionali. 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

Diverse forme di sostegno possono essere adottate per sviluppare la domanda di tecnologie Quantum:

- finanziamento di progetti di interesse pubblico attraverso sovvenzioni a fondo perduto;
- aggiudicazione di contratti pubblici nel caso di prodotti già commerciabili 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, cybersicurezza. Start-up attive nello sviluppo di tecnologie Quantum per le comunica-



zioni e la cybersicurezza hanno già vinto inviti di partecipazione a progetti di sviluppo congiunto o a gare di fornitura (ad esempio, LevelQuantum con ESA e NATO);

- contratti di accesso a infrastrutture Quantum a costi accessibili: 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 Italia;
- partecipazioni dirette nelle start-up: per finanziare 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 cui condividono un progetto strategico di sviluppo a grande impatto (ad esempio, Eniquantic con ENI e ITQuanta);
- investimento diretto nel capitale di rischio: in società deep-tech specializzate in tecnologie Quantum con la creazione di "Fondi Quantum" e loro pubblicizzazione. 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 termine.

5. Rafforzare l'intero ecosistema industriale del Quantum con collaborazioni pubblico-private "di eccellenza"

Per aumentare l'impatto economico delle 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. 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 in scala; per far questo occorre accedere a infrastrutture molto sofisticate e disporre di conoscenze multidisciplinari.

Ad esempio, il progetto in corso per lo sviluppo della macchina Quantum del FermiLab a Chicago 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. Per competere nella concorrenza internazionale, è dunque fondamentale creare e mantenere un contesto favorevole:

- alla creazione di nuove imprese deep-tech e 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 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. Come nel modello dei cluster di eccellenza tedeschi, 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:

- razionalizzare le collaborazioni tra gli enti che oggi in Italia, a diverso titolo, si occupano di ricerca;
- 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;
- 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 accelerare l'industrializzazione e l'applicazione diffusa;
- 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;
- diversificare gli strumenti di intervento pubblico (finanziari, fiscali, sovvenzioni, accordi di governance, condivisione del rischio) per rafforzare le collaborazioni pubblico-private;
- 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;
- 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

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 critici. L'assenza di un approvvigionamento interno può creare un rischio di gravosa dipendenza.

Per rafforzare lo sviluppo tecnologico nell'ambito delle applicazioni quantistiche sono necessarie misure a diversi livelli: riduzione dei costi, investimenti continui, accordi di collaborazione pubblico-privato, roadmap e tempistiche definite per l'ulteriore sviluppo delle tecnologie, sensibilizzazione ai rischi per la sicurezza informatica, sostegno della domanda di tecnologie Quantum, incentivi all'acquisto nell'industria, promozione del trasferimento tecnologico, semplificazioni burocratiche, cooperazione, rapido sviluppo



di nuove competenze quantistiche di base e avanzate; programmi educativi.

Con riferimento alle specifiche criticità italiane, diventano rilevanti anche le seguenti attività:

- creazione di una Agenzia Nazionale per il Quantum Computing che lavori in sincronia con l’Agenzia Nazionale per la Cybersicurezza;
- accesso e uso sovvenzionato di linee pilota e strutture di prova soprattutto alle entità di ricerca più piccole, per dare loro l’opportunità di entrare in nuovi mercati;
- attuazione dei progetti di ricerca nelle fasi più a valle della filiera (test e produzione) con programmi di 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 coinvolti. 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;
- incentivi per la generazione di proprietà intellettuale e per promuovere la cooperazione tra start-up e grandi aziende consolidate e sostegno per la commercializzazione delle tecnologie Quantum su una moltitudine di settori, medicina, farmaci, comunicazioni e privacy, energia e ambiente, agricoltura, finanza e sicurezza nazionale;
- potenziamento della domanda 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 per risolvere le sfide sociali e commerciali, ma con ricadute positive nell’accelerare l’adozione anche nel settore privato, grazie allo sviluppo di standard industriali;
- 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;
- definizione di linee guida per aiutare a prevenire o scoraggiare il finanziamento dello sviluppo di soluzioni Quantum in entità o Paesi non autorizzati;
- 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;
- potenziamento delle infrastrutture e delle piattaforme sperimentali 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;
- ampliamento di standard e procedure di accreditamento a livello di settore per le QT prodotte e le competenze necessarie per svilupparle e utilizzarle;
- sviluppo di un’offerta di specialisti in QT ampia e qualificata.



7. Creare e difendere una solida base di competenze quantistiche presso gli attori dell'offerta e della domanda di tecnologie Quantum

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 servono corsi di formazione, introduzione temi quantistici nei programmi, corsi brevi di formazione o stage scuola-lavoro, corsi online di avvicinamento al Quantum (come 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 con:

- nuovi piani di studio "Quantum Centred" anche interdisciplinari nelle facoltà STEM per formare profili come Quantum Scientist, Quantum Engineer, Quantum Developer e specialisti Quantum in crittografia e cybersecurity, per acquisire nuove competenze e per avere un approccio "quantistico" nello sviluppo degli algoritmi di calcolo e nell'analisi dei problemi;
- 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 e anche allargare il bacino di studenti e laureati che possono partire da competenze intermedie per arrivare alla formazione dei profili già citati;
- corsi di approfondimento sulle tecniche di trasferimento tecnologico dalla ricerca al mercato per aumentare la capacità di sfruttamento delle nuove tecnologie nelle fasi a valle della ricerca;
- collaborazioni tra istituzioni accademiche che lavorano su temi quantistici sia a livello internazionale che 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;
- le competenze per l'utilizzo e lo sviluppo di sistemi crittografici avanzati;
- la cybersecurity e la gestione del rischio.

Per estendere finanziamenti e percorsi di collaborazione attivati attraverso il PNRR oltre il 2026 è necessario:

- attivare e monitorare nuovi canali di finanziamento pubblico alla ricerca anche non europei se necessario e coerenti con gli obiettivi di ricerca;
- pubblicizzare in modo diffuso nelle filiere specifiche le opportunità istituite 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 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 Management;
- 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 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 far 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 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 prevenire il deflusso di competenze tecnologiche in QT, attraverso:

- 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.



8. 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 e le più importanti realtà industriali risulta quindi vitale; in linea con lo spirito del Rapporto Draghi, vanno quindi valorizzate le iniziative ispirate a una logica di condivisione e collaborazione.

Note:

1. (<https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/horizon-dashboard>)
2. (<https://www.anitec-assinform.it/pubblicazioni/policy-paper/quantum-computing.kl>)
3. (<https://www.anitec-assinform.it/pubblicazioni/policy-paper/quantum-secure-communications.kl>)
4. Le aree di attenzione sono ora: la progettazione di benchmark, consentire una capacità sostenibile, la gestione della proprietà intellettuale relativa alle linee pilota, lo sviluppo continuo delle tecnologie abilitanti (criogenia, fotonica, crioelettronica ed elettronica RF/microonde, FPGA), garantire la stabilità dell'approvvigionamento di risorse critiche (ad esempio, fonderie di silicio) da parte di aziende internazionali, l'aggiornamento della forza lavoro, lo sviluppo di applicazioni per progredire verso il vantaggio quantistico, l'uso commerciale delle infrastrutture di Quantum computing e HPC a un costo ragionevole con interfacce standardizzate e uno stack di software europeo di adozione comune e algoritmi di calcolo.

