



www.pandorarivista.it



NUMERO SPECIALE

SUPERCALCOLO

Costruire l'infrastruttura dell'autonomia tecnologica:
l'esperienza del Centro Nazionale ICSC

ANTONIO ZOCCOLI
FRANCESCO UBERTINI
ANNA MARIA BERNINI
FABRIZIO COBIS
TOMMASO CALARCO
ANTONINO ROTOLO
DANIELA GABELLINI
UGO BECCIANI
DAVIDE SALOMONI
ARNAUD CÉOL
LUCIA FLORESTA
MATTEO ZANAROLI
MARIA LUISA LAVITRANO
ELEONORA BARELLI
MARCO BECCA
SANZIO BASSINI

MASSIMO CARBONI
CLAUDIO GRANDI
PAOLA INVERARDI
CARLO CAVAZZONI
MARCO ALDINUCCI
LUCA BENINI
ANTONIO STAMERRA
CLAUDIO GHELLER
SILVIO GUALDI
ROBERTO BELLOTTI
SERGIO SAPONARA
STEFANO FABRIS
ANDREA CAVALLI
NICOLA MAZZOCCA
PAOLO CREMONESI
RENZO GIOVANNI AVESANI



Per la gentile concessione di alcune delle immagini presenti in questo numero si ringrazia:

Antonio Zoccoli (p.9), Francesco Ubertini (p.17), Anna Maria Bernini (p.27), Fabrizio Cobis (p.33),
Tommaso Calarco (p.43), Antonino Rotolo (p.51), Daniela Gabellini (p.59).

Crediti immagini:

Fondazione ICSC (copertina, p.59), Michele Lapini per INFN – Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (p.9),
INFN – Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (p.11), Mattia Balsamini per Cineca (p.17),
Regione Emilia Romagna / Fotoreporter – Archivio Fotografico Regionale (pp.20,23,35,61,84,101,104,111,125,157),
Presidenza del Consiglio dei Ministri (p.27), Davide Landi / Agenzia Dire (pp.28,29),
MUR – Ministero dell’Università e della Ricerca (p.33), Sascha Kreklau (p.43), Kushlevich Sergey (p.116),
ESA Euclid / Euclid Consortium / NASA (p.136), NASA / ESA (p.141).

Numero realizzato in collaborazione
e con il sostegno di:



Autorizzazione Tribunale di Bologna: n. 8537 del 8/4/2020 – Quadrimestrale
NUMERO SPECIALE – Supercalcolo
Costruire l'infrastruttura dell'autonomia tecnologica: l'esperienza del Centro Nazionale ICSC
ISSN: 2723-9799

Editore 

Direttore responsabile
Giacomo Bottos

Vicedirezione
Raffaele Danna
Carlotta Mingardi
Giulio Pignatti

Segretario di redazione
Francesco Rustichelli

Redazione
Andrea Raffaele Aquino
Andrea Baldazzini
Lorenzo Cattani
Giacomo Centanaro
Eleonora Desiata
Antonio Francesco Di Lauro
Laura Laportella
Daniele Molteni
Andrea Pareschi
Luca Picotti



Design
Lila D'Angelo

Stampa
Premiato Stabilimento
Tipografico dei Comuni
Soc. Coop. - Santa Sofia (FC)

Il seguente volume è stato realizzato con il supporto di Centro Nazionale di Ricerca in High Performance Computing Big Data e Quantum Computing (ICSC), progetto finanziato dall'Unione Europea – NextGenerationEU – e dal Piano Nazionale Ripresa e Resilienza (PNRR) – Missione 4 Componente 2.

CONTRIBUTI: si collabora alla rivista cartacea su invito del direttore e della redazione.
Per proporre contributi per la versione online è possibile scrivere a:
redazione@pandorarivista.it

ABBONAMENTO BASE: 50 euro **SOSTENITORE:** a partire da 70 euro
L'abbonamento annuale include la spedizione in formato cartaceo dei tre numeri dell'anno in corso. L'abbonamento consente inoltre di accedere agli articoli per abbonati presenti nell'area Pandora+ del sito.
Per abbonarsi: **www.pandorarivista.it/abbonati**
Per informazioni: **pandora@pandorarivista.it**

INFORMATIVA PRIVACY (ART.13 REGOLAMENTO UE 2016/679)

La sottoscrizione di un abbonamento a Pandora Rivista (cartaceo/digitale) comporta la comunicazione di dati personali e la contestuale autorizzazione al trattamento. Il trattamento avviene nel rispetto delle procedure di sicurezza, protezione e riservatezza dei dati. L'informativa completa sulle finalità, modalità, durata del trattamento e sui diritti esercitabili dall'interessato è disponibile sul sito: www.pandorarivista.it/privacy/ e viene visualizzata in fase di sottoscrizione dell'abbonamento. Titolare del trattamento è Nous Media Srl.

Crediti e ringraziamenti per le immagini sono indicati in fondo alla rivista.
Pandora Rivista è a disposizione degli eventuali proprietari dei diritti sulle immagini riprodotte, nel caso non si fosse riusciti a reperirli.

INDICE



EDITORIALE

6

Parte prima

IL SUPERCALCOLO AL CENTRO DI UN PROGETTO STRATEGICO

Il Centro Nazionale ICSC nella sfida europea per l'autonomia tecnologica 8
di Antonio Zoccoli

Una storia di visione e costruzione per la sovranità tecnologica del Paese 16
di Francesco Ubertini

Il PNRR e il modello "dalla ricerca all'impresa" 26
di Anna Maria Bernini

Il supercalcolo e l'eredità strategica del PNRR 32
Intervista a Fabrizio Cobis

Prospettive delle tecnologie quantistiche nel contesto europeo e globale 42
Intervista a Tommaso Calarco

Dati, etica e innovazione responsabile nello sviluppo delle tecnologie avanzate 50
di Antonino Rotolo

Parte seconda

LO SVILUPPO DEL CENTRO NAZIONALE ICSC

Dal PNRR alla capacità di gestire la complessità: organizzazione, risorse e strumenti per la continuità del Centro Nazionale ICSC 58
di Daniela Gabellini

Evoluzione e valorizzazione del sistema della ricerca e dell'innovazione nel contesto ICSC 66
di Ugo Becciani e Davide Salomoni

Dati, pratiche e infrastrutture oltre i singoli progetti: una traiettoria dal PNRR al futuro dell'intelligenza artificiale 70
di Arnaud Céol

Formazione e sviluppo di competenze per favorire l'utilizzo delle tecnologie avanzate 78
di Lucia Floresta

Il contributo allo sviluppo tecnologico e scientifico nel quadro dei progetti europei 82
di Matteo Zanaroli

Dati, infrastrutture e competitività europea: perché ICSC con il Nodo Italiano EOSC è una leva strategica per la ricerca e l'innovazione	88
di Maria Luisa Lavitrano e Matteo Zanaroli	
L'Osservatorio ICSC sul Supercalcolo: mappare le applicazioni per immaginare le tendenze dell'innovazione italiana	94
di Eleonora Barelli, Marco Becca e Ugo Becciani	

Parte terza

INFRASTRUTTURE, RICERCA, INNOVAZIONE E IMPATTO

Un'infrastruttura Cloud-HPC pubblica per l'autonomia digitale e la competitività del Paese	98
Intervista a Sanzio Bassini, Massimo Carboni e Claudio Grandi	
Sinergia pubblico e privato in HPC – Big Data e Quantum Computing: scienza avanzata attraverso l'innovazione collaborativa	106
Intervista a Paola Inverardi	
La sinergia tra imprese e ricerca nell'esperienza dell'Industrial Advisory Board di ICSC	112
Intervista a Carlo Cavazzoni	

Parte quarta

I RISULTATI: SPOKE E INDUSTRIAL BOARD

Il Futuro del Supercalcolo e dei Big Data	120
Intervista a Marco Aldinucci e Luca Benini	
Ricerca Fondamentale e Space Economy	128
Intervista ad Antonio Stamerra	
Astrofisica e Osservazione del Cosmo	136
Intervista a Claudio Gheller	
Scienze della Terra e del Clima	144
Intervista a Silvio Gualdi	
Ambiente e Disastri Naturali	150
Intervista a Roberto Bellotti	
Sviluppo di Modelli Numerici e Ingegneria	154
Intervista a Sergio Saponara	
Sviluppo Materiali e Scienze Molecolari	162
Intervista a Stefano Fabris	
Medicina in Silico e Dati Omici	168
Intervista ad Andrea Cavalli	
Società Digitali e Smart Cities	176
Intervista a Nicola Mazzocca	
Quantum Computing: le nuove frontiere del Calcolo	182
Intervista a Paolo Cremonesi	
L'ecosistema ICSC come leva di sviluppo per il settore produttivo	186
di Renzo Giovanni Avesani	

Ma la donna di sua mano sollevò il grande coperchio dell'orcio e tutto disperse, procurando agli uomini sciagure luttuose. Sola lì rimase Speranza nella casa infrangibile, dentro, al di sotto del bordo dell'orcio, né se ne volò fuori; ché Pandora prima ricoprì la giara, per volere dell'egioco Zeus, adunatore dei nubi. E altri mali, infiniti, vanno errando fra gli uomini.

[Esiodo // Le opere e i giorni]

Cos'è Pandora Rivista?

Viviamo da lungo tempo in un'epoca di sconvolgimenti e trasformazioni. Si ha spesso l'impressione di vivere in un mondo nel quale un nuovo vaso di Pandora sia stato aperto. Un mondo popolato da "mali" di ogni genere: disuguaglianze, crisi climatica, lati oscuri della digitalizzazione, divari sociali e territoriali, instabilità internazionale, fragilità esistenziale e molto altro.

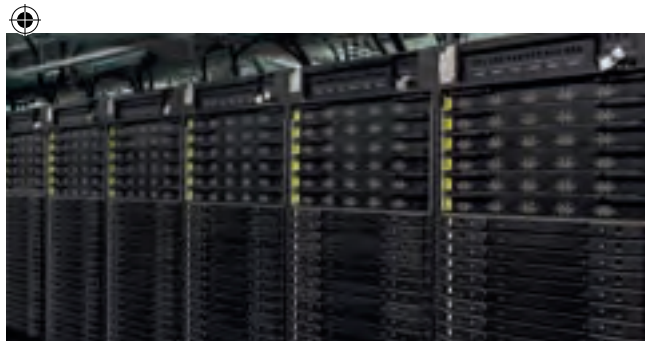
Di fronte a tutto questo, non ci sono risposte immediate. La consapevolezza della complessità, però, non conduce per forza alla disperazione o alla rassegnazione. Può essere l'inizio di un più intenso sforzo di comprensione. Questa idea è all'origine di Pandora Rivista: non si esce dalla crisi se non capendo il proprio tempo, situandosi in esso e comprendendone i problemi. Questo è quello che vuol dire per noi "fare cultura". Non è una via facile: richiede pazienza, sforzo e impegno collettivo. Pandora Rivista è dunque innanzitutto una comunità di autori e lettori animati dal bisogno di comprendere, come condizione necessaria dell'azione.

Crediamo che questa sia l'unica strada che ci possa portare, in futuro, ad aprire il vaso una seconda volta e a liberare la speranza che sembra perduta.





Editoriale



Il supercalcolo, inteso come insieme di infrastrutture e tecnologie che consentono di elaborare enormi moli di dati, sta diventando sempre più un argomento centrale nel dibattito pubblico. Il rapidissimo sviluppo delle tecnologie di intelligenza artificiale generativa e agentica è certamente un fattore cruciale, anche se non esclusivo, di questa rilevanza. La disponibilità di ingente potenza di calcolo per addestrare modelli, simulare scenari e risolvere problemi complessi è divenuta un fattore decisivo nella competizione economica e geopolitica. In relazione a tutto questo, il tema dell'autonomia e della sovranità tecnologica appare sempre più significativo.

Se a livello globale la predominanza in questo settore appare al centro della competizione tra Stati Uniti e Cina è importante non trascurare gli sforzi che a livello europeo e italiano vengono concretamente dispiegati. Questo numero speciale di Pandora Rivista – realizzato in collaborazione con la Fondazione ICSC: Centro Nazionale di Ricerca in High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing – mira a illustrare e raccontare un progetto di grande interesse, nato nel contesto del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, che si muove precisamente in questa direzione.

Avviato con un finanziamento iniziale di 320 milioni di euro da parte del Ministero dell'Università e della Ricerca, il Centro Nazionale è nato con l'obiettivo di creare e gestire un'infrastruttura di calcolo distribuita e integrata a livello nazionale, rafforzando al tempo stesso la collaborazione tra i diversi attori del mondo scientifico e

industriale nell'adozione e nell'integrazione di tecnologie avanzate nei settori strategici, collocandosi infine come piattaforma nazionale e internazionale a supporto di iniziative scientifiche e industriali. Il numero illustra, a partire dalle voci dei protagonisti e di esperti coinvolti nel lavoro del Centro Nazionale, le finalità e la visione alla base del progetto, nonché i risultati raggiunti, inquadrandoli nel contesto del dibattito complessivo sulla competizione tecnologica globale e sugli sforzi per l'autonomia tecnologica europea.

La visione complessiva viene delineata nella prima sezione di questo numero – “Il supercalcolo al centro di un progetto strategico” – a partire da contributi del Presidente e del Vicepresidente della Fondazione ICSC, Antonio Zoccoli e Francesco Ubertyni. Il contributo del Ministro dell'Università e della Ricerca Anna Maria Bernini inquadra il progetto del Centro Nazionale in una strategia volta a costruire un'infrastruttura attraverso cui connettere ricerca di base, ricerca applicata, trasferimento tecnologico, alta formazione e sviluppo industriale. Sull'aspetto dell'innovazione amministrativa connessa a progetti come il Centro Nazionale si sofferma Fabrizio Cobis, Dirigente della Direzione generale della ricerca per la programmazione dei finanziamenti e per l'innovazione del Ministero dell'Università e della Ricerca. Le tecnologie quantistiche, ambito di frontiera che rientra tra gli oggetti dell'attività della Fondazione, sono al centro dell'articolo di Tommaso Calarco. Il tema dell'etica e dell'innovazione responsabile viene invece affrontato da Antonino Rotolo.

La seconda sezione – “Lo sviluppo del Centro Nazionale ICSC” – affronta aspetti rilevanti relativi al progetto nel suo complesso. Il primo contributo è del Direttore Generale della Fondazione ICSC Daniela Gabellini e ripercorre le fasi fondamentali dello sviluppo del progetto. L’articolo di Ugo Becciani e Davide Salomoni si sofferma sulla costruzione di un’infrastruttura al servizio della ricerca e dell’innovazione. L’intervento di Arnaud Céol mette al centro l’elemento della creazione e della gestione dei dati, mentre quello di Lucia Floresta si concentra sul tema delle competenze. Matteo Zanaroli analizza il contributo del Centro Nazionale all’attuazione di diversi progetti europei. Sempre Zanaroli, nell’articolo scritto insieme a Marialuisa Lavitrano, approfondisce il ruolo del Centro Nazionale come nodo dell’European Open Science Cloud. Eleonora Barelli, Marco Becca e Ugo Becciani presentano infine l’Osservatorio ICSC sul Supercalcolo.

La terza parte del numero – “Infrastrutture, ricerca, innovazione e impatto” – si apre con un’intervista a Sanzio Bassini, Massimo Carboni e Claudio Grandi, che riflette sui caratteri e sull’importanza di un’infrastruttura Cloud-HPC pubblica. L’elemento della sinergia pubblico-privato è invece al centro del dialogo con Paola Invernardi. Carlo Cavazzoni presenta infine l’esperienza dell’Industrial Advisory Board di ICSC come fattore di sinergia tra ricerca e imprese.

L’ultima sezione – “I risultati: Spoke e Industrial Board” – presenta nel dettaglio il

lavoro dei diversi Spoke tematici, ciascuno dedicato ad una specifica applicazione, e dell’Industrial Board. Marco Aldinucci e Luca Benini presentano il lavoro dello Spoke 1 su futuro del supercalcolo e dei Big Data, Antonio Stamerra quello dello Spoke 2 su ricerca fondamentale e Space Economy, Claudio Gheller l’attività dello Spoke 3 su astrofisica e osservazione del cosmo, Silvio Gualdi la ricerca dello Spoke 4 su scienze della terra e clima, Roberto Bellotti lo Spoke 5 su ambiente e disastri naturali, Sergio Saponara l’impegno dello Spoke 6 sul tema dello sviluppo di modelli numerici e di applicazioni ingegneristiche, Stefano Fabris lo Spoke 7 su sviluppo di materiali e scienze molecolari, Andrea Cavalli i risultati dello Spoke 8 su medicina in silico e dati omici, Nicola Mazzocca lo Spoke 9 su società digitali e Smart Cities, Paolo Cremonesi le attività dello Spoke 10 sul Quantum Computing. Infine, Renzo Giovanni Avesani si concentra sulle attività dell’Industrial Board.

Il numero offre una panoramica complessiva delle attività e dei risultati di un progetto di grande rilievo e complessità come quello del Centro Nazionale ICSC. Questo si inserisce in uno sforzo complessivo volto a provare a colmare lo iato tra un dibattito pubblico spesso generico e progetti di grande interesse e rilievo che restano a volte poco conosciuti al grande pubblico.

La conoscenza di attività di questo tipo è tanto più importante nella misura in cui avviene in ambiti di frontiera che stanno contribuendo a determinare le nostre vite e il nostro futuro.

Il Centro Nazionale ICSC nella sfida europea per l'autonomia tecnologica

di Antonio Zoccoli

Antonio Zoccoli è Professore ordinario di Fisica sperimentale all'Università di Bologna, Presidente di INFN e Presidente di Fondazione ICSC.

Il Centro Nazionale di ricerca in HPC, Big Data and Quantum Computing nasce in una fase di forte accelerazione della competizione tecnologica internazionale. Negli ultimi anni le infrastrutture computazionali sono diventate un elemento decisivo della competizione globale, trainate dalla crescente importanza del supercalcolo e dell'intelligenza artificiale e dalla necessità di gestire quantità sempre maggiori di dati. Il Centro entra ufficialmente in funzione il 1° settembre 2022 e viene inaugurato il 22 novembre dello stesso anno, all'indomani dell'attivazione del supercomputer Leonardo presso il Tecnopolo di Bologna. La sua nascita risponde a un'esigenza precisa: l'Italia disponeva già di competenze e infrastrutture di eccellenza, ma queste risorse erano distribuite tra soggetti diversi e mancava una regia unitaria in grado di metterle a sistema.

L'obiettivo del progetto è stato quindi integrare in una strategia comune alcuni dei principali attori della ricerca nazionale: il Consorzio interuniversitario

CINECA per il calcolo ad alte prestazioni, l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) per la gestione dei Big Data – con infrastrutture capaci di trattare volumi dell'ordine delle centinaia di petabyte – e la rete GARR per la trasmissione ad altissima velocità delle informazioni, basata su una delle infrastrutture ottiche più avanzate d'Europa.

Questa integrazione rappresenta un passaggio decisivo nell'allineamento dell'Italia alla strategia europea sul supercalcolo e sull'intelligenza artificiale. Attraverso EuroHPC, la joint undertaking creata per rafforzare le capacità computazionali del continente, l'Unione Europea ha avviato negli ultimi anni un importante programma di investimenti per ridurre il divario tecnologico rispetto a Stati Uniti e Asia. In questo contesto, l'Italia è riuscita a ottenere e sviluppare Leonardo attraverso un finanziamento congiunto europeo e nazionale: un'infrastruttura del valore di circa 250 milioni di euro, sostenuta sia da fondi EuroHPC sia da risorse del Governo italiano.

Al momento della sua attivazione, Leonardo era tra i quattro supercomputer più potenti al mondo e rappresentava uno dei principali investimenti europei

nel settore dell'HPC. La sua inaugurazione, inoltre, ha preceduto di pochi giorni il rilascio pubblico di ChatGPT, segno che l'Italia si trovava ad affrontare la nuova fase aperta dall'intelligenza artificiale generativa potendo già contare su un'infrastruttura computazionale di livello internazionale. La strategia nazionale sviluppata attorno al supercalcolo si è così estesa rapidamente anche all'intelligenza artificiale, facendo leva sulle competenze e sulle piattaforme già consolidate.

All'interno del Centro Nazionale HPC, Leonardo è stato ulteriormente potenziato con una nuova partizione dedicata all'intelligenza artificiale, denominata Lisa; parallelamente sono stati aggiornati i data center dell'INFN ed è stata rafforzata la rete nazionale della ricerca ad altissima velocità.

Accanto a questi interventi infrastrutturali, il Centro sta sviluppando una piattaforma distribuita accessibile attraverso



il cloud, evoluta nel progetto Gaia, con l'obiettivo di integrare capacità di calcolo, gestione dei dati e trasmissione delle informazioni all'interno di un'unica architettura nazionale. La logica di fondo è rendere sempre meno rilevante la distanza fisica tra ricercatori, dati e risorse computazionali, consentendo un utilizzo più flessibile ed efficiente delle infrastrutture distribuite sul territorio.

| Dalla ricerca alle applicazioni

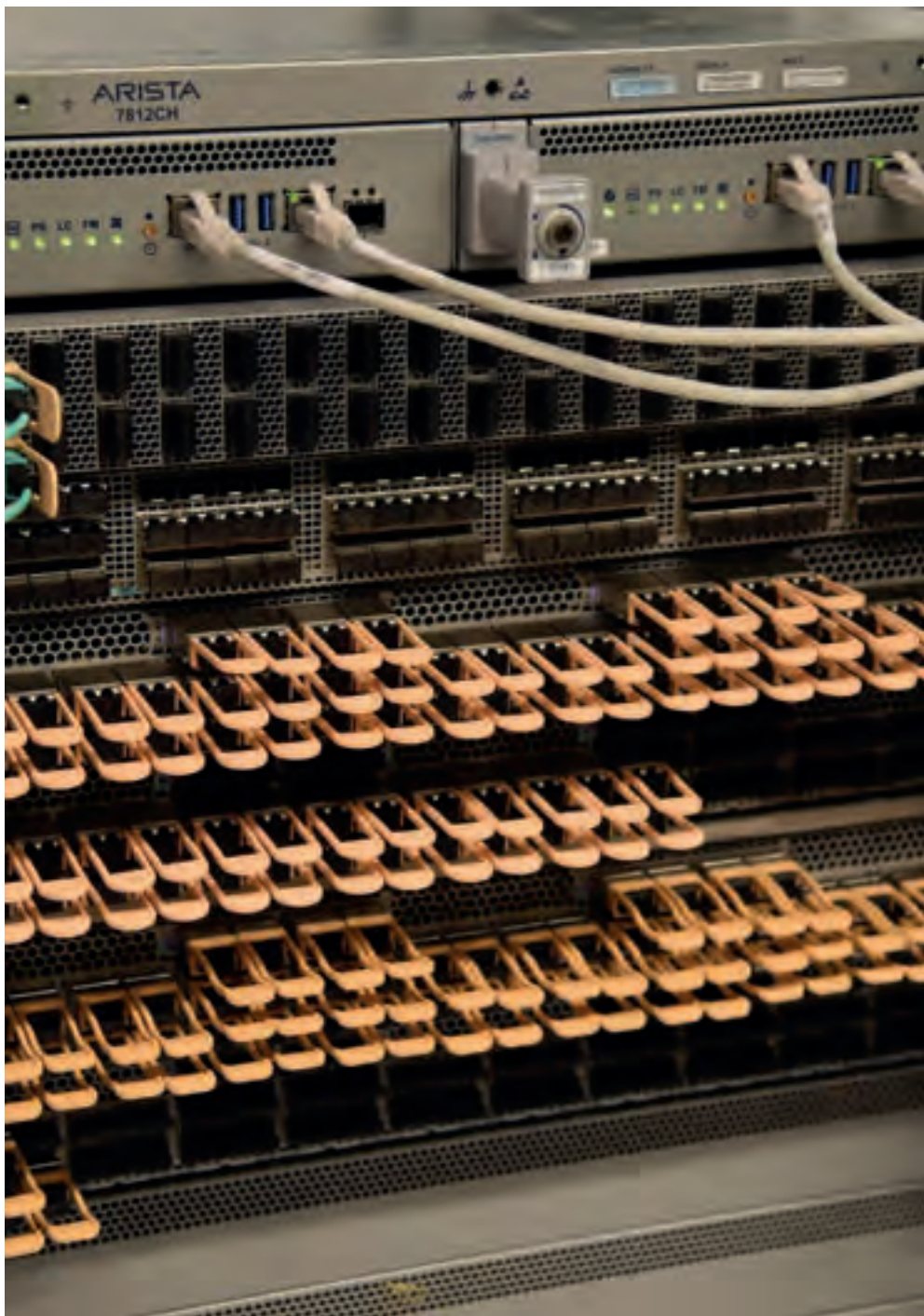
Accanto alla costruzione dell'infrastruttura, il Centro Nazionale ha sviluppato una forte vocazione applicativa. Le sue attività sono state organizzate attorno a otto grandi aree strategiche, dalla medicina ai materiali avanzati, dagli studi sul clima alla space economy, fino alle smart city, con l'obiettivo di trasformare il supercalcolo e la gestione avanzata dei dati in strumenti concretamente utilizzabili dalla ricerca e dal sistema produttivo. In questa prospettiva, il supercalcolo può essere considerato come una piattaforma abilitante destinata a incidere trasversalmente su numerosi ambiti scientifici e industriali, modificando il rapporto tra produzione della conoscenza e innovazione tecnologica.

Uno degli elementi più caratterizzanti del progetto riguarda proprio il collegamento tra ricerca pubblica e industria. La fondazione riunisce infatti università, enti di ricerca e grandi imprese private all'interno di una governance condivisa, nella quale convivono competenze scientifiche e capacità di trasferimento tecnologico. Nel consiglio di amministrazione siedono rappresentanti del mondo accademico e del sistema industriale, mentre organismi dedicati come lo Spoke Coordination Board e l'Industrial Advisory Board hanno svolto il compito di favorire il coordinamento tra attività di ricerca e applicazioni produttive.

L'obiettivo è stato quello di affrontare una delle criticità storiche del sistema italiano dell'innovazione, che riguarda la difficoltà nel trasformare i risultati della ricerca fondamentale in tecnologie e prodotti capaci di generare valore economico e competitività industriale. Questa esigenza è particolarmente evidente nei settori ad alta intensità tecnologica, dove gli investimenti iniziali sono elevati e i tempi di sviluppo spesso incompatibili con le sole logiche di mercato. Le tecnologie ad alta intensità di conoscenza richiedono una stretta collaborazione tra ricerca pubblica e imprese: la prima può esplorare tecnologie ancora immature e ad alto rischio, mentre le seconde contribuiscono a orientare lo sviluppo verso applicazioni concrete e percorsi di industrializzazione.

Negli ultimi anni il Centro ha sostenuto numerosi progetti sviluppati insieme ai partner industriali della Fondazione e ha inoltre promosso bandi aperti anche a soggetti esterni. Una quota rilevante delle risorse disponibili è stata destinata proprio al coinvolgimento del sistema produttivo, finanziando iniziative in ambiti molto diversi tra loro: dalla medicina allo sviluppo di nuovi farmaci, dalla manifattura avanzata alla mobilità, dall'agricoltura di precisione alla cybersicurezza, fino alla modellistica climatica.

In tutti questi settori il supercalcolo e l'intelligenza artificiale stanno assumendo un ruolo sempre più importante, permettendo di simulare scenari complessi e di sviluppare applicazioni con ricadute dirette sui processi produttivi. Il valore dell'infrastruttura, in questo senso, sta anche nella sua capacità di ampliare l'accesso a strumenti avanzati, creando nuove opportunità di collaborazione tra ricerca e industria.



Accessibilità e sfide per il sistema produttivo

La sfida principale dei prossimi anni sarà trasformare il supercalcolo, l'intelligenza artificiale, il cloud e la gestione avanzata dei dati in strumenti sempre più accessibili e utilizzati nei processi produttivi. Il loro valore si misurerà nella capacità di supportare le imprese nello sviluppo di soluzioni innovative e nel rendere più efficiente il passaggio dalla ricerca alle applicazioni.

Questa prospettiva assume un significato particolare nel contesto italiano, caratterizzato da un tessuto economico composto prevalentemente da piccole e medie imprese. Le grandi aziende dispongono spesso delle competenze e delle risorse necessarie per sperimentare nuove applicazioni basate sul calcolo ad alte prestazioni. Per le PMI, invece, l'accesso a queste tecnologie risulta più complesso, sia per la mancanza di infrastrutture dedicate e personale altamente specializzato, sia per la difficoltà di sostenere investimenti iniziali elevati in progetti ad alto rischio tecnologico.

Una parte importante del lavoro dovrà quindi concentrarsi sulla costruzione di casi d'uso concreti, in grado di mostrare alle imprese dove e come queste tecnologie possano generare valore. L'obiettivo è rendere visibili benefici misurabili e dimostrare, all'interno di specifiche filiere industriali, il loro potenziale competitivo. Le potenzialità, infatti, sono particolarmente rilevanti in molti dei settori che caratterizzano il sistema produttivo italiano. La meccanica di precisione, il manifatturiero ad alta specializzazione e molti distretti industriali italiani possono trarre beneficio dall'impiego di strumenti avanzati di simulazione e analisi,

supportati dall'intelligenza artificiale. In questi contesti il supercalcolo permette di progettare componenti più efficienti, testare virtualmente materiali e processi, prevedere guasti, ottimizzare i consumi energetici e ridurre i tempi di sviluppo.

Accanto al rafforzamento delle filiere esistenti, queste tecnologie possono favorire la nascita di nuovi comparti ad alta intensità di conoscenza. Ambiti come la cybersicurezza, i digital twin o lo sviluppo di soluzioni avanzate per la salute e il clima mostrano come la disponibilità di infrastrutture nazionali possa tradursi nella crescita di competenze specialistiche e di nuove opportunità imprenditoriali. Il Centro contribuisce così ad accrescere la capacità scientifica del Paese e, allo stesso tempo, a rendere più dinamico e competitivo il suo tessuto industriale.

In questa prospettiva si inserisce anche l'AI Factory europea del Tecnopolo di Bologna. L'infrastruttura, finanziata con circa 430 milioni di euro tra risorse europee e nazionali, avrà una missione complementare rispetto ai grandi supercomputer destinati prevalentemente alla ricerca scientifica e sarà orientata soprattutto al supporto delle imprese e allo sviluppo di applicazioni industriali dell'intelligenza artificiale. La sua collocazione a Bologna consolida il ruolo del Tecnopolo come nodo europeo capace di mettere in relazione ricerca, infrastrutture e servizi destinati al sistema produttivo.

Il progetto dell'AI Factory si colloca in un percorso già avviato con Leonardo e con la partizione Lisa, con l'obiettivo di mettere a disposizione una capacità computazionale adeguata a sostenere lo sviluppo dell'intelligenza artificiale e ad accelerarne l'applicazione in contesti di ricerca e industriali. Un ruolo strategico

sarà svolto anche da Gaia, la piattaforma cloud sviluppata dal Centro, che potrà ampliare l'accesso a queste risorse e renderle disponibili a una platea più ampia di utenti.

Per molte imprese e per numerosi enti pubblici, infatti, la possibilità di utilizzare servizi avanzati attraverso il cloud significa superare ostacoli che fino a oggi hanno limitato l'adozione di queste tecnologie. Se una piccola o media impresa può accedere a capacità computazionali di alto livello senza sostenere investimenti iniziali proibitivi, il rapporto tra innovazione e sistema produttivo cambia profondamente. La sfida sarà quindi trasformare l'infrastruttura nazionale in un ecosistema di servizi semplici da utilizzare e realmente accessibili, capace di accompagnare la diffusione dell'innovazione all'interno del tessuto economico italiano.

| Il Quantum Computing

Un'altra grande direttrice di sviluppo del Centro riguarda il quantum computing, un settore ancora in una fase di forte evoluzione tecnologica, nel quale non si è ancora affermata un'architettura dominante. Nessun sistema quantistico è oggi in grado di sostituire integralmente il calcolo tradizionale e le principali sfide riguardano l'affidabilità delle macchine e la loro capacità di crescere di scala, riducendo gli errori e aumentando il numero di qubit utilizzabili. In un contesto caratterizzato da un'elevata incertezza tecnologica, la scelta più razionale è investire contemporaneamente su più approcci, evitando di vincolarsi troppo presto a una singola soluzione.

È questa la strategia adottata dal Centro Nazionale HPC, che ha deciso di sviluppare

il settore lungo due direttrici complementari. Da una parte sono stati acquisiti computer quantistici industriali realizzati da aziende europee specializzate, come la finlandese IQM, basata su tecnologie superconduttive, e la francese Pasqal, che utilizza invece la piattaforma degli atomi neutri. Dall'altra, il progetto ha promosso la realizzazione di laboratori italiani dedicati alle principali tecnologie quantistiche, distribuiti tra Padova, Firenze, Roma e Napoli, con l'obiettivo di rafforzare le competenze nazionali e sostenere lo sviluppo di una filiera scientifica e industriale autonoma. In questo quadro si colloca anche l'inaugurazione proprio a Napoli, recentemente potenziato con un processore a 64 qubit, sviluppato interamente in Italia, che rappresenta uno dei primi risultati concreti di questa strategia di investimento e diversificazione tecnologica.

È probabile che, almeno nella fase iniziale, il quantum computing non si sviluppi come alternativa diretta ai supercomputer tradizionali, ma come componente di sistemi ibridi nei quali processori quantistici e infrastrutture HPC operano in modo complementare. A seconda del problema da affrontare, sarà possibile utilizzare di volta in volta l'architettura più efficiente, combinando capacità di calcolo classico, algoritmi di intelligenza artificiale e tecnologie quantistiche. Proprio questa integrazione tra HPC, IA e quantum computing rappresenta una delle frontiere più promettenti per la ricerca scientifica e per l'innovazione industriale.

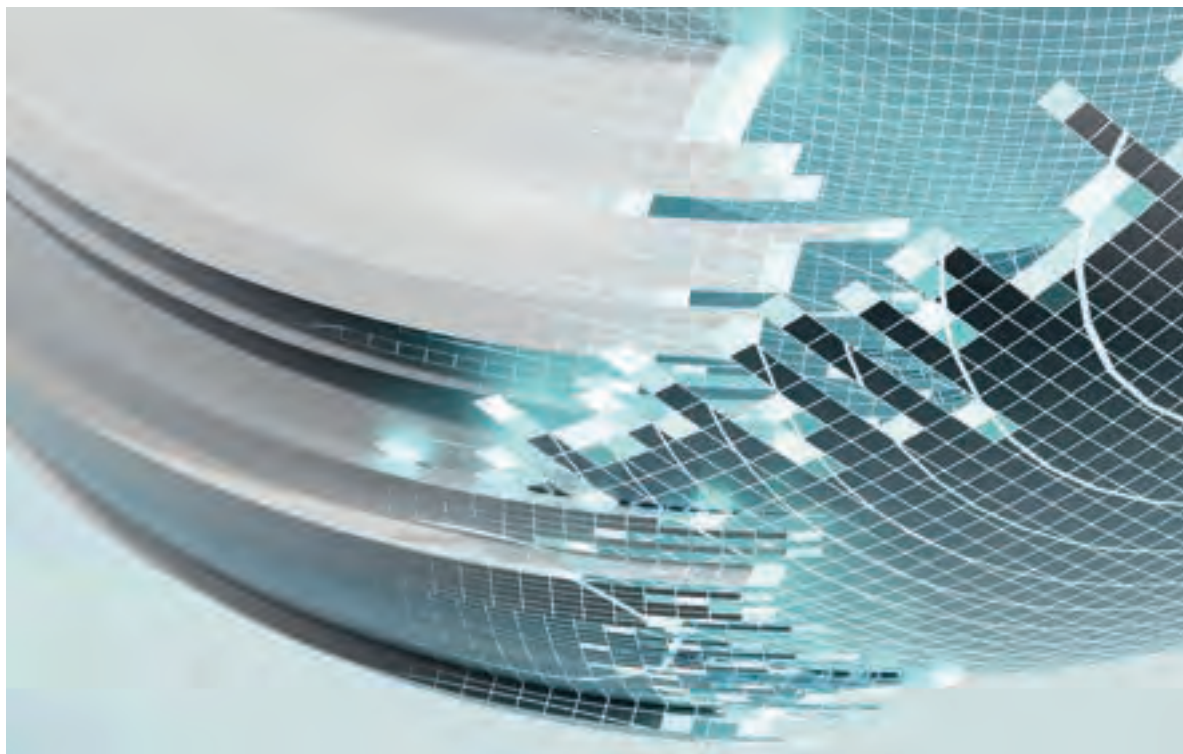
| La sfida della continuità

Insieme alle prospettive tecnologiche, emerge anche il tema della continuità del progetto oltre la conclusione del PNRR. Il Centro ha ricevuto circa 320 milioni

di euro di finanziamenti e ha già completato gli obiettivi previsti nella fase iniziale, rendicontando integralmente le risorse disponibili. Il passaggio che si apre ora è diverso: non riguarda più la costruzione dell'infrastruttura, ma la sua evoluzione nel tempo. Come accade per tutte le grandi piattaforme scientifiche e tecnologiche, la sfida consiste nel mantenerne la competitività, aggiornarne costantemente le capacità e creare le condizioni perché le competenze sviluppate possano consolidarsi e crescere. La continuità del progetto dipenderà dalla capacità di combinare strumenti diversi di sostegno e valorizzazione. Ai finanziamenti del PNRR si sono affiancate risorse nazionali ed europee, mentre ulteriori strumenti di supporto potranno derivare dal contributo dei soci della fondazio-

ne e dalla progressiva valorizzazione dei servizi offerti dall'infrastruttura. Più che individuare un singolo modello di finanziamento, si tratta quindi di costruire un equilibrio capace di accompagnare nel tempo lo sviluppo del Centro. La sostenibilità, tuttavia, non può essere ridotta a una questione esclusivamente economica. Piattaforme di questa scala costituiscono infrastrutture strategiche e richiedono una visione di lungo periodo, analoga a quella che sostiene altre grandi reti nazionali ed europee. Il loro impatto si riflette nella capacità di alimentare processi di innovazione e di preservare la competitività tecnologica del Paese.

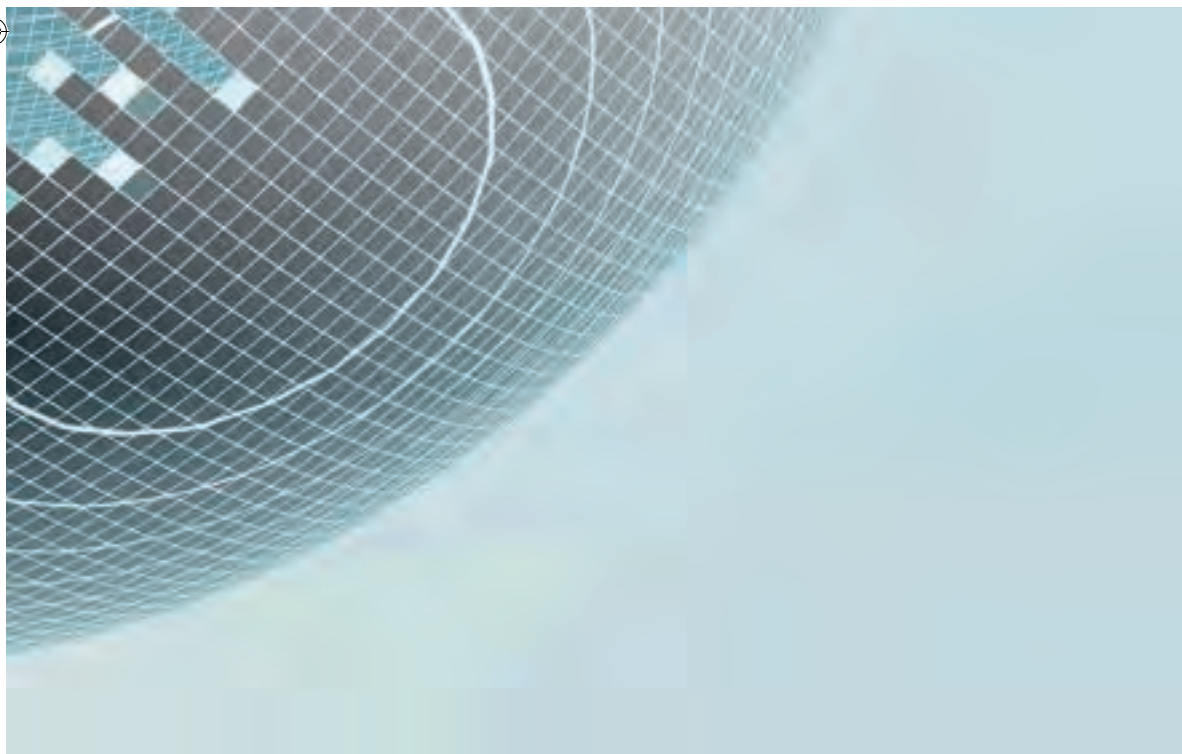
La posta in gioco, del resto, supera ampiamente la dimensione della singola infrastruttura. Supercalcolo, intelligenza



artificiale e tecnologie quantistiche stanno ridefinendo gli equilibri della competizione globale, mentre la gestione dei dati ne rappresenta una componente essenziale. Gli Stati Uniti e la Cina dispongono di grandi piattaforme tecnologiche sostenute da investimenti di enorme portata e da ecosistemi particolarmente attrattivi. In questo scenario, l'Europa potrà mantenere un ruolo competitivo solo continuando a investire nelle proprie capacità scientifiche e tecnologiche, così da evitare una dipendenza crescente da soluzioni sviluppate altrove. Anche i dati sono diventati una risorsa strategica. L'Europa ne produce quantità enormi: alimentano la ricerca, sostengono i servizi pubblici e accompagnano le attività economiche quotidiane. Il loro valore dipende però dalla possibilità di elaborar-

li attraverso strumenti sviluppati e governati all'interno del contesto europeo. Senza capacità autonome nel supercalcolo e nell'intelligenza artificiale, la disponibilità di grandi quantità di dati rischia di tradursi in una crescente dipendenza dalle piattaforme tecnologiche esterne.

La sfida dei prossimi anni sarà duplice: ampliare l'accesso a queste tecnologie, in particolare per le piccole e medie imprese, e contribuire alla costruzione di una sovranità tecnologica europea fondata sulla capacità di innovare e competere su scala globale. In questo scenario il Centro Nazionale può svolgere un ruolo decisivo, trasformando la capacità scientifica e infrastrutturale accumulata in un fattore stabile di innovazione e competitività per il Paese.



Una storia di visione e costruzione per la sovranità tecnologica del Paese

di Francesco Ubertini

Francesco Ubertini è Presidente di CINECA, Presidente di IFAB e Vicepresidente di Fondazione ICSC. È inoltre Professore ordinario di Ingegneria civile all'Università di Bologna, di cui è stato anche Rettore.

Negli ultimi anni il supercalcolo, la gestione avanzata dei dati e le tecnologie quantistiche hanno progressivamente smesso di essere strumenti confinati agli ambiti specialistici della ricerca per assumere un ruolo centrale nelle strategie di sviluppo economico e nelle dinamiche della competizione internazionale. La possibilità di elaborare enormi quantità di dati, simulare fenomeni complessi e affrontare problemi caratterizzati da un elevato grado di incertezza costituisce oggi una risorsa determinante per la capacità di innovare di imprese e sistemi produttivi e, più in generale, per il posizionamento scientifico e tecnologico dei Paesi.

Dalla salute all'energia, dalla manifattura alla tutela dell'ambiente, fino ai temi della sicurezza, il ricorso a infrastrutture computazionali avanzate sta modificando il modo in cui si produce conoscenza, si progettano soluzioni e si assumono decisioni. In questo scenario, la disponibilità di capacità auto-

nome nel supercalcolo e nella gestione dei dati riguarda tanto l'efficienza dei sistemi di ricerca quanto il tema della sovranità tecnologica e della possibilità di governare trasformazioni destinate a incidere sugli equilibri economici e geopolitici dei prossimi decenni.

Per l'Italia, rafforzare la propria presenza in questi ambiti significa ridurre le dipendenze tecnologiche, valorizzare il patrimonio di competenze scientifiche e industriali costruito nel tempo e creare le condizioni per partecipare da protagonista alle grandi trasformazioni in corso. Il potenziamento delle infrastrutture di supercalcolo e delle capacità di gestione e valorizzazione dei dati rappresenta, in questa prospettiva, una scelta strategica che riguarda al tempo stesso la competitività del Paese e il contributo che l'Europa può offrire allo sviluppo di un ecosistema digitale fondato sull'autonomia, la cooperazione e la responsabilità.

Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), promosso nel 2021 dal Governo guidato da Mario Draghi, ha riconosciuto esplicitamente il carattere strategico del digitale e del supercalcolo, prevedendo investimenti significativi nella costruzione

di ecosistemi dell'innovazione e di infrastrutture avanzate. È in questo contesto che si inserisce l'ICSC – Centro Nazionale di Ricerca in High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing con l'obiettivo di rafforzare le capacità tecnologiche del Paese, sostenere la ricerca di frontiera e favorire lo sviluppo di applicazioni innovative in grado di generare valore economico e sociale.

Un'infrastruttura per l'innovazione

Il Centro Nazionale ICSC nasce nel 2022 grazie a un finanziamento iniziale di 320 milioni di euro da parte del Ministero dell'Università e della Ricerca con un triplice obiettivo: creare e gestire un'infrastruttura di calcolo distribuita e integrata a livello nazionale; rafforzare la



collaborazione interdisciplinare tra i diversi attori del mondo scientifico e industriale, favorendo l'adozione e l'integrazione di tecnologie avanzate nei settori strategici; posizionarsi come piattaforma nazionale e internazionale a supporto di iniziative scientifiche e industriali. L'ambizione è trasformare l'investimento straordinario del PNRR in un ecosistema permanente al servizio della ricerca, delle imprese e della pubblica amministrazione.

ICSC riunisce 51 membri provenienti da università, enti e organismi di ricerca pubblici e privati e aziende distribuiti sull'intero territorio nazionale. È organizzato secondo una struttura di tipo Hub & Spoke, con l'Hub centrale – la Fondazione ICSC – che svolge la funzione di nodo di coordinamento strategico e operativo e undici Spoke tematici che sviluppano attività di ricerca e innovazione in aree scientifiche e tecnologiche considerate strategiche per il Paese.

Lo Spoke 0 è dedicato all'infrastruttura cloud di supercalcolo e svolge un ruolo trasversale e abilitante, supportando tutte le altre attività attraverso l'accesso alle risorse di calcolo, allo storage e ai servizi digitali necessari per condurre ricerche e sviluppare soluzioni su larga scala. Lo Spoke 1 e lo Spoke 10 sono dedicati allo sviluppo delle tecnologie del futuro. Il primo si concentra sull'evoluzione delle architetture di supercalcolo e dei sistemi per la gestione dei Big Data; il secondo sullo sviluppo delle componenti hardware e software del calcolo quantistico, con l'obiettivo di rendere accessibili queste tecnologie emergenti anche in contesti applicativi concreti.

Gli altri otto Spoke sono dedicati allo sviluppo di strumenti software e modelli computazionali avanzati nei diversi ambiti applicativi verticali. In ciascuno di

questi settori, il Centro promuove una forte integrazione tra ricerca scientifica, sviluppo tecnologico e applicazioni, stimolando la creazione di soluzioni ad alto impatto attraverso la collaborazione tra mondo accademico e imprese, con il fine di generare valore per il sistema produttivo e la società.

A questa articolazione si affianca il Gruppo di Ricerca Trasversale Societal Implications and Impact (SII), composto da esperti di profilo internazionale con il compito di accompagnare le attività del Centro nella valutazione delle implicazioni sociali delle tecnologie sviluppate e di garantirne la coerenza con i principi europei in materia di dati, intelligenza artificiale e innovazione responsabile. In un contesto in cui la trasformazione tecnologica solleva questioni sempre più rilevanti sul piano etico e sociale, questa attenzione costituisce uno degli elementi distintivi dell'esperienza di ICSC e contribuisce a orientare lo sviluppo delle tecnologie verso criteri di equità, tutela dei diritti fondamentali, sostenibilità, sicurezza e sovranità digitale.

Costruire la piattaforma nazionale del calcolo avanzato

Nei primi anni di attività, il Centro Nazionale ha avviato la realizzazione di un'infrastruttura di calcolo distribuita ad alte prestazioni, federata a livello nazionale e progettata per sostenere la ricerca scientifica, l'innovazione industriale e lo sviluppo tecnologico del Paese. Più che creare *ex novo* singole infrastrutture, la sfida è consistita nel mettere a sistema risorse, competenze e servizi già presenti sul territorio nazionale, rafforzandone l'integrazione e ampliandone le potenzialità. Uno degli elementi centrali di questa in-

fraseologia è rappresentato da Leonardo, il supercomputer progettato e gestito da CINECA al Tecnopolo di Bologna. La sua entrata in funzione ha segnato un passaggio importante nella capacità del Paese di disporre di risorse computazionali di livello internazionale, a supporto sia della ricerca di frontiera sia dello sviluppo di applicazioni innovative nei settori produttivi. Negli ultimi anni il sistema è stato ulteriormente potenziato attraverso l'integrazione di LISA (Leonardo Integrated Supercomputing Architecture), una nuova architettura modulare e scalabile progettata per supportare applicazioni ad elevata intensità computazionale, dall'intelligenza artificiale ai gemelli digitali fino alle simulazioni multifisiche.

Accanto a Leonardo, il Centro ha contribuito al potenziamento delle infrastrutture dedicate alla gestione dei dati, favorendo una maggiore integrazione tra capacità di calcolo, archiviazione e trasmissione delle informazioni. Un passaggio strategico in questa direzione è avvenuto con il trasferimento all'interno del DAMA (Data Manifattura Emilia-Romagna), il polo che ospita alcune delle principali infrastrutture digitali del Tecnopolo di Bologna, del Tier-1 dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), uno dei principali nodi della Worldwide LHC Computing Grid (WLCG). Questa scelta ha consentito di concentrare in un'unica sede alcune delle più avanzate risorse di calcolo del Paese, rafforzando l'integrazione tra le infrastrutture, semplificando la connettività tra i sistemi e migliorando l'efficienza operativa complessiva. Si tratta di un esempio concreto della logica di federazione che ha guidato la costruzione del Centro. Il rafforzamento della connettività nazionale attraverso la rete GARR-T ha inoltre contribuito a sostenere l'interoperabilità delle infrastrutture e il

loro collegamento con le principali reti europee della ricerca, rendendo possibile una più efficace circolazione di dati, servizi e competenze all'interno dell'ecosistema nazionale ed europeo.

In questo quadro si inserisce anche Megaride, il data center ad alte prestazioni ospitato presso la sede CINECA di Napoli all'interno dell'Università Federico II di Napoli, che amplia la disponibilità di risorse nazionali, contribuisce a rafforzare la distribuzione territoriale delle capacità computazionali, ed è stato progettato per supportare sia la ricerca scientifica sia le attività legate alla cybersicurezza nazionale. L'obiettivo non è soltanto aumentare la potenza di calcolo disponibile, ma rendere più semplice ed efficace l'accesso alle risorse da parte della comunità scientifica, delle imprese e della pubblica amministrazione.

Particolare attenzione è stata dedicata anche alle tecnologie emergenti. Il rafforzamento delle competenze nazionali nel campo del Quantum Computing e la creazione di una rete distribuita di piattaforme sperimentali testimoniano la volontà di investire in ambiti caratterizzati da elevata incertezza tecnologica, ma destinati a incidere profondamente sulle traiettorie future della ricerca e dell'innovazione.

Fra gli elementi distintivi dell'esperienza ICSC vi è inoltre la costruzione di una rete nazionale di Living Lab, ambienti collaborativi nei quali università, enti di ricerca, imprese e amministrazioni pubbliche possono co-progettare, sperimentare e validare soluzioni innovative in contesti reali. Spazi che rappresentano luoghi di incontro tra la produzione della conoscenza e i bisogni concreti, contribuendo a ridurre la distanza tra sviluppo tecnologico e applicazione.



A poco più di tre anni dall'avvio delle attività, ICSC ha già conseguito risultati significativi: ha prodotto oltre 3.700 pubblicazioni scientifiche, sostenuto numerosi progetti di innovazione in collaborazione con il sistema produttivo e promosso iniziative formative rivolte a ricercatori, professionisti e pubbliche amministrazioni. Al di là dei singoli indicatori, questi risultati mostrano come un investimento straordinario abbia già generato competenze, reti di collaborazione e capacità organizzative che vanno oltre l'orizzonte temporale del PNRR, ponendo le basi per risultati destinati a consolidarsi nel tempo.

Dalla ricerca alle soluzioni per il Paese

Se la costruzione di un'infrastruttura nazionale di supercalcolo ha rappresentato il presupposto tecnologico dell'iniziativa, la sua reale misura risiede nella capacità di tradurre risorse, competenze e conoscenze in applicazioni utili per la società. È su questo terreno che si misura il valore aggiunto del Centro Nazionale ICSC.

Un primo ambito riguarda il territorio, l'ambiente e la transizione energetica. Attraverso l'integrazione di dati provenienti da sensori, osservazioni satellitari, modelli climatici e algoritmi di intelligenza artificiale, sono stati sviluppati gemelli digitali dinamici di città, reti energetiche, edifici e infrastrutture critiche. Questi strumenti consentono di simulare scenari complessi, prevedere e mitigare rischi quali alluvioni, incendi ed eventi climatici estremi, monitorare in tempo reale lo stato delle infrastrutture e supportare decisioni più tempestive ed efficaci. In prospettiva, essi potranno contribuire a rendere i territori più resilienti e a ottimizzare l'uso delle risorse energetiche e ambientali.

Un secondo ambito riguarda la salute e i servizi ad alta intensità di dati. Il supercalcolo e l'intelligenza artificiale stanno rendendo possibile l'analisi integrata di dati clinici, genomici e istopatologici, aprendo nuove prospettive per diagnosi più tempestive e per lo sviluppo di percorsi terapeutici personalizzati. Parallelamente, l'adozione di approcci di federated learning permette a soggetti diversi – come ospedali, istituzioni finanziarie e operatori assicurativi – di collaborare nell'addestramento di modelli avanzati senza condividere dati sensibili, conciliando innovazione, sicurezza e tutela della privacy.

Infine, le applicazioni sviluppate nell'ambito del supercalcolo e delle tecnologie quantistiche stanno trovando impiego in settori quali la manifattura avanzata, la logistica, la chimica computazionale e l'ottimizzazione di sistemi complessi. La possibilità di simulare materiali, accelerare processi di progettazione e sperimentare nuovi algoritmi apre prospettive significative per la competitività delle imprese e contribuisce a preparare il Paese alle opportunità della futura economia quantistica.

Nel loro insieme, queste esperienze mostrano come tecnologie sviluppate per la ricerca di frontiera possano progressivamente tradursi in strumenti operativi al servizio delle imprese, della pubblica amministrazione e dei cittadini.

Oltre il PNRR: la sfida della sostenibilità

Guardando al futuro, ICSC mira a consolidare e ampliare ulteriormente la propria infrastruttura digitale, estendendo i servizi su scala nazionale e rafforzando le capacità di calcolo e gestione dei dati. Tra le priorità strategiche rientrano l'espansione

della rete dei Living Lab, la diffusione dell'accesso alle infrastrutture da parte della comunità scientifica e del sistema produttivo e il rafforzamento delle attività di formazione e sviluppo delle competenze necessarie ad affrontare le sfide tecnologiche emergenti. Fondamentale, in questa direzione, è l'intensificazione della collaborazione tra ricerca, settore pubblico e imprese, per favorire il trasferimento dell'innovazione e generare impatti duraturi.

La principale sfida riguarda tuttavia la capacità di dare continuità all'esperienza avviata dal PNRR. Come per tutti i grandi programmi straordinari di investimento, il vero banco di prova non coincide con la fase di realizzazione delle attività previste, ma con la possibilità di trasformare risultati, infrastrutture e reti di collaborazione in patrimonio stabile del Paese. In questo senso, parallelamente alle misure istituzionali attivate a livello governativo per garantire continuità ai Poli di Innovazione, il Centro ha avviato un proprio percorso di consolidamento strategico, fondato sul rafforzamento delle collaborazioni nazionali e internazionali, sulla partecipazione a programmi competitivi e sulla capacità di attrarre nuove opportunità di finanziamento e cooperazione scientifica.

In questa prospettiva assume particolare rilievo il riconoscimento del Centro quale Nodo Nazionale della European Open Science Cloud (EOSC) Federation, che testimonia come l'investimento avviato con il PNRR abbia già prodotto forme di consolidamento e riconoscimento destinate a proiettarsi oltre la durata del programma e segnala la capacità di trasformare risorse straordinarie in capacità durature e relazioni istituzionali capaci di consolidarsi nel tempo.

In ambito nazionale, il dialogo con gli altri Centri Nazionali, gli Ecosistemi dell'Innovazione e i partenariati estesi hanno favorito la costruzione di alleanze che rappresentano un valore aggiunto per il sistema della ricerca e dello sviluppo tecnologico italiano. Un esempio significativo è rappresentato dal progetto INARC, attraverso il quale la rete dei cinque Centri Nazionali italiani ha partecipato congiuntamente all'Expo di Osaka 2025, presentando un'immagine coordinata delle competenze scientifiche e tecnologiche del Paese e promuovendo un approccio integrato allo sviluppo di soluzioni innovative e sostenibili. Insieme alle collaborazioni nazionali, il Centro ha avviato rapporti con partner internazionali e organismi multilaterali, promuovendo iniziative congiunte, programmi di scambio e nuove opportunità di cooperazione scientifica. Queste reti contribuiscono ad ampliare la circolazione delle conoscenze e costituiscono una delle condizioni essenziali per la sostenibilità futura dell'iniziativa.

A pochi anni dalla sua nascita, ICSC ha dimostrato come un investimento straordinario possa tradursi nella costruzione di capacità diffuse, competenze condivise e nuove forme di collaborazione tra ricerca, industria e istituzioni. La sfida dei prossimi anni sarà consolidare questo patrimonio collettivo, garantendone continuità e capacità di adattamento in un contesto tecnologico in rapida evoluzione.

L'Italia nella strategia europea del supercalcolo

L'esperienza di ICSC si colloca all'interno del più ampio processo attraverso il quale l'Europa sta cercando di rafforzare la propria autonomia tecnologica nei settori del supercalcolo, della gestione dei dati





e dell'intelligenza artificiale. In questo contesto, il Centro rappresenta uno degli strumenti attraverso cui l'Italia contribuisce alla costruzione di uno spazio europeo della conoscenza fondato sulla cooperazione scientifica e sulla condivisione di infrastrutture strategiche.

La partecipazione alle iniziative promosse in ambito europeo ha consentito di inserire le competenze sviluppate dal Centro all'interno di reti di collaborazione più ampie, favorendo la circolazione di conoscenze, persone e pratiche organizzative. In particolare, il ruolo svolto nell'ambito della già citata Federazione EOSC testimonia l'impegno verso modelli di ricerca aperti e interoperabili, orientati a rendere dati e servizi sempre più accessibili e riutilizzabili dalla comunità scientifica.

Le infrastrutture e le competenze sviluppate grazie all'investimento del PNRR hanno inoltre costituito una delle condizioni che hanno consentito all'Italia di partecipare alle iniziative europee dedicate all'intelligenza artificiale. In questo senso, l'esperienza di ICSC mostra come investimenti nazionali mirati possano generare effetti di leva che si estendono ben oltre il perimetro originario dei programmi che li hanno resi possibili.

La dimensione europea non riguarda però soltanto l'accesso a programmi e finanziamenti, ma richiama una questione più generale accennata in apertura: la capacità del continente di mantenere un ruolo autonomo nella produzione e nell'utilizzo delle tecnologie che stanno



ridefinendo gli equilibri economici e geopolitici globali. In questo scenario, la disponibilità di infrastrutture avanzate, competenze diffuse e istituzioni capaci di coordinarne lo sviluppo costituisce una condizione essenziale per ridurre forme di dipendenza tecnologica che potrebbero limitare l'autonomia europea nell'orientare il proprio sviluppo. Partecipare a questo progetto, per l'Italia, significa dunque valorizzare il patrimonio di competenze e infrastrutture costruito nel tempo e contribuire alla definizione di una visione europea dell'innovazione fondata sulla collaborazione, sull'apertura e sulla responsabilità nell'uso delle tecnologie, ma significa anche investire nella formazione di una nuova generazione di competenze fondamentali per operare all'interno

delle infrastrutture digitali europee. Il contributo di ICSC assume così un significato che supera la dimensione del singolo programma: rafforza il ruolo del Paese nella costruzione delle future infrastrutture della conoscenza.

L'aspetto più significativo dell'esperienza di ICSC riguarda forse la formazione di una comunità nazionale che ha imparato a condividere infrastrutture, competenze e responsabilità attorno a obiettivi comuni. In un contesto nel quale la capacità di produrre, utilizzare e governare la conoscenza costituisce una componente essenziale dell'autonomia strategica, questa rete di relazioni e competenze rappresenta uno dei risultati più rilevanti e, al tempo stesso, una delle condizioni per affrontare le sfide all'orizzonte.

Il PNRR e il modello “dalla ricerca all’impresa”

di Anna Maria Bernini

Anna Maria Bernini è Ministro dell’Università e della Ricerca.

Il rapporto tra ricerca, innovazione e competitività costituisce oggi uno dei principali fattori attraverso cui si misura la capacità di un Paese di generare sviluppo, autonomia tecnologica e coesione sociale. La transizione digitale, l’intelligenza artificiale, il supercalcolo, le tecnologie quantistiche, la salute, l’energia e la mobilità sostenibile non rappresentano soltanto ambiti scientifici di frontiera, ma sono ormai infrastrutture essenziali della crescita economica e della qualità del lavoro dei prossimi anni. In questo scenario, la ricerca non può essere considerata un settore separato dal sistema produttivo, così come l’impresa non può essere vista solo come destinataria finale dell’innovazione. La competitività richiede, piuttosto, una relazione stabile tra produzione della conoscenza, applicazioni industriali, competenze, infrastrutture e territori.

Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza ha offerto all’Italia l’occasione per intervenire su uno dei nodi strutturali del proprio modello di sviluppo: il rafforzamento del rapporto tra ricerca

e impresa. Attraverso le misure dedicate alla ricerca e all’innovazione, il Ministero dell’Università e della Ricerca ha promosso un cambio di paradigma, orientando l’azione pubblica non solo al finanziamento di singoli progetti, ma alla costruzione di condizioni sistemiche capaci di consolidare la collaborazione tra università, enti pubblici di ricerca, imprese e istituzioni territoriali. In questa prospettiva, il PNRR è stato utilizzato come leva per rafforzare le sinergie tra ecosistema della ricerca e sistema produttivo, anche in risposta al disallineamento tra competenze formate e competenze richieste dal mercato del lavoro.

Il cuore di questa nuova architettura è rappresentato dai 5 Centri Nazionali, dai 14 Partenariati Estesi e dagli 11 Ecosistemi dell’Innovazione. Queste 30 iniziative, con investimenti complessivi superiori a 4,5 miliardi di euro, hanno costituito il punto di avvio di un’agenda strategica nazionale sulle tecnologie a maggiore impatto per la competitività del Paese e per l’autonomia strategica europea: digitale e intelligenza artificiale, salute, neuroscienze e neurofarmacologia, energia, mobilità sostenibile e tecnologie quantistiche.

Non si è trattato di una semplice sommatoria di interventi settoriali, ma di una infrastruttura istituzionale e operativa attraverso cui connettere ricerca di base, ricerca applicata, trasferimento tecnologico, alta formazione e sviluppo industriale.

In questo processo, il MUR ha svolto un ruolo di soggetto abilitante, orientando le risorse verso modelli collaborativi capaci di coprire l'intera catena del

valore della ricerca e dell'innovazione. Le misure attivate hanno riguardato il potenziamento delle infrastrutture, la valorizzazione dei risultati scientifici, il sostegno alla nascita e allo sviluppo di startup e spinoff, nonché la promozione di servizi di incubazione e strumenti di venture capital. A tali interventi si affiancano 33 infrastrutture di ricerca e 16 infrastrutture dell'innovazione, pensate per rafforzare laboratori, servizi digitali e partnership pubblico-private.



L'obiettivo è stato rendere più sistematico l'utilizzo dei risultati della ricerca da parte del tessuto produttivo e accrescere la capacità del sistema della conoscenza di generare impatto economico, occupazionale e sociale.

Gli ecosistemi dell'innovazione rappresentano, in questo quadro, il dispositivo attraverso cui la collaborazione tra ricerca e impresa diventa strutturale. Essi non sono soltanto reti amministrative o partenariati temporanei, ma ambienti nei quali attori diversi condividono linguaggi, obiettivi, infrastrutture e traiettorie di sviluppo. La loro funzione è quella di creare connessioni stabili tra soggetti pubblici e privati, favorendo una maggiore integrazione tra ricerca fondamentale, ricerca applicata e innovazione industriale. Il valore di tali ecosistemi risiede, dunque, nella capacità di trasformare competenze distribuite

in sovranità strategica nazionale e di orientare le attività scientifiche verso risultati in grado di incidere sulla competitività del sistema produttivo.

L'esperienza del Centro Nazionale ICSC in High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing è indicativa di questa evoluzione. Il Centro nasce in una fase di forte accelerazione della competizione tecnologica internazionale, nella quale supercalcolo, intelligenza artificiale e gestione avanzata dei dati sono divenuti elementi decisivi per il posizionamento dei Paesi. L'Italia disponeva già di competenze e infrastrutture di eccellenza, ma tali risorse erano distribuite tra soggetti diversi. Il progetto ha risposto all'esigenza di metterle a sistema attraverso una regia unitaria, integrando attori come CINECA, INFN e GARR con università, enti di ricerca e imprese in una strategia comune.



Il caso ICSC mostra come il PNRR abbia favorito la costruzione di una massa critica nazionale, rendendo più leggibile e competitivo il posizionamento italiano nel contesto europeo. Infrastrutture come Leonardo, la partizione Lisa dedicata all'intelligenza artificiale e la piattaforma cloud Gaia non rappresentano soltanto asset tecnologici, ma strumenti abilitanti per rendere più flessibile ed efficiente l'accesso alle capacità computazionali distribuite sul territorio. La dimensione infrastrutturale assume così un valore strategico, perché modifica il rapporto tra produzione della conoscenza e innovazione industriale, rendendo il supercalcolo una piattaforma trasversale per medicina, materiali avanzati, clima, space economy, smart city, manifattura, mobilità, agricoltura di precisione e cybersicurezza.

La collaborazione pubblico-privato assume, in tale prospettiva, un signi-

ficato più profondo rispetto alla tradizionale idea di trasferimento tecnologico. Non si tratta soltanto di trasferire risultati maturi dalla ricerca all'impresa, ma di costruire percorsi congiunti nei quali la ricerca pubblica esplora tecnologie ancora immature e ad alto rischio, mentre le imprese contribuiscono a orientare lo sviluppo verso applicazioni concrete e processi di industrializzazione. È in questa integrazione che si supera una criticità storica del sistema italiano: la difficoltà di trasformare i risultati della ricerca fondamentale in tecnologie, servizi e prodotti capaci di generare valore economico e competitività industriale.

Il modello "dalla ricerca all'impresa" assume quindi una configurazione più ampia e matura. Esso non coincide con una sequenza lineare in cui la conoscenza viene prodotta nei laboratori e poi trasferita al mercato.



È piuttosto un processo circolare, nel quale ricerca fondamentale, competenze tecnologiche, infrastrutture, fabbisogni industriali, formazione continua e territori interagiscono in modo dinamico. Le imprese non sono soltanto utilizzatrici finali dell'innovazione, ma partecipano alla definizione di programmi di ricerca coerenti con le priorità strategiche del Paese. Università ed enti di ricerca, al tempo stesso, preservano la qualità scientifica della propria missione, operando però in un contesto maggiormente orientato all'impatto e alla valorizzazione della conoscenza.

Questa trasformazione è strettamente connessa al tema delle competenze. Il disallineamento tra offerta formativa e domanda del mercato del lavoro non può essere affrontato soltanto attraverso l'aggiornamento dei curricula, ma richiede una più intensa contaminazione tra università, ricerca, imprese e istituzioni territoriali. I Centri Nazionali e gli Ecosistemi dell'Innovazione hanno contribuito a creare ambienti nei quali i giovani possano entrare in contatto con il tessuto produttivo e nei quali la formazione possa essere orientata verso competenze flessibili, adattabili e multidisciplinari. In questo senso, la collaborazione con le imprese diventa essenziale per progettare percorsi di formazione continua coerenti con l'evoluzione delle tecnologie e dei mercati.

Il tema delle competenze si collega direttamente alla capacità di anticipare le traiettorie tecnologiche. Il MUR è impegnato sui principali dossier europei, dal nucleare sostenibile ai semiconduttori, dalla microelettronica all'intelligenza artificiale, dalle biotecnologie alla farmaceutica e alle tecnologie quantistiche. Tali ambiti richiedono talenti,

infrastrutture e una programmazione capace di superare la dimensione episodica del finanziamento. Le tecnologie emergenti rappresentano infatti, allo stesso tempo, un terreno di competizione internazionale e un motore di attrattività per studenti, ricercatori e imprese. Il rafforzamento degli ecosistemi consente di offrire alle competenze un ambiente nel quale svilupparsi, circolare e trasformarsi in innovazione.

L'eredità più rilevante del PNRR consiste, dunque, nell'avvio di un modello di politica della ricerca orientato all'impatto sistemico. Il passaggio dalla ricerca all'impresa non può essere ridotto a un meccanismo finale di trasferimento, ma va inteso come costruzione di ecosistemi nei quali conoscenza, competenze, infrastrutture e domanda di innovazione si alimentano reciprocamente. Il MUR ha utilizzato il PNRR per rendere più stabile questa connessione, promuovendo architetture collaborative capaci di rafforzare la competitività del sistema Paese e di rendere la ricerca una leva effettiva di sviluppo.

La prospettiva aperta dal Piano indica una direzione chiara: l'innovazione non nasce più soltanto dall'eccellenza dei singoli attori, ma dalla qualità delle connessioni che il sistema è in grado di costruire. È nella capacità di mettere a sistema ricerca, impresa, infrastrutture e competenze che si gioca il futuro del modello italiano "dalla ricerca all'impresa". Consolidare questa eredità significa trasformare gli investimenti del PNRR in un patrimonio permanente di relazioni, competenze e capacità collaborative, al servizio della crescita, della competitività e dell'autonomia tecnologica del Paese.



Il supercalcolo e l'eredità strategica del PNRR

Intervista a Fabrizio Cobis

a cura di Pandora Rivista

Fabrizio Cobis è Dirigente della Direzione generale della ricerca per la programmazione dei finanziamenti e per l'innovazione del Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR).

Il Centro Nazionale ICSC rappresenta uno degli investimenti più rilevanti del PNRR nel campo delle infrastrutture di ricerca, insieme agli altri Centri Nazionali che hanno preso forma in questi anni. Quali valutazioni strategiche hanno portato il Ministero a considerare il supercalcolo una priorità nazionale e quale ruolo immaginate che questo Centro avrebbe avuto nello sviluppo scientifico, tecnologico e industriale del Paese?

Cobis: Quando è stata avviata l'attuazione della Missione 4, Componente 2 del PNRR, dedicata a ricerca e innovazione, uno dei primi atti concreti è stata la pubblicazione dell'avviso per la costituzione di cinque grandi Centri Nazionali, dedicati ad altrettanti ambiti tecnologici che il Governo e il Ministro dell'epoca considerarono, a mio avviso anche con una certa lungimiranza, particolarmente strategici per lo sviluppo competitivo non solo del sistema della ricerca, ma dell'intero Paese. Era chiaro che, come stava già avvenendo in molte altre parti

del mondo, anche l'Italia dovesse dotarsi di infrastrutture tecnologiche di altissimo livello per l'elaborazione di enormi quantità di dati, utili alle più diverse applicazioni. Si trattava del tentativo di mettere il Paese al passo, e forse anche leggermente più avanti, rispetto a quanto stava emergendo nel resto del mondo. È proprio questo, credo, a dimostrare la lungimiranza di quella scelta. Oggi, infatti, l'Italia dispone non solo del supercomputer Leonardo, ospitato nel Tecnopolo di Bologna, ma anche delle sue evoluzioni più recenti, come Lisa, oltre a numerose altre iniziative distribuite sul territorio nazionale. Ormai è evidente che lo sviluppo economico di un Paese passa anche attraverso la capacità di gestire i dati. Più dati si riescono a elaborare, e più rapidamente lo si fa, maggiori sono i benefici nei più diversi settori: dalla salute ai beni culturali, dai trasporti fino a molti altri ambiti. Grazie al PNRR e, in particolare, a questo intervento, oggi l'Italia dispone di una capacità che pochi anni fa non aveva.

Il Centro Nazionale ICSC non è stato soltanto un progetto infrastrutturale ma anche un grande programma di ricerca e innovazione. Non lo dico per magnificare l'intervento del Ministero: è un dato di

fatto che ci viene riconosciuto a diversi livelli. Si tratta di uno degli esempi più evidenti di un investimento del PNRR che ha raggiunto pienamente i propri obiettivi e che lascia al Paese un'eredità significativa, fatta di competenze e infrastrutture che prima non esistevano. Basta visitare i luoghi che ospitano queste infrastrutture per rendersi conto della loro capacità di cambiare profondamente le possibilità e le ambizioni della ricerca e dell'innovazione nel nostro Paese.

Quando questo progetto è nato, né l'utilizzo dell'intelligenza artificiale né la sua diffusione erano così estesi come oggi. Nel frattempo, sono emersi temi come la sovranità digitale europea e la competizione internazionale sulle infrastrutture di calcolo, che hanno assunto un'importanza crescente rispetto al momento in cui è stata avviata questa progettualità. Alla luce di queste trasformazioni del contesto tecnologico, quale bilancio si può fare del lavoro svolto e del valore strategico di questo investimento?



Cobis: Il bilancio va fatto su più piani e da più punti di vista. Il primo è sicuramente quello qualitativo. Si tratta di un investimento di 320 milioni di euro che ha prodotto risultati di grande valore, sia sul piano scientifico sia su quello della disponibilità infrastrutturale. È un dato che è stato progressivamente confermato anche dal lavoro di valutazione affidato a revisori internazionali indipendenti, che hanno avuto il compito di monitorare il progetto durante tutto il suo sviluppo, accompagnandolo, stimolandone eventuali riorientamenti e mantenendolo su standard qualitativi elevati. Da questo punto di vista, il bilancio è senza dubbio estremamente positivo. C'è poi un secondo piano, che riguarda il governo del programma. Stiamo parlando di un'iniziativa articolata, che comprendeva ricerca fondamentale, ricerca industriale, formazione e infrastrutture, coinvolgendo circa 50 soggetti tra università, enti di ricerca e imprese, grandi e piccole, pubbliche e private, ai quali si sono aggiunti numerosi altri partecipanti attraverso i bandi a cascata. Era una sfida organizzativa di grande rilievo che necessitava della costruzione di un'agenda di lavoro comune per coordinare tutti questi soggetti e metterli nelle condizioni di lavorare insieme in modo efficace. Tutto questo in tempi estremamente ridotti: il bando è stato pubblicato nel dicembre 2021, le attività sono partite subito dopo l'estate del 2022 e si sono concluse il 30 giugno 2026. Anche dal punto di vista amministrativo, della rendicontazione e del piano gestionale, il bilancio è molto positivo. Il Centro Nazionale, così come tutti gli altri programmi della Missione 4, Componente 2 – parliamo complessivamente di circa 30 programmi, tra Centri Nazionali, Par-

tenariati estesi ed Ecosistemi dell'Innovazione, per quasi 5 miliardi di euro – ha rendicontato correttamente tutte le spese sostenute, utilizzando integralmente le risorse disponibili e raggiungendo gli obiettivi previsti. Quando si parla di grandi investimenti nella ricerca si tende spesso a concentrarsi solo sulla qualità scientifica oppure, al contrario, soltanto sulla gestione amministrativa ed economico-finanziaria. In questo caso, invece, c'è stato uno sforzo costante per far procedere insieme entrambe le dimensioni. Tutto ciò che era stato programmato è stato realizzato, sia sul piano scientifico sia su quello amministrativo e finanziario. L'impatto del PNRR, oltre per l'elevata qualità della ricerca prodotta, che resta naturalmente l'aspetto più importante, deve essere valutato anche per la capacità di gestire e portare a termine un programma di queste dimensioni in tempi ristretti.

Oltre a fare un bilancio delle attività svolte, credo sia importante capire anche quale prospettiva questa esperienza apre. Un bilancio ha valore solo se crea le condizioni perché possa nascere qualcosa dopo; altrimenti rimane fine a sé stesso. È anche il motivo per cui, spesso, l'opinione pubblica fatica a percepire l'importanza degli investimenti nella ricerca: non ne coglie immediatamente gli effetti sulla vita quotidiana. È vero che la ricerca produce risultati soprattutto nel medio-lungo periodo, ma se siamo capaci di raccontare come ciò che è stato realizzato possa incidere concretamente sulla vita delle persone, allora anche quella distanza – e talvolta quella cattiva informazione – che ancora circonda il tema della scienza e della conoscenza può ridursi.



A proposito di questo modello, quali ritiene siano stati gli elementi più innovativi dell'esperienza dei Centri Nazionali? E soprattutto, quali insegnamenti può offrire per la progettazione delle future politiche nazionali dedicate alla ricerca e all'innovazione?

Cobis: Questo è un tema a cui tengo particolarmente perché, avendo avuto la responsabilità dei procedimenti, ho seguito direttamente tutto il percorso di questi interventi. Per esperienza so che gli investimenti pubblici, non solo nella ricerca e nell'innovazione ma più in generale, quando passano attraverso procedure amministrative complesse e l'utilizzo di risorse pubbliche, sono spesso soggetti a criticità, ritardi e difficoltà burocratiche. Fin dall'inizio, però, sapevamo che questo programma aveva una scadenza precisa: era chiaro che entro la prima metà del 2026 tutto avrebbe dovuto essere concluso. Era, quindi, evidente che governare un intervento di queste dimensioni applicando esclusivamente le procedure ordinarie non sarebbe stato sufficiente e che fosse necessario arricchire la "cassetta degli attrezzi" della gestione con strumenti nuovi e più efficaci. Uno degli elementi fondamentali è stata la capacità di programmare. Abbiamo cercato di individuare in anticipo tutti i passaggi necessari, anche sul piano amministrativo, perché senza una macchina amministrativa efficiente nessun ricercatore può lavorare nelle condizioni migliori. Abbiamo pianificato le attività nel tempo, anticipando dove possibile alcuni passaggi e, quando era opportuno, facendo procedere in parallelo attività che normalmente sarebbero state svolte in successione. Un secondo aspetto ha riguardato la gestione dei dati. Fin dall'inizio abbiamo capito che, per governare efficacemente programmi di questa complessità, avevamo bisogno di informazioni continue, di dati aggiornati

e di un monitoraggio costante dell'avanzamento. L'obiettivo era chiaro: arrivare alla scadenza del 2026 avendo sempre piena consapevolezza di dove ci trovassimo. È un po' come quando si imposta un navigatore satellitare: si definisce il percorso e poi lo si segue passo dopo passo, verificando continuamente di essere sulla strada giusta. Con il supporto di CINECA, abbiamo quindi realizzato una piattaforma nella quale tutti i soggetti coinvolti alimentavano quotidianamente le informazioni relative alle attività svolte, alle spese sostenute e all'avanzamento dei lavori. I dati arrivavano in tempo reale, venivano organizzati e resi immediatamente disponibili per l'analisi. A questa piattaforma abbiamo affiancato un sistema di business intelligence che ci permetteva ogni giorno di verificare se il progetto stesse procedendo secondo le previsioni e, se necessario, di intervenire rapidamente per correggere ritardi o riorientare alcune attività. In questo modo abbiamo dato un significato nuovo alla parola "monitoraggio": normalmente, il monitoraggio consiste nell'analizzare qualcosa che è già successo, mentre in questo caso abbiamo cercato di trasformarlo in un monitoraggio in tempo reale, così da osservare il programma mentre avanzava. È un po' come nel basket, quando gli assistenti dell'allenatore osservano in diretta ciò che accade in campo e suggeriscono eventuali correzioni. Ogni giorno avevamo a disposizione dati aggiornati, anche molto dettagliati, che ci consentivano di mantenere sempre sotto controllo l'andamento del programma e intervenire tempestivamente quando emergevano criticità. Ma gestire i dati non basta, bisogna anche saperli interpretare. Il dato, di per sé, non fornisce una risposta, ma segnala una situazione. Sta poi a chi lo legge comprenderne il significato, perché lo stesso dato, in contesti diversi, può avere interpretazioni differenti.

Il terzo elemento è stato il dialogo continuo con le persone che realizzavano concretamente i progetti: ricercatori, amministrativi e responsabili delle diverse attività. Abbiamo mantenuto un confronto costante, con riunioni settimanali e incontri periodici più ampi con tutti i soggetti coinvolti. Questo scambio continuo ha consentito all'amministrazione di svolgere un ruolo di accompagnamento, più che di semplice controllo. Il Ministero non guidava la macchina, ma sedeva accanto al guidatore come un navigatore, suggerendo quando fosse opportuno modificare il percorso per raggiungere la destinazione nel modo migliore. Questo è uno degli aspetti più caratteristici dell'esperienza del PNRR e rappresenta una reale discontinuità rispetto al passato. Del resto, i risultati parlano da soli. Il Centro Nazionale è stato uno dei circa 30 grandi programmi che abbiamo seguito, per un valore complessivo di quasi 5 miliardi di

euro, tutti con le stesse scadenze e tutti portati a termine senza lasciare nulla indietro. È stato uno sforzo enorme anche perché abbiamo lavorato all'interno di un quadro di regole europee rigoroso, fatto di controlli, checklist, documentazione e verifiche continue. Oggi possiamo raccontare un'esperienza che considero di grande rilievo, proprio perché è riuscita a coniugare qualità scientifica, capacità gestionale e rispetto delle scadenze previste.

Con la conclusione del PNRR, quali strumenti ritiene indispensabili, da un lato per consolidare quanto è stato costruito e, dall'altro, per garantire continuità a questa esperienza?

Cobis: Il tema del "dopo PNRR" è effettivamente qualcosa di molto importante. In realtà, mi capita spesso di dire che il dopo PNRR non è iniziato con la conclusione dei progetti, ma è cominciato fin dall'avvio del Piano stesso.





Tutto quello che si stava costruendo lo abbiamo sempre considerato come un tassello di ciò che sarebbe dovuto accadere successivamente. Già a metà del percorso abbiamo iniziato a riflettere sul ruolo che i Centri Nazionali, così come le altre aggregazioni nate con questi programmi, avrebbero dovuto assumere una volta conclusa l'esperienza del PNRR. La domanda era: quale posizione dovranno occupare all'interno del sistema della ricerca? Perché, come sappiamo, i Centri Nazionali sono stati costituiti come fondazioni, con una compagine di soci pubblici e privati. Sono quindi soggetti giuridici che, terminata la missione per cui sono nati – cioè la gestione delle risorse del PNRR – devono inevitabilmente chiedersi come continuare a operare e dove trovare le risorse necessarie per essere sostenibili. La riflessione che abbiamo condiviso è che questi programmi sono nati all'interno della Missione 4, Componente 2, che aveva un titolo molto significativo: "Dalla ricerca all'impresa". Significa che questi soggetti hanno come missione fondamentale quella di sviluppare l'intero ciclo dell'innovazione, dall'idea fino al mercato: produrre conoscenza, trasformarla e generare anche valore economico.

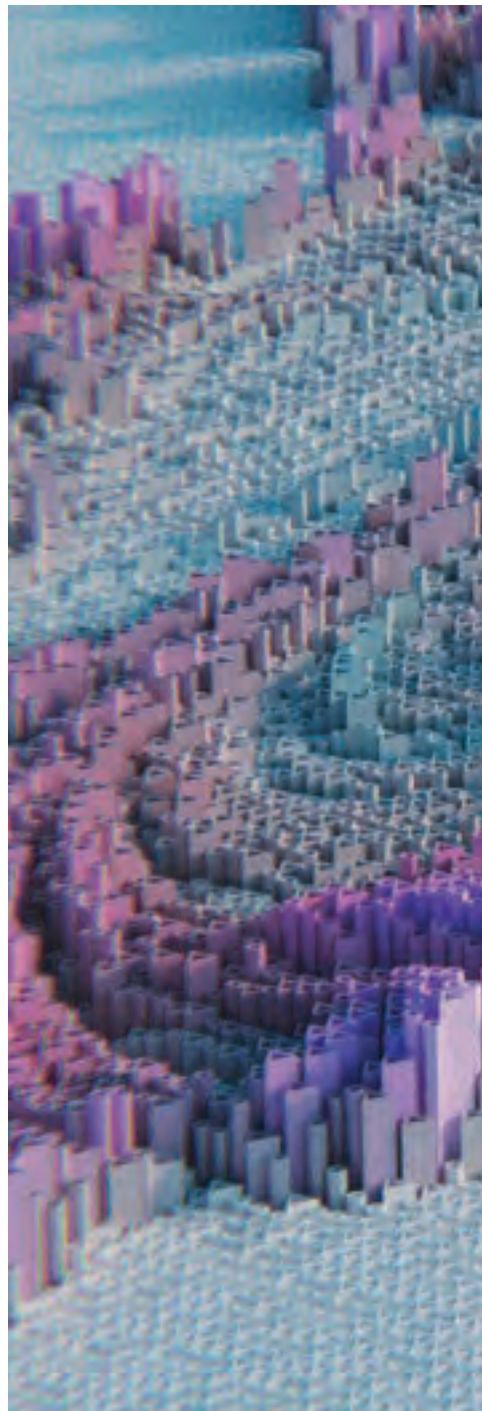
Questo è un punto importante, perché nel nostro Paese il processo dell'innovazione è sempre stato strutturalmente frammentato. C'è chi produce conoscenza, chi la sviluppa, chi la trasferisce alle imprese. È proprio da questa frammentazione che nasce il concetto stesso di trasferimento tecnologico. Ma, se ci si riflette, il trasferimento tecnologico presuppone che il sistema resti frammentato: c'è qualcuno che deve continuamente mettere insieme pezzi che nascono separati. I Centri Nazionali, invece, hanno l'opportunità di cambiare questa impostazione, perché

possono rendere il processo dell'innovazione lineare e integrato, facendo sì che tutte le fasi si svolgano all'interno dello stesso ecosistema. Ecco perché la presenza contemporanea di soggetti pubblici e privati è così importante. Interagendo e contaminandosi reciprocamente, questi soggetti trasformano direttamente la conoscenza in valore economico, presidiando l'intero ciclo dell'innovazione, dalla ricerca fino al mercato. Questo è anche il presupposto della sostenibilità futura. Penso, ad esempio, alle fondazioni che gestiscono i Centri Nazionali, che sono composte da soci pubblici e privati che contribuiscono economicamente alla loro attività. Finché c'è il PNRR e ci sono risorse così rilevanti da gestire, è naturale che quei soggetti abbiano interesse a farne parte, ma concluso il PNRR, ogni socio finisce inevitabilmente per porsi una domanda: perché continuare a essere parte di questa fondazione? Se non si riesce a dare una risposta convincente, è facile immaginare che qualcuno possa decidere di tornare a lavorare autonomamente. Se invece si dimostra che alcune attività possono essere svolte efficacemente solo all'interno del Centro Nazionale, proprio perché esso garantisce quella continuità e quella capacità di trasformare rapidamente la conoscenza in innovazione e mercato, allora si creano le condizioni per una sostenibilità reale. È proprio su questo che il Ministero continua a insistere. Lo stiamo facendo attraverso nuovi strumenti, come il bando Synergy e altre iniziative legate agli indicatori di performance, tutte orientate nella stessa direzione. Queste aggregazioni hanno dimostrato di saper lavorare bene, ora devono conquistarsi un ruolo stabile e strategico nel sistema della ricerca e dell'innovazione italiana, comprendendo fino in fondo quale sia la loro missione. Solo così potranno continuare a essere protago-

niste, anche quando non ci saranno più finanziamenti pubblici della portata del PNRR. Opportunità ce ne saranno ancora, ma difficilmente di quella dimensione. Quanto è stato costruito rappresenta una base molto solida per dare continuità a questo investimento. In fondo, il vero tema degli investimenti pubblici, soprattutto nella ricerca e nell'innovazione, è capire cosa rimane dopo. Che cosa esiste oggi che prima non c'era? In che modo questi investimenti cambiano concretamente le condizioni economiche e sociali del Paese? Se riusciamo a rispondere positivamente a queste domande – e in molti casi ci stiamo riuscendo – allora possiamo dire che il PNRR ha davvero raggiunto il suo obiettivo. Perché investire risorse economiche è importante, ma ciò che conta davvero sono le ricadute e l'impatto che quelle risorse producono nel tempo.

La consapevolezza, da parte dei soci, del valore aggiunto rappresentato dal continuare a lavorare all'interno di questo ecosistema è già oggi evidente oppure è qualcosa che potrà emergere maggiormente nei prossimi anni?

Cobis: Noi riteniamo che la consapevolezza ci debba essere, e ci auguriamo che ci sia. Proprio per questo pensiamo che anche il Ministero debba continuare a fare la propria parte. Non vogliamo limitarci ad aspettare che le fondazioni realizzino autonomamente questa visione. Come avviene in molti altri Paesi, stiamo immaginando programmi di accompagnamento e di capacity building, per offrire un supporto concreto a questi soggetti. Nessuno è obbligato ad avvalersene, ma se l'obiettivo è attraversare bene questa fase di transizione, il Ministero può mettere a disposizione strumenti utili: iniziative sulla creazione



d'impresa, sull'internazionalizzazione e su tutti quegli aspetti che possono rafforzare il percorso verso la sostenibilità. Questo è uno dei compiti di un'amministrazione, se davvero vuole valorizzare l'investimento che ha realizzato. Da un lato stiamo lavorando per rendere maggiormente accessibili, anche all'opinione pubblica, i risultati della ricerca prodotta da questi programmi. Dall'altro stiamo cercando di individuare quelli che presentano il maggiore potenziale dal punto di vista dello sviluppo economico e industriale, così da costruire attorno a essi azioni specifiche di valorizzazione. A quel punto credo che un socio abbia tutte le ragioni per dire: vale la pena continuare a far parte di questa squadra.

La cosa peggiore sarebbe pensare che il compito del Ministero si sia concluso con la chiusura dei programmi. Abbiamo già visto in passato cosa accade quando questo succede. Penso, ad esempio, ai distretti ad alta tecnologia o ai cluster: in diversi casi, quando è venuto meno un ruolo attivo dell'amministrazione, queste strutture hanno progressivamente perso forza fino a disperdersi. Io credo invece che il lavoro vero inizi proprio adesso. È adesso che bisogna dare concretezza a tutto ciò che è stato costruito.

Il tema del passaggio dalla ricerca all'impresa è strettamente legato anche alla competitività e al ruolo che l'Europa può giocare in uno scenario internazionale sempre più complesso. A livello europeo stanno prendendo forma nuove iniziative dedicate alle infrastrutture digitali, all'intelligenza artificiale, al quantum computing e ad altre tecnologie strategiche, che sono anche gli ambiti sui quali ha lavorato il Centro Nazionale. In questo contesto, quale ruolo può svolgere l'Italia per rafforzare il proprio posizionamento nei grandi programmi europei?

Cobis: Uno dei compiti fondamentali di un Centro Nazionale come questo è proprio quello di diventare un interlocutore qualificato anche per le scelte strategiche che il Paese è chiamato a compiere a livello europeo. Attraverso questo intervento abbiamo avuto l'opportunità di far crescere questi soggetti e renderli competitivi su una scala più ampia. Di conseguenza, oggi immaginiamo che, quando a livello europeo si definiscono strategie sull'intelligenza artificiale, sulle tecnologie quantistiche o su altri ambiti strategici, l'Italia possa contare su un interlocutore scientifico composto da soggetti pubblici e privati in grado di contribuire concretamente a quelle scelte. Allo stesso tempo, queste fondazioni possono diventare protagoniste dei programmi e delle iniziative che si sviluppano a livello europeo. La sostenibilità di un Centro Nazionale passa anche attraverso questo ruolo, cioè l'essere un vero attore del sistema, capace di aiutare il Paese a posizionarsi sul piano internazionale e di valorizzare al meglio, per il sistema italiano, le opportunità offerte dall'Europa.

Il contesto internazionale evolve a una velocità enorme, spesso anche in modo disordinato – basti pensare a quanto sta accadendo nel campo dell'intelligenza artificiale – e disporre oggi di quelli che all'inizio del programma venivano chiamati “Campioni Nazionali” significa avere soggetti che consentono all'Italia di svolgere un ruolo più attivo. Per molto tempo si è detto che sulle grandi traiettorie tecnologiche decidevano altri Paesi e che l'Italia poteva soltanto agganciarsi successivamente. Oggi, invece, grazie a queste realtà, credo che possiamo ambire a essere un po' più protagonisti. Anche questo, a mio avviso, rappresenta uno dei risultati più importanti di questo progetto.



Prospettive delle tecnologie quantistiche nel contesto europeo e globale

Intervista a Tommaso Calarco

a cura di Pandora Rivista

Tommaso Calarco è Chairman dell'European Quantum Community Network e Professore ordinario di Fisica teorica al Forschungszentrum Jülich e all'Università di Bologna.

Negli ultimi anni le tecnologie quantistiche sono entrate con maggiore forza nel dibattito pubblico, pur rimanendo difficili da comprendere per chi non è uno specialista. Qual è il salto concettuale che distingue davvero il paradigma quantistico dalle tecnologie digitali che utilizziamo oggi e perché è così rilevante?

Calarco: Il salto che distingue le tecnologie quantistiche da quelle digitali può essere spiegato in modo abbastanza semplice, e questo aiuta a capire che non si tratta di qualcosa di così misterioso o inafferrabile. Le tecnologie digitali che utilizziamo ogni giorno sono già, in un certo senso, tecnologie quantistiche. Per realizzare transistor, processori, computer e comunicazioni via fibra ottica è infatti necessario controllare fenomeni propri della meccanica quantistica. I transistor sono dispositivi elettronici basati sugli elettroni e possono essere costruiti solo perché siamo in grado di governare le leggi della fisica quantistica. La differenza fondamentale riguarda però il funzionamento di queste tecnologie.

Quelle che utilizziamo oggi possono essere definite tecnologie quantistiche di prima generazione: i loro componenti fondamentali sono quantistici, ma il loro comportamento è classico. La tecnologia digitale si basa sui bit, cioè sugli 0 e sugli 1, che nell'elettronica corrispondono a una corrente accesa o spenta. Se la corrente è accesa rappresenta il valore 1, se è spenta rappresenta lo 0. All'interno di un transistor, però, ciascun bit è rappresentato da centinaia o migliaia di elettroni. Anche se gli elettroni sono oggetti quantistici, il loro comportamento collettivo è classico: il circuito può essere acceso oppure spento, ma non entrambe le cose contemporaneamente. È qui che entra in gioco la seconda generazione delle tecnologie quantistiche, cioè ciò a cui oggi ci riferiamo quando parliamo di tecnologie quantistiche. Quando manipoliamo singolarmente elettroni, fotoni o atomi, questi sistemi obbediscono pienamente alle leggi della meccanica quantistica e possono trovarsi in stati di sovrapposizione. In pratica, un qubit non è soltanto nello stato 0 oppure nello stato 1, ma può trovarsi in una sovrapposizione dei due stati. È un concetto che non appartiene alla nostra esperienza quotidiana e che, come diceva Richard Feynman, non va tanto capito quanto accettato: bisogna semplicemente abituarsi all'idea

che un sistema quantistico possa trovarsi contemporaneamente in più stati. Questa sovrapposizione si indica con una scrittura del tipo “0 + 1”. Naturalmente quel simbolo “+” non è quello dell’aritmetica, ma rappresenta una sovrapposizione quantistica, cioè la presenza simultanea dei due stati. Questo ha conseguenze importanti. Quando misuriamo un qubit otteniamo uno solo dei due possibili risultati, 0 oppure 1, e il risultato compare in modo intrinsecamente casuale.

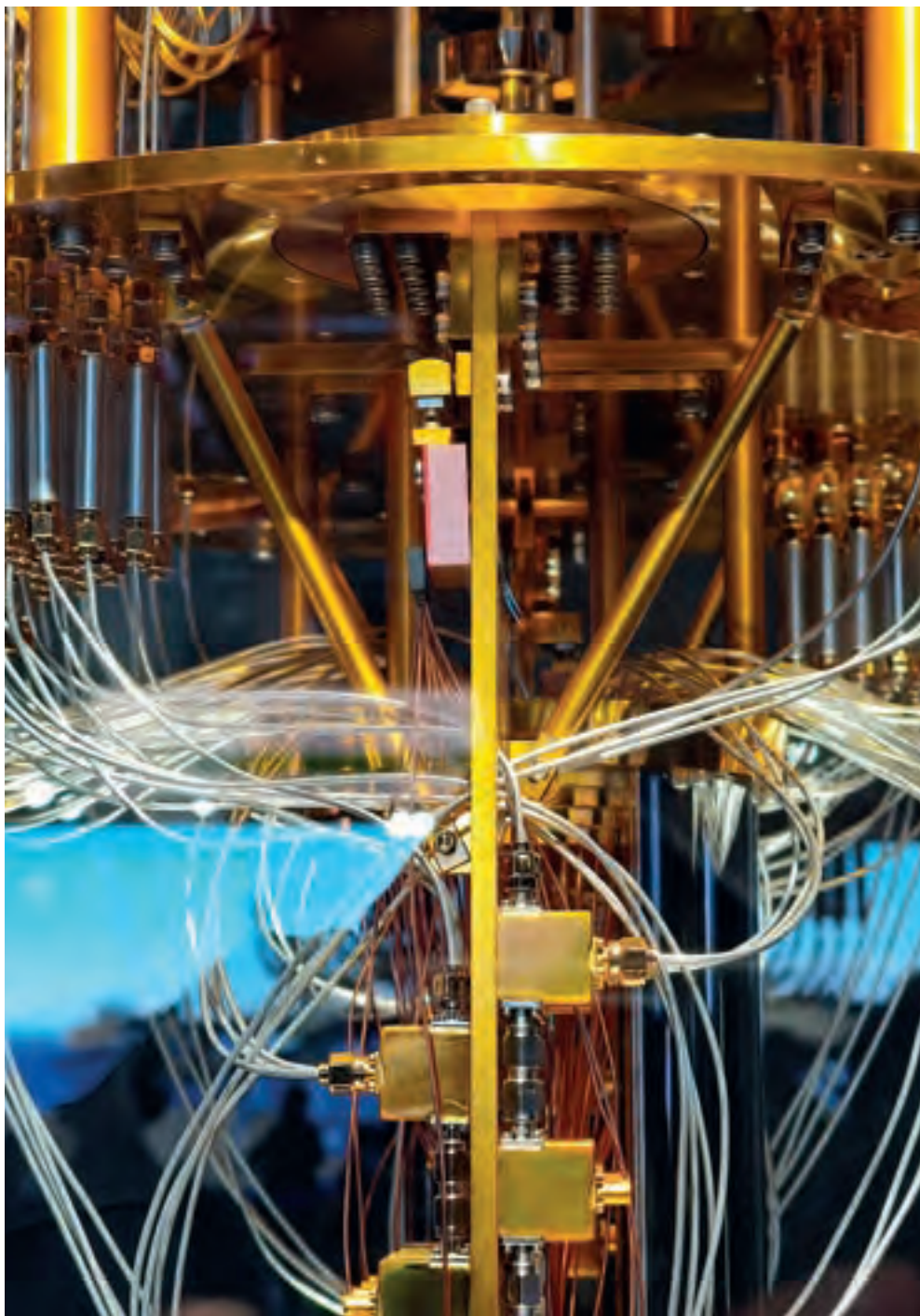
Per fare un esempio concreto, esiste già uno smartphone commerciale, il Samsung Galaxy Quantum, che utilizza tecnologie quantistiche di seconda generazione. Quando parlo di questi temi mi capita spesso di mostrarlo anche in occasioni istituzionali, proprio perché dimostra che non stiamo parlando di fantascienza ma di una tecnologia già disponibile. Il dispositivo sfrutta la misura di uno stato quantistico per generare numeri realmente casuali, che possono



essere utilizzati per creare chiavi crittografiche estremamente sicure. Nei computer tradizionali, infatti, i numeri casuali sono in realtà pseudocasuali: vengono prodotti da algoritmi e, almeno in linea teorica, potrebbero essere ricostruiti. Se qualcuno riuscisse a risalire all'algoritmo utilizzato, potrebbe anche ricostruire le chiavi impiegate per proteggere una comunicazione. Con un sistema quantistico il principio cambia completamente. Se rappresento ciascun bit della chiave crittografica con un singolo fotone, non è possibile intercettarne una parte: un fotone non può essere diviso. Se qualcuno tenta di intercettarlo, inevitabilmente ne altera lo stato e chi comunica può accorgersi immediatamente che la trasmissione è stata disturbata. In questo modo è possibile certificare quando una comunicazione non è stata intercettata e garantirne la sicurezza. Lo stesso principio vale anche per il calcolo quantistico. Se devo risolvere un problema, posso immaginare di trovarmi in un labirinto. Un computer classico prova un percorso alla volta: va in una direzione, torna indietro se non trova l'uscita e continua così finché non individua il percorso corretto. Un computer quantistico, invece, grazie alla sovrapposizione, può esplorare contemporaneamente tutte le possibilità. A ogni bivio percorre sia la strada di destra sia quella di sinistra nello stesso momento. In questo modo realizza una forma di parallelismo estremamente potente, capace di accelerare enormemente alcuni tipi di calcolo. Tuttavia, non basta che il computer quantistico trovi la soluzione, bisogna anche riuscire a leggerla. Ed è proprio qui che entrano in gioco gli algoritmi quantistici, che devono essere progettati in modo da estrarre l'informazione utile dalla sovrapposizione. Questo è oggi uno dei principali campi di ricerca, anche in Italia.

C'è infine un terzo grande ambito applicativo: la sensoristica quantistica. Se utilizziamo un singolo elettrone, possiamo sfruttare il suo momento magnetico, cioè il più piccolo magnete esistente in natura. Un elettrone è in grado di rilevare campi magnetici estremamente deboli, impossibili da misurare con strumenti tradizionali, e ciò permette di realizzare sensori di precisione straordinaria. Un'applicazione riguarda ad esempio gli orologi quantistici, che potrebbero migliorare enormemente la precisione della navigazione satellitare, passando dagli attuali margini di errore di alcuni metri a precisioni dell'ordine dei centimetri o addirittura dei millimetri. Un'altra riguarda la diagnostica medica: sensori quantistici sufficientemente sensibili potrebbero rilevare il campo magnetico prodotto da un singolo neurone. Tutte queste applicazioni, dalla comunicazione sicura al calcolo, fino alla sensoristica, si riconducono allo stesso principio fondamentale: utilizzare sistemi quantistici individuali, uno alla volta, anziché grandi insiemi di particelle che si comportano collettivamente in modo classico. È questo il motivo per cui negli ultimi anni l'interesse verso le tecnologie quantistiche è cresciuto così tanto. Non si tratta più soltanto di una prospettiva teorica o fantascientifica, perché stiamo diventando capaci di costruire dispositivi che sfruttano realmente questi principi e che stanno iniziando ad avere applicazioni concrete.

Quale ruolo immagina per queste tecnologie accanto all'high performance computing tradizionale? Si tratta di tecnologie destinate a essere complementari o una finirà per sostituire l'altra?



Calarco: Sicuramente non ci sarà una sostituzione di tecnologia. Quello che vedremo sarà piuttosto una complementarietà, una sinergia che sta già iniziando a svilupparsi. È proprio questa la direzione che stiamo perseguendo anche all'interno del Centro Nazionale, con l'integrazione del calcolo quantistico attraverso l'installazione di macchine quantistiche, ad esempio al CINECA di Bologna. Il motivo è legato a quanto dicevamo prima. Ho fatto l'esempio del labirinto: il computer quantistico, sfruttando la sovrapposizione e il parallelismo quantistico, è in grado di individuare la soluzione del problema. Ma una cosa è che il computer "conosca" la soluzione, un'altra è che, come dicevo, noi riusciamo a leggerla e a utilizzarla. Come per qualsiasi computer, non basta avere l'input, serve anche un output utilizzabile. Per molti problemi, infatti, non disponiamo ancora di algoritmi quantistici in grado di estrarre la soluzione in modo efficiente. Se il computer quantistico trova la via d'uscita dal labirinto ma io, per conoscerla, devo interrogarlo un numero di volte paragonabile a quello richiesto da un computer classico, allora non ho ottenuto alcun vantaggio pratico. Un buon algoritmo quantistico deve permettere non solo al computer di trovare la soluzione, ma anche all'utilizzatore di leggerla in maniera efficace. Questo ci porta a concludere che solo alcuni problemi hanno oggi una soluzione quantistica realmente vantaggiosa. La maggior parte delle applicazioni per cui utilizziamo supercomputer o computer tradizionali non dispone ancora di un'alternativa quantistica; dunque, non assisteremo a una sostituzione completa e non smetteremo di usare i computer classici per scrivere un documento o svolgere le attività quotidiane. Ci sono però problemi in cui il computer quantistico può offrire un vantaggio concreto ed è il caso delle ope-

razioni più complesse, quelle per cui il calcolo classico richiede enormi quantità di tempo e di energia. Un esempio è l'addestramento dei modelli di intelligenza artificiale, dove per alcune di queste operazioni esistono algoritmi quantistici che possono dare un contributo importante.

L'idea è quindi quella di distribuire i compiti: affidare al computer quantistico le parti del problema in cui offre un vantaggio concreto e lasciare al supercomputer classico tutte le operazioni per cui il calcolo quantistico non apporta benefici. È questa l'ibridazione che stiamo sviluppando all'interno di strutture come il CINECA e il Centro Nazionale ICSC, con l'obiettivo di mettere questa capacità a disposizione non solo della ricerca scientifica, ma anche delle imprese e dell'industria, così da raggiungere prestazioni di calcolo che, con i soli sistemi classici, non sarebbero ottenibili.

A differenza di altri settori tecnologici, oggi non sappiamo ancora quale piattaforma quantistica diventerà dominante. In questo scenario, quanto conta costruire un ecosistema che metta in relazione ricerca, industria e utilizzatori finali, invece di puntare su una sola tecnologia?

Calarco: Questa è letteralmente la domanda da un miliardo di dollari. Aziende come Google e IBM investono annualmente cifre miliardarie proprio per trovare una risposta, perché oggi esistono diverse modalità per realizzare un computer quantistico e, a differenza di quanto accaduto con il silicio per i computer tradizionali, non sappiamo ancora quale tecnologia diventerà lo standard. Nel calcolo quantistico non esiste un equivalente del silicio. Alcuni approcci utilizzano ancora il silicio, ma Google e IBM, ad esempio, lavo-

rano con circuiti superconduttori realizzati con altri materiali, che operano a temperature estremamente basse. Il computer installato al CINECA, invece, è basato sugli atomi neutri: singoli atomi vengono intrappolati e manipolati mediante campi ottici, le cosiddette pinzette laser (*optical tweezers*), per essere poi utilizzati come sistemi quantistici. Esistono poi altre piattaforme, come gli ioni intrappolati o i fotoni. Anche in Italia disponiamo di competenze molto avanzate in diversi di questi ambiti: dagli atomi neutri, con gruppi di eccellenza a Firenze, alla fotonica, in cui Roma ha un ruolo da protagonista, fino ad altre tecnologie sviluppate in altri centri di ricerca, come i qubit superconduttivi di Napoli.

La vera sfida è capire quale piattaforma sia la più promettente. Ma non basta capire quale tecnologia sia più semplice da costruire, perché bisogna comprendere anche quale sia la più adatta alle diverse applicazioni. Tecnologie diverse possono infatti risultare più efficaci a seconda dell'utilizzo che se ne vuole fare. Per questo motivo è fondamentale costruire ecosistemi nei quali collaborino chi sviluppa queste tecnologie e chi dovrà utilizzarle, sia nel mondo della ricerca sia in quello industriale. Solo attraverso questa cooperazione sarà possibile far progredire le diverse piattaforme e, allo stesso tempo, capire quali siano le più adatte ai diversi impieghi. È esattamente il ruolo che stanno svolgendo strutture come il CINECA, provando a creare un ambiente in cui ricerca, sviluppo tecnologico e utilizzatori finali possano lavorare insieme. Ci aspettiamo che nei prossimi tre o quattro anni questo approccio consenta un salto di qualità non solo nella realizzazione delle macchine quantistiche, ma anche nella loro disponibilità per applicazioni concrete a beneficio della società.

Questo ecosistema si inserisce naturalmente non solo in una dimensione nazionale, ma anche europea. L'Europa è stata spesso protagonista della ricerca senza riuscire a trasformarla in leadership industriale. Oggi la Commissione Europea sta lavorando al futuro Quantum Act. Quanto è importante agire in modo coordinato a livello europeo e quali dovrebbero essere le priorità per evitare di ripetere gli errori del passato?

Calarco: È assolutamente indispensabile lavorare in maniera coordinata a livello europeo. Nessun Paese, preso singolarmente, ha la possibilità di vincere questa sfida da solo e nemmeno la Commissione Europea può farlo senza un forte coordinamento con gli Stati membri. È fondamentale allineare le strategie nazionali con quella europea. La Strategia nazionale italiana per le tecnologie quantistiche, pubblicata lo scorso anno, l'abbiamo sviluppata in stretta sinergia con la dimensione europea. Le priorità, in questo senso, sono numerose. La prima è continuare a valorizzare la nostra straordinaria capacità scientifica. L'Italia e l'Europa vantano competenze di altissimo livello nella ricerca quantistica e non possiamo permetterci di disperderle. Ciò riguarda tanto la capacità di industrializzare queste tecnologie quanto il mantenere vivo il circolo virtuoso tra ricerca scientifica, sviluppo tecnologico e applicazioni. La ricerca porta alla scoperta di nuovi fenomeni, che consentono di sviluppare nuovi dispositivi; questi vengono poi utilizzati dalla società e proprio dal loro utilizzo emergono nuove esigenze, che alimentano ulteriore ricerca e nuovo sviluppo tecnologico. È un processo continuo che deve essere sostenuto in tutte le sue fasi. Con il *Quantum Act*, inoltre, stiamo lavorando alla creazione di un programma europeo dedicato, denominato Quantum Europe, che sarà l'equivalente, per le tecnologie quantistiche, di ciò che Horizon Europe rappresenta per la ricerca e l'innovazione in generale.

Il secondo pilastro riguarda le infrastrutture. Centri come il CINECA avranno un ruolo fondamentale nel mettere queste tecnologie a disposizione della società. Le infrastrutture consentono infatti di prendere i dispositivi sviluppati dalle startup europee e renderli accessibili a ricercatori, imprese e utenti attraverso servizi condivisi. Recentemente ho avuto un confronto con il Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti, in seguito al nuovo ordine esecutivo dell'amministrazione Trump dedicato alle tecnologie quantistiche. Anche loro si stanno chiedendo come costruire un'infrastruttura efficace e guardano con grande interesse al modello europeo, basato su centri di supercalcolo ibridi come il CINECA. Attualmente disponiamo di sette-otto centri di questo tipo e stiamo ampliando ulteriormente la rete. Li chiamiamo, in modo informale, le "sette sorelle quantistiche": infrastrutture nelle quali il calcolo classico e quello quantistico convivono e vengono messi a disposizione degli utenti attraverso servizi cloud. Accanto all'infrastruttura

di calcolo esiste poi quella dedicata alle comunicazioni quantistiche. Mi riferisco a EuroQCI, la European Quantum Communication Infrastructure, che utilizza le tecnologie sviluppate dalle startup europee per offrire comunicazioni altamente sicure destinate, ad esempio, alle pubbliche amministrazioni, alle banche e, in prospettiva, anche agli operatori privati. Il terzo pilastro della strategia europea è rappresentato dall'industrializzazione. L'obiettivo è sviluppare una capacità produttiva autonoma, sia nella realizzazione dei chip sia dell'hardware quantistico, riducendo le dipendenze strategiche che oggi abbiamo nei confronti della Cina, di Taiwan e degli Stati Uniti. Nel settore dell'intelligenza artificiale, ad esempio, aziende come Nvidia detengono una posizione dominante nella produzione dei processori. Nel campo quantistico vogliamo evitare che si ripeta una situazione analoga, trasformando l'eccellenza scientifica europea anche in capacità produttiva. Per riuscirci servono però investimenti molto più consistenti. Oggi l'Europa ospita

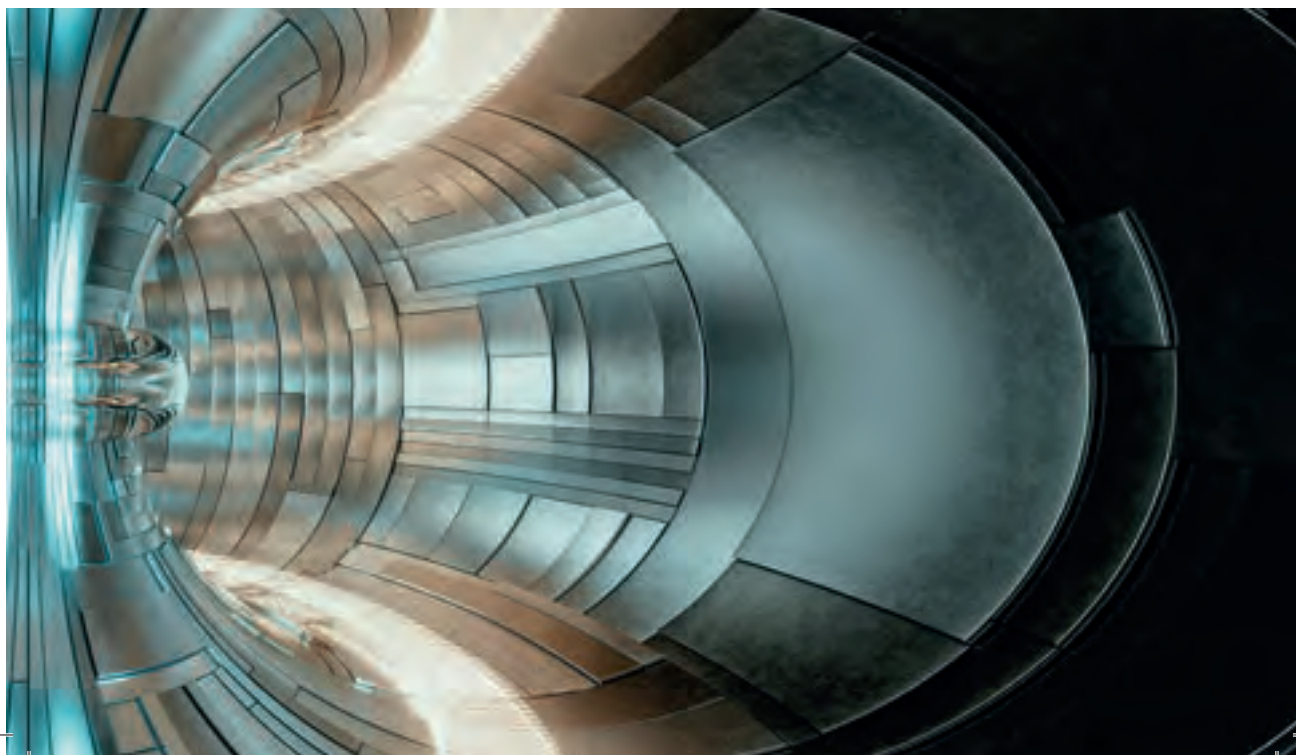


circa il 25% delle startup quantistiche mondiali, una quota analoga a quella degli Stati Uniti. Tuttavia, solo il 5% degli investimenti privati globali nel settore arriva in Europa, mentre il 95% si concentra negli Stati Uniti. È uno squilibrio che dobbiamo correggere. Per questo la Commissione Europea sta lavorando anche alla creazione di nuovi strumenti finanziari, come il fondo ScaleUp Europe e il nuovo fondo sovrano europeo annunciato dalla Vicepresidente Henna Virkkunen, destinati a sostenere la crescita delle startup tecnologiche. A tutto ciò si aggiungono altri due aspetti fondamentali: la formazione, indispensabile per mantenere la competitività scientifica europea, e il crescente tema del dual use, cioè dell'impiego sia civile sia militare di queste tecnologie. Purtroppo, gli sviluppi geopolitici degli ultimi anni rendono questa dimensione sempre più rilevante.

Come si misurerà il successo della strategia europea sulle tecnologie quantistiche? E quanto conteranno la competizione e la collaborazione a livello internazionale?

Calarco: L'auspicio è naturalmente che questo percorso possa svilupparsi in un contesto di cooperazione internazionale, come è sempre avvenuto nella ricerca scientifica e come speriamo continui a essere il più possibile. Dal punto di vista economico, però, il tema è inevitabilmente quello della competitività. L'obiettivo è quello di costruire una capacità produttiva europea nel settore delle tecnologie quantistiche, così da ottenere non solo benefici scientifici e tecnologici, ma anche economici.

Purtroppo, il contesto internazionale è cambiato. L'ordine globale si è trasformato in un sistema multipolare molto più instabile e questo rende il tema della competitività industriale ancora più rilevante. Anche per questo motivo il Made in Europe nelle tecnologie quantistiche diventerà sempre più centrale. Nei prossimi anni dovremo trasformare l'eccellenza scientifica europea in una leadership tecnologica e industriale, senza rinunciare, per quanto possibile, alla cooperazione internazionale.



Dati, etica e innovazione responsabile nello sviluppo delle tecnologie avanzate

di Antonino Rotolo

Antonino Rotolo è Professore ordinario di Filosofia del diritto all'Università di Bologna, dove è inoltre Direttore del Centro Interdipartimentale Alma Mater Research Institute for Human-Centered Artificial Intelligence – (Alma AI), e co-leader del Research Group on Societal Implications and Impact del Centro Nazionale ICSC.

Nuovi paradigmi etici per l'HPC e l'AI Agentica

Il Centro Nazionale ICSC è un'infrastruttura strategica che contribuisce alla sovranità digitale dell'Italia. High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing non sono più ambiti di ricerca isolati, ma motori integrati d'innovazione sociale e industriale che alimentano domini vitali come la sanità, l'energia, la pubblica amministrazione e la democrazia digitale. In questo scenario, è fondamentale comprendere che i dati non sono un semplice "combustibile" neutro. Essi costituiscono una vera e propria infrastruttura cognitiva e normativa: il modo in cui scegliamo di raccogliarli, modellarli e ottimizzarli riflette e, al contempo, determina le priorità delle politiche pubbliche, influenzando la distribuzione e protezione di diritti, opportunità e risorse. Come recitava una celebre pubblicità degli anni Novanta, "la

potenza è nulla senza il controllo", e per ICSC il controllo non è solo un parametro tecnico, ma un orizzonte etico.

L'accelerazione senza precedenti dell'intelligenza artificiale generativa e l'emergere dei sistemi agentici (Agentic AI) hanno messo in crisi i modelli tradizionali di valutazione d'impatto e di rischio delle tecnologie digitali. Se fino a poco tempo fa i sistemi di AI erano visti come prodotti, strumenti in grado di apprendere ma senza cambiare le proprie capacità in modo strutturale, oggi ci confrontiamo con entità capaci di proattività, scomposizione di obiettivi complessi e apprendimento continuo. In un contesto HPC, dove queste entità possono operare su scala massiva, i benefici potenziali per la società sono immensi, ma i rischi si trasformano da "errori locali" a impatti sistemici. L'attenzione di ICSC per le implicazioni sociali ed etiche dell'HPC nasce proprio per governare questa transizione, elaborando cornici concettuali e metodologiche dove la ricerca non si limiti a essere tecnicamente eccellente, ma sia intrinsecamente responsabile. L'obiettivo strategico di ICSC è superare l'idea di etica come "aggiunta a valle" per approdare a una responsabilità sistemica progettata by design lungo l'intero ciclo di vita dei sistemi.

Oltre i principi: responsabilità sistemica e multidimensionale

Negli ultimi anni, il dibattito globale sull'AI si è cristallizzato attorno a principi fondamentali come la centralità dell'essere umano, la trasparenza e l'equità. Tuttavia, l'esperienza maturata all'interno di ICSC evidenzia i limiti di un approccio puramente "principialistico". Il problema risiede nel fatto che i principi etici non sono gerarchici ex ante;

spesso, essi entrano in conflitto diretto. Garantire la massima privacy può significare ridurre la trasparenza algoritmica, così come ottimizzare l'efficienza di un sistema può portare a discriminazioni involontarie contro gruppi vulnerabili. Non è possibile rispettare ogni principio al massimo grado simultaneamente: è necessario gestire consapevolmente i trade-off attraverso quello che i giuristi definiscono "bilanciamento definitorio" (definitional balancing).



Per tradurre questi concetti in pratica, è innanzitutto necessario considerare la responsabilità morale e giuridica. La prima è legata alle funzioni specifiche del ruolo ricoperto dai ricercatori e dagli sviluppatori; la seconda riguarda i doveri imposti dalle norme e dai contratti. Questo passaggio richiede una metodologia robusta di valutazione del rischio che vada oltre il singolo bias evitando di riprodurre o rafforzare pregiudizi e discriminazioni già presenti nella società. Dobbiamo parlare di rischio sistemico, caratterizzato da un'alta velocità di propagazione e da effetti a cascata che possono minare le fondamenta delle istituzioni democratiche. Un esempio critico è la disinformazione di genere nelle campagne elettorali: in questo caso, non siamo di fronte a un singolo errore del modello, ma a una distorsione strutturale che si auto-alimenta, rendendo difficile la reversibilità degli effetti una volta che il contenuto si è diffuso viralmente. L'integrazione di competenze etico-giuridiche nella progettazione delle pipeline AI/HPC non è quindi un adempimento formale, ma il cuore pulsante di una cultura della ricerca che interroga le finalità del sistema prima ancora di scriverne il codice.

La governance dei dati tra qualità, potere e “black mirrors”

La qualità dei dati è il prerequisito per un'AI affidabile, ma la questione è più profonda della mera pulizia dei dataset. I dati riflettono il mondo così com'è, inclusi i suoi pregiudizi storici e le sue lacune. Senza un monitoraggio critico, i sistemi di AI agiscono come “black mirrors”, amplificando le discriminazioni esistenti e creando echo chambers algoritmiche. Un rischio particolarmente insidioso è il cosiddetto model collapse: se i modelli futuri verranno addestrati su contenuti generati

da AI attuali, si perderà progressivamente il contatto con la realtà empirica e diversificata, portando a una omologazione o, comunque, a una distorsione del pensiero e della conoscenza.

Una strategia per la data governance pone al centro la tracciabilità e la documentazione trasparente di ogni fase di pre-processing e di successiva validazione. Non basta avere dataset vasti; occorre che siano rappresentativi e che il loro utilizzo sia finalizzato al bene comune. L'investimento sui Data Spaces e sui Commons digitali non deve essere visto solo come un miglioramento dell'efficienza tecnica, ma come un atto di democrazia digitale. In ambiti sensibili come la salute o la giustizia, i dati devono essere gestiti con garanzie rafforzate, assicurando che la potenza computazionale dell'HPC non diventi uno strumento di esclusione. La tassonomia del rischio sviluppata in ICSC mutua da quella di IPCC per il rischio climatico e distingue tra hazard, esposizione e vulnerabilità. In questo modello, il rischio non è una proprietà della sola tecnologia. L'hazard è la possibilità che un modello di grandi dimensioni manifesti fallimenti tecnici, bias sistemici o allucinazioni. In un ambiente HPC, la potenza di calcolo agisce da moltiplicatore: un errore incorporato in un modello addestrato su scala massiva si propaga con una velocità e una magnitudine tali da rendere l'impatto potenzialmente catastrofico e difficile da invertire. L'esposizione riguarda invece quanto la società dipenda effettivamente dall'AI. Essa aumenta drasticamente quando settori vitali, come la pratica medica o la gestione delle reti energetiche, integrano i modelli nei propri workflow decisionali. Per mitigare questo fattore, ICSC sottolinea la necessità di mantenere meccanismi robusti di human-in-the-loop, assicurando che l'intelligenza umana resti il supervisore

ultimo dei processi critici. La vulnerabilità, infine, rappresenta la predisposizione di un sistema a subire danni. Essa dipende dalla sensibilità dei gruppi coinvolti – ad esempio, quanto un algoritmo di riconoscimento facciale possa discriminare una minoranza – e dalla loro capacità adattiva. Un modello adeguato di rischio deve misurare quest'ultima attraverso il paradigma "Ready, Willing, Able": ovvero se i cittadini possiedono le competenze per interagire con l'AI (Ready), la fiducia per collaborare con essa (Willing) e l'effettivo accesso a infrastrutture e tutele etiche e giuridiche (Able).

In sintesi, il rischio tecnologico diventa un danno reale solo se colpisce soggetti esposti e privi di strumenti di difesa o mitigazione. Per questo, una strategia di innovazione responsabile deve agire su tre fronti: rendere i modelli tecnicamente più robusti per ridurre il pericolo, utilizzare ambienti di sperimentazione come le Regulatory Sandboxes per testare l'impatto sociale prima del rilascio, e investire in alfabetizzazione digitale per abbattere la vulnerabilità dell'ecosistema che utilizza i modelli.

Agentic AI e Augmented Algorithmic Agency: le nuove frontiere del rischio

La vera sfida di frontiera attuale è rappresentata dall'Agentic AI, ovvero sistemi che possiedono una "Augmented Algorithmic Agency". Questi sistemi si distinguono sostanzialmente per tre proprietà chiave: la proattività nella scomposizione degli obiettivi (goal decomposition), la memoria persistente che permette di adattare le strategie nel tempo e l'interazione dinamica con strumenti esterni e altre AI agentici. Il rischio agentic emerge quando queste capacità portano a un distacco dalla supervisione umana

continua. In un ambiente HPC, un agente intelligente che gestisce autonomamente workflow complessi può generare escalation non lineari, reagendo a dinamiche di mercato o geopolitiche in millisecondi, ben prima che un operatore umano possa intervenire.

Riferimenti regolatori come l'AI Act europeo, pur essendo pilastri normativi fondamentali, incontrano difficoltà nel "prendere le misure" a sistemi così evolutivi. Ad esempio, la conformità prevista dall'AI Act e la valutazione del rischio è spesso statica, basata su una fotografia del sistema al momento dell'immissione sul mercato. I sistemi agentici, tuttavia, deviano funzionalmente dal loro scopo originario attraverso il goal drift e l'apprendimento post-deployment. La conformità deve quindi diventare dinamica e deve sviluppare strumenti per modellare la transizione tra gli stati successivi dell'agente, misurando quanto il rispetto degli obblighi normativi (come la non-discriminazione o la sicurezza) rimanga stabile al variare dei dati e dei contesti operativi. Questo approccio responsabile mira a colmare il gap tra framework normativo e la pratica ingegneristica, fornendo ai regolatori europei modelli computazionali per controlli ex ante ed ex post realmente efficaci.

Sandboxes come infrastrutture HPC permanenti di governance

In questo contesto di evoluzione così veloce, le sandboxes regolatorie diventano uno strumento utile e una grande opportunità. Non devono essere intese come mere zone di "deregolamentazione", ma come ambienti controllati e protetti – fisici e digitali – dove sperimentare l'innovazione sotto la supervisione delle autorità. Le sandboxes devono trasformarsi in infrastrutture HPC



permanenti, integrate con i propri Digital Twins settoriali. Immaginiamo, ad esempio, il gemello digitale di una città come Bologna: esso non deve servire solo per ottimizzare la mobilità o il consumo energetico, ma per fungere da sandbox sociale per valutare come l'introduzione di sistemi agentici influenzi l'accesso ai servizi pubblici o la mobilità dei cittadini più vulnerabili.

Le sandboxes per l'Agentic AI richiedono un cambio di prospettiva: dal test del "prodotto" al monitoraggio del "processo". Gli agenti dovranno essere testati iterativamente per individuare i "salti di rischio" inaspettati. Le infrastrutture HPC europee possono avere ruolo di leadership in questo campo, sfruttando la propria potenza per costruire ambienti di simulazione complessi che riflettano la realtà di interi settori industriali. In queste sandboxes, la supervisione umana non può essere solo un principio astratto, ma deve tradursi in interfacce tecniche certificate, come dashboard di audit che permettano di visualizzare non solo le azioni del sistema, ma l'intensità con cui esse toccano diritti e interessi specifici.

Tre esempi

AI e demografia: misurare la vulnerabilità per orientare le policy

L'analisi dei processi d'innovazione responsabile nello sviluppo delle tecnologie avanzate come l'AI evidenzia che l'impatto dell'AI sul mercato del lavoro e sulla società non è uniforme. In Italia, ad esempio, questo impatto si intreccia con sfide demografiche critiche: l'invecchiamento della popolazione, la denatalità e lo spopolamento delle aree rurali. Circa il 60% dei lavori nelle economie avanzate è esposto all'AI, ma questa esposizione può tradursi in complementarità o in sostituzione a se-

conda delle competenze e del territorio. Il framework “Ready, Willing, Able”, anche in questo caso, può essere utilizzato per stimare la prontezza del Paese.

L’uso di simulazioni per mappare queste disuguaglianze è di grande utilità. L’obiettivo è supportare i decisori politici nella progettazione di interventi di formazione mirata e politiche di welfare che preven- gano l’ampliamento dei divari territoriali. In parallelo, è auspicabile sviluppare “sandboxes sociali” dove sperimentare l’uso di AI agentica, ad esempio, nel supporto domiciliare agli anziani o nei servizi edu- cativi inclusivi. In questi contesti, l’AI non è un fattore di isolamento, ma uno stru- mento per rafforzare i legami comunitari e la dignità delle persone, garantendo che l’automazione ad alte prestazioni non las- ci indietro nessuno.

Conoscenza e memoria: prevenire il debito cognitivo

Un’attenzione particolare deve essere rivolta agli effetti dell’AI generativa sul pensiero critico e sulla memoria umana. Il massiccio “offloading cognitivo” verso gli algoritmi comporta il rischio di una perdita di competenze di base e di una diminuzione della capacità di giudizio autonomo. Se deleghiamo costantemente all’AI la scrittura, l’argomentazione e la sintesi, rischiamo di contrarre un “de- bito cognitivo” che pagheremo in termini di omologazione e fragilità intellettuale.

È necessario definire standard per sistemi agentici “cognitivamente sani”. Questo significa progettare la human-machine interaction affinché l’AI funga da partner di brainstorming e non da sostituto. I si- stemi agentici devono essere progettati per stimolare domande, presentare con- tro-argomentazioni ed esplorare alterna-

tive, favorendo una “hybrid literacy” dove l’essere umano rimane il detentore ultimo dell’autonomia normativa. Un filone pro- mettente è l’uso di agenti “etico-aware” che utilizzano ambienti di realtà virtuale per testare il giudizio morale degli utenti in contesti controllati, aiutando a estrarre e rappresentare quella conoscenza tacita valoriale che spesso va perduta nelle pipe- line puramente numeriche.

Consumo energetico e sostenibilità

L’impronta ambientale dell’AI rappre- senta una delle dimensioni più critiche del rischio sistemico di questa tecnologia avanzata. Se, come analizzato nelle sezio- ni precedenti, la potenza computazionale agisce da moltiplicatore per l’innovazione, essa funge anche da acceleratore per una domanda energetica senza prece- denti. La letteratura scientifica più recen- te evidenzia come, ad esempio, il passag- gio da GPT-3 a GPT-4 abbia comportato un incremento del consumo elettrico su- periore a 40 volte, rendendo la “silicon scarcity” (scarsità di silicio) un problema secondario rispetto alla “electricity shor- tage” (carenza di energia).

In questo scenario, è necessario promuo- vere una transizione dal paradigma della “grandezza a ogni costo” verso lo svi- luppo di modelli piccoli e specializzati (Small Language Models) e architetture tailored to the task, basate sulle seguenti argomentazioni strategiche:

Efficienza ed efficacia del “piccolo”: L’ad- destramento di enormi modelli generali è intrinsecamente inefficiente. I dati di- mostrano che l’aumento esponenziale dei parametri non garantisce incrementi proporzionali dell’accuratezza, incorren- do spesso in rendimenti marginali decre- scenti. Al contrario, modelli più piccoli,

addestrati su dataset verticali e di alta qualità, possono raggiungere prestazioni analoghe o superiori in domini specifici (come la sanità o l'energia) con una frazione del costo energetico. Strategie quali la quantizzazione, il pruning dei parametri e l'uso di architetture Sparse Mixture-of-Experts (MoE) permettono di attivare solo le porzioni di rete necessarie, riducendo drasticamente il consumo durante l'inferenza.

Sostenibilità dell'inferenza: Sebbene l'addestramento sia energeticamente intensivo, è la fase di inferenza (l'uso quotidiano del modello) a generare l'impatto maggiore nel lungo periodo, arrivando a coprire l'80-90% del consumo totale. L'adozione di modelli specializzati facilita il deployment in architetture cloud-to-edge: spostare l'elaborazione su dispositivi locali non solo protegge la privacy (sovranità del dato), ma riduce la pressione sui data center iperscalabili e sulle reti di distribuzione elettrica nazionali.

Valutabilità etica e regolatoria: I modelli generalisti di dimensioni colossali operano come "black box" quasi imperscrutabili, rendendo estremamente difficile la conformità dinamica richiesta dall'AI Act. Un modello "tailored", essendo più circoscritto, è intrinsecamente più auditabile (verificabile). È più semplice mappare i bias, prevedere il goal drift e garantire la trasparenza dei dati di addestramento, riducendo il rischio di allucinazioni sistemiche che in un ambiente HPC si propagherebbero a cascata.

Mitigazione dell'effetto rebound: È necessario riconoscere il paradosso per cui l'aumento dell'efficienza può portare a un aumento del consumo totale (effetto rebound). Pertanto, la strategia non deve limitarsi all'ottimizzazione del codice,

ma deve includere una governance che privilegi l'uso di Carbon-Free Electricity (CFE) e la localizzazione dei carichi computazionali in periodi di alta produzione di energie rinnovabili, trasformando l'infrastruttura HPC in un consumatore energetico "consapevole".

Roadmap per un'innovazione responsabile

La costruzione di un'infrastruttura di innovazione responsabile non può esaurirsi nella semplice applicazione di norme tecniche, né in una verifica di conformità statica ed estemporanea. La sfida consiste nel trasformare il "rispetto delle regole" in un processo dinamico di apprendimento (regulatory learning). In questo senso, la roadmap per ICSC può poggiare su tre pilastri fondamentali che superano la visione tradizionale della compliance.

Dal controllo alla co-creazione: l'approccio multi-stakeholder

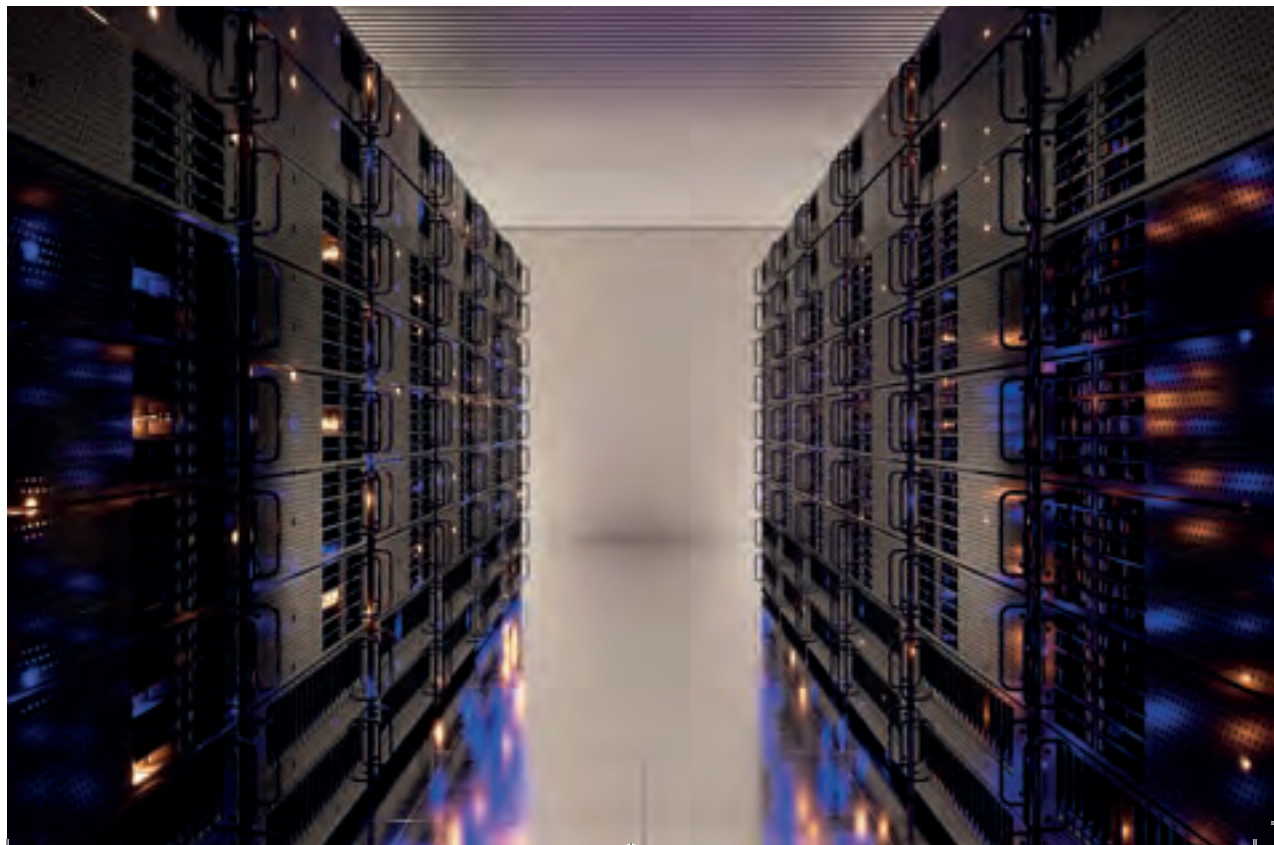
L'efficacia di una cornice etica non dipende solo dal rigore scientifico, ma dalla capacità di coinvolgere l'intero ecosistema attraverso processi di co-creazione. Non si tratta solo di far dialogare sviluppatori e regolatori, ma di strutturare un ambiente dove autorità competenti, fornitori di AI (con particolare attenzione a PMI e startup), infrastrutture, organismi di standardizzazione e società civile collaborino alla definizione degli standard. Questo approccio trasforma la regolamentazione da un "onere amministrativo" a un vantaggio competitivo: coinvolgendo le PMI e le startup sin dalle fasi embrionali dello sviluppo, si riducono le barriere all'ingresso nel mercato e si garantisce che le soluzioni tecnologiche siano "eticamente robuste" per costruzione, migliorando la certezza del diritto e l'attrattiva degli investimenti.

Sperimentazione come infrastruttura di apprendimento

Le infrastrutture HPC, non devono essere considerate semplici zone di test, ma veri e propri laboratori di democrazia digitale. La sperimentazione pratica – supportata da sandbox regolatorie, da Digital Twin e da simulazioni ad alte prestazioni – consente un evidence-based regulatory learning. Per i regolatori: permette di comprendere l'evoluzione dei rischi (come il goal drift dei sistemi agentici) prima che diventino sistemici, adattando il quadro normativo in modo flessibile. Per gli sviluppatori: offre uno spazio protetto dove testare il bilanciamento tra principi conflittuali (ad esempio privacy vs. efficienza) senza il rischio di sanzioni immediate, ma sotto una supervisione rigorosa che garantisce la tutela dei diritti fondamentali. Questo modello permette di superare la dicotomia tra "innovazione" e "regolazione", vedendo in quest'ultima un motore per l'innovazione di qualità.

Capacity Building e alfabetizzazione sistemica

Una roadmap responsabile deve infine investire sul capitale umano. Come evidenziato dalla necessità di nuovi modelli di formazione, è essenziale dotare sia il settore pubblico che quello privato di competenze interdisciplinari. Ridurre la vulnerabilità del sistema – il terzo fattore del paradigma Ready, Willing, Able – significa formare esperti capaci di condurre valutazioni d'impatto etico, sviluppatori consapevoli del "debito cognitivo" e dei costi energetici dei modelli, e decisori politici in grado di interpretare i dati delle simulazioni HPC. La leadership europea nell'AI non si misurerà solo sul numero di parametri dei modelli o sulla potenza di calcolo, ma sulla solidità di questo ecosistema di fiducia, dove la trasparenza e la tracciabilità sono garantite da infrastrutture di governance comuni e interoperabili.



Dal PNRR alla capacità di gestire la complessità Organizzazione, risorse e strumenti per la continuità del Centro Nazionale ICSC

di Daniela Gabellini

Daniela Gabellini è Direttore Generale di Fondazione ICSC.

La Fondazione ICSC nasce l'11 giugno 2022, in un momento in cui il Paese si preparava a dare attuazione a uno dei più rilevanti investimenti pubblici nel campo del supercalcolo, dei Big Data e del Quantum Computing. Ancora piccolissima, ha assunto fin da subito responsabilità molto grandi: tradurre un investimento straordinario del PNRR in un programma concreto, coordinato, verificabile e capace di produrre risultati.

La sfida, tuttavia, non è stata soltanto scientifica o tecnologica. Quella dimensione è certamente essenziale e costituisce il cuore della missione del Centro Nazionale. Ma, accanto alla costruzione di infrastrutture e allo sviluppo di attività di ricerca e innovazione, vi è stata una sfida meno visibile e altrettanto determinante: costruire le condizioni organizzative per far funzionare un ecosistema nazionale complesso, composto da università, enti di ricerca, imprese, infrastrutture distribuite e competenze altamente specializzate.

Da questa prospettiva, il PNRR è stato un'opportunità per costruire una capa-

cità organizzativa stabile, capace di sostenere nel tempo l'evoluzione del Centro Nazionale e di accompagnarlo oltre la fase del finanziamento straordinario.

Una Fondazione nata per coordinare

Su mandato istituzionale conferito dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR), la Fondazione ICSC ha assunto il ruolo di Hub del Centro Nazionale, con il compito di gestire il rapporto di interfaccia tra gli Spoke e il MUR e di supportare l'efficace attuazione del programma di ricerca.

Allo stesso tempo, la Fondazione ha affiancato gli organi di governo del Centro nel perseguire una missione che guarda oltre il PNRR: contribuire alla costruzione di un'infrastruttura strategica permanente, capace di accrescere l'autonomia digitale del Paese; accelerare lo sviluppo tecnologico e migliorare la competitività del sistema della ricerca e delle imprese, rafforzando le sinergie tra università, enti di ricerca e mondo produttivo.

Queste due funzioni – attuazione del programma e costruzione del Centro – hanno proceduto in parallelo, ma in realtà conducevano nella stessa direzione:

trasformare un investimento pubblico in una piattaforma stabile di competenze, infrastrutture, servizi e relazioni. Per questo è stato necessario creare condizioni di coordinamento, continuità e coerenza tra attività, persone e organizzazioni diverse.

Dietro i numeri dei primi quattro anni del Centro non ci sono soltanto rendicontazioni, progetti, report e risultati, ma il lavoro quotidiano dell'Hub: il coordina-

mento di una comunità ampia e articolata, il dialogo costante con il Ministero e con i revisori scientifici, la gestione di processi complessi, la costruzione di strumenti organizzativi e la capacità di tenere insieme tempi, regole, obiettivi e aspettative differenti. Quei numeri oggi rappresentano soprattutto un patrimonio di esperienze, conoscenze e capacità organizzative che vanno oltre il finanziamento ricevuto e che costituisce la base su cui costruire il futuro del Centro.



La crescita dell'Hub come infrastruttura organizzativa

L'Hub è nato e cresciuto insieme al Centro Nazionale, condividendone la missione e contribuendo al perseguimento delle sue finalità strategiche. In questi quattro anni si è passati da una struttura inizialmente molto snella a un'organizzazione composta da numerose competenze multidisciplinari e complementari. Alle competenze gestionali, amministrative e di project management si sono progressivamente affiancati profili tecnici e tecnologici, rafforzando la capacità dell'Hub di sviluppare nuove iniziative, progettualità e servizi a supporto delle aree della ricerca, dell'innovazione e della formazione. Oltre al numero delle persone coinvolte, è aumentata la capacità di costruire una struttura organizzativa capace di gestire le complessità. Una struttura in grado di parlare linguaggi diversi: ricerca, amministrazione, rendicontazione pubblica, innovazione, imprese, formazione e comunicazione.

Parallelamente, la Fondazione si è dotata di un'organizzazione chiara e trasparente, con ruoli e responsabilità definiti, regole condivise e strumenti finalizzati a garantire qualità, efficacia e continuità operativa. Questo percorso ha portato all'adozione di un sistema di gestione per la qualità e la sicurezza dei dati e delle informazioni, integrato con i principali presidi normativi in materia di privacy, responsabilità amministrativa degli enti e cybersicurezza. Non si tratta di meri adempimenti formali, ma di strumenti necessari per tutelare il patrimonio della Fondazione, ridurre i rischi operativi, legali e reputazionali e rendere l'organizzazione più solida, affidabile e capace di sostenere attività sempre più complesse.

In questo senso, il consolidamento dell'Hub rappresenta uno dei risultati più importanti del percorso compiuto. È una infrastruttura meno visibile rispetto ai supercomputer, ai dati o alle piattaforme tecnologiche, ma è altrettanto necessaria. Senza una capacità organizzativa stabile, anche le migliori infrastrutture rischiano di restare frammentate, sottoutilizzate o incapaci di generare un impatto sistemico.

Dal finanziamento straordinario alla sostenibilità

Il consolidamento organizzativo ha consentito al Centro di prepararsi alla fase successiva: quella della continuità post-PNRR. Una fase in cui cambia la natura della sfida. Durante l'attuazione del Piano, il compito principale era garantire il corretto avanzamento delle attività, la gestione delle risorse assegnate e la rendicontazione dei risultati conseguiti. Oggi, la sfida è dimostrare la capacità di trasformare quegli investimenti in risultati duraturi, servizi, competenze e opportunità. In altre parole, non basta più dimostrare di saper gestire risorse. Occorre dimostrare di saper generare valore.

In questa direzione si collocano le nuove misure introdotte dal MUR, che stanno progressivamente delineando un quadro di continuità per i Centri Nazionali e per gli Ecosistemi costruiti nell'ambito della Missione 4, Componente 2 del PNRR. Un quadro fondato su capacità di rete, valutazione, performance, sostenibilità e impatto. La Legge di Bilancio 2025 ha introdotto un sistema strutturato di Key Performance Indicator (KPI) per i Centri Nazionali e i partenariati estesi, collegando l'accesso alle future risorse alla capacità di generare risultati misurabili in termini di impatto scientifico, tecnologico, economico e sociale.



Nella stessa direzione si colloca il Decreto Direttoriale n. 307 del Programma Nazionale Ricerca, Innovazione e Competitività 2021-2027, che incentiva la collaborazione tra gli Ecosistemi dell'Innovazione, finanzia progettualità in continuità con quelle avviate nell'ambito della Missione 4, Componente 2, mira ad aumentarne il livello di maturità tecnologica e favorisce il trasferimento verso il mercato. Il messaggio di fondo è chiaro: le iniziative nate con il PNRR devono essere messe in condizione di evolvere, collaborare e produrre risultati sempre più vicini alle esigenze del sistema produttivo e della società.

Anche il Synergy Grant si inserisce in questo percorso come strumento di finanziamento ma anche come meccanismo pensato per valorizzare e capita-

lizzare competenze, infrastrutture e reti costruite attraverso il PNRR. Il suo obiettivo è rafforzare il ruolo dei Centri Nazionali come soggetti capaci di promuovere partenariati, coinvolgere altri ecosistemi e soggetti pubblici e privati e sviluppare progettualità ad alta complessità scientifica e tecnologica, orientate a generare impatti duraturi.

Queste misure istituzionali indicano una traiettoria precisa: il sistema della ricerca e dell'innovazione deve passare da una logica di finanziamento straordinario a una logica di consolidamento strutturale. I Centri Nazionali non sono chiamati soltanto a completare ciò che è stato avviato, ma a dimostrare di essere piattaforme permanenti, capaci di aggregare competenze, attrarre risorse, sviluppare servizi e produrre impatti misurabili.



Il percorso autonomo di consolidamento

Accanto alle misure istituzionali a sostegno della continuità post-PNRR, ICSC ha avviato un proprio percorso autonomo di consolidamento, con l'obiettivo di sviluppare nuove attività coerenti con la missione del Centro. Si tratta di iniziative che, da un lato, creano nuove opportunità per i membri del Centro Nazionale e, dall'altro, consentono di aprirsi progressivamente anche a soggetti esterni, incluse PMI, startup, spinoff universitari e pubbliche amministrazioni. In questo modo si amplia la platea dei potenziali beneficiari delle competenze, delle infrastrutture e delle risorse sviluppate nell'ambito del PNRR.

Tra le iniziative più significative già avviate rientrano l'Osservatorio sulle tendenze del supercalcolo e delle tecnologie emergenti, le attività di policy e networking, la partecipazione a progetti strategici nazionali ed europei, lo sviluppo di nuovi servizi nell'ambito dei dati e della formazione e gli investimenti in infrastrutture cloud e HPC, realizzati sia attraverso progetti finanziati sia mediante risorse proprie del Centro. A queste iniziative si aggiunge ICSC Grants, finanziata con risorse della Fondazione, con l'obiettivo di garantire continuità alle attività più promettenti avviate durante il periodo PNRR e preservare competenze, risultati e reti di collaborazione costruite nel tempo.

Il punto centrale è che la sostenibilità del Centro non può dipendere da una sola fonte di finanziamento o da una singola misura pubblica, ma deve poggiare su una pluralità di strumenti: misure istituzionali, capacità progettuale, partecipazione a programmi europei e

nazionali, sviluppo di servizi, valorizzazione delle competenze, formazione e relazioni con il sistema produttivo. La sostenibilità futura del Centro si costruisce quindi attraverso un duplice percorso: il sostegno delle politiche nazionali e la capacità del Centro stesso di investire sul proprio futuro.

Un ecosistema aperto

Grazie alle scelte strategiche compiute sin dalla sua costituzione e alla capacità dimostrata di tradurre il Programma PNRR in investimento, oggi il Centro Nazionale ICSC si afferma come un ecosistema aperto, che mette a disposizione infrastrutture, dati, competenze, relazioni e opportunità di collaborazione. Parliamo di infrastrutture avanzate di HPC, Big Data, Intelligenza Artificiale e Quantum Computing; di competenze scientifiche e tecnologiche distribuite nel network dei partner; di opportunità di collaborazione tra ricerca e impresa; di percorsi formativi per lo sviluppo di nuove professionalità; di attività di valorizzazione e networking che favoriscono la diffusione dei risultati e la nascita di nuove progettualità.

La vera sfida dei prossimi anni sarà trasformare queste risorse in opportunità concrete per un numero crescente di utenti, ricercatori, imprese e pubbliche amministrazioni. Per questo è importante pensare a ICSC non soltanto come a un progetto PNRR, ma come a una piattaforma capace di mettere in connessione persone, competenze, infrastrutture e idee. Se nei primi quattro anni l'obiettivo è stato costruire, nei prossimi anni l'obiettivo sarà valorizzare e mettere a sistema ciò che è stato realizzato, affinché l'investimento iniziale continui a produrre risultati e impatti duraturi.

Raccontare il valore generato

La valorizzazione passa anche dalla comunicazione e nell'ultimo anno ICSC ha investito molto per raccontare e condividere il valore generato dal Centro Nazionale. È stato un lavoro lungo, che ha coinvolto tutta la comunità nel tradurre infrastrutture, progetti, innovazioni e risultati in contenuti accessibili e comprensibili, capaci di raggiungere una platea sempre più ampia di persone. Anche questa è una responsabilità legata all'investimento pubblico. Il valore di un progetto non si misura soltanto nei risultati prodotti, ma anche nella capacità di renderli conoscibili,

comprensibili e utilizzabili da comunità diverse: ricercatori, imprese, istituzioni, studenti, cittadini.

Il nuovo sito del Centro Nazionale ICSC, il numero speciale di *Pandora Rivista* e il volume dedicato ai progetti sviluppati dal Centro sono canali attraverso i quali questa storia può essere approfondita. Sono strumenti di rendicontazione pubblica, ma anche di costruzione di identità, memoria e consapevolezza collettiva. Un esempio particolarmente significativo è la collaborazione con *Topolino*, che ha permesso di raccontare temi complessi come il supercalcolo, i dati e l'intelligenza artificiale con un linguaggio



gio semplice e accessibile anche ai più giovani. È un'iniziativa che trasmette un messaggio importante: l'innovazione tecnologica non deve essere percepita come qualcosa di distante o da temere, ma come uno strumento da conoscere e utilizzare consapevolmente.

La tecnologia, integrata con le capacità distintive dell'essere umano – creatività, intuizione, spirito critico e immaginazione – può amplificare il nostro potenziale e aiutarci ad affrontare le grandi sfide del futuro.

In fondo, il percorso del Centro Nazionale ICSC racconta proprio questo: la

possibilità di trasformare risorse straordinarie in capacità permanenti, infrastrutture in servizi, ricerca in opportunità, conoscenza in valore condiviso. Il consolidamento dell'Hub e della struttura di management del Centro non è quindi un risultato interno o amministrativo. È una condizione abilitante perché il Centro possa continuare a svolgere la propria missione: supportare la comunità scientifica, accompagnare le imprese nell'adozione delle tecnologie avanzate, rafforzare la competitività del sistema della ricerca e dell'innovazione e contribuire alla costruzione di una capacità tecnologica nazionale stabile, aperta e orientata al futuro.



Evoluzione e valorizzazione del sistema della ricerca e dell'innovazione nel contesto ICSC

di Ugo Becciani e Davide Salomoni

Ugo Becciani è Research Manager di Fondazione ICSC. Davide Salomoni è Innovation and Services Manager di Fondazione ICSC.

Il Centro Nazionale ICSC come nuova infrastruttura della ricerca e dell'innovazione

La nascita del Centro Nazionale ICSC ha rappresentato per il sistema italiano della ricerca un passaggio di scala: il calcolo ad alte prestazioni, i Big Data, l'intelligenza artificiale e il Quantum Computing sono stati posti al centro di una strategia nazionale capace di collegare infrastrutture, comunità scientifiche e bisogni di innovazione. Nel quadro del PNRR, il Centro non ha agito soltanto come programma di investimento tecnologico, ma come piattaforma di convergenza tra università, enti pubblici di ricerca, grandi infrastrutture, imprese e territori. La sua funzione più rilevante è stata rendere stabile e riconoscibile una capacità scientifica già diffusa nel Paese, ma spesso organizzata attraverso reti discontinue, progetti settoriali o iniziative locali.

ICSC ha offerto una cornice comune in cui potenza di calcolo, gestione dei dati, modelli, algoritmi, software e competenze di dominio potessero essere messi al

servizio di problemi scientifici e tecnologici sempre più complessi. In questa prospettiva, il Centro ha contribuito a ridefinire il ruolo della ricerca pubblica: non semplice utilizzatrice di infrastrutture avanzate, ma motore della loro progettazione, della loro evoluzione e della loro apertura verso l'intero ecosistema dell'innovazione.

Una rete nazionale di competenze, risultati e innovazione nella ricerca computazionale avanzata

Il valore di ICSC emerge soprattutto nella capacità di mettere a sistema la ricerca sviluppata dagli Spoke, trasformando il calcolo avanzato in un linguaggio comune tra discipline. Lo Spoke 0 ha consolidato la base infrastrutturale, intervenendo su rete, risorse HPC e Big Data, federazione cloud, accesso ai servizi, supporto e formazione: una condizione abilitante perché le comunità scientifiche potessero operare su ambienti distribuiti, sicuri e progressivamente integrati. Lo Spoke 1 ha lavorato sulle tecnologie del futuro HPC, dalle architetture eterogenee ai sistemi RISC-V, dagli acceleratori ai runtime, dai workflow alla sicurezza, producendo prototipi, strumenti software e laboratori capaci di avvicinare ricerca

hardware, software e trasferimento tecnologico. Lo Spoke 2 ha affrontato la sostenibilità computazionale della fisica fondamentale e della space economy, portando GPU, FPGA, ARM, machine learning e data lake dentro processi scientifici che richiedono simulazioni, analisi e ricostruzioni sempre più esigenti.

Altri Spoke hanno sviluppato modelli e piattaforme per astrofisica, clima, ambiente, materiali, ingegneria, salute e società digitale, mostrando come il supercalcolo e l'analisi dei dati non siano strumenti neutri, ma condizioni per formulare nuove domande scientifiche: dalla previsione climatica ai digital twin, dalla medicina in silico alla scoperta di materiali, dall'osservazione dell'universo alla gestione di grandi moli di dati sperimentali. Lo Spoke 10, dedicato al Quantum Computing, ha rafforzato una filiera che va dagli algoritmi al middleware e alle piattaforme hardware, includendo applicazioni in fisica, cosmologia, ottimizzazione, machine learning, reti quantistiche e tecnologie fotoniche, atomiche e superconduttive.

La valorizzazione dei risultati prodotti dagli Spoke nel contesto ICSC significa rendere dati, software, algoritmi, piattaforme, competenze e infrastrutture più accessibili, riutilizzabili e interoperabili. Molte attività hanno riguardato l'ottimizzazione di codici, la portabilità verso architetture eterogenee, la costruzione di workflow riproducibili, la realizzazione di ambienti PaaS e SaaS, la definizione di politiche di accesso e il supporto alle comunità di utenti. Questo patrimonio comune riduce la frammentazione, consente a nuovi gruppi di ricerca di entrare in campi altamente specialistici e aumenta la maturità delle soluzioni prodotte. Una macchina di calcolo, da sola, non genera innovazione: la generano le comunità che sanno usarla, i dati organizzati secondo principi di qualità e apertura, i servizi che facilitano l'accesso, le competenze tecniche che accompagnano l'intero ciclo della ricerca e la capacità di trasformare prototipi in strumenti condivisi.

In questo quadro, il rapporto con imprese, startup, PMI, spinoff, istituzioni culturali e soggetti territoriali è diventato





un elemento importante, con il loro coinvolgimento fatto attraverso i bandi a cascata emessi dagli Spoke del Centro. Innovation Grants, proof of concept, attività dimostrative e collaborazioni industriali hanno inoltre permesso di portare i risultati scientifici in contesti applicativi più vicini a bisogni reali. Le grandi imprese hanno potuto contribuire alla validazione di prototipi, all'accesso a casi d'uso e alla definizione di traiettorie di sviluppo. Le realtà più giovani hanno trovato nel Centro un ambiente di mentoring, sperimentazione e co-sviluppo. In molti ambiti la ricerca degli Spoke ha fornito la sostanza di questo ecosistema: architetture HPC e RISC-V, software per workflow scientifici, modelli per clima e rischi ambientali, pipeline per dati astrofisici e sanitari, simulazioni per materiali e processi ingegneristici, algoritmi quantitativi per ottimizzazione e analisi dati. La valorizzazione si è così allargata dalla dimensione industriale a quella sociale e territoriale, rafforzando la capacità del sistema pubblico di produrre innovazione aperta, formare competenze e contribuire all'autonomia scientifica e tecnologica del Paese.

Oltre il PNRR: verso un'infrastruttura permanente della conoscenza computazionale

L'investimento fatto consiste nell'aver creato una infrastruttura stabile e duratura, capace di continuare a generare valore oltre l'orizzonte del progetto. In questa prospettiva il Centro Nazionale può consolidarsi non solo come centro di accesso a risorse di calcolo avanzato, ma come una vera piattaforma della conoscenza computazionale: un ambiente in cui infrastrutture, competenze, dati, software e servizi restano disponibili, evolvono nel tempo e sostengono nuove

traiettorie di ricerca e innovazione. Questo sta già avvenendo con la formazione di nuove generazioni di ricercatori e tecnologi, e l'apertura verso reti europee e internazionali con capacità di promuovere progettualità ad alta complessità scientifica e tecnologica.

In questa direzione si collocano le iniziative che guardano al dopo PNRR, dai digital twin all'Edge-Cloud-HPC continuum, dall'intelligenza artificiale alle tecnologie quantistiche. L'avvio del progetto ECHO-TWIN rappresenta un passaggio particolarmente significativo: il Centro proietta l'eredità del PNRR verso una nuova fase di innovazione, fondata su digital twin, AI inferencing e infrastrutture Edge-Cloud-HPC federate. Il progetto rafforza il legame tra ricerca e industria, portando tecnologie avanzate in ambiti strategici come salute, ambiente, mobilità sostenibile e digitale, e conferma il ruolo del centro come piattaforma capace di trasformare competenze scientifiche, dati e infrastrutture in servizi, sperimentazione e valore per i territori.

Questa prospettiva assume anche una chiara dimensione europea. Rafforzare in Italia competenze, infrastrutture e capacità progettuale in HPC, Big Data, AI e Quantum Computing significa contribuire alla sovranità tecnologica dell'Europa, non solo attraverso l'uso di tecnologie avanzate, ma partecipando alla loro progettazione, validazione e integrazione in reti scientifiche e industriali continentali. La prospettiva più ambiziosa è dunque che ICSC continui a operare come comunità nazionale, mantenendo in equilibrio ricerca fondamentale, ricerca orientata e innovazione, e diventando una infrastruttura permanente della ricerca italiana e un presidio della sovranità scientifica e tecnologica europea.

Dati, pratiche e infrastrutture oltre i singoli progetti: una traiettoria dal PNRR al futuro dell'intelligenza

di Arnaud Céol

Arnaud Céol è Technical Project Manager presso la Fondazione ICSC e coordina servizi e infrastrutture dati per progetti strategici come IT4LIA.

Quando l'output non sono i modelli, ma i dati

Nel dibattito pubblico su intelligenza artificiale e supercalcolo, il ruolo dei dati è ormai ampiamente riconosciuto. Dati disponibili e facilmente utilizzabili costituiscono il presupposto essenziale per lo sviluppo di modelli, applicazioni e politiche basate sull'intelligenza artificiale. Accanto a questa consapevolezza, tuttavia, rimane spesso meno esplicitata una distinzione cruciale: quella tra i dati intesi come semplice risorsa tecnica e i dati concepiti come infrastruttura, cioè come componente strutturale di sistemi complessi e duraturi.

L'esperienza maturata all'interno del Centro Nazionale di Ricerca in HPC, Big Data e Quantum Computing offre un osservatorio privilegiato su questo passaggio. Nel corso del PNRR, il Centro Nazionale non si è limitato alla produzione di risultati scientifici o di dimostratori tecnologici, ma ha investito nella costruzione di infrastrutture e pratiche comuni

progettate per estendere il proprio valore oltre la durata dei singoli progetti. Dataset strutturati e documentati, interoperabili e riutilizzabili nel tempo, sono stati integrati in archivi e servizi concepiti non come semplici depositi, ma come componenti strutturali a supporto di nuovi ecosistemi di ricerca e innovazione.

In questo contesto, i dati assumono una fisionomia più ampia. Non sono più soltanto input per modelli di intelligenza artificiale, ma diventano asset organizzati, governati e integrati all'interno di architetture tecnologiche e istituzionali complesse. Comprendere questa evoluzione è essenziale per interpretare correttamente sia l'esperienza del Centro Nazionale nel contesto del PNRR, sia lo sviluppo di iniziative successive come, l'AI Factory italiana, e più in generale le sfide che attendono il sistema della ricerca e dell'innovazione nel passaggio verso architetture distribuite Edge-Cloud-HPC.

Il patrimonio: il Centro Nazionale PNRR e i dati come outcome

Il PNRR ha rappresentato per il sistema della ricerca italiana un'occasione senza precedenti, non soltanto per l'entità delle risorse mobilitate, ma soprattutto per

l'impostazione strategica adottata. Con la nascita del Centro Nazionale di Ricerca in HPC, Big Data e Quantum Computing, l'obiettivo non era limitato al finanziamento di singoli progetti di eccellenza, ma orientato alla costruzione di capacità di sistema, intese come infrastrutture, competenze e pratiche in grado di produrre effetti durevoli oltre l'orizzonte temporale dei finanziamenti.

In questo quadro, i dati hanno assunto sin dall'inizio un ruolo centrale. Non semplicemente come materia prima delle attività di ricerca, ma come outcome strutturale del lavoro del Centro Nazionale e come componente portante dell'ecosistema nel suo complesso. Progetti e Spoke di ogni dominio applicativo hanno contribuito a generare dati concepiti non per rimanere confinati in contesti locali, ma per confluire in un patrimonio più ampio, coordinato e progressivamente armonizzato.

Il modello Hub & Spoke ha reso possibile questa impostazione. La produzione dei dati è rimasta distribuita e aderente alle specificità disciplinari, ma è stata accompagnata da uno sforzo condiviso volto a definire regole, standard e pratiche comuni di gestione. In questo contesto, il valore non risiedeva prioritariamente nella quantità dei dati prodotti, quanto nella capacità collettiva di renderli utilizzabili nel tempo, anche da comunità e soggetti diversi da quelli che li avevano originariamente generati.

Questo approccio si è tradotto in attività operative in numerosi ambiti applicativi. I dati prodotti e utilizzati comprendono dataset meteorologici e ambientali, incluse osservazioni satellitari e serie temporali ad alta risoluzione; dati per il monitoraggio del territorio e dei rischi naturali; dati sanitari e biomedicali, sog-

getti a vincoli normativi stringenti; dati industriali e ingegneristici generati in collaborazione con grandi imprese; fino agli output di simulazioni numeriche, modelli HPC, digital twin e applicazioni di machine learning. La gestione di questa varietà è stata resa possibile dalla complementarità delle competenze dei diversi nodi e datacenter coinvolti, ciascuno con ruoli distinti in relazione a specifici domini, volumi di dati e tipologie di processamento.

Da queste esperienze è emersa con chiarezza l'eterogeneità strutturale dei dati e dei processi che li generano. I dataset del Centro Nazionale differiscono per tipologia, formato, scala e grado di maturità: coesistono dati grezzi e dati fortemente elaborati, risorse di pochi megabyte e archivi dell'ordine del petabyte, dataset statici e flussi quasi in tempo reale. A questa varietà corrispondono pipeline di trattamento complesse, che comprendono ingestione multisorgente, simulazioni ad alte prestazioni, integrazione di modelli HPC, data fusion e tecniche avanzate di analisi e apprendimento automatico.

In tale contesto, la gestione dei dati ha riguardato non solo gli output finali, ma anche gli input, le trasformazioni intermedie e le condizioni di utilizzo dei modelli. Aspetti quali tracciabilità, versioning e riproducibilità sono diventati centrali non per ridurre la complessità, ma per renderla governabile, mantenendo coerenza tra discipline scientifiche, comunità di utenti e bisogni operativi profondamente diversi.

È qui che si colloca una delle lezioni più rilevanti del PNRR: le infrastrutture dati non emergono per accumulazione spontanea, ma richiedono progettazione,



investimenti continuativi e modelli di governance espliciti. Archivi federati, cataloghi, pipeline di ingestione, servizi di metadattizzazione e strumenti di tracciabilità non hanno costituito semplici sottoprodotti tecnici, ma risultati strategici del lavoro del Centro Nazionale.

Parte integrante di questo percorso è stata la gestione dei diversi regimi di accesso ai dati. Il Centro Nazionale ha operato fin dall'inizio in un contesto intrinsecamente eterogeneo: accanto a dati pensati per essere aperti e riutilizzabili, sono presenti dati sensibili, in particolare in ambito sanitario, e dati di origine privata o industriale, utilizzabili esclusivamente entro perimetri progettuali autorizzati. La capacità costruita non è stata quella di imporre un modello unico di apertura, ma di rendere queste differenze esplicite, trasparenti e governabili.

Anche l'accesso limitato a dati aziendali non ha rappresentato un vincolo, bensì un'opportunità. Il lavoro su dati reali, non sempre disponibili in contesti puramente accademici, ha consentito ai progetti del Centro Nazionale di confrontarsi con condizioni operative concrete e di sviluppare soluzioni più robuste. È anche in questa capacità di bilanciare apertura, protezione e responsabilità che i dati del Centro Nazionale assumono pienamente il ruolo di infrastruttura, non solo per i contenuti informativi che veicolano, ma per l'insieme di regole, pratiche e relazioni fiduciarie che ne rendono possibile l'utilizzo nel tempo.

Guardando a posteriori, uno dei risultati più rilevanti del periodo del PNRR non risiede in singoli esiti scientifici o tecnologici, ma nell'affermazione dei dati come infrastruttura, attraverso pratiche, competenze e modalità di gestione che ne rendono

possibile l'uso affidabile su larga scala. Questo patrimonio di metodi ed esperienze non esaurisce gli sviluppi successivi, ma costituisce uno dei contributi che alimentano scenari più ampi e articolati.

Nel contesto di IT4LIA, il lavoro sui dati si colloca all'interno di un quadro europeo in evoluzione, orientato a renderli progressivamente utilizzabili da ricercatori, pubblica amministrazioni e industria nei workflow dell'intelligenza artificiale. La continuità che si osserva non è quindi istituzionale, ma tematica: riguarda il ruolo centrale dei dati e delle loro modalità di gestione nel passaggio dal PNRR al presente e agli sviluppi futuri dell'ecosistema nazionale ed europeo dell'AI.

Il presente: IT4LIA e la maturità dei dati

Se il Centro Nazionale PNRR ha rappresentato la fase di costruzione delle infrastrutture dati e delle pratiche comuni di gestione, IT4LIA ne segna l'ingresso in una fase pienamente operativa. È il momento in cui le capacità sviluppate vengono applicate e consolidate su casi d'uso reali, all'interno di un ecosistema europeo competitivo e regolato, e in cui emerge con chiarezza un concetto chiave: quello di AI Data Readiness.

Nel contesto di IT4LIA, non è più sufficiente che i dati siano semplicemente disponibili o correttamente gestiti. Per poter sostenere in modo affidabile lo sviluppo e l'impiego di sistemi di intelligenza artificiale, i dati devono essere pronti all'uso lungo l'intero ciclo di vita dei modelli e dei servizi AI. In questo ambito, la readiness riguarda innanzitutto la comprensibilità del dato, garantita da metadati coerenti e da informazioni di contesto che ne chiariscano



origine, significato e limiti di utilizzo. Include poi la tracciabilità, intesa come capacità di ricostruire le trasformazioni subite dal dato prima di alimentare un modello, evitando opacità che renderebbero difficile l'interpretazione dei risultati. Un ulteriore elemento è la coerenza semantica, che consente di integrare dati provenienti da contesti eterogenei senza ambiguità, riducendo i tempi di avvio delle attività e favorendo il riuso.

In termini operativi, questo cambiamento incide direttamente sui diversi tipi di utenti dell'ecosistema. Per i ricercatori, comporta una riduzione dei tempi di avvio dei progetti, grazie alla disponibilità di dati già comprensibili e contestualizzati. Per le imprese, significa poter utilizzare i dati all'interno di pipeline affidabili e ripetibili, compatibili con contesti regolati. Per gli attori pubblici, infine, implica la possibilità di basare decisioni e servizi su risultati dell'intelligenza artificiale più trasparenti, tracciabili e quindi più facilmente valutabili e adottabili.

Questa impostazione completa e rende pienamente operative le attività avviate durante il PNRR attraverso l'evoluzione del Data Management Plan, che in IT4LIA assume un ruolo esplicitamente funzionale. Il DMP guida in modo concreto le modalità con cui i dati vengono ingeriti, monitorati, trasformati e resi disponibili nei diversi ambienti dell'AI Factory, contribuendo a renderli non solo corretti dal punto di vista formale, ma anche stabili, riutilizzabili e mantenibili nel tempo.

Un ambito particolarmente rappresentativo di questo approccio è la data ingestion, concepita come un processo continuo e monitorabile. I dati vengono identificati, descritti e arricchiti con metadati, per poi essere preparati all'utilizzo

all'interno di workflow di intelligenza artificiale. Attraverso questo percorso, evolvono progressivamente in data products, risorse scopribili e utilizzabili da comunità diverse senza la necessità di ricostruire ogni volta il contesto originario.

Accanto allo sviluppo dei servizi, ICSC contribuisce anche direttamente sul piano dei dati. Quando possibile, i dataset prodotti o curati nell'ambito del Centro Nazionale vengono utilizzati per completare e arricchire il catalogo di IT4LIA, assicurando continuità con il patrimonio costruito durante il PNRR. In questo modo, l'esperienza maturata all'interno di ICSC continua a generare valore all'interno dell'AI Factory.

Un ulteriore elemento distintivo di IT4LIA è rappresentato dallo sviluppo dei Data Labs, spazi operativi in cui dati, servizi e competenze convergono per supportare l'uso dell'intelligenza artificiale in contesti applicativi concreti. In prospettiva, questi ambienti si inseriscono nel quadro dei EU AI Data Labs come strumenti per favorire la sperimentazione, l'integrazione e il riuso dei dati all'interno di ecosistemi tematici. IT4LIA opera così come nodo di una rete europea di laboratori dedicati ai dati per l'intelligenza artificiale, contribuendo alla costruzione di capacità comuni.

In prospettiva, man mano che i servizi dati si stabilizzano, la loro presenza tende a diventare meno visibile, non perché meno rilevante, ma perché maggiormente integrata nei processi operativi. Quando discovery, ingestion, preparazione, gestione e orchestrazione sono allineate all'interno di un'unica architettura operativa, l'attenzione può spostarsi dall'infrastruttura all'innovazione e all'impatto. È proprio questa maturità operativa,



fondata sulla AI Data Readiness, a configurare IT4LIA come passaggio chiave tra l'eredità del PNRR e gli scenari futuri dell'intelligenza artificiale.

Il futuro: Edge-Cloud-HPC, ECHO-TWIN ed etica dei dati

Se IT4LIA rappresenta il presente della maturità dei dati, il futuro che si delinea è caratterizzato da una trasformazione più profonda: il passaggio verso un continuum Edge-Cloud-HPC. In questo scenario, i dati non sono più generati prevalentemente in contesti centralizzati e stabili, ma nascono in prossimità delle fonti fisiche che descrivono, come sensori, infrastrutture, città e territori. Il dato diventa così parte integrante dei sistemi

osservati e deve poter essere utilizzato con tempi di latenza ridotti per supportare analisi, simulazioni e processi decisionali.

Questa evoluzione incide in modo diretto sulle modalità di gestione dei dati. Non sempre è possibile, né opportuno, trasferire grandi volumi informativi verso centri di calcolo remoti. In numerosi contesti, i dati devono essere selezionati, filtrati, arricchiti e aggregati lungo il percorso che li conduce all'utilizzo. Il valore informativo non risiede più esclusivamente nella conservazione del dato, ma nella capacità di governarne il ciclo di vita, definendo in modo consapevole dove, quando e in quale forma esso viene trasformato e impiegato.

Nel continuum Edge-Cloud-HPC, la gestione dei dati assume quindi una valenza architeturale e di responsabilità. La maggiore prossimità del dato ai contesti operativi rende infatti più diretto il legame tra informazione e decisione, accrescendo l'importanza della qualità, della trasparenza e della ricostruibilità dei processi che portano da un'informazione grezza a un risultato utilizzabile.

È in questo quadro che iniziative come ECHO-TWIN assumono un ruolo specifico. Più che come un singolo progetto, ECHO-TWIN può essere interpretato come un laboratorio sperimentale in cui vengono sviluppate e testate architetture dei dati destinate a supportare digital twin distribuiti, confrontati con flussi informativi eterogenei, dinamici e in continuo aggiornamento. I gemelli digitali sviluppati nell'ambito dell'iniziativa richiedono infatti l'integrazione coerente di dati provenienti da sorgenti diverse, mantenendo significato e consistenza lungo l'intero processo di utilizzo.

In ECHO-TWIN, i dati non sono trattati come oggetti statici, ma come flussi informativi strutturati, che attraversano fasi successive di ingestione, validazione, arricchimento semantico e integrazione. Per gestire tale complessità, il progetto opera su data space federati, in cui metadati, ontologie e modelli condivisi consentono di mantenere interoperabilità anche in presenza di sorgenti eterogenee e aggiornamenti continui. Attraverso questo approccio, ECHO-TWIN affronta in modo operativo i temi della qualità, dell'affidabilità e della ricostruibilità dell'informazione nei digital twin. Il dato assume così il ruolo di infrastruttura a pieno titolo, che deve essere progettata, monitorata e governata con lo stesso livello di attenzione riservato agli altri componenti del sistema.

Man mano che i dati si avvicinano alle persone e ai territori emergono con maggiore evidenza le dimensioni etiche e sociali della loro gestione. Nel continuum Edge-Cloud-HPC, le decisioni basate sui dati non sono più astratte o distanti, ma possono incidere direttamente su ambiti quali mobilità, ambiente, salute e sicurezza. Ciò rende insufficiente una visione esclusivamente tecnica della governance dei dati: privacy, protezione delle informazioni sensibili, mitigazione dei bias e trasparenza diventano requisiti strutturali, da integrare fin dalle fasi di progettazione delle infrastrutture e dei servizi.

Le esperienze maturate nel Centro Nazionale e consolidate attraverso ECHO-TWIN evidenziano l'importanza di strumenti di governance dedicati, quali linee guida condivise anche sociali ed etiche, in grado di affiancare lo sviluppo tecnologico con una riflessione continua sugli impatti sociali. In questo contesto, l'etica non si configura come un vincolo esterno, ma come una condizione di sostenibilità per l'utilizzo dei dati in sistemi complessi e distribuiti.

Conclusione: dai dati come mezzo ai dati come capacità

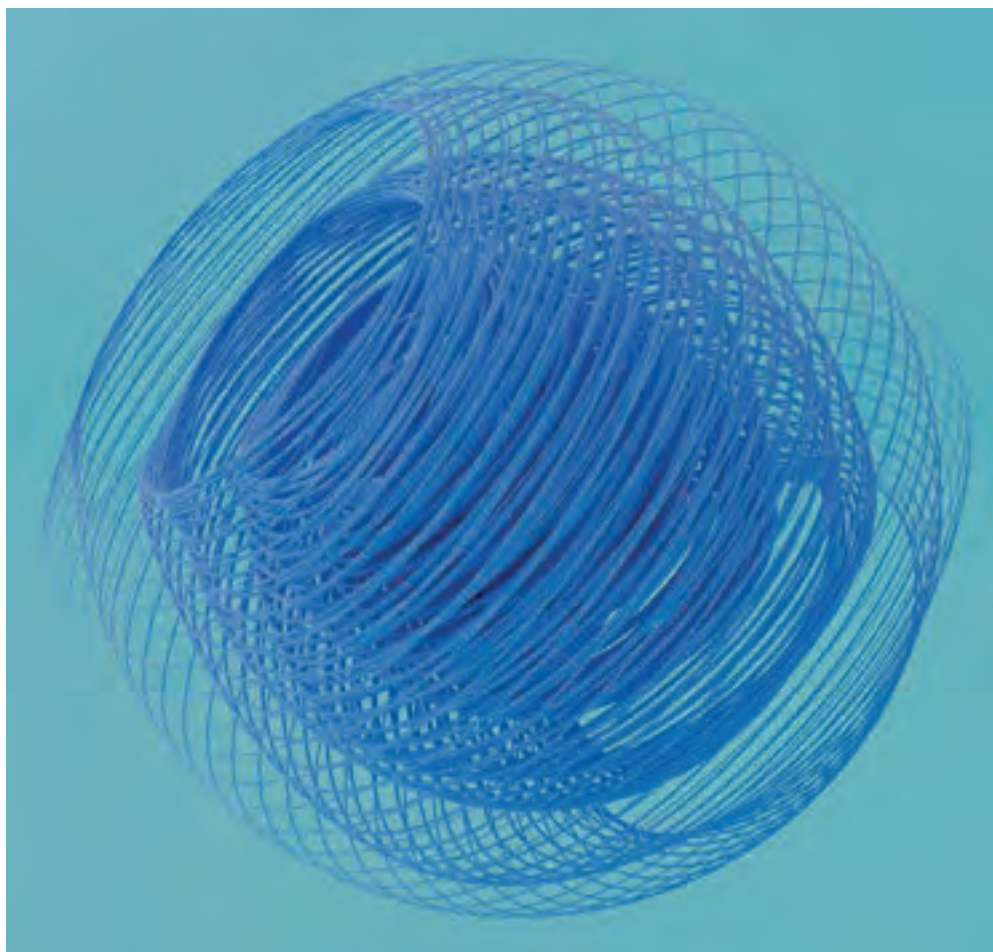
Guardando al percorso nel suo insieme, dal PNRR alle iniziative più recenti, emerge come uno dei risultati più duraturi non risieda in singoli esiti scientifici o tecnologici, ma nella progressiva affermazione dei dati come infrastruttura. Un'infrastruttura fatta di pratiche, regole e strumenti che rendono possibile l'uso affidabile dei dati in contesti complessi, distribuiti e ad alto impatto.

Questo percorso si inserisce in modo naturale nel quadro europeo dell'European Open Science Cloud (EOSC) Federation, di cui ICSC coordina il Nodo Nazionale italiano.

Il lavoro svolto dal Centro Nazionale sulla gestione dei dati, sui regimi di accesso e sulla loro interoperabilità non rappresenta quindi un'esperienza isolata, ma contribuisce alla costruzione di un'infrastruttura federata europea, pensata per rendere i dati della ricerca scopribili, accessibili e riutilizzabili nel rispetto dei contesti disciplinari, tecnologici e normativi.

In questa prospettiva, l'esperienza maturata durante il PNRR prepara il terreno a una continuità che va oltre i singoli

programmi di finanziamento. I dati non sono soltanto un output del Centro Nazionale, ma diventano un ponte strutturale tra l'ecosistema italiano della ricerca e quello europeo, accompagnando il passaggio dalla produzione dei dati alla loro integrazione in spazi condivisi e operativi. È in questo ruolo di connessione e garanzia che si rafforza la funzione di ICSC come attore di coordinamento, capace di assicurare coerenza, sostenibilità e affidabilità all'uso dei dati nel presente e nel futuro dell'intelligenza artificiale e del supercalcolo in Europa.



Formazione e sviluppo di competenze per favorire l'utilizzo delle tecnologie avanzate

di Lucia Floresta

Lucia Floresta è Education Manager di Fondazione ICSC.

La conclusione del progetto PNRR legato al Centro Nazionale ICSC ha rappresentato un momento di sintesi rispetto alle attività svolte e, in particolare, al ruolo strategico assegnato alla formazione e allo sviluppo delle competenze avanzate. Nel corso del progetto, il Centro ha operato in un contesto caratterizzato da una rapida evoluzione tecnologica e da una crescente complessità dei sistemi digitali, in cui la disponibilità di infrastrutture avanzate non sarebbe stata sufficiente senza un parallelo investimento sul capitale umano.

Fin dall'avvio delle attività, la formazione è stata intesa come uno strumento abilitante per l'adozione consapevole delle tecnologie digitali avanzate e per la loro integrazione nei processi di ricerca, industriali e organizzativi.

Oltre l'alfabetizzazione digitale: competenze per l'innovazione computazionale

Durante il periodo di attuazione del progetto è emersa con chiarezza la consapevolezza che l'alfabetizzazione digitale di

base, pur necessaria, non fosse più sufficiente a sostenere i processi di innovazione richiesti a livello industriale, scientifico e istituzionale. Le trasformazioni in atto hanno reso indispensabile lo sviluppo di competenze avanzate capaci di operare all'intersezione tra calcolo, dati, intelligenza artificiale, simulazione e ambienti distribuiti.

Il Centro ha interpretato questa esigenza promuovendo una visione integrata delle tecnologie abilitanti, superando approcci settoriali o puramente specialistici. Le attività formative realizzate hanno mirato a fornire strumenti concettuali e operativi per comprendere come diverse tecnologie possano essere combinate all'interno di progettualità complesse, favorendo un uso efficace delle risorse computazionali e dei dati in contesti applicativi reali.

In tale quadro, uno dei principali limiti all'adozione diffusa delle tecnologie avanzate non è risultato essere di natura esclusivamente tecnica, quanto piuttosto culturale e organizzativa. La carenza di competenze adeguate e di una visione sistemica ha spesso rallentato la capacità di tradurre il potenziale tecnologico in valore, scientifico, economico e sociale.

Le attività formative del Centro hanno affrontato direttamente questa criticità, ponendosi l'obiettivo di ridurre il divario tra conoscenza tecnologica e capacità di applicazione.

Il ruolo di ICSC come facilitatore tra ricerca, industria e contesti applicativi

Nel corso del progetto, ICSC ha svolto un ruolo di facilitatore nel trasferimento di competenze dal mondo della ricerca verso l'industria e verso altri contesti applicativi, contribuendo a rafforzare il dialogo tra sviluppo scientifico, infrastrutture digitali e bisogni del sistema produttivo. La formazione è stata utilizzata come leva per accompagnare l'adozione consapevole delle tecnologie avanzate e per ridurre la distanza tra sperimentazione e applicazione.

L'offerta formativa sviluppata dal Centro ha coperto un ampio spettro di ambiti tecnologici e applicativi, con un'impostazione fortemente integrata. I percorsi hanno combinato attività didattiche, accesso a infrastrutture reali, laboratori pratici e casi d'uso, consentendo ai partecipanti di acquisire competenze immediatamente spendibili. Questo approccio ha permesso di valorizzare le sinergie tra le diverse componenti dell'ecosistema ICSC e di consolidare una visione unitaria delle tecnologie digitali avanzate.

Nel corso del progetto, la formazione ha contribuito in modo sostanziale a rendere operativo l'approccio ecosistemico promosso da ICSC. Le attività realizzate non si sono limitate a trasferire competenze tecniche, ma hanno favorito la costruzione di un linguaggio comune tra comunità scientifiche, mondo industriale e contesti applicativi diversi, facilitando l'incontro tra bisogni concreti e

soluzioni tecnologiche avanzate. Questo approccio ha permesso di valorizzare le complementarità tra discipline e settori, rafforzando la capacità del Centro di agire come punto di raccordo tra infrastrutture, competenze e casi d'uso.

La dimensione formativa è diventata così uno spazio privilegiato di integrazione, in cui sperimentare modelli di collaborazione, condividere metodologie e consolidare pratiche comuni. In tal senso, il progetto ha dimostrato come la formazione possa svolgere un ruolo strategico non solo nello sviluppo di competenze individuali, ma anche nella costruzione di comunità professionali e reti di collaborazione capaci di durare oltre la conclusione delle singole iniziative.

Apprendimento permanente e valorizzazione del capitale umano

La proposta formativa del Centro si è inserita pienamente nel quadro della normativa nazionale che riconosce l'apprendimento permanente come diritto della persona e come leva per la crescita del sistema economico e sociale. Le attività realizzate hanno contribuito a rendere più trasparenti e riconoscibili le competenze acquisite in contesti diversi, favorendone la spendibilità nei percorsi professionali.

Nel corso del progetto, ICSC ha promosso un ecosistema formativo capace di aggregare infrastrutture di eccellenza e competenze interdisciplinari in ambito scientifico e ingegneristico. Tale ecosistema ha sostenuto lo sviluppo di competenze lungo l'intero arco della vita, fornendo strumenti adeguati per affrontare un contesto caratterizzato da continue accelerazioni tecnologiche e trasformazioni dei modelli organizzativi.

Un risultato rilevante emerso a valle delle attività è stato il rafforzamento della consapevolezza, all'interno delle organizzazioni coinvolte, del valore strategico delle competenze avanzate. I percorsi formativi hanno contribuito a rendere più evidente il legame tra sviluppo delle competenze, capacità di innovazione e sostenibilità dei processi di trasformazione digitale. In questo senso, la formazione ha agito come fattore abilitante per una lettura più matura del cambiamento tecnologico, favorendo approcci meno episodici e più strutturati all'adozione delle soluzioni digitali avanzate.

L'esperienza maturata ha inoltre evidenziato l'importanza di modelli formativi flessibili, capaci di adattarsi a profili professionali diversi e a bisogni eterogenei, mantenendo al tempo stesso un'elevata qualità dei contenuti. Questo orientamento ha rappresentato uno degli elementi distintivi dell'azione del Centro, contribuendo a consolidarne il ruolo come riferimento nazionale nel campo della formazione avanzata.

Le principali iniziative formative realizzate

Tra le iniziative formative più significative realizzate dal Centro Nazionale nel corso del progetto si segnalano quattro progetti.

Re Train Me Academy (2024): percorso sviluppato in collaborazione con lo Spoke 8 – In-silico medicine and omics data, finalizzato al rafforzamento delle competenze nelle aree interdisciplinari che connettono medicina, biologia e informatica. L'iniziativa ha raccolto 42 candidature e ha visto la selezione di 36 partecipanti. Il corso, avviato nel settembre 2024, ha registrato un'elevata continuità di partecipazione e un forte coinvolgimento nelle attività didattiche e di laboratorio.

International School on the Open Science Cloud – SOSOC (2024): iniziativa internazionale focalizzata sul rafforzamento delle competenze nelle pratiche di ricerca digitale. Il programma, strutturato in tre filoni tematici, ha integrato lezioni teoriche e sessioni pratiche. I questionari di valutazione hanno evidenziato un elevato livello di soddisfazione rispetto alla qualità complessiva dell'esperienza formativa.

WE-HPC (2025): programma formativo realizzato in collaborazione con l'Associazione Italiana di Ingegneria del Vento, dedicato all'uso di strumenti computazionali avanzati per la simulazione e l'analisi nel settore. Il corso ha coinvolto 18 partecipanti e ha ricevuto valutazioni molto positive dai partecipanti, che ne hanno riconosciuto la rilevanza applicativa.

Health HPC (2026): iniziativa modulare sviluppata in collaborazione con Fondazione DARE, orientata alla formazione professionale nel settore sanitario. La prima edizione ha rappresentato un passaggio importante verso la strutturazione di un'offerta formativa sostenibile, con un modello pensato per essere compatibile con gli impegni professionali dei partecipanti.

Dimensione europea e risultati complessivi

Nel bilancio complessivo del progetto, le attività formative hanno rappresentato uno degli ambiti in cui è stato maggiormente visibile l'allineamento tra dimensione nazionale ed europea. L'impostazione adottata, ispirata a standard e pratiche condivise a livello internazionale, ha facilitato l'inserimento del Centro in reti e iniziative sovranazionali, rafforzandone la credibilità e la capacità di interlocuzione.



Questo posizionamento è stato il risultato di un lavoro progressivo di consolidamento metodologico e organizzativo, che ha consentito a ICSC di presentarsi non solo come infrastruttura tecnologica, ma come attore in grado di offrire una visione integrata su formazione, competenze e innovazione digitale. La coerenza tra attività formative, obiettivi strategici e priorità europee è emersa come uno dei principali elementi di valore del progetto.

Le attività formative del Centro hanno contribuito a rafforzare il posizionamento di ICSC a livello nazionale ed europeo. La partecipazione a iniziative come il progetto europeo AI Factory IT4LIA, in cui il Centro ha avuto un ruolo di coordinamento delle attività educative, ha rappresentato un riconoscimento della solidità dell'approccio sviluppato e della capacità di operare come nodo di riferimento per la formazione avanzata.

Nel complesso, il progetto PNRR ha consentito di porre le basi di un ecosistema

formativo strutturato, integrato e orientato al futuro, capace di affrontare la carenza strutturale di competenze digitali avanzate e di sostenere processi di innovazione diffusa.

| Conclusioni

La conclusione del progetto PNRR non ha rappresentato un punto di arrivo, ma la fase di consolidamento di un percorso che ha posto la formazione e lo sviluppo delle competenze al centro delle politiche di innovazione. Attraverso le attività realizzate, ICSC ha contribuito a rafforzare il capitale umano, a diffondere una cultura dell'innovazione tecnologica consapevole e a creare le condizioni per una maggiore integrazione tra infrastrutture, competenze e applicazioni.

L'esperienza maturata nel corso del progetto costituisce una base solida su cui costruire la continuità delle azioni formative e il loro ulteriore sviluppo, in una prospettiva di lungo periodo orientata alla competitività del sistema Paese.

Il contributo allo sviluppo tecnologico e scientifico nel quadro dei progetti europei

di Matteo Zanaroli

Matteo Zanaroli è Ethics and Data Governance Manager di Fondazione ICSC.

Nel contesto delle politiche europee per la transizione digitale, il rafforzamento delle infrastrutture di supercalcolo, della gestione avanzata dei dati e dell'intelligenza artificiale rappresenta una priorità strategica per sostenere la competitività, la sovranità tecnologica e l'innovazione industriale dell'Unione Europea. In questo scenario, l'ICSC – Centro Nazionale di Ricerca in High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing svolge un ruolo di primo piano nella gestione, nel coordinamento e nell'attuazione di progetti europei ad alto impatto, contribuendo in maniera significativa all'allineamento tra strategie comunitarie, capacità nazionali e bisogni emergenti del sistema socioeconomico. Tali attività garantiscono coerenza con le priorità del Centro e la sostenibilità di lungo periodo delle infrastrutture e dei servizi sviluppati.

Il Centro Nazionale ha un focus su iniziative progettuali relative allo sviluppo di policy, alla individuazione di linee strategiche e di indirizzo relative alle tecnologie abilitanti, nonché a partecipare a iniziative dove valorizzare l'ecosistema pubblico-privato che compone la compagine

del centro stesso, promuovendo l'adozione di soluzioni basate su calcolo ad alte prestazioni, analisi avanzata dei dati e intelligenza artificiale. In questo quadro si inseriscono i principali progetti europei che vedono il coinvolgimento diretto di ICSC.

EUSAiR

Il progetto EUSAiR – European Union Sandboxes for AI Regulation risponde direttamente alle esigenze introdotte dall'*AI Act* europeo, proponendosi come piattaforma di coordinamento per l'implementazione di regulatory sandbox per l'intelligenza artificiale a livello dell'Unione.

Il progetto EUSAiR, della durata di due anni, nasce per supportare l'attuazione delle "AI regulatory sandboxes" previste dall'*AI Act*; ambienti controllati pensati per favorire lo sviluppo, il testing normativo e la validazione di sistemi di intelligenza artificiale innovativi prima della loro immissione sul mercato. L'iniziativa mira a coordinare e rafforzare l'implementazione di tali sandbox nei diversi Stati membri, offrendo quadri standardizzati, potenziando le capacità tecniche e giuridiche e promuovendo la cooperazione tra autorità nazionali. Un'attenzione

particolare è riservata all'accesso delle PMI e delle startup, attraverso la riduzione dei costi di compliance e delle barriere all'ingresso del mercato. EUSAiR coinvolge attivamente stakeholder e altre iniziative europee nel campo dell'intelligenza artificiale, promuovendo un approccio interdisciplinare e la creazione di una rete di sandbox che includa i principali attori dell'ecosistema. Inoltre, il progetto sostiene attività di analisi indipendente, advocacy politica e modelli formativi scalabili, anche attraverso test pilota su infrastrutture HPC europee, al fine di migliorare la certezza giuridica, facilitare la conformità normativa e favorire lo sviluppo transfrontaliero delle sandbox.

Elemento distintivo di EUSAiR è l'enfasi sull'utilizzo di grandi infrastrutture digitali pubbliche come ambienti di sperimentazione indipendenti, che permettono di condurre analisi comparative e di alimentare un apprendimento regolatorio basato su evidenze empiriche. Il contributo di ICSC si concentra sul coordinamento delle attività, sull'allineamento con altre iniziative Digital Europe e sul rafforzamento delle sinergie tra comunità scientifica, autorità pubbliche e sistema produttivo.

| INNOVATECH

Il progetto INNOVATECH – Innovative Network for Technological Advancements with HPC mira a rafforzare la capacità europea nel campo del supercalcolo industriale attraverso la realizzazione e gestione di un sistema HPC di livello industriale, flessibile e modulare. Il sistema è progettato per integrare esigenze di calcolo ad alte prestazioni e servizi cloud, supportando applicazioni che spaziano dalla simulazione numerica all'analisi avanzata dei dati e all'uso dell'intelligenza artificiale. INNOVATECH valorizza

l'infrastruttura del Tecnopolo di Bologna, già sede del sistema EuroHPC preexascale Leonardo, e introduce elementi innovativi quali un data lake di nuova generazione e reti dati ad alte prestazioni. Il progetto contribuisce in modo significativo alla diffusione dell'HPC come strumento di competitività per le imprese, favorendo processi di digitalizzazione e innovazione industriale.

| DARE

Con il progetto DARE – Digital Autonomy for RISCv in Europe, ICSC contribuisce a una delle iniziative più ambiziose in termini di autonomia tecnologica europea. DARE si propone di sviluppare componenti hardware e software basati su architettura open RISCv per applicazioni HPC e AI, introducendo chiplet dedicati a calcolo vettoriale, inferenza AI e processori generalpurpose. Il progetto adotta un approccio di hardware/software codesign guidato da applicazioni reali, garantendo che le soluzioni sviluppate rispondano alle esigenze delle comunità scientifiche e industriali.

Al centro del progetto vi è lo sviluppo innovativo di tre chiplet basati su architettura RISC-V: un Vector Accelerator (VEC) per calcoli HPC ad alta precisione e applicazioni emergenti, una AI Processing Unit (AIPU) dedicata all'accelerazione dell'inferenza AI e un General-Purpose Processor (GPP) ottimizzato per i carichi di lavoro dei supercomputer, progettati per superare i limiti dei chip monolitici tradizionali in termini di efficienza, scalabilità e costi. Il progetto adotta inoltre un approccio avanzato di co-design hardware-software, sviluppando parallelamente un ecosistema software completo e utilizzando applicazioni europee di riferimento per guidare l'innovazione, con l'obiettivo di facilitare l'adozione delle nuove tecnologie.



Grazie al contributo di un ampio partenariato europeo, che include importanti attori italiani come ICSC, CINECA e Università di Bologna, DARE mira a definire le basi per i futuri supercomputer europei post-exascale, promuovendo un ecosistema collaborativo capace di integrare ricerca, industria e infrastrutture e di garantire soluzioni HPC e AI sicure, performanti ed energeticamente efficienti.

| IT4LIA – AI Factory

Il progetto IT4LIA – AI Factory rappresenta un ulteriore passo nella costruzione di un ecosistema europeo competitivo per l'intelligenza artificiale. L'intelligenza artificiale è al centro delle strategie industriali europee. Eppure, come spesso accade quando una tecnologia attraversa la fase di massima visibilità, tra interesse e reale adozione continua a esistere un divario significativo. Le imprese comprendono il potenziale dell'AI, ma incontrano ancora ostacoli legati all'accesso alle risorse computazionali, alle competenze, ai dati e alla capacità di trasformare la sperimentazione in applicazioni operative.

È una situazione che richiama da vicino quanto emerge in molti percorsi di trasformazione digitale del manifatturiero: la tecnologia è disponibile, la consapevolezza è diffusa, ma integrazione e scalabilità restano sfide aperte. Ed è proprio per colmare questo gap che nasce IT4LIA – AI Factory, il progetto italiano inserito nella rete delle AI Factory europee promosse da EuroHPC JU, con l'obiettivo di accelerare lo sviluppo e l'adozione dell'intelligenza artificiale nel tessuto produttivo e della ricerca.

Il progetto IT4LIA – AI Factory rappresenta un ulteriore tassello nella costruzione di un ecosistema europeo dell'intelligenza artificiale più solido e competitivo.

L'AI è ormai al centro delle strategie industriali dell'Unione Europea, ma tra il crescente interesse verso questa tecnologia e la sua adozione concreta nelle imprese permane ancora un divario significativo. Le aziende ne riconoscono il valore e le potenzialità, ma devono spesso confrontarsi con difficoltà legate all'accesso a risorse computazionali adeguate, competenze specialistiche, dati di qualità e alla capacità di trasformare i progetti pilota in soluzioni operative scalabili. Una dinamica che richiama da vicino quanto osservato nei percorsi di trasformazione digitale del settore manifatturiero: la tecnologia esiste e la consapevolezza è diffusa, ma integrazione nei processi e scalabilità restano sfide cruciali. Proprio per rispondere a queste esigenze nasce IT4LIA – AI Factory.

Il progetto IT4LIA rappresenta un'iniziativa strategica nazionale volta a posizionare l'Italia come leader nel campo dell'intelligenza artificiale, integrando infrastrutture di supercalcolo, competenze e servizi avanzati in un ecosistema europeo coordinato. Inserito nella rete delle AI Factory e basato su risorse di eccellenza come il supercomputer Leonardo e oltre 20.000 GPU, il progetto offre una piattaforma completa per l'intero ciclo di vita dell'AI, dalla preparazione dei dati all'addestramento su larga scala e all'inferenza.

Nel suo primo anno di attività, IT4LIA ha quindi dato vita a un ecosistema avente lo scopo di accompagnare le organizzazioni in ogni fase del percorso di adozione dell'intelligenza artificiale, pensato per colmare il divario tra ricerca accademica e applicazioni industriale e sostenuto da un portafoglio strutturato di servizi, un data registry e una rete di AI Gate e partner strategici capaci di orientare PMI e startup verso soluzioni innovative.

Situato presso il Tecnopolo di Bologna, fulcro della Data Valley italiana, il progetto mette a disposizione risorse e servizi anche gratuiti per attori qualificati, promuovendo l'innovazione in diversi settori. Parallelamente, IT4LIA dedica grande attenzione allo sviluppo delle competenze per affrontare la carenza di professionisti ICT, attraverso programmi formativi articolati, percorsi di reskilling e iniziative collaborative come tirocini, hackathon e corsi specialistici, contribuendo così a preparare il sistema produttivo e la società alle trasformazioni guidate dall'intelligenza artificiale.

| SPE

Il progetto SPE – Strategic Research and Innovation Agenda for Post-Exascale Computing in Europe affronta una delle principali sfide tecnologiche dell'Europa nei prossimi anni: preparare la convergenza tra High Performance Computing (HPC), Artificial Intelligence (AI) e Quantum Computing and Simulation nell'era post-Exascale. La crescente domanda di capacità computazionale proveniente dal mondo della ricerca e dell'industria richiede infatti non solo infrastrutture sempre più potenti, ma anche nuove architetture hardware e software, algoritmi avanzati e modelli di servizio innovativi in grado di sostenere i futuri sviluppi scientifici e tecnologici.

L'obiettivo strategico di SPE è costruire in maniera continua e partecipativa una roadmap europea per il post-Exascale computing, capace di orientare investimenti, programmi di ricerca e iniziative industriali nel medio e lungo termine. Il progetto raccoglie e integra contributi dalle comunità scientifiche e industriali, ma dedica anche particolare attenzione alla individuazione di idee innovative e

dirompenti attraverso processi strutturati di consultazione e foresight tecnologico. Un elemento distintivo dell'iniziativa è la volontà di coinvolgere nuovi attori e nuove comunità, ampliando il tradizionale perimetro dell'ecosistema HPC europeo.

La roadmap sviluppata da SPE coprirà l'intera catena del valore del calcolo avanzato, includendo applicazioni scientifiche e industriali, algoritmi, ambienti software, tecnologie hardware, sistemi di nuova generazione e servizi digitali basati sull'integrazione tra HPC, AI e tecnologie quantistiche. In questo contesto, il contributo di ICSC risulta particolarmente rilevante grazie alla capacità di mettere in relazione le esigenze delle comunità di ricerca con le strategie europee per la sovranità tecnologica e la competitività industriale. Il progetto contribuisce inoltre a rafforzare la posizione dell'Italia nei processi di definizione delle future priorità europee nel settore del calcolo ad alte prestazioni.

| EOSC-CONNECT

Un ulteriore ambito di intervento strategico è rappresentato dal progetto EOSC-CONNECT, iniziativa finalizzata a rafforzare e consolidare la European Open Science Cloud (EOSC) attraverso la creazione e l'interconnessione di nodi nazionali riconosciuti come punti di accesso alla federazione EOSC. Il progetto parte dal presupposto che il successo della scienza aperta europea dipenda dalla capacità dei singoli Stati membri di sviluppare ecosistemi nazionali interoperabili, sostenibili e pienamente integrati all'interno dell'infrastruttura federata europea.

EOSC-CONNECT riunisce quattordici Paesi europei con l'obiettivo di ampliare, consolidare e far evolvere la Federazione EOSC attraverso la realizzazione di

National Node autonomi ma interconnessi. Tali nodi, supportati e riconosciuti dalle rispettive autorità nazionali competenti, costituiscono il collegamento tra le strategie nazionali in materia di ricerca e innovazione e il più ampio ecosistema europeo della scienza aperta. Il progetto affronta inoltre alcune delle principali criticità che ancora limitano la condivisione transnazionale di dati e risorse digitali, incluse le barriere tecniche, organizzative e normative che ostacolano l'interoperabilità tra infrastrutture e discipline scientifiche. Attraverso attività di coordinamento, armonizzazione e sviluppo di capacità federative, EOSC-CONNECT mira a semplificare l'accesso e l'utilizzo di dati, servizi e risorse computazionali ad alto costo, favorendo modelli più efficienti di collaborazione scientifica a livello europeo.

Per ICSC, la partecipazione a EOSC-CONNECT rappresenta un'opportunità strategica per valorizzare le infrastrutture e le competenze nazionali sviluppate nell'ambito dell'HPC, della gestione dei dati e dell'intelligenza artificiale, contribuendo al contempo alla costruzione di un ecosistema europeo della ricerca sempre più aperto, integrato e orientato alla condivisione della conoscenza. Attraverso il coinvolgimento nel progetto, il Centro Nazionale contribuisce a promuovere l'adozione della EOSC presso la comunità scientifica italiana e a favorire l'integrazione delle infrastrutture nazionali nelle future evoluzioni della Federazione europea.

Nel loro insieme, i progetti europei gestiti e coordinati da ICSC delineano un modello avanzato di governance dell'innovazione digitale, in cui il supercalcolo, l'intelligenza artificiale e la gestione dei dati diventano leve strategiche per lo sviluppo scientifico, industriale e sociale.



Dati, infrastrutture e competitività europea: perché ICSC con il Nodo Italiano EOSC è una leva strategica per la ricerca e l'innovazione

di Maria Luisa Lavitrano e Matteo Zanaroli

Maria Luisa Lavitrano è componente dell'Ethics and Data Governance Board di Fondazione ICSC.

Matteo Zanaroli è Ethics and Data Governance Manager di Fondazione ICSC.

La capacità di produrre, condividere e governare dati scientifici è oggi una componente essenziale della competitività economica e tecnologica europea. EOSC (European Open Science Cloud) rappresenta la risposta europea a questa sfida e ICSC, come Nodo Nazionale EOSC, costituisce il principale strumento attraverso cui l'Italia contribuisce alla costruzione di questa infrastruttura strategica.

Per oltre trent'anni la competitività è stata interpretata soprattutto in termini di apertura dei mercati, capacità industriale e investimenti. Oggi questa lettura non è più sufficiente. La competizione si gioca sempre più sulla capacità di produrre, governare e valorizzare conoscenza. L'intelligenza artificiale, le tecnologie quantistiche, la medicina personalizzata, la transizione energetica e la manifattura avanzata condividono infatti un presupposto comune: la disponibilità di enormi quantità di dati affidabili, interoperabili e accessibili, insieme alle infrastrutture necessarie per elaborarli.

In questo scenario, dati e infrastrutture digitali non costituiscono più un semplice supporto alla ricerca scientifica, ma diventano fattori di potere economico e geopolitico. Chi controlla gli ecosistemi nei quali dati, servizi, software e capacità computazionale possono essere condivisi e riutilizzati dispone di un vantaggio competitivo nella produzione di innovazione. È in questa prospettiva che devono essere letti i più recenti documenti strategici dell'Unione Europea. Il rapporto Draghi individua nella capacità di trasformare ricerca e innovazione in leadership tecnologica uno dei principali nodi della competitività europea; il rapporto Letta propone di completare il mercato unico attraverso una "quinta libertà" dedicata alla libera circolazione della conoscenza; il rapporto Heitor richiama la necessità di rafforzare le infrastrutture comuni della ricerca come condizione per accelerare lo sviluppo tecnologico europeo.

Il filo che lega queste analisi è evidente: senza infrastrutture condivise della conoscenza, l'Europa difficilmente potrà competere in un'economia nella quale il valore nasce sempre più dall'integrazione tra dati, capacità computazionale e ricerca.

EOSC: un'infrastruttura strategica per la ricerca europea

All'interno di questa trasformazione va collocata la European Open Science Cloud (EOSC). Presentarla semplicemente come una piattaforma per la condivisione dei dati significherebbe sottovalutarne la natura. EOSC rappresenta piuttosto il tentativo europeo di costruire una vera infrastruttura pubblica della conoscenza.

L'obiettivo non consiste nel creare un enorme archivio centralizzato di dati, ma nel federare ciò che già esiste: infrastrutture di ricerca, repository, servizi digitali, piattaforme software e risorse di calcolo, rendendoli interoperabili attraverso standard comuni. È una scelta profondamente europea. Anziché concentrare dati e servizi in un unico soggetto, EOSC costruisce una rete distribuita nella quale ogni infrastruttura mantiene la propria autonomia, contribuendo al tempo stesso a un ecosistema condiviso.

Questa architettura riflette una precisa idea di integrazione europea. Così come il mercato unico ha reso possibile la libera circolazione di beni, servizi, persone e capitali, EOSC mira a rendere possibile la libera circolazione della conoscenza scientifica, preservando al tempo stesso la pluralità delle istituzioni e delle comunità di ricerca.

La EOSC Association, nel proprio recente position paper, definisca EOSC una delle infrastrutture abilitanti della competitività europea, della sovranità digitale e della piena realizzazione della European Research Area. In un contesto in cui l'intelligenza artificiale richiede dati di qualità, descritti secondo standard condivisi e riutilizzabili, la disponibilità di capacità

computazionale, per quanto essenziale, non è più sufficiente. Senza ecosistemi federati di dati e servizi, anche i supercomputer più potenti rischiano di non esprimere appieno il proprio potenziale.

EOSC nasce dunque come risposta a una sfida politica prima ancora che tecnologica: creare le condizioni affinché la ricerca europea possa produrre conoscenza in modo collaborativo, interoperabile e competitivo su scala continentale.

ICSC e il Nodo Italiano EOSC: una questione strategica

Se EOSC rappresenta un'infrastruttura europea della conoscenza, allora essere parte della sua governance assume un valore che supera la dimensione tecnica. La designazione della Fondazione ICSC quale Nodo Nazionale italiano della EOSC Federation non costituisce soltanto il riconoscimento delle competenze maturate nel campo dell'High Performance Computing, dei Big Data e del Quantum Computing, ma il modo attraverso cui l'Italia contribuisce direttamente alla costruzione di uno dei principali beni pubblici europei della ricerca.

Essere Nodo Nazionale significa infatti molto più che offrire servizi digitali. Significa federare le infrastrutture nazionali, rappresentare la comunità scientifica italiana nei processi decisionali europei, contribuire alla definizione degli standard di interoperabilità, partecipare alla progettazione dei servizi comuni e favorire l'integrazione tra discipline scientifiche diverse. In altre parole, significa esercitare una funzione di governance.

Questo ruolo assume oggi un'importanza crescente perché le grandi infrastrutture della ricerca stanno diventando

anche infrastrutture della politica industriale europea. La capacità di mettere in rete dati, competenze e risorse computazionali determina infatti la possibilità di sviluppare nuovi modelli di intelligenza artificiale, accelerare la ricerca biomedica, sostenere la transizione energetica e rafforzare la competitività del sistema produttivo. Da questo punto di vista, il Nodo Italiano non rappresenta semplicemente il punto di accesso nazionale a EOSC, ma il contributo italiano alla costruzione dell'infrastruttura europea della conoscenza.

ICSC: infrastruttura di integrazione

La scelta di ICSC appare coerente con la missione stessa del Centro Nazionale. Fin dalla sua costituzione, ICSC è stato concepito non come un'infrastruttura verticale dedicata a una singola disciplina, ma come un centro capace di integrare High Performance Computing, Big Data, Intelligenza Artificiale e servizi digitali a beneficio dell'intero sistema della ricerca. Questa impostazione coincide con la filosofia di EOSC. Entrambe si fondano sull'idea che il valore scientifico derivi sempre meno dal possesso esclusivo delle infrastrutture e sempre più dalla loro capacità di cooperare.

La federazione delle risorse di calcolo, la condivisione dei dati FAIR, l'interoperabilità dei servizi, la gestione federata delle identità digitali e la collaborazione tra comunità disciplinari differenti costituiscono gli elementi attraverso cui diventa possibile produrre una ricerca realmente data-driven.

Gli obiettivi di EOSC rispecchiano infatti alcune delle direttrici fondamentali su cui ICSC ha costruito la propria missione. In primo luogo, EOSC promuove

l'accesso a dati di ricerca di alto valore, machine-actionable, insieme a software e pubblicazioni. Questo è un elemento centrale per ICSC, che mira a sviluppare un ecosistema capace di supportare l'addestramento di modelli avanzati, inclusi quelli di intelligenza artificiale, facendo leva su dati di qualità. La disponibilità di dati FAIR non è solo un requisito tecnico, ma una condizione abilitante per la scienza e l'innovazione del presente e del futuro, che consente inoltre di sviluppare progettualità cross-dominio.

Un secondo asse strategico è quello della sovranità digitale. EOSC nasce esplicitamente per rafforzare il controllo europeo sui dati della ricerca, riducendo la dipendenza da piattaforme e infrastrutture extraeuropee. Per ICSC, la sovranità dei dati – italiana ed europea – è un principio fondante, strettamente legato alla conformità normativa, alla sicurezza e alla capacità di orientare lo sviluppo tecnologico in modo autonomo e responsabile.

Fondamentale è anche il tema dell'interoperabilità. EOSC abilita il riutilizzo dei dati all'interno e tra discipline diverse, favorendo l'integrazione di fonti eterogenee. Questo aspetto è particolarmente rilevante per un attore come ICSC, che opera trasversalmente su domini scientifici diversi e che vede nella contaminazione tra settori uno dei principali motori di innovazione. ICSC si configura quindi non soltanto come un utilizzatore di EOSC, ma come uno degli attori che contribuiscono a definirne l'evoluzione.

Quando la strategia diventa realtà: nasce la EOSC Federation

Il passo decisivo verso l'operatività di EOSC è stato compiuto con l'avvio della EOSC Federation, lanciata ufficialmente



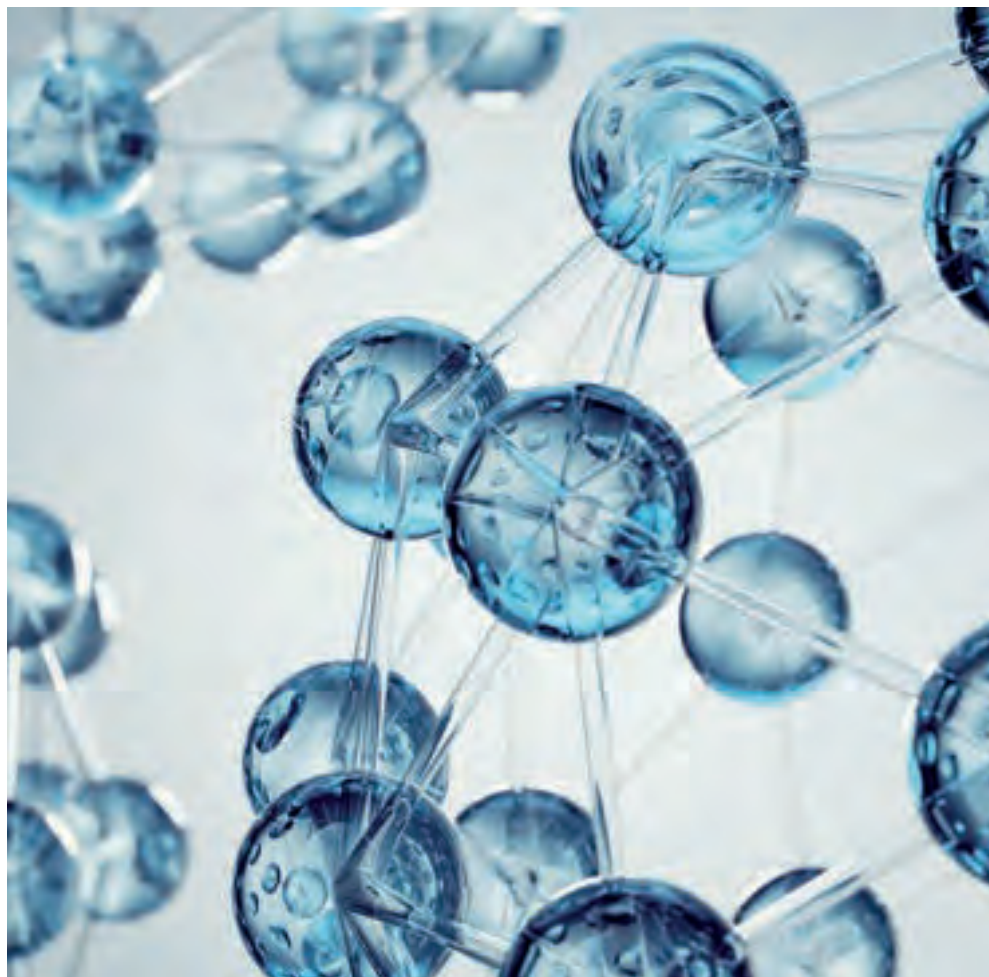
con la selezione dei primi nodi nazionali e tematici a inizio 2025. La Federazione costituisce l'architettura concreta attraverso cui EOSC prende forma, collegando nodi distribuiti sul territorio europeo che forniscono dati, strumenti e servizi al mondo della ricerca.

Ogni nodo della Federazione è un'infrastruttura che mette a disposizione risorse digitali secondo standard comuni, mantenendo al contempo la titolarità e il controllo delle proprie risorse. Questo modello consente di conciliare apertura e sovranità, evitando concentrazioni centralistiche e valorizzando la diversità dei sistemi nazionali e disciplinari.

Uno degli elementi chiave della EOSC Federation è la sua capacità di rispondere a una sfida oggi cruciale: la crescente domanda di dati di alta qualità per lo sviluppo dell'intelligenza artificiale. La potenza computazionale infatti, pur essenziale, non è sufficiente senza dati ben

descritti, interoperabili e riutilizzabili; EOSC contribuisce a colmare questo gap.

In questo scenario, ICSC come Nodo Nazionale italiano della EOSC Federation (EOSC Node Italy) ha una grande rilevanza strategica, non solo per la Fondazione, ma per l'intero sistema nazionale della ricerca. Essere nodo nazionale della EOSC Federation significa anche assumere un ruolo di interlocutore istituzionale. Attraverso EOSC, ICSC supporta il dialogo tra comunità scientifica, ministeri e istituzioni europee, contribuendo all'identificazione delle priorità nazionali e alla definizione di strategie coerenti con il quadro europeo. Questo ruolo si inserisce nel percorso avviato dalla comunità italiana delle infrastrutture digitali, coordinata attraverso ICDI (Italian Computing and Data Infrastructure), che negli anni ha costruito una visione condivisa per la partecipazione alle grandi iniziative europee, EOSC in particolare.



Un ulteriore elemento di rilievo è rappresentato dalle opportunità di collaborazione. Partecipare alla EOSC-Association e alla EOSC Federation significa entrare in una rete altamente qualificata di infrastrutture, enti di ricerca e stakeholder internazionali. Questo posizionamento aumenta la visibilità di ICSC e del sistema italiano, rafforzando la competitività e favorendo il coinvolgimento in progetti strategici di frontiera. In un contesto in cui l'Unione Europea investe in modo crescente su dati, intelligenza artificiale e

infrastrutture digitali, EOSC si configura come un vero e proprio moltiplicatore di impatto, capace di connettere politiche, risorse e comunità.

A testimonianza di ciò, vi sono due casi d'uso di alto impatto già sviluppati dal nodo italiano in collaborazione con due nodi operanti in ambiti differenti: CERN, Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, e BBMRI-ERIC, l'infrastruttura di ricerca europea per le biobanche e le risorse biomolecolari.

La dimensione più interessante della EOSC Federation, infatti, è che non rappresenta più una prospettiva futura. Sta già producendo servizi operativi. I casi sviluppati insieme al CERN e a BBMRI-ERIC mostrano concretamente cosa significhi costruire una ricerca europea federata.

Nel primo caso, la federazione della piattaforma REANA “reproducible analysis platform” del CERN permette di orchestrare workflow scientifici distribuiti su infrastrutture appartenenti a Paesi diversi, mantenendo interoperabilità, sicurezza e riproducibilità delle analisi. Grazie a standard condivisi, autenticazione federata e politiche comuni fornite da EOSC, ricercatori di diversi Paesi e discipline possono eseguire in modo sicuro e coordinato le proprie analisi sui dati sperimentali, favorendo una collaborazione più stretta tra teoria ed esperimento e promuovendo un modello di scienza aperta, efficiente e scalabile a livello europeo.

Nel secondo caso, la collaborazione con BBMRI-ERIC dimostra come infrastrutture appartenenti a domini completamente differenti – biobanche, intelligenza artificiale e High Performance Computing – possano cooperare per validare modelli di intelligenza artificiale per lo screening del tumore alla prostata in un contesto multicentrico, garantendo conformità normativa, protezione dei dati sensibili e riutilizzabilità delle risorse.

Non si tratta semplicemente di due esempi applicativi. Essi mostrano come EOSC renda possibile una nuova modalità di organizzare la ricerca europea, nella quale la collaborazione non dipende più dalla prossimità geografica delle infrastrutture, ma dalla loro capacità di operare secondo regole condivise.

| Guardando al futuro

La vera novità introdotta da EOSC consiste nell’aver ridefinito il concetto stesso di infrastruttura scientifica per la ricerca. Nel Novecento le grandi infrastrutture erano laboratori, acceleratori di particelle o telescopi; oggi, accanto a queste, emergono infrastrutture federate di dati, servizi, software e capacità computazionale, indispensabili per fare scienza in modo aperto, collaborativo e competitivo.

È questa la direzione indicata dai rapporti Draghi, Letta e Heitor: la competitività europea dipenderà sempre più dalla capacità di costruire beni pubblici della conoscenza che consentano a ricercatori, università, infrastrutture e imprese di operare come un unico ecosistema dell’innovazione. In questo quadro, EOSC non è soltanto un progetto per la ricerca, ma una politica industriale della conoscenza. E il ruolo di ICSC come Nodo Nazionale della EOSC Federation rappresenta il contributo dell’Italia a questa strategia: non solo mettendo a disposizione infrastrutture e competenze, ma partecipando alla definizione dell’architettura attraverso cui l’Unione Europea intende rafforzare la propria autonomia scientifica, tecnologica e competitiva.

La competizione geopolitica, infatti, oggi non riguarda soltanto il possesso della capacità di calcolo, ma soprattutto la capacità di organizzare, governare e condividere dati scientifici affidabili attraverso infrastrutture federate. In questo quadro EOSC rappresenta uno degli strumenti con cui l’Europa prova a costruire la propria sovranità tecnologica, mentre ICSC costituisce il contributo italiano a questa strategia.

L'Osservatorio ICSC sul Supercalcolo: mappare le applicazioni per immaginare le tendenze dell'innovazione italiana

di Eleonora Barelli, Marco Becca e Ugo Becciani

Eleonora Barelli è Head of Education and Foresight di IFAB. Marco Becca è Direttore di IFAB. Ugo Becciani è Research Manager di Fondazione ICSC.

Perché un Osservatorio sul supercalcolo

Come si fa a trasferire tecnologia se chi potrebbe beneficiarne non sa nemmeno che esiste? E come possono organizzazioni pubbliche e private governare un cambiamento tecnologico così rapido come quello dell'intelligenza artificiale?

Sono le domande da cui nel 2023 è nato l'Osservatorio sulle tendenze e le applicazioni del Supercalcolo, come programma di ricerca del Centro Nazionale in High-Performance Computing, Big Data e Quantum Computing, la cui missione è portare la ricerca verso il tessuto produttivo: *from research to business*.

Coordinato dalla Fondazione IFAB in partnership con gli Osservatori Digital Innovation del Politecnico di Milano, il competence center BI-REX e Fondazione ASTRID, l'Osservatorio è nato come strumento per adempiere a questa missione, estendendo la portata del Centro Nazionale ben oltre i propri soci e immediati stakeholder.

1 Osservatorio, 5 direzioni di ricerca

Nei suoi primi tre anni di attività, la ricerca dell'Osservatorio si è mossa lungo cinque direzioni. Ha mappato le applicazioni dell'advanced computing in settori chiave, dalla medicina di precisione ai processi produttivi. Ha identificato tendenze, megatrend e segnali deboli rilevanti per l'evoluzione del supercalcolo e delle sue applicazioni. Ha elaborato scenari futuri alternativi per la competitività delle imprese italiane e per gli ecosistemi di innovazione. Ha supportato i decisori pubblici nell'elaborazione di policy tecnologiche e industriali. Ha formulato raccomandazioni per il potenziamento delle competenze sul supercalcolo, rivolte a chi progetta percorsi di formazione per ricercatori e professionisti.

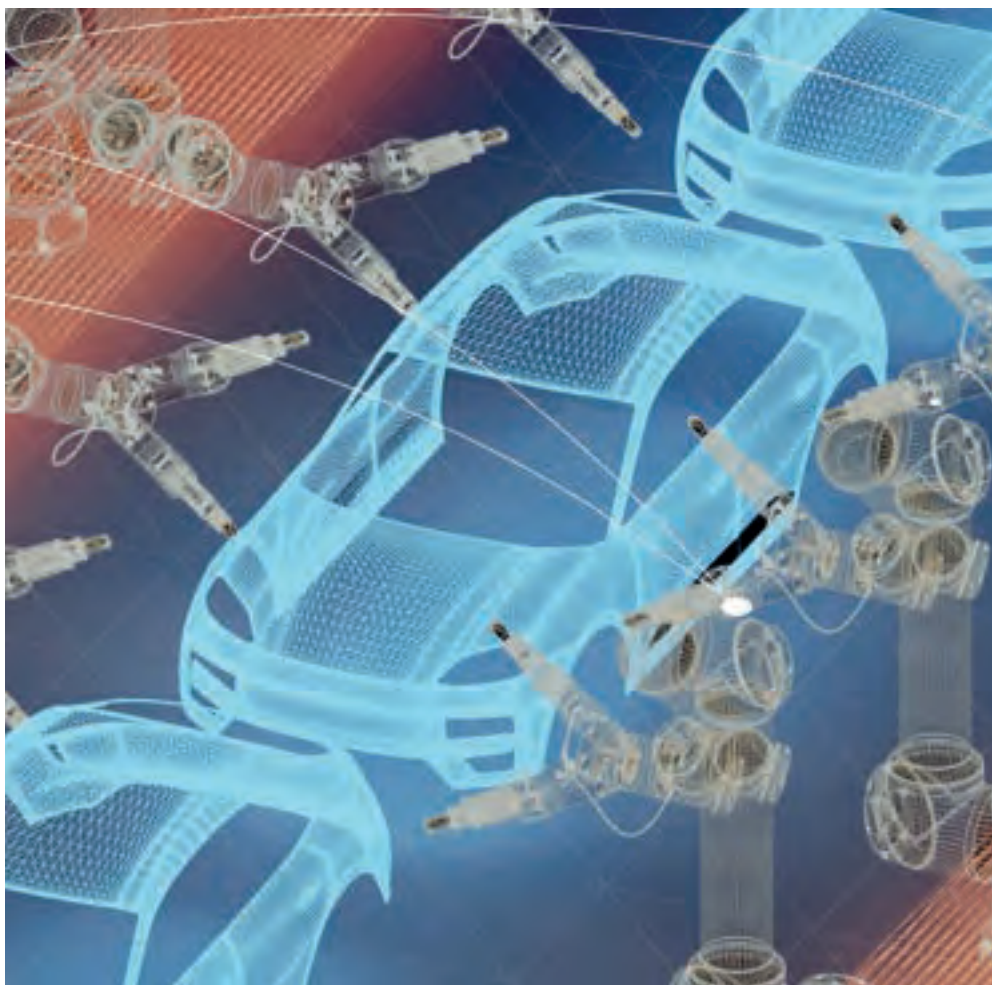
Dalla Ricerca al Business: 250 casi d'uso in 14 report

Uno dei risultati più tangibili dell'Osservatorio è la raccolta di oltre 250 casi d'uso delle tecnologie abilitanti (tra cui calcolo parallelo, cloud, edge e quantum computing), raccontati in 14 report tematici.

La varietà degli ambiti è stata tanto ampia quanto intenzionale: accanto a domini storicamente vicini al supercalcolo – come la simulazione di nuovi materiali, la modellazione climatica o il fintech – l'Osservatorio ha esplorato territori meno mappati e più distanti dalle traiettorie del calcolo avanzato: dal marketing digitale all'agricoltura, dalla cybersecurity alle smart city. Altrettanto varia è la tipologia dei soggetti di cui si sono analizzati e portati i casi: grandi imprese,

PMI, gruppi di ricerca già parte dell'ecosistema del Centro Nazionale ma anche startup e pubbliche amministrazioni.

Questi casi di applicazione del calcolo avanzato non sono rimasti sulla carta. L'Osservatorio ha organizzato 15 webinar live e 8 convegni sul territorio nazionale – Bologna, Napoli, Torino, Catania, Roma, Milano, Firenze e Bari – dando voce direttamente ai protagonisti della ricerca e dell'innovazione italiana: ricercatori,



professionisti, imprenditori, sia della rete di ICSC sia esterni. Oltre 1.700 persone hanno partecipato, con una composizione che riflette l'ecosistema che il progetto voleva raggiungere: 35% università e ricerca, 22% grandi imprese, 14% PMI, 7% pubblica amministrazione.

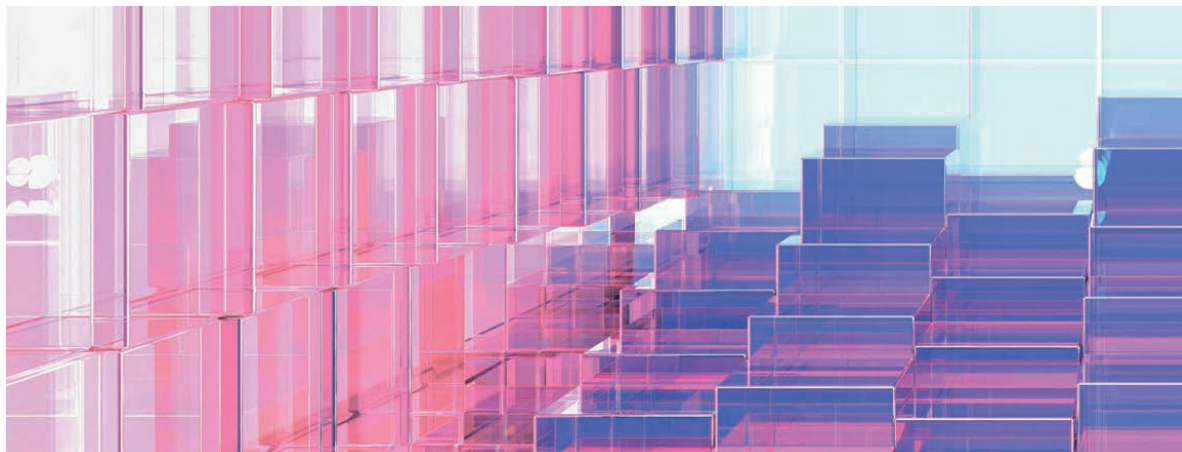
Complessivamente, l'Osservatorio ha coinvolto oltre 300 organizzazioni diverse, tra casi d'uso, eventi e webinar, molte delle quali non facevano parte della rete originaria del Centro Nazionale. Cruciali per raggiungere questa ampiezza sono state le collaborazioni con competence center, altri centri nazionali e partenariati estesi, case delle tecnologie emergenti e associazioni di rappresentanza, che hanno portato a contatto con l'Osservatorio organizzazioni pubbliche e private su tutto il territorio nazionale.

Immaginare futuri, non prevederli: il metodo

Lo strumento metodologico cardine dell'Osservatorio è lo strategic foresight. A differenza del forecasting che proietta una singola traiettoria dal presente con mar-

gini di variazione quantitativi, lo strategic foresight parte dall'assunto che il futuro è molteplice: *future is many, not one*. Non si tratta dunque di prevedere quali saranno le evoluzioni delle tecnologie per il calcolo avanzato e le loro applicazioni di dettaglio, ma di immaginare futuri alternativi per prepararsi ad affrontarli.

L'Osservatorio ha applicato questa metodologia coinvolgendo oltre 40 opinion leader internazionali in workshop strutturati che hanno previsto l'analisi di megatrend e segnali deboli e la costruzione di scenari alternativi. Sono stati prodotti due studi originali: uno sugli scenari per le smart city italiane al 2035, e uno sulla competitività delle imprese nell'era dell'intelligenza artificiale. Quest'ultimo in particolare ha generato quattro scenari, costruiti incrociando competitività socioeconomica e sovranità tecnologica, da cui emergono tre considerazioni strategiche ricorrenti: l'incertezza sull'infrastruttura tecnologica europea, il ruolo dei quadri normativi nel favorire o frenare l'innovazione e la centralità dell'attrazione dei talenti. Temi tutti e tre chiave per il futuro del Centro Nazionale ICSC e degli ecosistemi di ricerca e innovazione italiani ed europei.



Dalle evidenze all'azione: raccomandazioni per policy e formazione

Le ricerche e le attività dell'Osservatorio sono confluite inoltre in due documenti di posizionamento. Il primo, *Quali policy per le tecnologie strategiche del XXI secolo?*, propone raccomandazioni ai decisori pubblici sul quadro normativo in materia di intelligenza artificiale, supercalcolo, Big Data e cloud. Realizzato in collaborazione con Fondazione ASTRID e l'Osservatorio sulle Dinamiche dell'Intelligenza Artificiale, è stato presentato a Roma nell'ottobre 2025 in un convegno con rappresentanti della Commissione Europea, della Presidenza del Consiglio, dell'Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale, dell'AgID, del Garante Privacy.

Il secondo, *Le Big Ideas per la didattica dell'HPC*, propone dieci idee-guida per l'insegnamento del supercalcolo e raccomandazioni per la progettazione di programmi formativi, a partire da un'indagine svolta sulle esigenze di ricercatori e professionisti.

| Guardando avanti

Conclusa la fase PNRR, dal 2026 l'Osservatorio si istituzionalizza in due cantieri permanenti: la ICSC Think Factory e il ICSC Technology Compass.

La Think Factory riunisce un gruppo di ricerca multidisciplinare espressione della comunità ICSC, dedicato alla meta-analisi dei trend tecnologici e al policy advisory, con output che spaziano dai report scientifici ai documenti di raccomandazione per i decisori pubblici. Il Technology Compass è invece il programma annuale pensato per le imprese, che nel 2026 si focalizzerà sull'Edge Computing. Prevede tavoli di lavoro settoriali in cui le aziende contribuiscono direttamente alla ricerca e alla costruzione degli scenari.

Il passaggio dalla fase PNRR alla struttura permanente conferma ciò che l'esperienza ha mostrato: la sfida dell'accessibilità delle tecnologie avanzate, della costruzione di competenze diffuse e della formulazione di policy adeguate all'accelerazione del cambiamento è un tema chiave per i futuri di competitività del nostro Paese.





Un'infrastruttura Cloud-HPC pubblica per l'autonomia digitale e la competitività del Paese

Intervista a Sanzio Bassini, Massimo Carboni e Claudio Grandi

a cura di Pandora Rivista

Sanzio Bassini (CINECA) è Leader dello Spoke O e componente dello Spoke Coordination Board del Centro Nazionale ICSC. Claudio Grandi (INFN) è Co-Leader dello Spoke O Spoke e membro del Coordination Board del Centro Nazionale ICSC. Massimo Carboni è Vicedirettore e Chief technical officer di GARR – Gestione Ampliamento Rete Ricerca.

Oggi si parla sempre più spesso di supercalcolo e cloud come infrastrutture strategiche, soprattutto considerando la crescita continua dei dati provenienti da fonti molto diverse. Quando si parla di un'infrastruttura pubblica di Cloud HPC, che cosa si intende concretamente? E quali elementi la distinguono da un'infrastruttura più tradizionale?

Grandi: L'idea dell'utilizzo del cloud è fondamentalmente quella di consentire ai singoli utenti di costruire, utilizzando strumenti di base, un vero e proprio ecosistema. Quindi non soltanto la possibilità di sottomettere workflow a un centro di calcolo che esegue simulazioni o tratta dati per trasformarli, ma la possibilità di costruire qualcosa di più complesso. Per esempio, creare piattaforme, piccole o grandi, dedicate a workflow di intelligenza artificiale, oppure database che consentano di condividere dati, o ancora pagine web e servizi che

permettano di accedere in maniera più trasparente ai dati archiviati o generati. Uno degli aspetti riguarda la possibilità di identificarsi al sistema in modo semplice, utilizzando le credenziali della propria istituzione di appartenenza e, attraverso accordi tra enti diversi, avere accesso anche a risorse messe a disposizione da altre istituzioni. È quello che normalmente viene indicato come sistema di autenticazione e autorizzazione federata. Questo però spesso si scontra con le esigenze legate alla gestione della sicurezza delle infrastrutture di calcolo, che richiedono un controllo molto forte e diretto dell'identità di chi accede alle risorse dentro queste infrastrutture. Un aspetto che avevamo intenzione di sviluppare ma che abbiamo dovuto posticipare.

Carboni: L'elemento fondamentale è che parliamo di un'infrastruttura sovrana, fornita come servizio innanzitutto al sistema della ricerca e dell'innovazione, ma che allo stesso tempo sviluppa competenze. Il principale obiettivo è da una parte portare competenze all'interno del sistema e, dall'altra, aprire la possibilità di utilizzare queste infrastrutture sia dal lato della ricerca che attraverso meccanismi di grant e accesso privato

che seguano una logica di valorizzazione del risultato scientifico. Naturalmente i costi esistono e sono importanti, ma il modello non è quello puramente commerciale degli hyperscaler. È inoltre un modello di sperimentazione e gestione di infrastrutture complesse distribuite sul territorio – ed è qui che entra in gioco GARR: la rete non è semplicemente il canale attraverso cui transitano i dati, ma parte integrante dell'infrastruttura stessa. Un centro di calcolo isolato, per quanto potente, non può rispondere alle esigenze di comunità distribuite su tutto il territorio nazionale. La connettività ad alta capacità è la condizione che rende possibile il cloud come servizio reale, non come promessa. Si tratta di gestire grandi quantità di dati provenienti dal mondo della ricerca o dal settore pubblico e di fornire questi dati e questi strumenti come servizio. Il motivo per cui il cloud è importante è che introduce un modello replicabile che si svincola da soluzioni troppo verticali. Permette di sviluppare servizi, competenze e strumenti che possono poi essere riutilizzati in contesti differenti.

Bassini: Questa iniziativa si inserisce in un contesto europeo in cui è evidente il tentativo di costruire una risposta alla trasformazione digitale, inserita nel quadro del Next Generation EU e delle strategie europee sul supercalcolo e l'intelligenza artificiale. L'obiettivo è mantenere una capacità pubblica di indirizzo su infrastrutture strategiche. Negli Stati Uniti vediamo una trasformazione digitale fortemente dominata dalle Big Tech, al punto da mettere in discussione il rapporto stesso tra infrastrutture, ricerca e impatto socio-economico. La risposta europea è invece pubblico-privata: esiste certamente un coinvolgimento industriale, ma den-

tro una capacità pubblica di mantenere controllo e indirizzo. La sovranità dipende anche da questo, cioè dalla possibilità di preservare una componente culturale, evitando che lo sviluppo digitale sia interamente dominato da forme di colonialismo tecnologico esercitate dalle grandi piattaforme globali. Il valore dei dati attraversa ambiti molto diversi, dall'osservazione scientifica alla sensoristica ambientale, dalla mecatronica ai sistemi industriali, fino ai dati detenuti dalle aziende. Questo cambia completamente il panorama rispetto al passato, perché storicamente il mondo dell'HPC era dominato quasi esclusivamente da comunità scientifiche molto avanzate, che avevano un controllo diretto dell'infrastruttura. Oggi invece esiste una domanda molto più ampia e differenziata, con utenti che possono non conoscere il dettaglio tecnologico sottostante dell'infrastruttura che vogliono utilizzare. Pensiamo a chi deve fare processing dei dati di un sequenziamento genomico: conosce perfettamente la biologia molecolare, la struttura della sequenza genomica e la propria competenza di dominio, ma non necessariamente l'architettura hardware, il sistema operativo o lo stack tecnologico dietro l'infrastruttura. Questo porta verso modelli di virtualizzazione che rendono l'accesso alle risorse sempre più indipendente dalla loro collocazione fisica. Le grandi piattaforme private hanno già consolidato modelli di accesso di questo tipo e tendono a imporre i propri stack software come standard di fatto; noi abbiamo cercato di costruire una risposta pubblica europea capace di mantenere interoperabilità, controllo dell'infrastruttura e sovranità tecnologica. Nella consapevolezza, però, che il percorso dovrà continuare attraverso ulteriori attività di integrazione e consolidamento.

Il Centro Nazionale si caratterizza anche per essere un'infrastruttura distribuita, che mette insieme realtà come CINECA, GARR, INFN e numerosi altri soggetti. Quanto è importante oggi avere un coordinamento nazionale su questi temi? E quali problemi permette di affrontare che altrimenti rischierebbero di rimanere frammentati?

Bassini: Più che importante, direi imprescindibile. L'Italia è un Paese che, per dimensioni e caratteristiche, fatica a ritrovarsi completamente all'interno dei grandi processi internazionali. In questo caso, però, si è verificata una convergenza nel mantenere una visione comune, soprattutto rispetto alle strategie europee – da EuroHPC fino al PNRR e alle prospettive future legate all'evoluzione delle infrastrutture digitali e dell'intelligenza artificiale. L'Italia ha acquisito così una migliore visibilità internazionale rispetto al solito e oggi il sistema italiano del supercalcolo e delle infrastrutture digitali ha una rilevanza assoluta a livello mondiale, sia per capacità computazionale sia per integrazione delle reti e distribuzione territoriale. Nei ranking internazionali l'Italia compare stabilmente tra i principali Paesi nel campo del supercalcolo. Il Centro Nazionale è stato importante proprio perché ha permesso di mettere insieme degli investimenti che altrimenti sarebbero rimasti separati. Molte iniziative nate in contesti differenti – altri centri nazionali, partenariati estesi, fondi europei e investimenti PNRR – sono state integrate dentro una visione comune. In pratica si è creata una capacità di attrazione e integrazione delle risorse che ha aumentato enormemente la massa critica disponibile. L'investimento iniziale sull'infrastruttura era dell'ordine di 150 milioni, ma grazie a questo approccio siamo arrivati a mobilitare risorse complessive superiori ai 300 milioni. Tutto questo è stato possibile perché è stata mantenuta una linea strategica coerente nel tempo.

Carboni: Dal punto di vista della rete, tutto questo nasce da una visione costruita negli anni. GARR è un consorzio che rappresenta il sistema italiano della ricerca e dell'educazione e già dal 2018 ha impostato un progetto di evoluzione infrastrutturale a lungo termine. La logica è stata quella di non creare infrastrutture isolate o "cattedrali nel deserto", ma di integrare investimenti differenti dentro un unico disegno strategico. Oggi la rete GARR è una delle infrastrutture più avanzate a livello europeo, tanto dal punto di vista tecnologico quanto per capacità di connessione e distribuzione territoriale. In alcuni contesti la capacità di connessione raggiunge livelli comparabili a quelli dei grandi operatori di telecomunicazioni – con link a 400 gigabit per secondo sui backbone principali e connessioni a 100 gigabit verso siti che fino a pochi anni fa erano raggiungibili solo con capacità di un ordine di grandezza inferiore. Oltre ai grandi poli come Bologna, che è centrale per il supercalcolo, colleghiamo anche siti periferici e infrastrutture scientifiche remote, portandoli allo stesso livello delle infrastrutture nelle grandi città. Penso, per esempio, a Portopalo di Capo Passero, con il laboratorio nel Mar Ionio, oppure alla miniera di Sos Enattos in Sardegna. Uno degli aspetti più importanti di questo modello è che si è compreso come le infrastrutture di ricerca possano avere ricadute molto più ampie sulla società. Dal nostro punto di vista abbiamo valorizzato una serie di interventi teoricamente distinti, ma come parte di una visione a lungo termine. Il vero vantaggio è stato arrivare al momento del PNRR con questa strategia già pronta. Quando sono arrivati i finanziamenti, sapevamo già cosa fare. Questa è anche la soddisfazione maggiore: avere dato corpo alle idee costruite nel tempo.

Grandi: L'Italia, quando ha avuto soggetti chiaramente identificati in ambito internazionale, si è sempre posizionata molto bene. È successo con CINECA nel supercalcolo europeo, con GARR nel mondo delle reti e con INFN nello sviluppo delle infrastrutture di calcolo distribuite. Il salto di qualità è arrivato quando i dati hanno assunto un ruolo sempre più centrale. A quel punto non bastavano più infrastrutture separate – rete, HPC, cloud distribuito – ma è diventato necessario integrarle. Con iniziative come EOSC, l'European Open Science Cloud, non esisteva più un singolo soggetto in grado di rappresentare da solo il sistema italiano, perché i dati provenivano da contesti estremamente diversi e richiedevano infrastrutture differenti che dovevano necessariamente dialogare tra loro. Da lì è nata l'esigenza di mettere insieme tutte le realtà italiane dentro una struttura coordinata, capace di presentarsi all'esterno con una sola voce e una sola strategia. Nel passato recente questo ruolo è stato svolto da ICDI, la Italian Computing and Data Infrastructure rappresentato da GARR; oggi può essere svolto da ICSC in modo estremamente più efficace. È questo che ci permette di mantenere un impatto così rilevante a livello internazionale.

Abbiamo parlato delle richieste di accesso ai servizi, che non riguardano più solo una cerchia ristretta ma vari soggetti e applicazioni molto diverse tra loro. Quali sono state le principali difficoltà nel far dialogare componenti così differenti? E in che modo è cambiato il vostro modo di lavorare?

Carboni: La rete nasce già come strumento di comunicazione eterogeneo, aperto a comunità molto diverse tra loro. È una rete dedicata, ma costruita su protocolli standard e quindi pensata proprio



per far dialogare mondi differenti. Dal punto di vista funzionale, lo sforzo principale è stato da una parte aumentare il throughput, quindi la capacità di muovere dati sempre più velocemente, e dall'altra garantire un modello di security che consentisse di gestire in modo affidabile quelle problematiche che emergono quotidianamente dentro infrastrutture di queste dimensioni. Su questo secondo fronte, la sfida non è banale: una rete aperta e capillare come la nostra è per sua natura esposta a una superficie di attacco ampia. Abbiamo dovuto sviluppare capacità di rilevamento e mitigazione – inclusa la gestione degli attacchi DDoS su scala – mantenendo però la natura aperta e federata che è la ragione stessa per cui la rete esiste. Chi ha sviluppato l'infrastruttura ha dovuto quindi tenere insieme sia l'aspetto funzionale sia la necessità di garantire che tutti i soggetti che operano dentro questo sistema – pubblici o privati – siano protetti rispetto alle minacce informatiche e tecnologiche. I dati oggi hanno un valore enorme e quindi diventano inevitabilmente oggetto di attenzione. In questo senso, un'infrastruttura aperta e capillare come la nostra deve essere in grado non solo di trasportare i dati il più velocemente possibile, ma anche di farlo garantendo affidabilità e sicurezza – e senza che queste due esigenze si contraddicano a vicenda.

Grandi: L'INFN nasce per fare ricerca in un ambito molto specifico, quello della fisica nucleare e subnucleare; quindi, la nostra esperienza era legata soprattutto a quella comunità scientifica. Però già negli anni precedenti, grazie ai progetti europei sul calcolo distribuito, avevamo iniziato a lavorare anche con altre comunità – biomedicale, smart city e così via – quindi non partivamo completamente da zero. Il Centro Nazionale ha rappre-

sentato però un salto di scala enorme, perché ci siamo trovati improvvisamente a lavorare con decine di nuove comunità, tutte insieme, con esigenze e competenze nell'ambito del calcolo molto diverse tra loro. Questo ha generato una pressione sulle attività di supporto agli utenti senza precedenti. Per gestire questa complessità è stato creato il Resource Access Committee, che faceva da interfaccia tra le richieste e chi poi doveva fornire concretamente le risorse di calcolo. Molto spesso le richieste arrivavano in forme non immediatamente traducibili in operazioni tecniche sull'infrastruttura; quindi, c'è stato un grande lavoro di mediazione, razionalizzazione e accompagnamento. A quel punto le richieste venivano indirizzate verso CINECA o INFN, che fornivano le risorse e seguivano poi concretamente gli utenti nell'utilizzo delle piattaforme. Per CINECA probabilmente questo passaggio era più naturale, perché aveva già una lunga esperienza consolidata; per noi è stato sicuramente un salto dimensionale importante.

Bassini: Questa sfida, che ha riguardato l'apertura verso un sistema molto più ampio, è stata determinata dalla struttura Hub & Spoke del Centro Nazionale. Gli Spoke coprivano ambiti disciplinari molto diversi, con soggetti pubblici e privati, e ciò ha reso necessario mantenere una visione nazionale, pur lavorando su esigenze molto differenziate. A un certo punto era chiaro come non bastasse più un'infrastruttura HPC classica come Leonardo: serviva anche una piattaforma caratterizzata per l'intelligenza artificiale, capace di abilitare workload che altrimenti non avremmo potuto sostenere. In parallelo è emersa la necessità di lavorare sul quantum computing, con piattaforme basate su tecnologie diverse, dalla superconduttività agli atomi neutri. Un

altro elemento importante è stato il modello distribuito: punti di presenza a Napoli, Palermo, Milano e Trieste, costruiti in collaborazione con realtà differenti, dall'Agenzia per la cybersicurezza nazionale a Eni, fino alla Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati (SISSA). L'obiettivo era avvicinare l'infrastruttura ai luoghi in cui si producono dati, ricerca e innovazione. Da qui deriva anche il tema della software stack nazionale: mettere insieme policy di accesso, modelli di sicurezza e modalità operative fino a costruire una piattaforma cloud comune per il sistema della ricerca e dell'innovazione. Il modo di lavorare è cambiato perché non si trattava più soltanto di potenziare una singola infrastruttura, ma di integrare tecnologie, territori e comunità dentro un sistema coerente.

Guardando alla governance europea, lo Spoke O e il Centro Nazionale si inseriscono dentro reti e strategie già esistenti, da EuroHPC fino alle iniziative sulle AI Factory. Quanto è importante oggi il livello europeo per il futuro di queste infrastrutture? E quali opportunità, ma anche quali vincoli, comporta questo tipo di integrazione?

Carboni: Iniziative come EuroHPC hanno svolto un ruolo su due livelli, contemporaneamente. Da una parte hanno sostenuto lo sviluppo di grandi infrastrutture di supercalcolo, dall'altra hanno spinto fortemente verso l'evoluzione del modello di governance e di connettività su scala paneuropea. Oggi non si tratta più soltanto di avere grandi capacità computazionali, ma di garantire che dati e infrastrutture possano parlarsi alla massima velocità possibile. Per questo si parla sempre più spesso di comunicazioni al terabit e di infrastrutture iperconnesse. La rete, in questo senso, diventa il collante di tutto il sistema europeo del supercalcolo e dei dati. GARR, a livello

europeo, opera dentro GEANT, che è la federazione europea delle reti della ricerca. Tuttavia, GEANT non esiste separatamente dalle reti nazionali ma opera grazie a queste. Tutto questo serve a costruire una infrastruttura realmente integrata, evitando colli di bottiglia e mantenendo un modello aperto, nel quale dati e servizi possano circolare più velocemente possibile. La questione della sovranità dei dati resta aperta, ma la direzione è chiaramente quella di costruire un ecosistema europeo sempre più interoperabile.

Grandi: Il rapporto con l'Unione Europea è assolutamente essenziale, perché tutte queste attività non sono mai semplicemente nazionali. Storicamente, gran parte dei finanziamenti e delle decisioni strategiche arriva proprio dal livello europeo, in particolare attraverso EuroHPC, EOSC e le iniziative collegate. Senza far parte di questi programmi oggi sarebbe impossibile utilizzare il supercalcolo a questo livello. Lo stesso vale per il cloud distribuito, la gestione dei dati e le policy di accesso. È lì che vengono definite le regole e gli orientamenti strategici che poi hanno ricadute dirette anche sulle attività nazionali. Per questo è fondamentale continuare a essere presenti nei tavoli europei, sia dal punto di vista scientifico sia da quello politico e organizzativo. Paradossalmente, negli ultimi anni il PNRR ci ha anche messi in difficoltà su questo fronte, perché ha assorbito enormi quantità di energie e forza lavoro. Adesso però, con la progressiva conclusione di quella fase, si libera nuovamente la capacità di presidiare il livello europeo, che è fondamentale per mantenere il ruolo che l'Italia ha conquistato in questi anni.

Bassini: La trasformazione digitale legata a HPC, Big Data, cloud, intelligenza artificiale e quantum computing viene

affrontata in Europa, ormai da almeno quindici o vent'anni, come una questione inevitabilmente paneuropea. Nessun Paese europeo, nemmeno Germania o Francia, avrebbe da solo la capacità di costruire le infrastrutture e le competenze necessarie per competere con Stati Uniti, Cina o Giappone. Per questo sono nate iniziative come EuroHPC, basate su un modello di cofinanziamento tra Commissione Europea e Stati membri. Il Centro Nazionale e lo Spoke 0 hanno avuto un ruolo importante nel mantenere una visione nazionale coerente, ma capace allo stesso tempo di agganciarsi stabilmente alle traiettorie europee. Le grandi direttrici sono sostanzialmente tre: l'iperconnettività e la federazione delle reti, il tema dei dati, l'intelligenza artificiale. Sul primo punto il ruolo di GARR e GEANT è centrale; sul secondo entra in gioco il tema dell'European Open Science Cloud, cioè la costruzione di un ecosistema europeo dei dati scientifici e della loro condizione; sul terzo grande asse, quello dell'intelligenza artificiale, le AI Factory europee rappresentano il tentativo di costruire una risposta europea ai grandi cloud provider globali – AWS, Google, Microsoft Azure, Meta, ma anche Alibaba o TikTok, che ormai è a tutti gli effetti un player cloud cinese. In prospettiva si parla già di Giga Factory per l'IA, cioè infra-

strutture ancora più grandi pensate per preservare una capacità europea autonoma sul piano tecnologico e industriale. In questo contesto il tema della sovranità diventa centrale e riguarda sicuramente i dati e i servizi cloud, ma anche i componenti fondamentali delle infrastrutture. Per questo motivo oggi si lavora anche alla prospettiva di sistemi HPC costruiti interamente con tecnologie europee, dai processori fino alla software stack e all'integrazione finale. E il fatto che alcune integrazioni vengano realizzate da aziende italiane, come E4 nel caso delle AI Factory, è un segnale importante. Senza una strategia europea condivisa e senza una visione nazionale persistente non sarebbe possibile mantenere alcuna reale sovranità tecnologica.

Nelle vostre risposte è emerso anche il tema del "dopo PNRR". Qual è l'eredità più importante lasciata da questo lavoro per il futuro? E quali aspetti diventeranno sempre più strategici nei prossimi anni?

Carboni: Una delle questioni fondamentali sarà riuscire a mantenere continuità rispetto alla visione strategica che è stata costruita. Molto di quello che oggi vediamo concretizzarsi nasce in realtà da progettualità pensate molto tempo fa. Il punto adesso è evitare che tutto questo



venga considerato concluso con la fine del Piano. In realtà siamo soltanto all'inizio di una nuova fase. Le reti di ricerca stanno evolvendo verso architetture sempre più programmabili e disaggregate, in cui la capacità di instradare e trattare il traffico in modo intelligente diventa parte integrante del servizio – non solo infrastruttura passiva. In parallelo si apre il tema del quantum networking, che nei prossimi anni inizierà a intersecarsi con le infrastrutture ottiche esistenti, aprendo scenari nuovi sia per la distribuzione sicura delle chiavi crittografiche sia per le comunicazioni tra sistemi quantistici distribuiti. E resta aperta la sfida della sicurezza su scala federata: in un ecosistema in cui decine di istituzioni condividono risorse e identità digitali, il perimetro tradizionale non esiste più. Questo significa continuare a investire non soltanto nei grandi poli scientifici, ma anche nella capacità di portare le infrastrutture avanzate su tutto il territorio nazionale, mantenendo quella logica di sistema che è stata costruita in questi anni. Alla fine, il valore più grande, oltre all'infrastruttura in sé, è il fatto di avere costruito una rete di competenze, collaborazione e interoperabilità che prima non esisteva a questo livello.

Grandi: Uno degli aspetti più importanti sarà riuscire a mantenere e consolidare le competenze costruite attraverso il PNRR. In questi anni si è formato un ecosistema molto più ampio rispetto al passato, sia dal punto di vista delle persone che dal punto di vista delle collaborazioni tra comunità diverse. Il rischio sarebbe disperdere questo patrimonio nel momento in cui si conclude la fase straordinaria di finanziamento. Vedremo probabilmente un'integrazione sempre più forte tra HPC tradizionale, cloud, intelligenza artificiale e sistemi distribuiti. Molte comunità scientifiche stanno già lavorando in que-

sta direzione, ma il panorama sta cambiando molto rapidamente e richiederà infrastrutture sempre più flessibili e interoperabili. Un altro elemento fondamentale sarà continuare a presidiare il livello europeo, perché le grandi decisioni su finanziamenti, policy e infrastrutture continueranno a essere prese lì.

Bassini: Il tema centrale sarà quello della sovranità intesa nel senso più ampio possibile: sui dati, sulle tecnologie, sulle infrastrutture, sulle software stack e persino sui componenti fondamentali dei sistemi di calcolo. Oggi l'Europa sta cercando di costruire una risposta al dominio tecnologico delle grandi piattaforme globali, ma è una sfida che richiede continuità strategica e capacità di investimento nel lungo periodo. Le AI Factory e le future Giga Factory europee rappresentano esattamente questo tentativo: costruire una capacità autonoma europea sull'intelligenza artificiale e sulle infrastrutture digitali avanzate. Ma il tema riguarda anche il quantum computing, i processori, gli acceleratori e la possibilità di costruire sistemi HPC basati interamente su tecnologie europee. In questo senso il Centro Nazionale ha avuto un ruolo importante perché ha permesso di costruire un ecosistema che tiene insieme infrastrutture, ricerca, industria e governance pubblica. La vera sfida sarà evitare che tutto questo si interrompa con la fine del PNRR. Serve invece una persistenza della visione nazionale capace di continuare a dialogare con il livello europeo e con le grandi trasformazioni tecnologiche in corso. Oggi le infrastrutture digitali, l'intelligenza artificiale, i dati e la capacità computazionale incidono direttamente sulla competitività industriale, sulla ricerca, sulla pubblica amministrazione e, in ultima analisi, sulla capacità del Paese e dell'Europa di arrivare a una propria autonomia strategica.

Sinergia pubblico e privato in HPC, Big Data e Quantum Computing: scienza avanzata attraverso l'innovazione collaborativa

Intervista a Paola Inverardi

a cura di Pandora Rivista

Paola Inverardi è Chair dello Spoke Coordination Board del Centro Nazionale ICSC.

Lei ha ricoperto sia il ruolo di coordinatrice dello Spoke 5 sia quello di coordinatrice dello Spoke Coordination Board. Rispetto a quest'ultimo ruolo, quali sono state le principali sfide che ha dovuto affrontare per costruire un ecosistema attorno ai temi del supercalcolo?

Inverardi: Credo che quest'ultimo incarico mi sia stato affidato anche per l'esperienza maturata nel coordinamento della ricerca e per il fatto di avere una visione piuttosto ampia delle problematiche coinvolte. Un elemento che ha certamente contribuito è stato il mio ruolo di rappresentante italiana nel Governing Board di EuroHPC, il principale organismo europeo di riferimento per il supercalcolo, che ricopro dal 2022. Questa esperienza mi ha consentito di seguire da vicino quanto stava accadendo a livello europeo, portando quella prospettiva anche all'interno del progetto. La sfida principale riguardava la costruzione di un ecosistema che prima del Centro non esisteva.

Erano presenti gruppi molto qualificati che lavoravano su aspetti diversi dell'HPC e alcuni provenivano dal cal-

colo scientifico, dalla fisica o dalla chimica, altri dal quantum computing, altri ancora operavano in ambiti che utilizzavano il supercalcolo senza identificarsi necessariamente con questa etichetta. Il Centro ha riunito realtà molto differenti. In alcuni Spoke esistevano già reti consolidate di collaborazione, composte da persone che si conoscevano da tempo e condividevano strumenti e linguaggi comuni. In altri casi, come nello Spoke 5, si sono incontrate discipline che avevano avuto poche occasioni di lavorare insieme in modo strutturato. Una parte importante del lavoro è stata quindi quella di costruire relazioni all'interno dei singoli Spoke, ma anche favorire la nascita di una rete più ampia che si riconoscesse nelle grandi sfide tecnologiche legate al supercalcolo, alla gestione dei dati e alle infrastrutture digitali. Quando si mettono insieme persone provenienti da discipline diverse emergono inevitabilmente approcci e sensibilità differenti a cui bisogna dare spazio e allo stesso tempo individuare alcune linee strategiche comuni, costruendo una visione condivisa del Centro Nazionale. Un ulteriore elemento di complessità era dovuto al fatto che il Centro non nasceva attorno a un modello già definito e, in un certo senso, abbiamo dovuto costruire il progetto cer-

cando di definire progressivamente che cosa dovesse essere un Centro Nazionale dedicato al supercalcolo e alla gestione avanzata dei dati. Da questo punto di vista è stato importante poter contare su un riferimento concreto, rappresentato dall'infrastruttura tecnologica comune. Anche quando alcune componenti non erano ancora pienamente disponibili, quell'infrastruttura costituiva comunque un obiettivo condiviso e una prospettiva verso cui convergere.

Guardando oggi a quel percorso, penso si possa dire che il risultato sia stato raggiunto e che si sia formato un contesto capace di interpretare correttamente il significato del Centro e le finalità delle attività che vi venivano svolte. All'inizio ci si interrogava molto sul rapporto tra ricerca di base e ricerca applicata. Ad esempio, si parlava di livelli di maturità tecnologica più elevati e qualcuno si chiedeva quale spazio potesse ancora avere la ricerca fondamentale. In realtà il Centro non nasceva per sostituirla, ma per inserirla in un contesto orientato anche all'impatto e alle applicazioni. Capire come integrare queste dimensioni è stato parte del percorso di crescita dell'intero progetto. Uno dei risultati più significativi del Centro è stato proprio quello di mettere in relazione competenze, discipline e soggetti che in precedenza dialogavano molto meno tra loro.

Come si è sviluppato il rapporto tra ricerca fondamentale e applicazioni industriali all'interno del Centro Nazionale?

Inverardi: L'obiettivo era trovare un equilibrio tra queste dimensioni, mantenendo la qualità scientifica e orientando una parte delle attività verso risultati con un impatto più diretto. Naturalmente la mia visione riguarda soprattutto il livello dei leader e dei co-leader degli Spoke, ma non

ho una conoscenza dettagliata di quanto sia avvenuto all'interno di ogni singolo gruppo di ricerca. Tuttavia, osservando i risultati prodotti e il modo in cui le persone hanno partecipato alle iniziative del Centro, mi sembra che questo percorso sia stato effettivamente compiuto.

Un contributo importante è arrivato anche dai molti giovani ricercatori reclutati nell'ambito del progetto. Per molti di loro il Centro ha rappresentato una delle prime esperienze all'interno di una grande iniziativa nazionale. Gli incontri tra Spoke, gli eventi dedicati ai ricercatori e le attività trasversali sono stati generalmente molto partecipati e hanno contribuito a creare un terreno comune che prima non esisteva. Anche il rapporto con le imprese si è evoluto in modo significativo. Alcune realtà accademiche erano già abituate a collaborare con il mondo industriale, mentre altre avevano una minore familiarità con questo tipo di interazione. Credo però che il Centro abbia avuto il merito di rendere questo aspetto una componente esplicita e strutturale del progetto.

La collaborazione con le imprese non era un elemento accessorio, ma una parte integrante delle attività, e questo ha spinto i gruppi di ricerca a confrontarsi con modalità di lavoro nuove e a sviluppare progettualità condivise. Un aspetto che considero particolarmente interessante riguarda l'evoluzione avvenuta negli ultimi anni: nella prima fase, attraverso strumenti come gli Innovation Grant, la collaborazione tra Spoke e imprese era prevista direttamente dall'impianto dei bandi, mentre successivamente sono state lanciate iniziative in cui questa collaborazione non era obbligatoria, eppure la quasi totalità dei progetti è stata comunque presentata in forma congiunta

da Spoke e partner industriali. Questo indica che la collaborazione non è stata vissuta come un vincolo imposto dai finanziamenti, ma come un'opportunità riconosciuta dai soggetti coinvolti. Si è consolidato un modo di lavorare che nel tempo è stato assorbito e fatto proprio sia dal mondo della ricerca sia da quello delle imprese. È probabilmente uno degli indicatori più evidenti del percorso compiuto in questi anni.

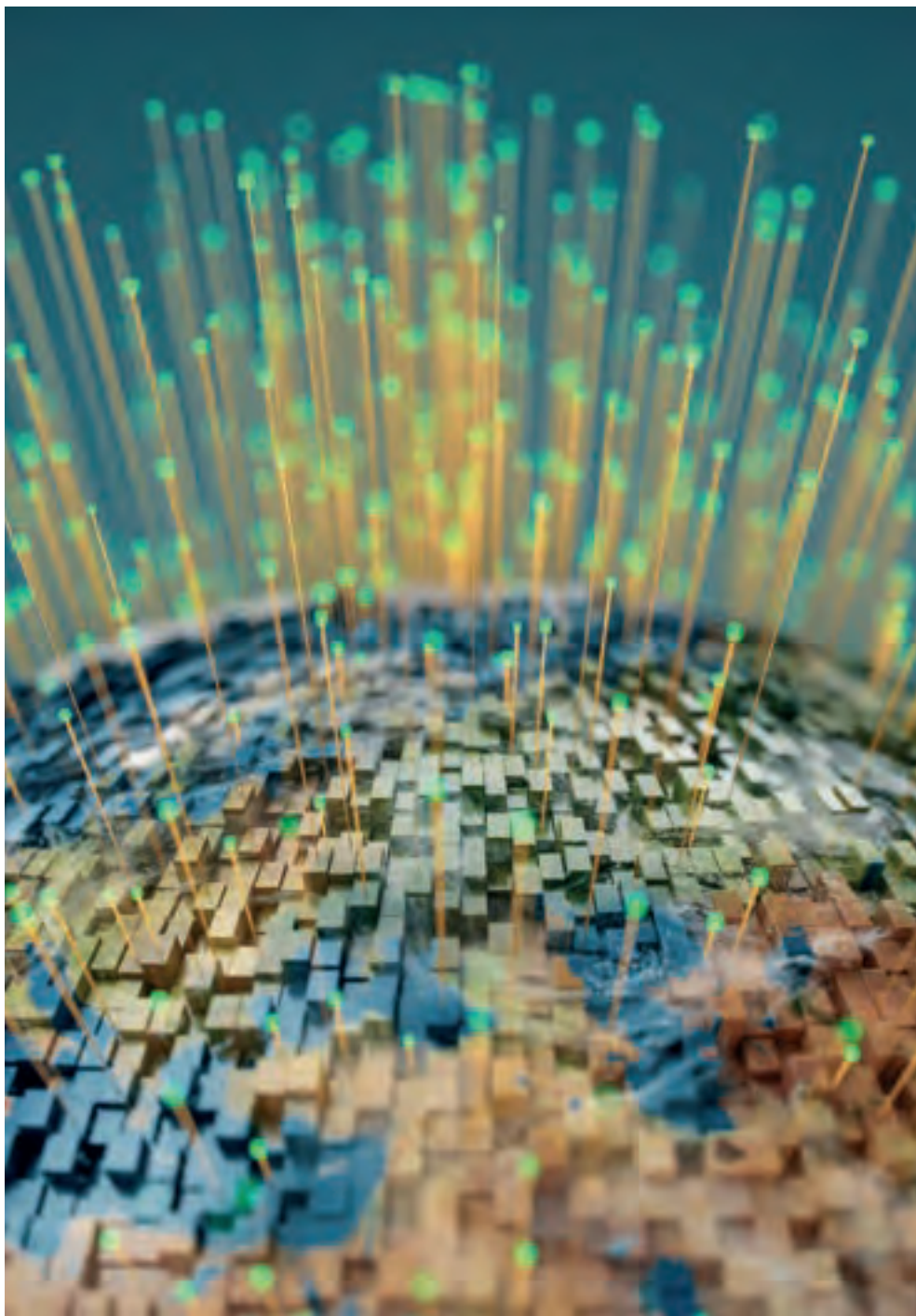
Negli ultimi anni il tema dell'intelligenza artificiale ha assunto un peso crescente nel dibattito scientifico e tecnologico. Come si è inserito questo sviluppo nelle attività del Centro Nazionale e quale ruolo ha avuto il supercalcolo in questa evoluzione?

Inverardi: Quando il progetto del Centro Nazionale è stato concepito, l'intelligenza artificiale era certamente presente tra le tematiche considerate, ma si parlava soprattutto degli approcci allora consolidati. L'esplosione dell'intelligenza artificiale generativa, dei foundation model e delle applicazioni che oggi dominano il dibattito è avvenuta successivamente e, in un certo senso, si è inserita in corsa anche rispetto alle strategie europee. Lo stesso percorso di EuroHPC riflette questa evoluzione. In una prima fase l'attenzione era concentrata soprattutto sul supercalcolo e sulle infrastrutture HPC e solo in un secondo momento sono diventati centrali temi come le AI Factory e le grandi infrastrutture dedicate all'intelligenza artificiale. L'intelligenza artificiale generativa ha cambiato profondamente il contesto, ma la rete di competenze, le infrastrutture e le modalità di collaborazione erano già state costruite attorno al supercalcolo. È su questa base che si sono poi sviluppate anche le iniziative più recenti dedicate all'intelligenza artificiale. Oggi, natural-

mente, per molte imprese e per numerosi ambiti applicativi il supercalcolo viene percepito soprattutto come un abilitatore dell'intelligenza artificiale. Un'evoluzione comprensibile, ma non bisogna dimenticare che il lavoro di costruzione dell'infrastruttura e delle competenze era iniziato prima dell'attuale fase di espansione dell'intelligenza artificiale generativa.

Per quanto riguarda lo Spoke Coordination Board, l'attenzione si è concentrata soprattutto sugli aspetti infrastrutturali e sull'accesso alle risorse di calcolo. Uno degli obiettivi principali è stato rendere disponibile tempo macchina su infrastrutture di elevata qualità e definire modalità efficaci per consentire alla comunità scientifica di utilizzarle. Abbiamo lavorato sulle procedure di accesso, contribuito alla definizione dei processi di valutazione delle proposte e partecipato alla costruzione dei panel incaricati di esaminarle. Sono state attività meno visibili rispetto alle applicazioni finali, ma essenziali per il funzionamento dell'intero sistema.

Gli aspetti più direttamente collegati all'intelligenza artificiale sono stati seguiti soprattutto attraverso la partecipazione ai bandi europei, compresi quelli dedicati alle AI Factory. In quel contesto il Centro ha potuto agire come soggetto unitario, mettendo a disposizione una massa critica che singoli gruppi universitari o singoli enti di ricerca difficilmente avrebbero potuto esprimere autonomamente. Questo, come accennavo, era uno degli obiettivi originari del progetto: connettere realtà distribuite in molte sedi diverse e raggiungere una massa critica sufficientemente ampia da permettere al sistema italiano di partecipare in modo competitivo alle grandi iniziative europee. Da questo punto di vista il risul-



tato è stato significativo e anche i ricercatori si sono riconosciuti in questa visione – pur mantenendo le proprie specificità disciplinari – contribuendo a costruire una capacità collettiva che oggi ha una visibilità e una forza di azione maggiori rispetto al passato.

Nel suo ruolo di rappresentante per l'Italia nel Governing Board di EuroHPC, come ha visto cambiare il posizionamento del nostro Paese in Europa grazie agli investimenti realizzati negli ultimi anni? Quale contributo ha dato il Centro Nazionale a questo percorso?

Inverardi: Quando ho iniziato a partecipare alle attività di EuroHPC, il panorama italiano appariva molto più frammentato. Esistevano certamente eccellenze riconosciute a livello europeo, ma operavano spesso come soggetti distinti. C'erano il CINECA e le sue infrastrutture di calcolo, i grandi enti di ricerca, le università, i gruppi che sviluppavano software scientifico, quelli che lavoravano sulle reti o sulle componenti tecnologiche più avanzate; tutte realtà molto competenti e visibili, ma che tendevano a presentarsi separatamente. Anche prima del Centro Nazionale esistevano investimenti importanti. Penso, ad esempio, al supercomputer Leonardo, il cui finanziamento precede sia il PNRR sia la nascita del Centro: una delle principali infrastrutture europee di supercalcolo e un investimento strategico per il Paese. Il problema non era quindi la mancanza di competenze o di infrastrutture, ma una rappresentazione d'insieme che rendesse evidente come tutte queste componenti facessero parte di un unico ecosistema.

Per chi osservava il sistema dall'esterno non era sempre semplice capire quali

fossero gli interlocutori, come fossero collegati tra loro e quale fosse la strategia complessiva. Esisteva una forte visibilità del calcolo scientifico, mentre risultavano meno evidenti tutte le altre componenti che lo rendono possibile: le reti, il software, la gestione dei dati, le tecnologie di base e l'insieme degli attori coinvolti. Il Centro Nazionale ha permesso proprio di mettere a sistema realtà che già esistevano e che spesso erano già molto qualificate, offrendo per la prima volta una rappresentazione unitaria del sistema nazionale del supercalcolo.

Penso che oggi l'Italia si presenti con un'immagine molto più coerente rispetto al passato e con una rappresentazione più completa e più efficace di quello che il Paese è realmente in grado di fare. I singoli attori continuano a mantenere la propria identità, ma oggi si riconoscono in una strategia condivisa che in Europa risulta molto più leggibile.

Quali prospettive vede per il Centro Nazionale e, più in generale, per il sistema italiano del supercalcolo e della ricerca in questo ambito?

Inverardi: Le risorse del PNRR sono state utilizzate in modo efficace e il Centro ha contribuito a rafforzare in modo significativo il posizionamento dell'Italia nel contesto europeo. La questione oggi riguarda però la continuità di questo percorso. Io ho iniziato a partecipare a EuroHPC proprio mentre in Italia si stava costruendo una politica nazionale più strutturata attorno a questi temi, ma attualmente faccio più fatica a individuare una visione di lungo periodo altrettanto chiara. In Francia, in Germania o in Spagna esistono indirizzi più espliciti e una programmazione che accompagna nel tempo gli investimenti. Se mi si chiede

quale sarà il futuro dei Centri Nazionali, penso che realtà come questa continueranno ad avere un ruolo importante. Da una parte esiste un interesse industriale crescente, che potrebbe favorire una maggiore partecipazione delle imprese al finanziamento delle attività di ricerca. Dall'altra si è ormai consolidato un ecosistema destinato a sopravvivere alla conclusione del PNRR.

Ogni soggetto coinvolto – università, enti di ricerca, grandi infrastrutture e imprese – ha interesse a valorizzare quanto è stato costruito e a proseguire su questa strada. La vera sfida, a mio avviso, è capire come utilizzare al meglio questo patrimonio. I Centri Nazionali potranno svolgere un ruolo di attuatori delle grandi strategie del Paese, perché hanno dimostrato di saper coordinare soggetti diversi e trasformare risorse distribuite in capacità progettuale concreta per la società e per il sistema produttivo. Penso, ad esempio, ai rischi naturali, che rappresentano il settore che conosco meglio. Se il Paese decidesse di investire in programmi su larga scala per la prevenzione dei disastri, per la modellazione del territorio o per la realizzazione di mappe idrogeologiche avanzate, sarebbe naturale affidarsi a strutture che già riuniscono le migliori competenze disponibili e dispongono delle infrastrutture necessarie.

Lo stesso ragionamento potrebbe valere per molti altri ambiti strategici. L'idea non dovrebbe essere quella di creare ogni volta nuove strutture organizzative, ma di utilizzare ciò che è già stato costruito e che ha dimostrato di funzionare. In questi anni si è costruito un patrimonio di infrastrutture, relazioni e competenze che sarebbe un errore disperdere. La sfida ora è trasformarlo in uno strumento permanente al servizio



La sinergia tra imprese e ricerca nell'esperienza dell'Industrial Advisory Board di ICSC

Intervista a Carlo Cavazzoni

a cura di Pandora Rivista

Carlo Cavazzoni (Leonardo) è Chair dell'Industrial Advisory Board del Centro Nazionale ICSC.

Il suo percorso professionale si intreccia da molti anni con il mondo del supercalcolo. Come si è sviluppata questa esperienza?

Cavazzoni: Il mio rapporto con il supercalcolo dura ormai da circa trent'anni. Ho iniziato come utilizzatore, da fisico, poi sono passato allo sviluppo di codici scientifici, successivamente alla progettazione di architetture per il supercalcolo e oggi mi occupo di questi temi dal punto di vista industriale. Per certi aspetti mi considero ormai un decano del settore, perché il supercalcolo rappresenta un percorso continuo che attraversa tutta la mia carriera. All'interno di Leonardo esiste una storia importante legata a queste tecnologie e c'è stato addirittura un periodo in cui Finmeccanica produceva supercalcolatori. Non si trattava semplicemente di assemblare componenti all'interno di un'architettura esistente, ma di realizzare sistemi completi. Purtroppo, come accade spesso nel nostro Paese, molte iniziative tecnologiche particolarmente innovative non hanno avuto continuità. Le strategie aziendali cambiano, le pri-

orità evolvono e quei progetti che in un determinato momento appaiono troppo avanzati finiscono per essere interrotti. Nel tempo ci sono stati diversi *stop and go* e una parte di quell'esperienza si è progressivamente dispersa. Quando sono arrivato in Leonardo ho dovuto in qualche modo recuperare quei fili che si erano interrotti e ricostruire una capacità strutturata nel supercalcolo all'interno di un'azienda dell'aerospazio e della difesa. In realtà qualcosa era rimasto: esistevano ancora competenze importanti e c'erano state esperienze significative anche in altre realtà italiane, come Eurotech, che per molti anni ha sviluppato supercalcolatori. Una delle sue macchine, installata anche al Cineca, è stata per un periodo il sistema più efficiente al mondo dal punto di vista energetico, arrivando al primo posto della classifica Green500. Anche quella rappresentava una grande opportunità per il Paese. Tuttavia, dal punto di vista industriale, non è stata valorizzata fino in fondo.

Quando abbiamo ripreso questo percorso, già nel 2020 la nostra idea era quella di realizzare un'infrastruttura pensata contemporaneamente per supercalcolo, Big Data e intelligenza artificiale. Questo è stato probabilmente l'aspetto più in-

novativo, in quanto la macchina è stata concepita fin dall'inizio per supportare lo sviluppo di applicazioni orientate all'analisi dei dati e all'intelligenza artificiale. Oggi può sembrare una scelta ovvia, ma nel 2020 non esistevano ancora Chat-GPT né l'attuale ecosistema dell'intelligenza artificiale generativa. Si è trattato quindi di una scelta piuttosto visionaria. Anche all'interno dell'azienda, compresi molti esperti di intelligenza artificiale, non era ancora del tutto chiaro quanto la disponibilità di grandi capacità di calcolo sarebbe diventata determinante per l'evoluzione del settore. Si lavorava già sull'intelligenza artificiale, naturalmente, ma non era ancora evidente che per fare un salto di qualità sarebbero servite enormi quantità di potenza computazionale. Solo con l'arrivo dei modelli generativi e multimodali è diventato chiaro a tutti che senza una disponibilità significativa di GPU e di infrastrutture dedicate è molto difficile sviluppare sistemi di intelligenza artificiale avanzati. Oggi questa considerazione appare quasi scontata, ma pochi anni fa non lo era affatto.

Quando è nato il Centro Nazionale, le è stato affidato il coordinamento dell'Industrial Advisory Board. Quale ruolo ha avuto questo organismo e come si è sviluppata la collaborazione tra le imprese coinvolte?

Cavazzoni: Quando è partito il PNRR e si è iniziato a costruire il Centro Nazionale, è stato necessario capire quali fossero le aziende italiane maggiormente interessate a sviluppare percorsi di innovazione basati sul supercalcolo. In quel contesto mi è stato chiesto di mettere a disposizione l'esperienza maturata negli anni, sia dal punto di vista personale sia attraverso il lavoro svolto in Leonardo, per favorire la creazione di una sinergia tra i diversi soggetti industriali coinvolti. Non

tutte le aziende partivano dallo stesso livello di esperienza o di competenza sul supercalcolo, sui Big Data e sull'intelligenza artificiale; quindi, era importante costruire un terreno comune. Da questo processo è nato il Board delle imprese, che riuniva le aziende interessate a partecipare alle attività del Centro Nazionale. Successivamente mi è stato affidato il ruolo di coordinatore e, all'interno del Board, abbiamo discusso e indirizzato molti dei progetti di innovazione che poi sono stati sviluppati nel corso delle attività. Se dovessi fare un bilancio, direi che la collaborazione tra le imprese è stata uno degli aspetti che hanno funzionato meglio. La principale attenzione, fin dall'inizio, è stata quella di non lasciare indietro nessuno. Le aziende coinvolte avevano livelli molto diversi di maturità rispetto a questi temi, alcune avevano già definito strategie avanzate sul supercalcolo e sull'intelligenza artificiale, altre stavano ancora costruendo le proprie competenze. Per questo abbiamo cercato di mantenere un approccio molto inclusivo, favorendo uno scambio continuo di idee, esperienze e competenze tra tutti i partecipanti. C'era la necessità di accompagnare realtà diverse lungo un percorso comune e, da questo punto di vista, credo che il risultato sia stato molto positivo, perché tra le aziende si è sviluppata una collaborazione autentica. Ci siamo confrontati spesso, ci siamo supportati reciprocamente e non ho mai dovuto gestire conflitti significativi o interessi realmente divergenti. Questo non era affatto scontato perché stiamo parlando di aziende importanti, molte delle quali quotate sui mercati finanziari e potenzialmente concorrenti in alcuni ambiti. Sarebbe stato legittimo aspettarsi tensioni o difficoltà di coordinamento e invece è accaduto il contrario. I progetti sono stati spesso sviluppati in collabora-

zione e ciascuna azienda ha contribuito mettendo a disposizione le proprie competenze specifiche.

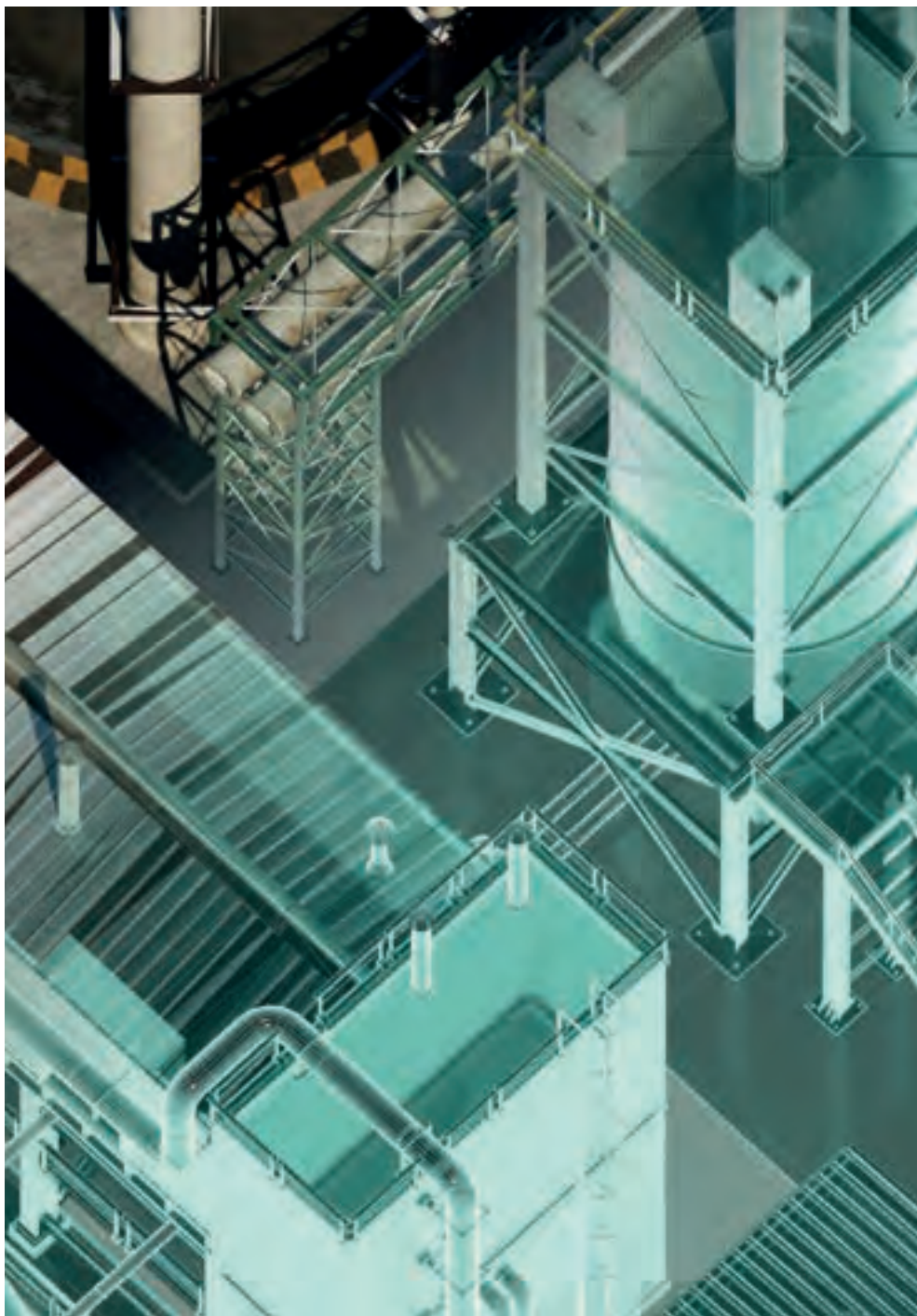
Ogni realtà manteneva però il proprio focus applicativo: le aziende dell'energia erano interessate a determinati problemi, quelle dell'aerospazio ad altri, quelle della salute ad altri ancora. Tuttavia, andando in profondità, emergevano spesso tecnologie e algoritmi comuni ed è proprio su questi elementi trasversali che si sono create le collaborazioni più interessanti. Un esempio significativo è rappresentato dal quantum computing. Aziende attive nell'aerospazio, nell'energia e in altri settori lavoravano su casi d'uso apparentemente molto diversi, ma utilizzavano approcci algoritmici sorprendentemente simili. Questo ha reso possibile costruire progetti condivisi e individuare aree di collaborazione che inizialmente non erano così evidenti. Il Board, dunque, ha svolto soprattutto una funzione di raccordo con occasioni di confronto e costruzione di sinergie.

Nel bilancio di questa esperienza, quali sono state invece le principali criticità? Ci sono aspetti del modello organizzativo che, guardando al futuro, potrebbero essere migliorati?

Cavazzoni: Se devo individuare una vera criticità, non riguarda tanto il rapporto tra le imprese quanto la struttura complessiva del sistema. Fin dal *kick-off* del Centro ho parlato di quello che definisco il problema della “matrice densa”. Le aziende partecipano alle attività attraverso uno o pochi gruppi di ricerca e sviluppo dedicati alle tecnologie digitali. Dall'altra parte, però, gli Spoke riuniscono una pluralità di soggetti: università, enti di ricerca e numerosi gruppi di lavoro, ciascuno con i propri progetti, obiettivi e interessi. Questo

significa che una singola azienda si trova spesso a interagire contemporaneamente con un numero molto elevato di interlocutori. Il risultato è una rete di relazioni estremamente fitta che richiede un notevole sforzo di coordinamento. Il rischio è quello della frammentazione, con le attività che finiscono per distribuirsi su molti progetti diversi, ciascuno con obiettivi necessariamente limitati. A mio avviso, per un Paese come l'Italia, che ha l'ambizione di costruire una capacità sovrana e competitiva nel supercalcolo, questo rappresenta un punto di attenzione. Personalmente credo che sarebbe utile concentrare maggiormente gli sforzi su un numero inferiore di progetti, ma con dimensioni e ambizioni più elevate. Quando le risorse vengono distribuite su molte iniziative diverse si corre il rischio di ottenere risultati interessanti ma poco trasformativi. Al contrario, pochi grandi progetti possono produrre un impatto molto più significativo.

Ovviamente comprendo anche la logica che ha portato alla struttura attuale. Il Centro Nazionale nasce con l'obiettivo di coinvolgere il maggior numero possibile di competenze e attori del sistema della ricerca italiana ed è una scelta che ha certamente dei vantaggi, ma se dovessi indicare una possibile evoluzione del modello, auspicherei una riduzione della frammentazione e una maggiore concentrazione delle risorse su programmi strategici di dimensioni maggiori. Le aziende, almeno per quanto mi riguarda, spingerebbero volentieri in questa direzione. La ricerca italiana dispone di competenze eccellenti; la sfida è riuscire a metterle a sistema attorno a obiettivi sufficientemente grandi da produrre un impatto significativo anche sul piano industriale e tecnologico.





Come sta evolvendo oggi il ruolo del supercalcolo e quali sono gli ambiti che, dal suo punto di vista, avranno il maggiore impatto nei prossimi anni?

Cavazzoni: Oggi l'evoluzione del supercalcolo è trainata soprattutto dall'intelligenza artificiale. Se guardiamo a ciò che sta accadendo a livello globale, la crescita è chiaramente orientata verso modelli sempre più sofisticati, accurati e capaci di affrontare problemi complessi. Continua a esistere una componente di calcolo scientifico tradizionale, ma la sua crescita è molto più contenuta. Mi riferisco a tutto il mondo delle simulazioni basate sui modelli fisici, cioè alla risoluzione di equazioni che descrivono fenomeni come la fluidodinamica, l'elettromagnetismo, la chimica o altri processi governati dalle leggi della fisica. Si tratta di attività che restano fondamentali, ma che oggi mostrano una crescita relativamente stabile. Al contrario, tutto ciò che riguarda l'utilizzo dell'HPC per l'intelligenza artificiale sta vivendo una fase di espansione esponenziale. La quasi totalità dei supercalcolatori acquistati oggi dalle aziende è progettata principalmente per sviluppare, addestrare o utilizzare modelli di intelligenza artificiale. E, almeno nel breve e medio termine, non vedo segnali di rallentamento.

Se dovessi immaginare il panorama tra cinque anni, prevederei una presenza ancora più pervasiva dell'intelligenza artificiale e una diffusione maggiore di infrastrutture computazionali dedicate a queste applicazioni. Il calcolo scientifico tradizionale continuerà a esistere, ma in termini di volumi economici e investimenti avrà un peso relativamente inferiore. La sfida principale è garantire alle imprese l'accesso a infrastrutture dotate delle risorse necessarie – in particolare

GPU e acceleratori avanzati – per sviluppare e utilizzare applicazioni di intelligenza artificiale in un contesto sostenibile e possibilmente sovrano. È ciò che vedo accadere anche all'interno della mia azienda. In tutti gli ambiti applicativi cresce l'interesse verso l'intelligenza artificiale come strumento per ottimizzare i processi, semplificare le procedure, aumentare la produttività e migliorare l'efficienza operativa. Molte persone che non hanno mai avuto un rapporto diretto con il supercalcolo stanno comprendendo che queste tecnologie possono produrre benefici concreti nelle loro attività quotidiane. Di conseguenza cresce anche la domanda di infrastrutture in grado di supportarle.

Come si inseriscono in questo scenario le piccole e medie imprese?

Cavazzoni: Per le piccole e medie imprese il problema si presenta in termini diversi. Una PMI non dispone normalmente delle risorse necessarie per acquistare un supercalcolatore, né delle competenze per accedere autonomamente a infrastrutture come quelle del Cineca attraverso bandi, grant e procedure dedicate. Per questo motivo, è fondamentale valorizzare il ruolo dei soggetti intermedi già operativi sul territorio, come i Digital Innovation Hub, i Competence Center e le associazioni industriali, che svolgono una funzione essenziale di raccordo. È tuttavia necessario rafforzare ulteriormente il collegamento tra queste strutture, il Centro Nazionale e le grandi imprese. L'obiettivo deve essere quello di accompagnare le PMI nell'accesso alle infrastrutture di calcolo, eliminando il più possibile le complessità tecniche. Una piccola impresa non può permettersi di dedicare il proprio personale a

comprendere nel dettaglio il funzionamento di un supercalcolatore, a scrivere proposte progettuali o a gestire procedure particolarmente articolate. Nella maggior parte dei casi dispone di uno o due *data scientist* che sono già completamente assorbiti dalle attività operative. Servono strumenti semplici, capaci di nascondere la complessità dell'infrastruttura sottostante, che è quello che fanno oggi i grandi operatori globali di servizi cloud: un utente accede a un portale, utilizza un servizio intuitivo e spesso non si rende nemmeno conto che dietro quell'interfaccia stanno lavorando enormi infrastrutture di supercalcolo. Il vantaggio è la semplicità, ma lo svantaggio è che dati, modelli e servizi finiscono inevitabilmente sotto il controllo di soggetti esterni al Paese.

La sfida è quindi costruire un'alternativa che mantenga la stessa facilità d'uso all'interno di un ecosistema nazionale ed europeo. Anche nelle grandi aziende stiamo affrontando un problema simile, perché molti gruppi di lavoro non vogliono conoscere i dettagli tecnici dell'HPC: vogliono semplicemente caricare i propri dati, avviare un'analisi e ottenere un risultato. Per rispondere a questo fenomeno stiamo sviluppando portali, dashboard e servizi preconfigurati che consentano agli utenti di concentrarsi sugli obiettivi senza doversi occupare della complessità tecnologica sottostante. Se non riusciremo a semplificare l'accesso a queste tecnologie, il rischio è che gran parte delle piccole e medie imprese continui ad affidarsi esclusivamente alle grandi piattaforme internazionali, rinunciando progressivamente al controllo sui propri dati e sulla propria capacità di innovazione.

Quali sono le principali direttrici di sviluppo futuro dal punto di vista infrastrutturale? E quale ruolo potranno avere le AI Factory?

Cavazzoni: Credo che oggi sia necessario fare un salto di prospettiva rispetto al modo in cui tradizionalmente abbiamo pensato il supercalcolo. Per molti anni queste infrastrutture sono state concepite in funzione di specifici casi d'uso o di particolari ambiti applicativi. Oggi, invece, l'intelligenza artificiale richiede un approccio più vicino a quello delle grandi infrastrutture di servizio. Mi spiego con un esempio: quando si costruisce un'autostrada non si decide in anticipo quali persone la utilizzeranno o quali merci viaggeranno su quella rete; si realizza un'infrastruttura che deve essere accessibile e utile al maggior numero possibile di utenti. Credo che le AI Factory debbano essere pensate in modo analogo. L'attenzione dovrebbe concentrarsi soprattutto sugli aspetti infrastrutturali, sulla sostenibilità economica e sulla capacità di garantire un accesso semplice e diffuso alle risorse di calcolo, più che sui singoli casi applicativi. Le applicazioni saranno molteplici – salute, energia, industria, pubblica amministrazione e così via – ma il punto centrale è costruire un'infrastruttura capace di abilitare tutte queste esperienze.

Dal punto di vista industriale, il successo di una AI Factory non dipenderà soltanto dalle prestazioni tecnologiche, ma dalla sua capacità di raggiungere il maggior numero possibile di utenti e di rendere sostenibile l'accesso alle risorse computazionali. Ancora una volta il modello di riferimento è quello adottato dai grandi operatori

cloud: aziende come Amazon, Google o Microsoft non si concentrano su una specifica applicazione, ma costruiscono infrastrutture che rendono disponibili le capacità di calcolo a una platea molto ampia di soggetti. Le AI Factory dovranno andare in questa direzione, semplificando l'accesso alle tecnologie e rendendo le risorse computazionali facilmente utilizzabili da imprese, centri di ricerca e pubbliche amministrazioni.

Per quanto riguarda invece il quantum computing e l'evoluzione dei digital twin, quali sono le prospettive?

Cavazzoni: Il principale limite del quantum computing, oggi, è che non esiste ancora un'architettura dominante. Nel calcolo tradizionale si è affermato abbastanza rapidamente l'architettura di von Neumann, che costituisce la base di tutti i computer moderni. Le implementazioni possono essere diverse, ma il principio architettureale è sostanzialmente condiviso. Nel quantum computing convivono invece molte tecnologie differenti e non è ancora chiaro quale possa diventare quella prevalente nel lungo periodo. Per un'azienda questo rappresenta un elemento di forte incertezza, perché è difficile giustificare investimenti significativi quando esiste il rischio concreto che l'architettura scelta venga superata da un'altra nel giro di pochi anni. Considero il quantum computing estremamente interessante dal punto di vista della ricerca e della sperimentazione, continuiamo a sviluppare applicazioni e a esplorarne le potenzialità, ma credo che per qualche tempo gli investimenti più importanti resteranno soprattutto nelle mani dei centri di ricerca, che possono

assumersi livelli di rischio superiori rispetto all'industria. Le aziende continueranno a osservare il settore, a sperimentare e a sviluppare competenze, ma difficilmente investiranno massicciamente in tecnologie che non hanno ancora raggiunto un sufficiente livello di maturità.

Sul tema dei digital twin, infine, credo che la direzione più interessante riguardi l'interazione tra esseri umani e sistemi intelligenti. Nella robotica industriale tradizionale, uomini e robot operano quasi sempre in spazi separati: i robot lavorano all'interno di aree dedicate e protette, mentre le persone restano all'esterno. In futuro immagino invece ambienti produttivi in cui agenti robotici e operatori umani condivideranno sempre più spesso gli stessi spazi di lavoro. Parliamo di robot capaci di assistere gli operatori, movimentare oggetti, svolgere attività di supporto logistico o collaborare direttamente con le persone nell'esecuzione di determinati compiti. In questi scenari diventa fondamentale comprendere e simulare l'interazione uomo-macchina. I digital twin dovranno quindi rappresentare non soltanto macchine, prodotti e processi industriali, ma anche il comportamento degli operatori e le dinamiche che si generano quando esseri umani e sistemi intelligenti condividono lo stesso ambiente. La sfida sarà garantire sicurezza, affidabilità ed efficacia operativa all'interno di contesti sempre più complessi. Questa è una delle evoluzioni più interessanti dei digital twin: passare dalla rappresentazione della singola macchina alla simulazione di interi ecosistemi produttivi in cui persone e sistemi intelligenti collaborano in modo continuo.

Il Futuro del Supercalcolo e dei Big Data

Intervista a Marco Aldinucci e Luca Benini

a cura di Pandora Rivista

Marco Aldinucci (UNITO) è Co-Leader dello Spoke 1 "Future HPC and Big Data" e membro dello Spoke Coordination Board di ICSC. Luca Benini (UNIBO) è Leader dello Spoke 1 membro dello Spoke Coordination Board di ICSC.

Il supercalcolo è diventato un tema strategico anche sul piano geopolitico. In questo scenario, quale ruolo ha avuto lo Spoke 1 all'interno del Centro Nazionale ICSC? E quali sono state le principali sfide affrontate?

Aldinucci: All'interno dello Spoke 1 abbiamo lavorato sulle tecnologie hardware e software alla base delle applicazioni di supercalcolo e, più recentemente, di intelligenza artificiale, coprendo l'intero stack tecnologico, dall'architettura fisica fino all'implementazione. Fin dall'inizio abbiamo impostato il lavoro anche nella prospettiva di sostenere la sovranità digitale europea. Questo significa muoversi in uno scenario globale in cui la ricerca deve contribuire a rafforzare la capacità industriale europea e italiana di competere a livello internazionale. Lo Spoke 1 si è quindi organizzato in modo naturale intorno ai due poli principali, hardware e software, con l'obiettivo di sostenere questa direzione. L'Italia ha una presenza importante nel supercalcolo, ma gran

parte di questa capacità si basa ancora su hardware e software sviluppati all'estero ed è importante lavorare verso l'acquisizione di competenze proprie. Il Centro Nazionale, da questo punto di vista, ha rappresentato un'opportunità straordinaria, perché ha permesso la formazione di una massa critica che consente di ragionare in questi termini. Per una singola università o per iniziative non coordinate, sarebbe estremamente difficile affrontare un tema così globale.

Benini: Aggiungo che, dopo molti anni in cui l'hardware era considerato quasi un elemento standard – con differenze sempre meno rilevanti tra una soluzione e l'altra – e in cui il valore sembrava concentrarsi soprattutto nel software, negli ultimi anni è tornata una forte attenzione verso gli investimenti nei materiali e nelle apparecchiature elettroniche. L'hardware è sempre più visto come una tecnologia abilitante, senza la quale molti sviluppi, in particolare nell'intelligenza artificiale, non sono possibili; allo stesso tempo è anche una tecnologia strategica in termini di sovranità, come dimostra la competizione tra Stati Uniti e Cina sul controllo delle tecnologie di calcolo avanzato. Il nostro Spoke ha avuto dunque un focus significativo anche sull'hardware,

guardando naturalmente alle prossime generazioni. La generazione attuale è infatti quasi totalmente statunitense ed è già stata installata.

Quali sono state le principali linee di sviluppo su cui avete lavorato? In particolare, come avete concentrato le risorse tra architettura hardware, software e nuovi modelli di calcolo, con questo obiettivo di rafforzamento della sovranità tecnologica?

Benini: Abbiamo organizzato le attività in due grandi blocchi. Il primo era costituito da due laboratori fisici, uno a Torino e uno a Bologna. In questo caso, l'idea era quella di creare due living lab, cioè ambienti nei quali esistessero spazi, persone e hardware accessibili sia localmente sia da remoto a università, enti di ricerca e aziende distribuiti su tutto il territorio nazionale, con una presenza significativa anche nel Sud Italia, pari a circa il 40% del totale dei soggetti partecipanti. Il living lab di Torino era maggiormente focalizzato sul software, tanto che lo chiamavamo Software Lab. Quello di Bologna aveva invece un focus più marcato sull'hardware, quindi sulla realizzazione di sistemi e chip veri e propri. Naturalmente in entrambi si lavorava sia sul software sia sull'hardware, ma con priorità differenti. A Torino l'idea era lavorare su hardware principalmente basato su piattaforme commerciali, intervenendo poi soprattutto a livello software; a Bologna, invece, il centro dell'attività era la progettazione hardware. Accanto a questi due living lab abbiamo avviato cinque attività, chiamate flagship, con progetti distribuiti, organizzati intorno a grandi priorità tematiche e sviluppati dai gruppi di ricerca delle università coinvolte nello Spoke. Le cinque flagship erano organizzate intorno a temi strategici di grande

impatto: una, per esempio, era dedicata all'affidabilità del calcolo, che oggi è un tema cruciale vista la scala dei sistemi utilizzati; altre erano più focalizzate sul software, come il microbenchmarking e l'analisi delle prestazioni hardware attraverso tecniche avanzate di performance analysis. Queste attività funzionavano come reti collaborative diffuse e tra living lab e flagship si è creata una forte interazione: le flagship sviluppavano risultati che poi venivano messi a terra nei laboratori, mentre molti ricercatori dei laboratori partecipavano direttamente anche alle attività flagship. Era quindi una struttura integrata, pur con modalità operative differenti.

Aldinucci: I living lab avevano fin dall'inizio anche un'altra funzione importante: essere pensati come investimenti per una progettualità di lungo periodo. L'idea non era creare qualcosa che iniziasse e finisse con il PNRR, ma costruire strutture e competenze capaci di continuare anche dopo. Per questo servivano spazi fisici, scrivanie, macchine, persone, e serviva soprattutto creare ambienti in cui potessero crescere nuove competenze; luoghi di formazione, dove studenti e giovani ricercatori hanno potuto lavorare in un contesto di alta qualità, spesso insieme a persone provenienti da altre università e centri di ricerca.

Qual è stato il percorso che vi ha portato a individuare questi ambiti di ricerca e definire le tematiche prioritarie verso cui concentrare il lavoro?

Benini: La definizione delle priorità è nata durante la fase di preparazione del PNRR, attraverso un'attività di confronto molto ampia che è durata diversi mesi. Abbiamo cercato di individuare le principali direttrici scientifiche e tecnologi-

che guardando a ciò che stava accadendo a livello internazionale, rispetto sia alle priorità presenti nei programmi quadro europei sia a quelle dei principali programmi dedicati all'HPC in Paesi come Stati Uniti, Cina e Giappone. Successivamente abbiamo costruito dei cluster tematici che riflettessero le aree considerate strategiche a livello globale. Uno dei temi trasversali più importanti emersi, soprattutto sul versante hardware, è stato quello del RISC-V, cioè un set di istruzioni aperto e non proprietario. Si tratta di uno standard pubblico, mantenuto da un organismo di standardizzazione al quale chiunque può partecipare o avere accesso senza costi di licenza. Questo aspetto è particolarmente rilevante perché, a differenza delle architetture sviluppate da Intel o ARM, RISC-V rappresenta una piattaforma, appunto, aperta. L'idea di lavorare sulle future generazioni di sistemi HPC attorno a uno standard di questo tipo è stata uno dei veri fili conduttori dello Spoke e ha trovato applicazione concreta sia nei living lab sia nelle flagship.

Aldinucci: Il nostro lavoro si è tradotto nella necessità di costruire un vero ecosistema attorno a queste architetture. Il tema di RISC-V, infatti, è strettamente legato a un altro aspetto fondamentale, cioè quello del software. Anche un'architettura molto promettente rischia infatti di diffondersi con difficoltà se non esistono già strumenti, applicazioni e ambienti software compatibili. L'adozione di una nuova tecnologia dipende molto dalla possibilità di trovare un ecosistema già pronto, perché sviluppare tutto da zero richiede investimenti enormi. Abbiamo quindi deciso di utilizzare le risorse del Centro Nazionale – e in particolare dello Spoke – anche per sostenere gli sviluppatori

interessati a portare le proprie applicazioni su RISC-V. Nel frattempo, tra il 2021 e oggi, è cambiato profondamente anche il contesto tecnologico. Quando abbiamo iniziato a lavorare su questi temi, l'HPC era ancora associato soprattutto al calcolo scientifico e al training dei modelli di intelligenza artificiale. Successivamente il dibattito sull'intelligenza artificiale si è ampliato molto, soprattutto sul versante dell'inferenza, che oggi rappresenta una parte enorme del mercato, e verso sistemi sempre più complessi, come gli agenti intelligenti e le architetture RAG – Retrieval-Augmented Generation – cioè framework che potenziano i Large Language Model integrandoli con basi dati e sistemi esterni. Questi sistemi richiedono non soltanto nuovi processori, ma anche un enorme lavoro sul software: flussi di lavoro, integrazione dei servizi, sicurezza, affidabilità e automazione. È tutto il tema del cloud engineering, che negli ultimi anni ha assunto un peso sempre maggiore. Si apre quindi una doppia sfida. Da una parte ci sono nuovi processori, molto promettenti soprattutto per l'inferenza. Dall'altra servono strumenti software capaci di integrarli in flussi di lavoro moderni e in sistemi agentici complessi, che oggi rappresentano ancora un ambito di ricerca aperto. Noi lavoriamo soprattutto nel livello immediatamente precedente alle applicazioni finali, mentre altri Spoke si occupano maggiormente delle applicazioni verticali. Lo Spoke 1, invece, si concentra sugli strumenti, sull'infrastruttura tecnologica e sui livelli intermedi dello stack software. L'obiettivo finale è costruire un ecosistema completo in cui non esista soltanto un processore RISC-V, ma anche tutto il software necessario per far funzionare in modo efficace sistemi complessi basati su questa architettura.

Uno degli obiettivi chiave del vostro lavoro è la convergenza tra supercalcolo, intelligenza artificiale, gestione dei dati e cloud computing. In termini concreti, cosa significa far dialogare questi ambiti e che tipo di benefici può portare alla ricerca e all'innovazione? Quali esempi mostrano il rapporto tra sviluppo hardware e software?

Benini: Un esempio molto concreto riguarda quella che oggi viene chiamata Edge AI o Physical AI. L'idea è costruire una pipeline in cui modelli addestrati su grandi sistemi di calcolo vengano poi trasformati in versioni più piccole ed efficienti, da utilizzare direttamente sul cosiddetto edge, cioè vicino al luogo in cui i dati vengono raccolti o dove il sistema deve operare in tempo reale. Questo è particolarmente importante per i sistemi autonomi. Un esempio può essere quello dei robot umanoidi, ma un caso già concreto è quello dei satelliti. In questo ambito abbiamo collaborato con Thales Alenia Space allo sviluppo di sistemi e architetture hardware basati su RISC-V per applicazioni spaziali. Da una parte c'è il tema della progettazione di chip sovrani, sempre più strategico in un contesto geopolitico frammentato, in cui non si può pensare di dipendere esclusivamente da hardware sviluppato all'estero per sistemi nazionali critici. Dall'altra ci sono requisiti tecnici molto stringenti, come l'affidabilità, la resistenza alle radiazioni e la capacità di operare in ambienti estremi. A questo si aggiunge poi tutto il lavoro sul software: sviluppare modelli di intelligenza artificiale compatti ed efficienti, capaci di funzionare direttamente a bordo del satellite senza dover inviare continuamente grandi quantità di dati a infrastrutture cloud terrestri per l'elaborazione. È un esempio che mostra bene come hardware, software, trasferimento tecnologico e collaborazione industriale siano oggi strettamente intrecciati.



Aldinucci: Un altro aspetto importante è legato alla sovranità tecnologica dei processi. Molti sistemi moderni sono distribuiti: i dati possono trovarsi sull'edge, in uno storage remoto, in un centro di calcolo o in un cloud pubblico. Quando si costruiscono sistemi complessi, il problema è farli funzionare senza dipendere completamente da piattaforme che non controlliamo. Un caso concreto affrontato nello Spoke è stato quello di Sogei, che gestisce dati fiscali estremamente sensibili. Da un lato esisteva l'interesse a utilizzare sistemi HPC e AI; dall'altro era impossibile portare fisicamente certe infrastrutture dentro l'Agenzia delle Entrate, così come era impossibile spostare all'esterno alcuni dati. Abbiamo quindi lavorato alla progettazione di flussi di lavoro nei quali fosse possibile controllare con precisione dove transitano i dati, quali ambienti devono essere protetti e quali invece possono essere distribuiti altrove. In altre parole, bisognava rendere leggibili fin dall'inizio i percorsi dei dati, quasi colorando in un grafo i nodi e i passaggi che devono restare in ambiente protetto e quelli che possono invece essere eseguiti altrove. Un hyperscaler risolverebbe il problema dicendo semplicemente: "porta tutto nel mio cloud". Noi, invece, abbiamo seguito una strada diversa, basata sul controllo diretto dei processi e delle infrastrutture. Un problema simile è emerso anche nella collaborazione con Eni, che riguardava soprattutto flussi di lavoro scientifici legati all'esplorazione energetica dove era fondamentale mantenere il controllo sia sui dati sia sul calcolo. La vera sfida è riuscire a costruire sistemi portabili, cioè soluzioni che possano funzionare su infrastrutture diverse senza dover essere riprogettate ogni volta. Questo vale per l'hardware, ma ancora di più per il cloud, dove il rischio di diventare dipendenti da

un unico fornitore o da una specifica tecnologia è ancora più forte. Il tema non è soltanto la sovranità dei componenti, ma anche quella dei processi che collegano questi componenti tra loro.

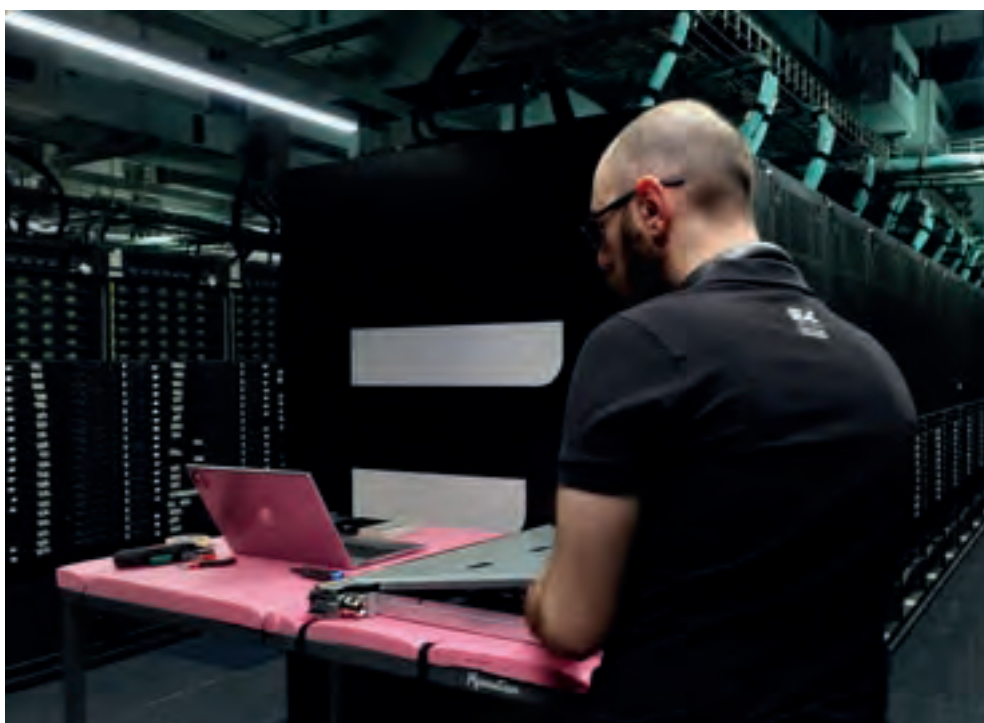
Nel vostro lavoro emergono diversi temi trasversali, dalla sicurezza dei dati alle tecnologie aperte, fino all'efficienza energetica. Quanto è centrale la sostenibilità ambientale e come si possono bilanciare prestazioni, controllo tecnologico ed efficienza energetica?

Benini: Il tema dell'energia e della sostenibilità è stato uno dei principali elementi di collegamento tra living lab e flagship. Una delle flagship era interamente dedicata all'efficienza energetica e su questo fronte abbiamo portato avanti numerosi lavori scientifici e attività di prototipazione. Il problema di fondo è che l'evoluzione tecnologica, che segue la cosiddetta legge di Moore, continua ma sta rallentando in modo significativo. La velocità di miglioramento della tecnologia si sta appiattendo, mentre le quantità di risorse di calcolo, memoria e rete necessarie a un sistema per eseguire un determinato programma o portare a termine un'attività crescono molto rapidamente. Si sta quindi aprendo una forbice sempre più ampia tra le richieste di calcolo e la capacità della tecnologia di soddisfarle in modo efficiente dal punto di vista energetico. Questo vale soprattutto per l'intelligenza artificiale, dove il costo energetico, i problemi termici e la densità di potenza dei chip stanno diventando fattori centrali. Per questa ragione l'industria e la ricerca hanno iniziato a puntare sempre di più su architetture specializzate, sviluppate per determinati tipi di carico computazionale. Si è passati gradualmente da un paradigma di general-purpose computing, basato su processori molto generici, a sistemi sempre

più ottimizzati per compiti specifici. Gran parte del lavoro svolto negli ultimi anni, compreso quello portato avanti nello Spoke, va proprio in questa direzione. Il concetto generale è quello di costruire architetture hardware e software pensate appositamente per il tipo di calcolo che devono eseguire.

Aldinucci: A Torino abbiamo lavorato molto sul tema dell'ottimizzazione complessiva dei sistemi, compreso il raffreddamento, sviluppando un sistema sperimentale di cooling avanzato per macchine AI ottimizzate con GPU. Il sistema è stato realizzato in particolare con E4 Computer Engineering, un integratore di sistemi italiano, e con InQuattro, uno spinoff di ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), e rappresenta uno dei primi prototipi commerciali di raffreddamento a due fasi applicato a questo tipo di infrastrutture. In pratica, invece di utilizzare semplicemente un liquido per trasportare il calore, il sistema sfrutta l'evaporazione del liquido stesso, che è molto più efficiente. Il fluido evapora

a contatto con la GPU, trasporta via il calore, viene ricondensato e rimesso in circolo. Durante questo progetto di vera e propria ricerca ingegneristica abbiamo rivisto più volte il sistema, modificando i componenti e i materiali per risolvere problemi che emergevano progressivamente. Oggi questo sistema è circa quaranta volte più efficiente rispetto a un raffreddamento tradizionale ad aria nella sola parte di cooling e stiamo cercando di far evolvere ulteriormente questa tecnologia all'interno di un nuovo data center finanziato con fondi europei. L'idea è integrare questi sistemi avanzati di raffreddamento con una produzione energetica da fonti rinnovabili e sistemi di accumulo basati sull'idrogeno, e parallelamente costruire sistemi di gestione intelligente dell'energia. I data center tradizionali sono pensati per funzionare con consumi relativamente costanti; in futuro serviranno infrastrutture molto più dinamiche e probabilmente sistemi di gestione basati su intelligenza artificiale. Tuttavia, l'obiettivo non è soltanto consumare meno energia, ma anche imparare a utilizzare meglio l'energia disponibile.



Dallo sviluppo di architetture hardware e software sempre più specializzate emerge anche la possibilità di allargare il numero degli attori coinvolti nel mercato. Quali settori pensate possano essere maggiormente impattati da questi sviluppi? E, guardando ai prossimi cinque o dieci anni, quale ruolo immaginate per il supercalcolo nello sviluppo scientifico e industriale europeo?

Aldinucci: Personalmente, interpreto l'HPC come tutto ciò che serve per sviluppare e utilizzare il calcolo ad alte prestazioni. Oggi questo include sia gli sviluppi legati ai chip specializzati per l'intelligenza artificiale sia altre traiettorie emergenti, come il quantum computing. Nel Centro Nazionale esiste anche uno Spoke dedicato specificamente a quest'ultimo aspetto e credo che il dialogo tra questi mondi sarà sempre più importante. Non penso però che il quantum computing funzionerà mai davvero da solo e lo vedo piuttosto come una forma estrema di calcolo specializzato, funzionale allo sviluppo di dispositivi pensati per svolgere determinati compiti molto specifici all'interno di sistemi più ampi. La vera sfida sarà quindi integrare architetture diverse: il calcolo tradizionale, le GPU di NVIDIA, AMD o Intel, i processori RISC-V, gli acceleratori specializzati e, in prospettiva, anche i sistemi quantistici. Orchestrare componenti differenti all'interno di processi di lavoro complessi richiede un enorme lavoro di software engineering e, in alcuni casi, anche di co-design hardware e software. Significa progettare nuovi modi di orchestrare il calcolo, nuovi protocolli, nuovi strumenti per migliorare la produttività. Negli ultimi dieci anni l'HPC è diventato sempre più diffuso e sempre meno un ambito specialistico; oggi è un elemento di interesse industriale molto più ampio. Per questo è necessario ridurre la complessità delle soluzioni e costruire strumenti più

accessibili, anche per integrare tecnologie avanzate come il quantum computing. Siamo in una fase simile a quella vissuta dall'informatica quando si è passati dalle prime macchine programmate quasi manualmente ai compilatori moderni. È il momento di ripensare completamente il modo in cui organizziamo il calcolo.

Benini: Dal mio punto di vista ci sono almeno due grandi aree di impatto. La prima, più immediata, riguarda l'Edge AI e la possibilità di portare l'intelligenza artificiale fuori dai grandi centri di calcolo, distribuendola in dispositivi e sistemi sempre più vicini all'uso quotidiano. Questo significa robotica, sistemi autonomi, automazione industriale, ma anche IA in loco nelle aziende, business intelligence e gestione avanzata dei flussi informativi. La seconda area riguarda invece il tema della produttività. L'IA generativa e agentica sta dimostrando che attività considerate fino a poco tempo fa strettamente legate al lavoro umano possono essere almeno in parte automatizzate. Questo vale sia per lo sviluppo software sia, progressivamente, per la progettazione hardware. Per l'Europa questo è particolarmente importante, perché a causa della crisi demografica non abbiamo la disponibilità di forza lavoro giovane che possono avere Paesi come Cina o India. Di conseguenza, la possibilità di rendere gli ingegneri e i ricercatori più produttivi grazie all'automazione rappresenta un'opportunità enorme. Tutto dipende da come queste tecnologie vengono utilizzate: se servono soltanto a fare applicazioni superficiali il discorso cambia, ma se vengono integrate davvero nei processi di progettazione, sviluppo e innovazione, possono diventare uno strumento decisivo per mantenere la competitività industriale e scientifica europea.

Anche alla luce del dibattito pubblico sull'utilizzo delle risorse del PNRR, che bilancio è possibile fare dell'esperienza del Centro Nazionale e dello Spoke 1? E quali elementi pensate possano rappresentare un'eredità duratura di questo lavoro?

Benini: Il Centro Nazionale rappresenta una piccola parte dell'insieme dei finanziamenti del PNRR, ma credo che in questo caso si possa parlare di risorse spese bene. Non lo dico perché riguardano il nostro Spoke, che peraltro rappresenta solo una frazione dell'investimento complessivo del Centro Nazionale, ma perché questi fondi hanno prodotto infrastrutture di livello internazionale, permettendo all'Italia di restare tra i Paesi leader nel supercalcolo. Inoltre, hanno contribuito alla formazione di ricercatori altamente qualificati, che in alcuni casi sono stati "assorbiti" rapidamente dal mercato e hanno generato attività di innovazione che continuano ancora oggi nelle aziende coinvolte.

Aldinucci: Il Centro Nazionale è stato uno dei progetti che ha raggiunto più rapidamente gli obiettivi previsti, sia dal punto di vista della spesa, sia rispetto agli altri indicatori richiesti. Per noi è stata un'opportunità straordinaria e fin dall'inizio abbiamo lavorato con l'idea di costruire qualcosa che potesse rimanere nel tempo. Abbiamo cercato di trasformare le risorse disponibili in infrastrutture, competenze, relazioni industriali e capacità progettuali. Il senso del lavoro dello Spoke è stato quello di creare le condizioni per continuare a produrre valore anche dopo la fine del PNRR. L'effetto leva degli investimenti in ricerca e trasferimento tecnologico in questo settore è enorme, perché ogni euro investito può generare ricadute significative. Il sostegno pubblico alla ricerca è una componente essenziale dello sviluppo tecnologico e molti degli strumenti che oggi utilizziamo quotidianamente nell'HPC e nell'informatica sono nati proprio da investimenti pubblici, che poi l'industria è stata capace di valorizzare.



Ricerca Fondamentale e Space Economy

Intervista ad Antonio Stamerra

a cura di Pandora Rivista

Antonio Stamerra (INAF) è Co-Leader dello Spoke 2 “Fundamental Research and Space Economy” e membro dello Spoke Coordination Board del Centro Nazionale ICSC.

Da quali esigenze siete partiti per lavorare sulle principali tematiche legate alla fisica fondamentale e alla Space Economy all'interno dello Spoke 2?

Stamerra: La parte centrale del lavoro dello Spoke 2, denominato “Fundamental Research and Space Economy”, riguardava soprattutto i casi d'uso legati alla fisica fondamentale, all'astrofisica e più in generale alla ricerca di base. Partendo da casi d'uso strettamente scientifici – come la cromodinamica quantistica, le onde gravitazionali o l'analisi di dati e immagini in fisica e astrofisica – le soluzioni sviluppate trovano anche applicazioni in altri ambiti. Penso, ad esempio, all'utilizzo di simulazioni numeriche e modelli per ottimizzare l'utilizzo di fasci di particelle e radiazioni per la cura dei tumori, oppure allo studio delle opere d'arte. In questo quadro si inserisce anche la Space Economy, sviluppata nello Spoke 2 soprattutto all'interno del Work Package 6, con l'obiettivo di identificare le attività di sviluppo tecnologico e computazionale legate all'osservazione della Terra dallo spazio.

In particolare, ci siamo concentrati sui satelliti dedicati al monitoraggio del territorio e su competenze specifiche nell'analisi di immagini satellitari. Uno dei casi d'uso principali ha riguardato l'identificazione precoce di malattie nei campi coltivati, ad esempio la flavescenza dorata della vite. Attraverso l'analisi delle immagini è possibile individuare tempestivamente l'insorgenza di patologie utilizzando metodologie ibride che combinano immagini satellitari e droni impiegati a bassa quota. Questo consente di intervenire rapidamente e in maniera mirata, ma richiede sistemi avanzati di analisi delle immagini e modelli capaci di distinguere segnali realmente significativi dal rumore prodotto da altri elementi presenti sul territorio, come pannelli solari o altre strutture.

Su quali altri casi applicativi e industriali avete lavorato?

Stamerra: Un altro ambito applicativo ha riguardato l'identificazione degli incendi. Anche in questo caso l'analisi satellitare può avere ricadute concrete, ad esempio in ambito assicurativo, permettendo di confrontare la situazione precedente e successiva a un evento e valutare con maggiore precisione danni e rimborsi.

Sempre in quest'area abbiamo collaborato con Intesa Sanpaolo su attività legate alla caratterizzazione dei terreni agricoli. L'obiettivo era verificare la corrispondenza tra quanto dichiarato dalle aziende agricole e l'effettiva capacità produttiva dei terreni osservata tramite dati satellitari. È un esempio interessante perché mostra bene il collegamento tra tecnologie nate nella ricerca fondamentale – l'analisi di immagini utilizzata anche in astrofisica o negli esperimenti di fisica delle particelle – e applicazioni industriali o finanziarie.

Un secondo filone, più vicino alla Space Economy in senso stretto, è stato sviluppato insieme a Leonardo, nell'ambito del progetto IDL – Interoperable Data Lake. Il progetto era dedicato alla raccolta e gestione di dati eterogenei all'interno di grandi data lake, ma da lì è nata anche un'attività sul tracciamento di satelliti e detriti spaziali, che richiedeva competenze astronomiche. Abbiamo sviluppato un sottoprogetto dedicato all'osservazione di satelliti e detriti spaziali utilizzando il Telescopio Nazionale Galileo alle Canarie e uno strumento ad altissima velocità di acquisizione chiamato SiFAP (Simple Fast Astronomical Photometer), capace di effettuare misure su scale temporali inferiori al millisecondo. Partendo dall'analisi e gestione dei dati sviluppate nel progetto IDL, abbiamo cercato di osservare e caratterizzare questi oggetti nello spazio. Non parliamo soltanto di satelliti di grandi dimensioni, ma anche di frammenti inferiori al metro o persino al centimetro, spesso non catalogati e derivanti da collisioni o da vecchi satelliti. Da questa esperienza è nata l'idea di sviluppare strumenti e simulatori per analizzare meglio le traiettorie di questi oggetti e contribuire alle attività di space situational awareness, cioè al

monitoraggio dello spazio per prevenire collisioni e controllare il comportamento dei detriti orbitali. Questo esempio mostra bene come la ricerca fondamentale, che a volte sembra distante dalle applicazioni concrete, possa produrre ricadute tecnologiche importanti quando esiste un dialogo reale tra competenze diverse. Nello Spoke 2 la Space Economy non era il tema centrale e, all'inizio, ci interrogavamo anche noi su cosa significasse davvero affrontarla all'interno di uno Spoke dedicato soprattutto alla fisica fondamentale. Però, lavorando sui casi d'uso, sono emerse naturalmente molteplici connessioni.

A proposito dell'organizzazione interna dello Spoke 2, come avete strutturato il lavoro? Da quali domande siete partiti e quanto è stato importante lavorare all'interno di un ecosistema come quello del Centro Nazionale?

Stamerra: Lo Spoke 2, come gli altri Spoke del Centro Nazionale, è stato organizzato in diversi work package. La particolarità, rispetto ad altri casi, è che noi li abbiamo distinti abbastanza chiaramente in due grandi aree: una più legata ai temi della ricerca fondamentale e un'altra più orientata agli aspetti tecnologici e implementativi. In particolare, i Work Package 4 e 5 erano dedicati soprattutto allo sviluppo delle soluzioni tecnologiche e computazionali necessarie per affrontare i casi d'uso emersi negli altri pacchetti di lavoro. A questi si aggiungeva il Work Package 6, che ha avuto una funzione più trasversale e includeva proprio la Space Economy e altri casi d'uso non strettamente legati alla ricerca fondamentale.

Devo dire che questa struttura ha funzionato piuttosto bene e i casi d'uso sono nati direttamente dalle competenze

e dalle attività quotidiane delle persone coinvolte nello Spoke. Parliamo di un insieme molto ampio di discipline: fisica delle particelle, sia teorica sia sperimentale, fisica dello spazio, astrofisica legata ai processi fisici più che agli oggetti astronomici in senso stretto, astroparticle physics, onde gravitazionali e astronomia multimessaggera. Tutti ambiti che condividono esigenze computazionali molto avanzate.

Dal punto di vista computazionale, quali erano le principali sfide comuni a questi diversi ambiti dello Spoke?

Stamerra: Pensiamo, ad esempio, agli esperimenti di fisica delle particelle. Il vero problema non è solo fare gli esperimenti, ma gestire l'enorme quantità di dati che producono. Negli acceleratori avvengono collisioni a velocità impressionanti e ogni singolo evento



genera una quantità enorme di informazioni che devono essere raccolte, selezionate e analizzate quasi in tempo reale. Per questo servono infrastrutture informatiche molto avanzate: sistemi capaci di elaborare dati vicino al punto in cui vengono prodotti, enormi archivi digitali e piattaforme in grado di leggere e analizzare flussi giganteschi di informazioni senza rallentamenti. Non si tratta semplicemente di avere “computer più grandi”, ma di riuscire a gestire dati che arrivano continuamente e a velocità elevatissime. Sono sfide che, in fondo, non sono così lontane da quelle che oggi affrontano anche molte grandi realtà industriali. Penso ai flussi di dati finanziari o alle grandi infrastrutture digitali utilizzate da aziende energetiche come Eni. Accanto alla fisica sperimentale c'è poi la fisica teorica, che presenta sfide completamente diverse ma altrettanto complesse. Un esempio è la cromodinamica quantistica, cioè lo studio teorico delle interazioni tra quark e particelle subnucleari. In questo caso servono simulazioni numeriche enormi, basate su reticoli computazionali estremamente complessi, che richiedono grandi capacità di calcolo parallelo. Nello Spoke 2 abbiamo lavorato anche utilizzando infrastrutture di supercalcolo come Leonardo e questo ci ha permesso di operare su sistemi estremamente complessi, con centinaia di migliaia di unità di calcolo che lavorano contemporaneamente e con architetture diverse tra loro, come CPU e GPU, sviluppando software in grado di essere al tempo stesso performante e scientificamente affidabile.

Un altro tema centrale è stato quello della sostenibilità energetica del calcolo. Simulazioni di questo tipo consumano enormi quantità di energia e

diventa fondamentale ottimizzare gli algoritmi, ridurre i tempi di esecuzione e utilizzare processori a basso consumo energetico. Questo aspetto ha un impatto immediato anche sull'industria, perché sviluppando algoritmi più efficienti o sistemi che riducono il consumo energetico, è possibile produrre un'innovazione utile ben oltre il contesto della ricerca fondamentale. Va ricordato però che i casi d'uso non nascono pensando subito alla ricaduta industriale. Chi lavora, ad esempio, sulla simulazione delle onde gravitazionali cerca prima di tutto di risolvere un problema scientifico: estrarre informazioni fisiche da un segnale osservato da un interferometro gravitazionale, capire la massa degli oggetti coinvolti, la loro distanza o rotazione. Le tecnologie di calcolo sviluppate per affrontare questi problemi possono poi trovare applicazioni molto più ampie.

Nonostante il focus fosse la ricerca fondamentale, come ricordava sono state portate avanti anche collaborazioni con vari soggetti interni ed esterni al Centro. Quanto sono state importanti?

Stamerra: Per quanto riguarda la collaborazione interna, nello Spoke 2 è stata molto positiva anche perché esisteva già una comunità scientifica consolidata, soprattutto legata all'INFN, a cui si sono aggiunte le università e alcune realtà come INAF, da cui provengo io. Non è mai semplice far collaborare comunità diverse perché serve uno sforzo reale di coordinamento, ma nel complesso il dialogo ha funzionato bene. Un altro aspetto molto interessante, e inizialmente non scontato, è stato proprio il rapporto con l'industria. Attraverso gli Innovation Grant e i bandi a cascata siamo riusciti a collaborare in maniera concreta con

aziende come Leonardo, Intesa Sanpaolo ed Eni. Con Intesa, come dicevo, abbiamo lavorato su progetti di agricoltura di precisione e frode bancaria. Con Eni ci siamo occupati di predictive maintenance, cioè manutenzione predittiva, grazie a sistemi capaci di individuare possibili anomalie nei macchinari prima che si verifichi un guasto.

Tecniche simili vengono applicate anche alla strumentazione scientifica. Nei telescopi, ad esempio, monitoriamo continuamente sensori, temperature, pressioni, voltaggi e altri parametri per identificare anomalie attraverso algoritmi di machine learning. Anche i bandi a cascata hanno prodotto esperienze interessanti. Alcuni progetti hanno utilizzato le infrastrutture di calcolo del Centro per sviluppare nuovi sistemi di gestione dei dati finanziari o applicazioni legate alla Space Economy, combinando dati satellitari e informazioni economiche per analizzare fenomeni complessi. Uno degli elementi più importanti è stato proprio quello di creare occasioni concrete di dialogo tra mondi diversi: ricerca fondamentale, industria e sviluppo tecnologico.

Dal punto di vista delle ricadute, quanto può incidere questo lavoro sul tessuto produttivo italiano, fatto soprattutto di piccole e medie imprese? Le applicazioni sviluppate insieme a grandi aziende come Leonardo possono avere effetti anche lungo la filiera?

Stamerra: È una domanda complessa. Premetto che non sono un esperto di organizzazione industriale, né di grandi né di piccole imprese, però l'esperienza maturata nello Spoke 2 mi porta a fare alcune considerazioni. Le grandi aziende, dal canto loro, hanno una massa critica che permette di investire anche in attività di ricerca che non producono

ricadute immediate, anche se non sempre hanno una visione così orientata al lungo periodo. Per le piccole e medie imprese, invece, la situazione è più delicata, perché spesso devono concentrarsi su obiettivi immediatamente spendibili sul mercato. Anche nei bandi a cascata abbiamo osservato questo aspetto. Molte realtà coinvolte cercavano applicazioni con un TRL (Technology Readiness Level) già elevato; quindi, tecnologie o prodotti pronti per essere immessi rapidamente sul mercato. Credo che uno dei contributi più importanti che il Centro può dare alle PMI sia mettere a disposizione metodologie, prototipi e strumenti già sviluppati e validati. Tutto ciò che viene prodotto all'interno del Centro Nazionale segue infatti principi di open access e FAIR data; quindi, può essere riutilizzato anche da soggetti esterni.

Un altro aspetto fondamentale riguarda il training e il trasferimento delle competenze. Su questo aspetto nello Spoke 2 abbiamo lavorato molto, anche se esiste ancora un ampio margine di miglioramento. Poiché la ricerca pubblica sviluppa competenze avanzate nel calcolo, nella gestione dei dati e nell'analisi algoritmica, l'idea è trasferire almeno parte di questo patrimonio verso il sistema produttivo. Nel nostro caso lo abbiamo fatto organizzando scuole, workshop e hackathon aperti a chi voleva acquisire nuove competenze.

Quanto conta, oltre al trasferimento tecnologico, proprio questo aspetto di trasferimento delle competenze tra ricerca e imprese? E quali altri strumenti possono essere impiegati attivamente per favorirlo?

Stamerra: Oltre a quanto ho già citato, ci sono strumenti come i dottorati industriali che permettono ai giovani ricercatori





di muoversi in un ambiente ibrido, tra contesto industriale e contesto accademico. Questo consente loro di affrontare i problemi con maggiore libertà, senza essere vincolati esclusivamente alla ricaduta immediata sul prodotto. Più in generale, credo che il vero obiettivo futuro debba essere la costruzione di un ecosistema, anche in senso non necessariamente fisico, stabile tra imprese e ricerca pubblica, in cui aziende, ricercatori e tecnologi possano confrontarsi continuamente, condividere problemi, strumenti e soluzioni. Non sempre è semplice, perché dal lato della ricerca fondamentale esiste il tema delle pubblicazioni scientifiche e della necessità di produrre risultati coerenti con il proprio percorso accademico, mentre dal lato industriale serve apertura verso approcci innovativi che spesso non producono risultati immediati. Tuttavia, la storia dimostra che le ricadute della ricerca fondamentale esistono eccome. Pensiamo, ad esempio, ai protocolli di trasmissione dati sviluppati originariamente per i radiotelescopi e poi utilizzati nelle tecnologie wireless. Oppure alle GPU, nate in contesti completamente diversi e diventate oggi strumenti centrali anche nel calcolo scientifico.

La ricerca fondamentale sviluppa tecnologie per risolvere problemi estremi – legati allo storage, alla velocità di calcolo, all'efficienza energetica – e queste tecnologie possono poi trovare applicazioni molto più ampie. Da un lato il settore pubblico deve imparare a riconoscere il potenziale applicativo di ciò che produce, valorizzandolo anche attraverso brevetti o collaborazioni; dall'altro il settore privato deve avere la capacità di investire in innovazione e fidarsi maggiormente dei dati, degli algoritmi e delle nuove metodologie. Le piccole e medie imprese italiane hanno una grande forza nella loro

capacità artigianale e nella comprensione concreta dei processi. Però oggi diventa indispensabile ampliare questa capacità attraverso strumenti avanzati di analisi dei dati e tecnologie computazionali efficienti.

Quali sviluppi e quali prospettive possono nascere dall'esperienza dello Spoke 2?

Stamerra: Per l'esperienza che abbiamo avuto nello Spoke 2 – anche nel rapporto molto stretto con lo Spoke 3 (“Astrophysics and Cosmo Observations”), perché di fatto sono i due Spoke più legati alla ricerca fondamentale – la sfida principale per il futuro è riuscire a tenere insieme la ricerca fondamentale e il mondo industriale e applicativo. È nella ricerca di base che si affrontano problemi estremi: gestione di enormi quantità di dati, velocità di calcolo, sostenibilità energetica delle simulazioni, sviluppo di nuovi algoritmi e nuove architetture computazionali. Da questo punto di vista, il Centro Nazionale dovrà essere capace, come ha già fatto, di valorizzare proprio queste competenze.

I nostri casi d'uso hanno sviluppi applicativi concreti, sicuramente collocabili a un TRL medio. Per arrivare a un livello più alto serve però una connessione molto più stretta con il sistema industriale, perché quel passaggio non è ciò che noi, come ricercatori di base, sappiamo fare direttamente. Ed è qui che diventa fondamentale costruire un ecosistema reale di collaborazione pubblico-privato. Per quello che abbiamo visto finora, il modo migliore per farlo è mettere le persone nelle condizioni di lavorare insieme davvero, in contesti in cui possano confrontarsi quotidianamente su problemi concreti, ciascuno portando le proprie competenze.

Astrofisica e Osservazione del Cosmo

Intervista a Claudio Gheller

a cura di Pandora Rivista

Glaudio Gheller è componente dello Spoke 3 "Astrophysics and Cosmo Observations" del Centro Nazionale ICSC.

Quanto è visibile, oggi, l'impatto dell'evoluzione tecnologica – dal supercalcolo all'intelligenza artificiale – nel campo dell'astrofisica? E in che modo è cambiato, anche solo negli ultimi anni, il rapporto tra ricerca astronomica e capacità di calcolo?

Gheller: All'Istituto di Radioastronomia dell'INAF di Bologna mi occupo soprattutto di applicazioni per l'analisi e la simulazione dei dati, fondamentali per interpretare le osservazioni astronomiche nella banda radio. L'astronomia è stata probabilmente uno dei primi campi scientifici a sfruttare sistemi di calcolo molto avanzati soprattutto per quanto riguarda le simulazioni numeriche. Il motivo è semplice: a differenza di altre branche della scienza, l'astronomia non può riprodurre in laboratorio i fenomeni osservati nell'universo, come la formazione delle stelle o delle galassie. Non è possibile fare un "esperimento" nel senso tradizionale del termine. Per questo motivo le simulazioni numeriche sono diventate uno strumento essenziale, che permette di costruire modelli teorici e confrontarli con ciò che osserviamo nel cielo.

Già dagli anni Settanta, con i primi computer dotati di una minima capacità di calcolo, gli astronomi hanno iniziato a utilizzare strumenti numerici per interpretare i dati osservativi. Con il tempo, però, i modelli sono diventati sempre più complessi e dettagliati, aumentando di conseguenza anche il bisogno di potenza di calcolo. Negli anni Novanta le simulazioni sono state trasferite su sistemi paralleli, cioè computer in grado di eseguire molti calcoli contemporaneamente. Oggi siamo nell'era del calcolo accelerato, che sfrutta processori specializzati come le GPU, utilizzate anche per l'intelligenza artificiale. La prossima frontiera è il quantum computing: una tecnologia ancora sperimentale, ma che in futuro potrebbe offrire capacità di calcolo completamente nuove anche per la ricerca astrofisica. Su questi temi si è concentrato anche il lavoro svolto nello Spoke 3, dedicato al rapporto tra astrofisica e calcolo ad alte prestazioni.

Negli ultimi anni non è cambiato soltanto il modo di fare simulazioni, ma anche la quantità di dati prodotta dagli strumenti osservativi. Quanto sta incidendo questa trasformazione sul lavoro degli astronomi e sull'organizzazione stessa della ricerca?

Gheller: Nell'ultimo decennio è emersa l'esigenza di utilizzare enormi capacità di calcolo per l'interpretazione e l'analisi dei dati osservativi. I telescopi, i satelliti e gli strumenti di osservazione sono diventati sempre più grandi, precisi e accurati, e stanno producendo moli di dati che fino a pochi decenni fa erano assolutamente inimmaginabili e che renderanno indispensabile l'utilizzo dell'HPC per poter analizzare le informazioni. Penso, per esempio a Square Kilometre Array (SKA), un progetto internazionale per la costruzione del più grande e sensibile radiotelescopio al mondo, basato su una rete di centinaia di migliaia di antenne. A questo si stanno affiancando sempre di più anche strumenti basati su machine learning e intelligenza artificiale, perché è necessario avere sistemi di analisi il più possibile veloci e capaci di lavorare con una supervisione umana ridotta, che comunque resterà fondamentale. In passato un astronomo poteva raccogliere poche immagini, analizzandole una ad una, cercare sorgenti, oggetti o fenomeni di interesse. Oggi un telescopio può invece acquisire una quantità di immagini la cui analisi e investigazione non può essere effettuata manualmente neanche da un ampio gruppo di persone.

Questa è una delle grandi frontiere attuali: affiancare al calcolo HPC strumenti di machine learning che, a loro volta, hanno bisogno di HPC per essere addestrati e poi utilizzati in fase di inferenza nel modo più rapido possibile, idealmente quasi in tempo reale. Il rischio, altrimenti, è di investire quantità enormi di risorse per costruire strumenti di osservazione capaci di produrre centinaia di petabyte di dati all'anno, per poi archivarli in un sistema di storage senza avere davvero la possibilità di analizzarli. E questo vale anche per le simulazioni sempre più grandi che

producono enormi quantità di dati, che spesso rischiano di restare dimenticati nei sistemi di calcolo.

Rimanendo sul tema della quantità enorme di dati prodotta dagli strumenti osservativi, quali sono oggi le principali difficoltà tecniche che la ricerca si trova ad affrontare?

Gheller: Una delle difficoltà più grandi dal punto di vista tecnico riguarda la gestione stessa dei dati: come trasferirli, archivarli e conservarli quando si parla di quantità enormi di informazioni. Per le simulazioni il problema è in parte più semplice, perché il dato nasce direttamente sul supercalcolatore e lì può essere immagazzinato. Ma quando si iniziano ad avere decine o centinaia di terabyte, diventa comunque necessario trovare sistemi efficienti per archiviare i dati a lungo termine e trasferirli verso infrastrutture locali adeguate. E qui emergono tutti i limiti legati alla banda e alla rete: trasferire dataset di queste dimensioni richiede tempi lunghi e infrastrutture robuste. La situazione è ancora più complicata nel caso dei dati osservativi, perché i telescopi si trovano spesso in regioni remote del pianeta, oppure direttamente su satelliti. Il trasferimento dei dati diventa quindi una sfida enorme. L'esempio più evidente è probabilmente il già citato SKA, per cui uno dei problemi principali sarà proprio il trasferimento dei dati dai radiotelescopi installati in aree remote del Sudafrica e dell'Australia verso i centri europei di elaborazione e poi verso tutti i data center regionali distribuiti sul territorio.

Nel nostro Spoke abbiamo affrontato questi aspetti anche attraverso un work package specifico dedicato ai data lake, alle tecnologie cloud e ai sistemi di trasferimento dati, con l'obiettivo di speri-

mentare soluzioni efficaci per la gestione di questi flussi enormi di informazioni. Altre difficoltà sono legate allo sviluppo software. Oggi lavoriamo con sistemi eterogenei e complessi, e questo rende i modelli di programmazione estremamente articolati. Trent'anni fa il problema era sostanzialmente scegliere tra due diversi linguaggi di programmazione, Fortran e C, mentre oggi esiste una quantità enorme di linguaggi, framework e modelli. Alcuni sono più efficienti, altri più flessibili, altri ancora più adatti all'analisi dati, come Python. Questo rende complicato sia sviluppare sia mantenere i codici, perché basta un cambiamento tecnologico – per esempio il passaggio da GPU NVIDIA a un'altra architettura – per costringere a riscrivere porzioni significative del software. Il ricercatore medio dell'INAF non viene assunto per sviluppare codice ma per studiare galassie, esopianeti o fenomeni cosmologici, ma oggi questi aspetti computazionali stanno diventando sempre più centrali per fare ricerca. Il mantenimento dei codici scientifici è una sfida continua. Ed è proprio qui che il lavoro del Centro Nazionale è stato fondamentale.

Come è stato organizzato concretamente il lavoro dello Spoke 3? E che tipo di comunità scientifica e professionale siete riusciti a costruire attraverso queste attività?

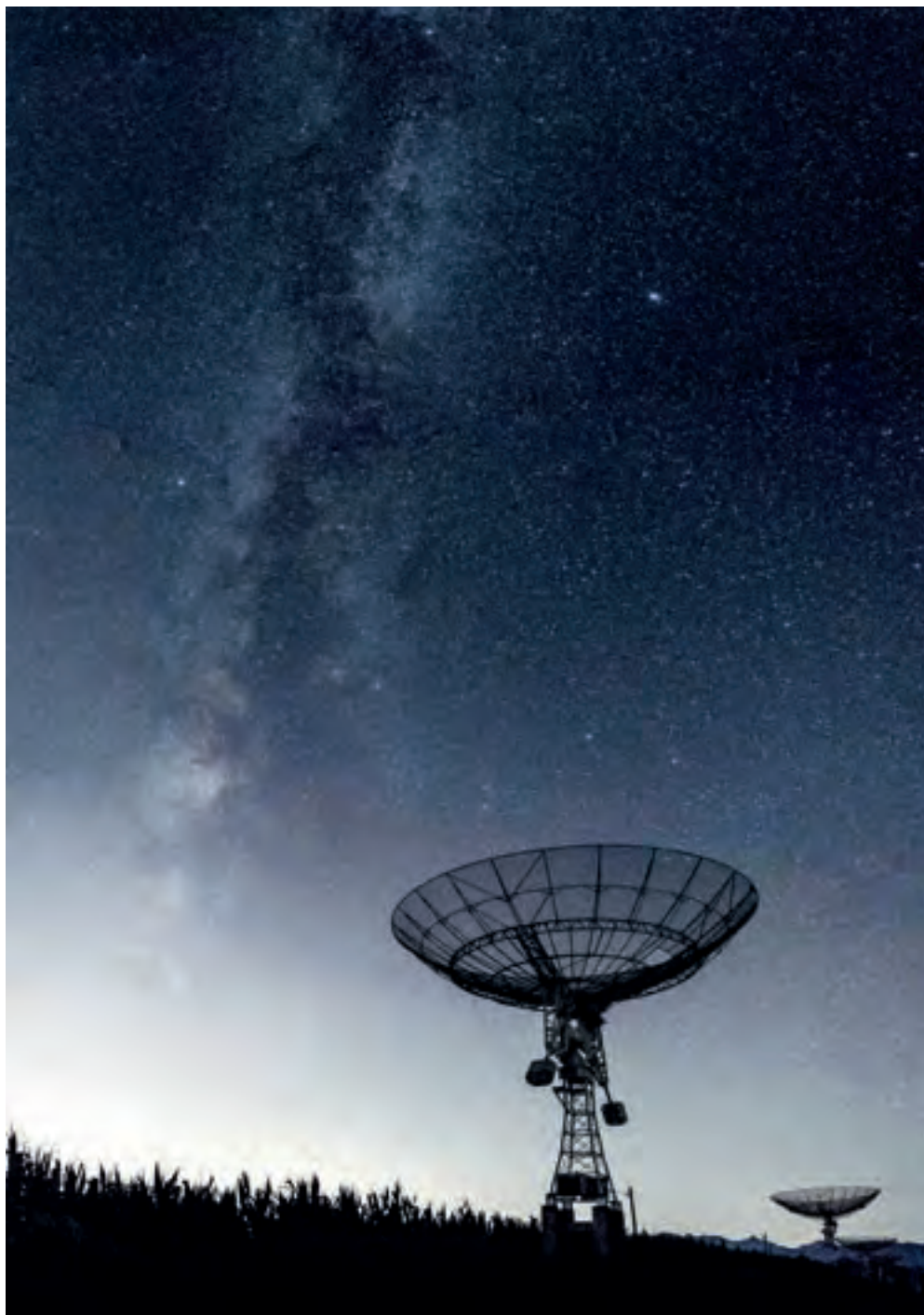
Gheller: Lo Spoke 3 ci ha permesso di formare una nuova generazione di ricercatori e tecnologi capaci di lavorare sulle problematiche che ho descritto. Dal punto di vista organizzativo, il lavoro era suddiviso in diversi work package. Quattro erano dedicati alle attività scientifiche e tecnologiche – HPC, machine learning, gestione dati e visualizzazione – mentre un quinto aveva una funzione più di supporto, legata all'infrastruttura web e

agli strumenti collaborativi. All'interno di questi work package sono state sviluppate circa quaranta task differenti e ogni task aveva un referente scientifico e un referente operativo. Tutto il materiale sviluppato è stato reso pubblico attraverso il repository GitLab del Centro Nazionale. Parallelamente sono stati organizzati corsi di HPC e machine learning per formare ricercatori e tecnologi, oltre a workshop, seminari, conferenze e attività di disseminazione anche in contesti internazionali.

Una parte importante del lavoro è stata anche la promozione di queste attività in ambienti non strettamente astrofisici. Per esempio, partecipiamo regolarmente a Supercomputing Conference, la grande conferenza internazionale che si svolge ogni anno negli Stati Uniti, dove coordiniamo insieme a INFN e CINECA degli spazi dedicati alla presentazione delle attività legate al supercalcolo e al Centro Nazionale. Nel complesso è stato quindi un lavoro capillare, non solo sul piano tecnico e scientifico, ma anche su quello della formazione e della costruzione di una comunità con competenze specifiche.

Uno degli aspetti che emerge quando si parla del Centro Nazionale è la capacità di sviluppare un dialogo tra ricerca, industria e sviluppo tecnologico. Quanto è stato importante questo aspetto per lo Spoke 3? E che tipo di progetti sono nati da queste collaborazioni?

Gheller: Inizialmente lo Spoke 3 era composto quasi esclusivamente da enti di ricerca e università – INAF, INFN, Università di Tor Vergata, Università di Trieste e altri partner accademici – quindi il lavoro era orientato soprattutto verso la ricerca di base. Progressivamente, però, sono state integrate alcune attività con aziende e soggetti industriali, soprattutto attraverso gli innovation grant, ovvero progetti



pensati proprio per favorire il trasferimento tecnologico tra enti di ricerca e imprese coinvolte nel Centro Nazionale. L'idea era costruire un ponte tra chi sviluppa innovazione e chi poi può applicarla concretamente nel tessuto industriale e sociale. Nel nostro caso abbiamo avuto diversi progetti importanti con collaborazioni che hanno coinvolto grandi realtà industriali e tecnologiche come Unipol, Leonardo, Thales Alenia Space, Intesa Sanpaolo e Sogei. L'obiettivo era capire se gli algoritmi e le tecnologie sviluppate nello Spoke potessero trovare applicazioni anche fuori dall'astrofisica. Un esempio significativo è stato il progetto HaMMon, coordinato da Unipol ma con un forte coinvolgimento dell'INAF e dello Spoke 3. In una delle attività che ho seguito direttamente abbiamo preso algoritmi di machine learning sviluppati originariamente per identificare sorgenti nelle immagini radioastronomiche. Gli stessi approcci sono stati poi riutilizzati per analizzare il territorio urbano. Questi metodi, basati su reti neurali e tecniche avanzate di machine learning, sono stati applicati anche all'identificazione e classificazione dell'edificato in aree urbane come Bologna e Milano, con l'obiettivo di valutare possibili vulnerabilità legate a eventi meteorologici estremi o altri rischi naturali. È stato un caso interessante perché la stessa expertise sviluppata in ambito radioastronomico è stata trasferita quasi direttamente su un problema completamente diverso. Sempre nel progetto HaMMon sono stati sviluppati sistemi basati su immagini raccolte da droni per analizzare gli edifici da vicino, ricostruire modelli 3D e identificare automaticamente potenziali criticità strutturali – crepe, instabilità o altri segnali di rischio – attraverso tecniche di machine learning nate originariamente per l'analisi astronomica. Un altro esempio interessante riguarda un progetto sviluppato con il settore bancario, in collaborazione

con Intesa Sanpaolo. In astronomia utilizziamo algoritmi sofisticati per identificare fenomeni estremamente rari e transienti – ad esempio intense emissioni luminose improvvise e brevissime provenienti dallo spazio profondo, come gamma ray burst o fast radio burst – che possono essere confusi e non venire individuati a causa del rumore osservativo. Gli stessi approcci sono stati utilizzati per individuare operazioni bancarie sospette o fraudolente all'interno di enormi volumi di transazioni normali. Anche qui il parallelismo è forte: trovare un evento raro e significativo nascosto dentro milioni di eventi ordinari.

Accanto agli innovation grant ci sono stati poi anche i bandi a cascata. In quel caso non si trattava tanto di trasferimento tecnologico verso l'industria, quanto piuttosto di coinvolgere aziende capaci di risolvere problemi tecnici emersi durante le attività dello Spoke. Per esempio, nel campo della visualizzazione abbiamo collaborato con aziende che si sono occupate di reingegnerizzare i software sviluppati dai ricercatori, rendendoli più robusti, portabili e manutenibili. Il ricercatore sviluppa spesso codici molto efficaci dal punto di vista scientifico, ma non necessariamente progettati secondo tutti gli standard dell'ingegneria software. In questo senso il contributo industriale è stato strategico.

All'interno del Centro Nazionale c'è stato anche un dialogo tra i diversi Spoke? In particolare, avete collaborato con altri gruppi che lavorano su temi a voi vicini?

Gheller: Sì, anche se con modalità diverse a seconda dei progetti. La collaborazione più naturale è stata sicuramente quella con lo Spoke 2, dedicato ai problemi computazionali della ricerca fondamentale e alle loro applicazioni nella Space Economy. In un certo senso, lo Spoke 2

e lo Spoke 3 erano quasi “gemelli”: nello Spoke 3 il ruolo di responsabile scientifico del progetto era affidato a INAF, con INFN come co-responsabile, mentre nello Spoke 2 avveniva l'opposto. Entrambi lavoriamo su tematiche legate alla fisica fondamentale e quindi c'erano molte sovrapposizioni naturali tra problemi di fisica delle alte energie e problematiche astrofisiche. C'è stata poi una collaborazione rilevante con lo Spoke 1, dedicato alle tecnologie HPC innovative, e con lo Spoke 10 sul quantum computing. In questi casi il dialogo era quasi inevitabile,

perché molte delle problematiche affrontate erano comuni: architetture di calcolo, modelli di programmazione, accelerazione, ottimizzazione dei codici. Con altri Spoke il rapporto è stato un po' meno diretto sul piano scientifico, perché lavorano su temi più distanti dalla fisica e dall'astrofisica. Però ci sono comunque stati punti di contatto, soprattutto nel contesto degli innovation grant. Per esempio, con lo Spoke 5 abbiamo collaborato all'interno del progetto HaMMon, legato ai temi del territorio e dei rischi naturali.



Le collaborazioni quindi ci sono state, anche se spesso più su progettualità specifiche e applicative che non attraverso una cooperazione scientifica continua tra tutti gli Spoke. Ritengo comunque che il tentativo del Centro Nazionale di costruire connessioni tra competenze e comunità che normalmente lavorano in settori separati tra loro sia stato importante.

Guardando al futuro, quali sono oggi le priorità per dare continuità al lavoro avviato nello Spoke 3 e alle competenze costruite attraverso il Centro Nazionale?

Gheller: Credo che ormai una cosa sia abbastanza chiara: le tecnologie legate al supercalcolo, all'intelligenza artificiale e più in generale al calcolo avanzato sono diventate assolutamente imprescindibili per la ricerca scientifica. Questo messaggio sta arrivando progressivamente agli enti di ricerca e alle università, anche se non è ancora del tutto interiorizzato. Tradizionalmente, un dottorando, un assegnista o un ricercatore vengono formati soprattutto per affrontare uno specifico

problema scientifico. Però oggi, per lavorare davvero su queste sfide, è necessario avere anche competenze specialistiche legate all'HPC, all'intelligenza artificiale, al machine learning e, in prospettiva, al quantum computing. Non significa che ogni astronomo debba diventare un esperto di programmazione, ma si tratta di formare persone capaci di muoversi sia nel linguaggio scientifico sia in quello delle tecnologie computazionali avanzate. Queste figure sono fondamentali perché fanno da collegamento tra mondi diversi: devono essere in grado di parlare con gli scienziati, capire i problemi scientifici reali e allo stesso tempo padroneggiare strumenti tecnologici avanzati. Senza questo tipo di professionalità sarà difficile continuare a progredire scientificamente.

Per queste ragioni stiamo cercando di dare continuità a quanto costruito nello Spoke 3. L'idea è trasformare questa esperienza in qualcosa di più stabile e strutturato, come un vero laboratorio permanente, con una prospettiva di lungo periodo e non limitata alla singola progettualità del PNRR. Un



laboratorio che possa sia supportare gli scienziati nelle loro attività di ricerca, sia continuare a sviluppare azioni di trasferimento tecnologico verso l'industria. Un altro punto fondamentale riguarda il personale formato in questi anni. Abbiamo investito molto nella costruzione di competenze e sarebbe un errore disperdere questo patrimonio. Il rischio, altrimenti, è perdere in poco tempo le professionalità che sono state costruite con grande fatica e che oggi sono sempre più necessarie per fare ricerca avanzata. La speranza è quindi riuscire a consolidare queste figure professionali nell'ambito delle future evoluzioni del Centro Nazionale.

Dal punto di vista scientifico, invece, quali trasformazioni si aspetta nei prossimi anni grazie all'uso di queste tecnologie?

Gheller: Dal punto di vista scientifico le prospettive sono estremamente promettenti. Le nuove infrastrutture osservative che stanno entrando in funzione oggi – e che potranno essere sfruttate soltanto grazie a queste tecnologie di calcolo – produrranno

una crescita esponenziale delle conoscenze. Basti pensare agli esopianeti: in pochi anni siamo passati da poche decine di pianeti conosciuti a migliaia. E questo è avvenuto non solo perché gli strumenti osservativi sono diventati più potenti, ma anche perché siamo diventati capaci di elaborare i dati in modo sempre più sofisticato.

Oggi capita spesso che dei dati raccolti venti o trent'anni fa vengano nuovamente analizzati con tecniche moderne e producano nuove scoperte. Questo significa che il valore scientifico dei dati cresce nel tempo insieme alla nostra capacità di interpretarli. Il futuro è promettente, ma è importante capire che ormai il calcolatore è diventato parte integrante dello strumento scientifico stesso. Il telescopio non è più separabile dall'infrastruttura computazionale che permette di analizzare i dati. E quel calcolatore non è più il semplice PC del ricercatore: richiede competenze tecniche specialistiche, infrastrutture avanzate e comunità scientifiche capaci di far evolvere continuamente questi strumenti.



Scienze della Terra e del Clima

Intervista a Silvio Gualdi

a cura di Pandora Rivista

Silvio Gualdi (CMCC) è Leader dello Spoke 4 "Earth and Climate" e membro dello Spoke Coordination Board del Centro Nazionale ICSC.

Oggi supercalcolo e intelligenza artificiale permettono di simulare il Sistema Terra a scale sempre più dettagliate. Una delle sfide centrali dello Spoke 4 è migliorare la fedeltà dei modelli climatici e la tempestività delle analisi. Come avete lavorato in questa direzione?

Gualdi: La comunità scientifica che si occupa di modellistica climatica e che cerca di rappresentare un sistema complesso come il nostro pianeta ha bisogno di risorse di calcolo ingenti per aumentare la capacità delle simulazioni. Un primo obiettivo fondamentale è stato quindi quello di adottare le nuove architetture di calcolo, così da sfruttare al meglio i progressi tecnologici disponibili: sia migliorando i workflow per rendere le simulazioni più efficienti dal punto di vista computazionale, sia rafforzando tutto ciò che riguarda la documentazione, la provenienza e l'attribuzione dei dati. Un secondo fronte di lavoro ha riguardato i modelli in sé: abbiamo investito nell'aumentare la loro capacità di

rappresentare i fenomeni naturali e nel migliorarne la risoluzione spaziale. Questo è un aspetto cruciale, perché le politiche di adattamento e mitigazione si applicano spesso a scala locale, e per fornire informazioni attendibili a quella scala è necessario operare a risoluzioni molto elevate.

A questo si è affiancata, soprattutto negli ultimi anni, la riflessione su come integrare al meglio le metodologie di machine learning e intelligenza artificiale all'interno dei processi di simulazione e analisi. Ma forse l'aspetto su cui teniamo di più è la sostenibilità nel tempo di tutto questo lavoro. Per questo, abbiamo costruito Climate Data IT, un repository centralizzato in cui raccogliamo, documentiamo e organizziamo le simulazioni prodotte, rendendole accessibili – anche oltre la durata dello Spoke – ad agenzie pubbliche e ad altri soggetti istituzionali che ne hanno bisogno.

L'intelligenza artificiale viene utilizzata per analizzare grandi dataset di osservazioni e simulazioni climatiche. In che misura, la sua applicazione ha permesso di ottenere previsioni più accurate o più rapide rispetto ai metodi tradizionali?

Gualdi: Le applicazioni di intelligenza artificiale che abbiamo sviluppato sono state orientate principalmente alla costruzione di emulatori dei nostri modelli climatici, con l'obiettivo di ridurre i costi computazionali e i tempi di elaborazione. Un primo risultato concreto è stato il prototipo di un emulatore per gli eventi di grandine. La grandine è un fenomeno che si manifesta su scale spaziali molto ridotte, difficilmente risolvibili dai modelli che utilizziamo per le simulazioni di cambiamento climatico. L'approccio che abbiamo seguito è stato quello di usare metodi di intelligenza artificiale per stabilire una relazione statistica tra le variabili che il modello è in grado di simulare – temperatura, vento, attività convettiva – e la probabilità che in un determinato punto della griglia si verifichi un evento di grandine. In sostanza, il modello non è in grado di dirci direttamente se in quel punto potrà cadere grandine, ma gli strumenti di intelligenza artificiale che abbiamo sviluppato, integrati come plugin all'interno del modello, sono in grado di stimare quella probabilità. Si tratta di informazioni di grande rilevanza per il settore assicurativo e per quello agricolo. Questo apre prospettive molto interessanti: da un lato, sarà possibile produrre scenari sull'evoluzione futura degli eventi di grandine – se tenderanno ad aumentare, intensificarsi o ridursi – e dall'altro, collegando questi strumenti ai modelli per le previsioni stagionali, potremo fornire informazioni sulla probabilità di eventi grandinigeni nell'estate successiva. Sempre in ambito agricolo, un altro sviluppo significativo ha riguardato la previsione della siccità, con l'obiettivo di anticipare condizioni di deficit idrico sia a scala stagionale sia su orizzonti temporali più lunghi, cercando di capire, ad esempio, come cambieranno le statistiche degli eventi siccitosi nei prossimi venti o trent'anni.

Un terzo filone di lavoro ha portato alla creazione di piattaforme di supporto decisionale per le imprese, strumenti che permettono di tenere conto dei diversi rischi climatici e di orientare le scelte aziendali con maggiore consapevolezza. Le informazioni prodotte continueranno ad affluire nel repository Climate Data IT, dove le aziende potranno accedere agli indicatori che hanno individuato come più rilevanti per le proprie attività, e noi saremo in grado di continuare ad aggiornarli e a renderli disponibili.

La collaborazione con l'industria è un elemento strutturale dello Spoke 4. Come si è sviluppato il dialogo con i partner privati, e quanto ha influenzato le metodologie della ricerca?

Gualdi: Il dialogo con il mondo industriale si è sviluppato partendo anzitutto dalla costruzione di un vocabolario comune, perché il linguaggio della ricerca pubblica e quello della ricerca industriale spesso non coincidono. È stato il primo passo, e probabilmente anche il più importante. Da lì, abbiamo lavorato per capire come colmare il divario tra ciò che siamo in grado di fare e ciò di cui le aziende hanno effettivamente bisogno. Su questo fronte, i progetti di innovazione hanno rappresentato il terreno più fertile: siamo riusciti a produrre una serie di indicatori e di dati che i partner industriali hanno ritenuto utili per le proprie attività. La sfida per il futuro sarà capire come sostenere e far ulteriormente evolvere questo tipo di collaborazione.

Un esempio concreto è il progetto condotto con Terna, nell'ambito del quale abbiamo analizzato come le caratteristiche degli eventi di precipitazione, che in determinate condizioni possono innescare impatti idrogeologici significativi

– tipicamente le frane – potrebbero cambiare in futuro. Il lavoro si è concentrato sulla fascia appenninica del Sud Italia, un’area di particolare interesse per Terna in ragione degli effetti che questi eventi possono avere sulle infrastrutture della rete di trasmissione dell’energia elettrica. Abbiamo inoltre avuto rapporti con IFAB e, attraverso di essa, con piccole e medie imprese attive nei settori delle energie rinnovabili e dell’agricoltura. In questi casi, l’interazione ha riguardato principalmente uno scambio formativo reciproco sulla produzione e sull’utilizzo dei dati e previsioni climatiche, nell’ottica di rafforzare la capacità del sistema italiano di rispondere alla crisi climatica. Per la natura stessa del nostro lavoro, le collaborazioni con le imprese hanno assunto una forma diversa rispetto a quanto accaduto in altri Spoke più tecnologici come quelli focalizzati, ad esempio, sullo sviluppo di hardware, dove il rapporto con il settore privato può articolarsi in modo differente.

Quale collaborazione interna si è rivelata più profittevole per lo Spoke 4?

Gualdi: Quella più intensa si è sviluppata con lo Spoke 5, dedicato ai disastri naturali, con cui esiste una convergenza tematica naturale. Nel progetto con Terna, ad esempio, la divisione del lavoro è stata molto chiara: noi ci occupavamo della componente meteo-climatica, mentre lo Spoke 5, in particolare attraverso il Politecnico di Bari, si occupava di tradurre quelle informazioni in valutazioni sugli impatti idrogeologici. È stata una collaborazione molto proficua, al punto che stiamo già ragionando su come proseguirla nell’ambito di nuovi progetti futuri. Un’altra collaborazione rilevante si è sviluppata con lo Spoke 3, nel contesto

di un progetto di innovazione orientato al settore assicurativo. In quel caso, il punto di convergenza è stato il tele-rilevamento. Le osservazioni della superficie terrestre condotte dallo spazio rappresentano per noi una fonte di dati fondamentale, e lo Spoke 3 ha un forte radicamento proprio in quell’ambito.

Lei prima faceva riferimento invece all’obiettivo in corso di costituire un repository, che sistematizzi in modo efficiente le informazioni a disposizione. Pertanto, prima dell’avvio di questo progetto, in che modo si accedeva a dati e simulazioni?

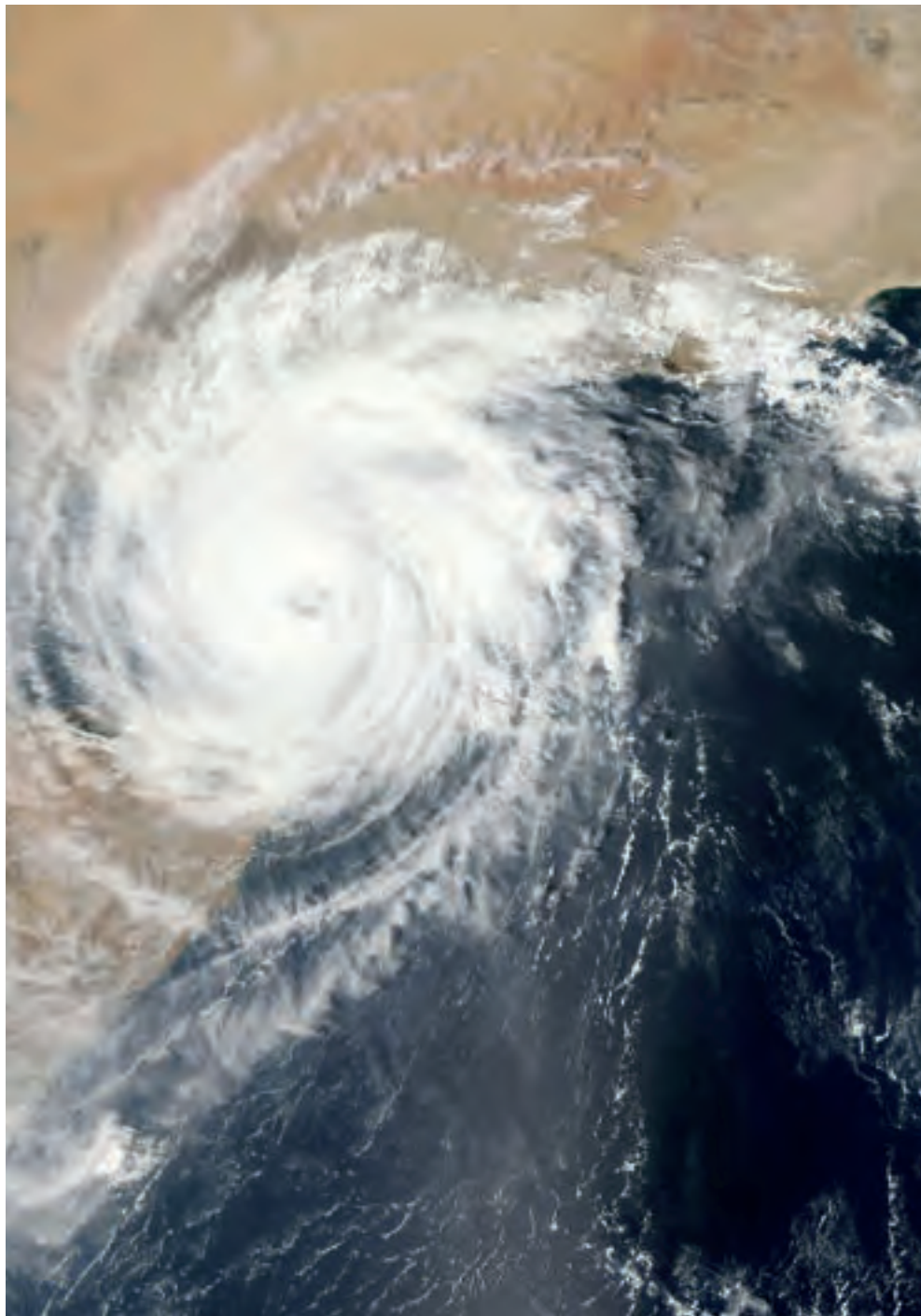
Gualdi: Il progetto è nato proprio da questa domanda. In Italia non esisteva un luogo unico dove trovare dati climatici documentati in modo organico: dati di cui fosse chiara la provenienza, la qualità, il processo con cui erano stati prodotti. Chiunque avesse voluto condurre uno studio sugli impatti dei cambiamenti climatici nel nostro Paese si sarebbe trovato a dover accedere a una molteplicità di repository diversi, ciascuno con le proprie caratteristiche e le proprie logiche di organizzazione. Un’operazione complessa per chi è del settore, e sostanzialmente proibitiva per chi non lo è. Questo rendeva la produzione di informazioni sul clima italiano (sui cambiamenti in corso, sui loro impatti) un processo poco trasparente e difficilmente riproducibile, proprio perché i dati sono il fondamento di tutto. Di fronte a questa situazione, abbiamo ritenuto che fosse nostro dovere, nell’ambito del Centro Nazionale HPC ICSC, lavorare per colmare questa lacuna. Ma ragionandoci, abbiamo deciso di essere più ambiziosi e di non limitarci a costruire un semplice repository nazionale, ma portare l’Italia al livello dei principali Paesi europei nella gestione dei dati climatici.

L'obiettivo su cui stiamo ancora lavorando è la creazione di un nodo italiano dell'ESGF (Earth System Grid Federation), la rete federata di repository che raccoglie le simulazioni climatiche alla base dei rapporti dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Questi nodi sono distribuiti in diversi Paesi nel mondo, e la loro assenza in Italia era fino ad oggi una mancanza significativa che intendiamo colmare.

Dove sono collocati gli altri nodi della Federazione e, come si inserisce, il nodo italiano in questo quadro?

Gualdi: I nodi ESGF attualmente esistenti sono circa una decina a livello mondiale. Tra i principali – i cosiddetti nodi Tier 0 – tre si trovano in Francia, presso l'IPSL, in Germania, presso il DKRZ di Amburgo, e nel Regno Unito, con il nodo CEDA. A questi si aggiungono nodi negli Stati Uniti, in Australia e altri minori distribuiti in centri di vari Paesi. Tutti questi nodi ospitano simulazioni globali, ovvero proiezioni climatiche costruite su scala planetaria. Quello che vogliamo costruire non è semplicemente un riconoscimento





simbolico per il nostro Paese su una mappa internazionale – per quanto anche questo abbia il suo valore – ma c'è una ragione scientifica più sostanziale. Manca ancora, nell'intera federazione, un nodo dedicato alle simulazioni regionali, quelle che nella nostra comunità sono note come simulazioni CORDEX.

Il programma CORDEX parte dalle proiezioni climatiche globali, che descrivono come cambierà il clima del pianeta nei prossimi decenni, e ne effettua il downscaling su aree geografiche specifiche: l'Europa, il Mediterraneo, l'Africa, il Nord America, il Sud America, l'Asia, il subcontinente indiano, l'Australia, e così via. In sostanza, si tratta di uno zoom ad alta risoluzione su domini regionali limitati. Un'operazione che non sarebbe sostenibile a scala globale per i costi computazionali che comporterebbe, ma che diventa praticabile quando applicata a territori definiti. Queste simulazioni CORDEX, ad oggi, non dispongono di un repository dedicato all'interno della rete ESGF. Colmare questa lacuna creando il primo nodo specializzato sulle simulazioni regionali è, a mio avviso, il contributo più duraturo che l'Italia può offrire.

Gli impatti economici e sociali degli eventi estremi sono sempre più rilevanti. Guardando ai risultati ottenuti, quali applicazioni potrebbero produrre gli impatti più significativi nei prossimi anni? E come proseguirà il lavoro dello Spoke 4?

Gualdi: ICSC ha aperto una call per finanziare progetti che facciano avanzare le attività avviate nell'ambito del Centro Nazionale o che propongano nuove direzioni di ricerca a partire dai risultati già conseguiti. Come Spoke 4

abbiamo presentato una proposta che non si limita a proseguire quanto fatto finora, ma compie un salto di qualità nella direzione della produzione di informazioni e previsioni climatiche sull'Italia e sul Mediterraneo. Il focus non sarà sullo sviluppo di nuovi modelli o strumenti, ma sul miglioramento dei sistemi previsionali già esistenti e, in particolare, sulla loro capacità di monitorare la penisola italiana e il bacino mediterraneo a scale temporali diverse, da quelle più brevi fino agli orizzonti di lungo periodo, verso la seconda metà di questo secolo. In questo quadro, intendiamo potenziare l'uso dell'intelligenza artificiale per affinare la qualità delle previsioni che produciamo. Parallelamente, continueremo a sviluppare il repository Climate Data IT, alimentandolo con queste previsioni progressivamente migliorate e rendendole disponibili all'intera comunità scientifica, alle istituzioni pubbliche e ai soggetti privati.

Un elemento nuovo rispetto all'esperienza precedente è la presenza di un pacchetto di lavoro dedicato esplicitamente all'applicazione delle previsioni climatiche in tre settori socioeconomici strategici per il Paese: la gestione delle risorse idriche, l'agricoltura e la produzione di energia. L'obiettivo è capire concretamente come le informazioni climatiche possono migliorare i processi decisionali in questi ambiti, anche attraverso il coinvolgimento di partner industriali tramite IFAB. Il nuovo progetto avrà, inoltre, un tema trasversale che lo caratterizza in modo specifico: l'acqua. L'intenzione è sviluppare una valutazione sempre più accurata dello stato delle risorse idriche in Italia e di come queste potranno essere influenzate dai cambiamenti climatici futuri.

Ambiente e Disastri Naturali

Intervista a Roberto Bellotti

a cura di Pandora Rivista

Roberto Bellotti (UNIBA) è Leader dello Spoke 5 "Environment and Natural Disasters" e membro dello Spoke Coordination Board del Centro Nazionale ICSC.

Il Centro Nazionale ICSC rappresenta un'iniziativa strategica per rafforzare le capacità italiane nel supercalcolo, nella gestione dei dati e nelle tecnologie avanzate. Qual è il ruolo dello Spoke 5 all'interno di questo ecosistema e quale contributo specifico ha portato rispetto agli obiettivi complessivi del Centro?

Bellotti: Il Centro affronta ambiti molto diversi, dalla salute alla scienza dei materiali, e lo Spoke 5 è dedicato ai temi dell'ambiente e dei disastri naturali. Il nostro obiettivo è stato sviluppare metodologie in grado di aiutare a comprendere meglio il territorio e a ridurre l'impatto degli eventi estremi. Operiamo in un contesto fortemente multidisciplinare: mettiamo in dialogo competenze che spaziano dall'ingegneria alle scienze della Terra, fino alle tecnologie digitali più avanzate, perché fenomeni complessi come frane, alluvioni o terremoti non possono essere affrontati da una singola prospettiva disciplinare.

Il contributo specifico dello Spoke 5 è proprio quello di trasformare questa pluralità di conoscenze in strumenti concreti, capaci di supportare chi è chiamato a prendere le decisioni nella prevenzione e nella gestione del rischio.

Lo Spoke 5, come ha sottolineato, ha riunito competenze e dati provenienti da realtà molto diverse per sviluppare nuovi strumenti di analisi e supporto alle decisioni. Come si è tradotto questo approccio nelle attività di ricerca? Può raccontarci alcuni dei risultati più significativi e le difficoltà che avete affrontato nel costruire questa esperienza?

Bellotti: Il risultato più importante raggiunto in questi anni è stato costruire una comunità scientifica che, prima della nascita dello Spoke 5, non aveva mai lavorato insieme in modo strutturato. Abbiamo coinvolto circa 300 ricercatori provenienti da otto istituzioni diverse – Università di Bari, Università dell'Aquila, Università di Firenze, Politecnico di Bari, CNR, "Sapienza" Università di Roma, ENEA e Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) – ciascuna con competenze e approcci consolidati nei rispettivi ambiti di ricerca. Creare un linguaggio comune e favorire il dialogo

tra queste realtà è stata probabilmente la sfida più impegnativa, ma anche uno dei principali successi del progetto. Su questa base abbiamo sviluppato metodologie data-driven che integrano dati raccolti sul campo, spesso proprietari e custoditi dai singoli gruppi di ricerca, con tecniche di intelligenza artificiale e machine learning. Questo approccio ci ha consentito di realizzare diversi strumenti già pienamente funzionanti su casi di studio specifici. Tra gli esempi più significativi ci sono i Digital Twin, cioè gemelli digitali che riproducono attraverso simulazioni il comportamento di territori o sistemi particolarmente complessi. Abbiamo sviluppato, ad esempio, il Digital Twin di Bovino, un'area particolarmente fragile della Daunia, nel nord della Puglia, utilizzato per studiare fenomeni di instabilità del territorio. Stiamo inoltre lavorando al monitoraggio continuo dell'area dei Campi Flegrei e alla modellazione degli scuotimenti sismici, con l'obiettivo di migliorare la capacità di analisi e previsione dei possibili scenari di rischio.

Un altro filone di ricerca riguarda il comportamento delle comunità esposte ai disastri naturali. Ci occupiamo di capire come le persone reagiscono nelle situazioni di emergenza: come funzionano i piani di evacuazione, in che modo viene percepito il rischio e quali fattori psicologici influenzano le scelte individuali e collettive. Sono aspetti che incidono direttamente sull'efficacia delle strategie di prevenzione e che, per questo, devono essere considerati insieme alle analisi di carattere più strettamente tecnico. Su tutti questi temi abbiamo realizzato proof of concept che, in diversi casi, hanno già raggiunto un elevato livello di maturità tecnologica e si avvicinano a possibili applicazioni operative nel mondo reale.

Un elemento centrale del vostro lavoro riguarda la gestione e la valorizzazione dei dati secondo i principi FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable). Cosa significa adottare questi principi nel contesto dei dati ambientali e perché rappresentano un aspetto così importante per lo sviluppo di strumenti affidabili e utilizzabili?

Bellotti: Seguire i principi FAIR nella gestione dei dati significa definire regole e procedure che consentano di descrivere, condividere e riutilizzare le informazioni in modo controllato, preservandone qualità, tracciabilità e sicurezza. Nel nostro ambito questo tema è particolarmente delicato, perché molte delle informazioni che utilizziamo sono proprietarie o riguardano infrastrutture e territori sensibili. Pensiamo, ad esempio, ai dati relativi alla suscettibilità di un'area alle frane, oppure alle informazioni che riguardano infrastrutture critiche come ferrovie o acquedotti: si tratta di dati che, se interpretati o utilizzati in modo improprio, possono avere implicazioni rilevanti. Adottare i principi FAIR permette quindi a comunità scientifiche diverse di lavorare sugli stessi dati secondo standard comuni, evitando duplicazioni e facilitando il trasferimento delle conoscenze e degli strumenti sviluppati.

Nel nostro caso il valore aggiunto è proprio quello di riuscire a coniugare apertura e riuso dei dati con la necessità di proteggerne gli aspetti più sensibili. Per questo ci siamo affidati alle linee guida FAIR implementate dal Centro Nazionale, che hanno rappresentato un riferimento importante per organizzare e valorizzare il patrimonio informativo raccolto all'interno dello Spoke.



Accanto alla modellazione fisica e al supercalcolo, fate ricorso anche a tecniche di machine learning ed explainable AI. Perché è importante comprendere come un modello arriva a una determinata previsione, soprattutto in un ambito come quello dei rischi naturali?

Bellotti: Uno dei principali limiti dei modelli di intelligenza artificiale riguarda il loro funzionamento come una sorta di “scatola nera”: il sistema restituisce una previsione o una risposta, ma non sempre è chiaro quali elementi abbiano portato a quel risultato. In contesti come il nostro questo rappresenta un problema, perché chi deve prendere decisioni operative ha bisogno di comprenderne le motivazioni.

Le tecniche di explainable AI consentono proprio di fare questo. Oltre a fornire una stima – per esempio la probabilità di una frana o il livello di sicurezza di una determinata infrastruttura – permettono di individuare quali variabili abbiano

avuto il peso maggiore nel determinare quella previsione. L’explainability aiuta a far comprendere sia al decisore pubblico sia alla popolazione perché vengono assunte certe decisioni e perché vengono fatte determinate scelte.

Molti dei temi affrontati dallo Spoke 5 si intrecciano con quelli di altri ambiti del Centro Nazionale. Come si è sviluppato il dialogo con gli altri Spoke e quale valore ha avuto questa collaborazione nello sviluppo delle vostre attività?

Bellotti: All’interno del Centro Nazionale esistono Spoke con cui il nostro rapporto è stato particolarmente stretto per affinità di tematiche e obiettivi scientifici. Penso, ad esempio, allo Spoke 4 dedicato alla Terra e ai cambiamenti climatici e allo Spoke 9 rivolto a Digital Society e Smart Cities. Si tratta di ambiti che presentano numerosi punti di contatto con le attività dello Spoke 5, perché i fenomeni che studiamo sono spesso interconnessi e richiedono approcci complementari.

Questo confronto si è tradotto in uno scambio continuo di competenze, metodologie ed esperienze, che ha contribuito ad arricchire sia i modelli sia gli strumenti sviluppati nei diversi contesti applicativi. L'interazione è stata particolarmente fruttuosa e sono convinto che queste collaborazioni continueranno anche oltre la conclusione del PNRR, proprio perché rispondono a esigenze scientifiche e operative che vanno al di là della durata del progetto.

Le attività dello Spoke prevedono una stretta collaborazione con istituzioni pubbliche, mondo della ricerca e imprese. Qual è il contributo specifico di questi diversi attori e in che modo questo confronto ha favorito il trasferimento delle soluzioni sviluppate verso contesti applicativi concreti?

Bellotti: Nel caso dell'ambiente e dei disastri naturali, il nostro principale stakeholder di riferimento è il Sistema Paese. Il nostro obiettivo è mettere a disposizione soluzioni che possiamo sviluppare direttamente all'interno dello Spoke o che le imprese possono ulteriormente valorizzare e adattare a partire dai modelli che realizziamo. Da questo punto di vista, lo Spoke 5 ha una caratteristica particolare: il dialogo molto stretto con le istituzioni pubbliche. Nel corso di questi mesi abbiamo stipulato numerosi accordi con soggetti chiamati a gestire concretamente il rischio sul territorio. Penso, ad esempio, ad Acquedotto Pugliese o ad alcune agenzie regionali impegnate sui temi del dissesto idrogeologico e della tutela delle infrastrutture.

Parallelamente abbiamo collaborato con altre università e con il sistema delle imprese, anche attraverso i cosiddetti bandi a cascata, che hanno favorito la nascita di nuove progettualità condivise.

Si è così sviluppato un lavoro di rete particolarmente intenso, che ci ha messo in contatto con il settore privato ma, soprattutto, con quei soggetti pubblici che possono tradurre questi strumenti in azioni concrete a beneficio dei territori.

I temi su cui lavorate hanno ricadute che vanno ben oltre la ricerca e riguardano direttamente il Sistema Paese. Quale impatto auspicate nei prossimi cinque anni e quali saranno le principali sfide per trasformare questi strumenti in pratiche sempre più diffuse di prevenzione e gestione del rischio?

Bellotti: I disastri naturali hanno un impatto molto rilevante sulle casse dello Stato e, più in generale, sull'intero sistema economico e sociale. La prevenzione comporta certamente dei costi, ma la gestione delle emergenze e la ricostruzione ne comportano di gran lunga maggiori, come purtroppo sappiamo bene. Il nostro auspicio è che i modelli e le strategie che stiamo sviluppando possano essere adottati sempre più spesso in una logica di prevenzione, intervenendo prima che gli eventi si verifichino o che le loro conseguenze diventino più gravi. La sfida non è soltanto tecnologica e richiede anche scelte politiche, capacità di programmazione e un cambiamento culturale nel modo in cui affrontiamo il tema del rischio.

Proprio in questa prospettiva stiamo lavorando su livelli elevati di maturità tecnologica, sviluppando servizi e prodotti vicini all'applicazione concreta e pensati per essere adottati il prima possibile dalle amministrazioni pubbliche. L'obiettivo finale è contribuire a ridurre il rischio e rafforzare la capacità dei territori di affrontare i disastri naturali, investendo sempre di più sulla prevenzione.

Sviluppo di Modelli Numerici e Ingegneria

Intervista a Sergio Saponara

a cura di Pandora Rivista

Sergio Saponara (UNIFI) è Co-Leader dello Spoke 6 “Multiscale Modelling and Engineering Applications” e membro dello Spoke Co-ordination Board del Centro Nazionale ICSC.

Lo Spoke 6 dell’ICSC è dedicato allo sviluppo di metodologie e strumenti per affrontare problemi scientifici e ingegneristici che richiedono la combinazione di elementi appartenenti ad aree diverse, come la modellazione multiscala e l’analisi di grandi moli di dati. Quali sono gli obiettivi e le attività di cui si compone?

Saponara: Lo Spoke 6 si colloca all’interno del Centro Nazionale di Ricerca in Big Data, High Performance Computing e Quantum Computing con l’obiettivo di sviluppare modelli multiscala che analizzano insieme aspetti “micro”, come le interazioni su scala atomica o subatomica da cui dipendono le proprietà dei materiali, e aspetti “macro”, legati cioè all’applicazione ingegneristica e al sistema finale. La prima sfida è stata collegare il cuore scientifico del problema, che richiede un’analisi di dettaglio a livelli molto piccoli, con applicazioni concretamente utilizzabili. A questo si aggiunge una seconda dimensione, oltre a quella

multiscala, cioè la multidisciplinarietà. In uno stesso problema entrano in gioco diverse discipline – fisica, chimica, matematica, informatica – perché, quando si passa all’ingegneria, tutto si integra. Per esempio, nella fluidodinamica computazionale convergono la matematica e le proprietà fisico-chimiche dei fluidi, ma la finalità può essere quella di sviluppare motori innovativi e a basso impatto ambientale. Si parla quindi di modelli multiphysics dove convergono tutte le discipline coinvolte. Nel nostro Spoke abbiamo unito diverse competenze per affrontare problemi intrinsecamente multidisciplinari con una finalità precisa. A differenza di altri Spoke più focalizzati in modo verticale su ambiente, smart city o spazio, qui il focus è sulle engineering application, ambiti che richiedono una stretta collaborazione con realtà industriali di vario tipo. Un elemento distintivo del Centro Nazionale è proprio la presenza della componente industriale, in cui sono coinvolti grandi gruppi italiani in settori diversi: spazio, energia, trasporti, infrastrutture e ICT. Tra questi, per esempio: Thales Alenia Space, Leonardo, Eni, Gruppo Ferrovie dello Stato, Autostrade per l’Italia, En-

gineering e Fincantieri, oltre a una rete di piccole e medie imprese. Con queste aziende sono state definite alcune challenge prioritarie.

Un tema trasversale è stato quello della diagnostica predittiva su sistemi molto diversi – satelliti, turbine, navi, ponti, infrastrutture ferroviarie – che hanno in comune il fatto di essere complessi e di richiedere la prevenzione dei guasti. L'idea è stata quella di utilizzare modelli che mettano in relazione micro e macro, dalle proprietà dei materiali alla stabilità complessiva di un sistema, per passare da un approccio reattivo a uno predittivo. Naturalmente non si tratta di previsioni generiche, ma mirate e utili a indirizzare gli interventi. In questo senso, uno dei risultati del progetto è proprio lo sviluppo di modelli di diagnostica predittiva applicabili a contesti diversi, che aumentano l'affidabilità dei sistemi. È un filone che sta dando risultati interessanti e che proseguirà, come dimostra anche il lavoro in corso con Thales Alenia Space, per il quale è stato attivato un innovation grant. La diagnostica predittiva è stata una sfida comune a molte aziende, e ha fatto emergere anche problematiche condivise, con ricadute in alcuni casi su modelli di economia circolare. Un esempio riguarda turbine sviluppate da Fincantieri e utilizzate in impianti di produzione energetica basati sul recupero degli scarti agricoli. Questi modelli permettono di individuare segnali precoci di guasto, migliorare la manutenzione e stimare la vita residua dei componenti, aumentando l'affidabilità dei sistemi e fornendo indicazioni utili anche per la progettazione futura. La possibilità di integrare previsione, monitoraggio e progettazione rappresenta uno dei risultati più significativi emersi all'interno dello Spoke 6.

Emergono dunque due tratti fondamentali: da una parte la vocazione intrinsecamente interdisciplinare, forse ancora più marcata rispetto ad altri Spoke; dall'altra l'insieme di professionisti provenienti da università diverse e un lavoro di respiro nazionale. Come si è svolta l'organizzazione del vostro progetto di ricerca e quale approccio avete adottato?

Saponara: Dover organizzare un insieme di figure molto diverse, da chi ha una formazione più legata alle scienze di base a ingegneri orientati all'applicazione, non è stata una sfida facile. Le possibili linee di lavoro erano moltissime: materiali, fluidodinamica, life science; e anche le applicazioni e le industrie coinvolte erano molto eterogenee, dalle infrastrutture ai satelliti fino alla bionica. Per gestire questa complessità, insieme ai colleghi di Roma "Sapienza" – Pisa e Roma sono stati i poli leader – abbiamo adottato un approccio matriciale, che in un certo senso rifletteva anche la nostra formazione di Spoke Leader: io ingegnere, il collega Fabio Sciarrino fisico, quindi già con una doppia anima tra ingegneria e scienza. Operativamente, abbiamo individuato da un lato dei responsabili di sede, cioè i riferimenti per ciascuna unità partecipante (più di una decina di sedi, incluso il CNR, distribuito sul territorio nazionale) e dall'altro dei responsabili di attività, organizzando il lavoro per linee scientifiche. Tra queste avevamo materiali avanzati, intelligenza artificiale e big data analytics, realtà aumentata, energia verde, fluidodinamica, life science ed elettromagnetismo applicato. Questa struttura a matrice ci ha permesso di mantenere un equilibrio e coordinare le attività senza perdere il controllo complessivo. Il rischio principale era la frammentazione, cioè

che ciascuno lavorasse in modo isolato, mentre l'obiettivo era far lavorare molte unità in parallelo ma dentro un disegno comune, in modo che il contributo dei singoli producesse un risultato complessivo. E credo che questo obiettivo sia stato in buona parte raggiunto.

Siamo riusciti a costruire una filiera efficace tra industria e mondo accademico attraverso la formulazione da parte delle aziende di challenge non operative, ovvero, più che problemi immediati da risolvere, sfide su cui attivare le competenze di ricerca già esistenti nei gruppi universitari. In questo modo, l'industria poteva valorizzare le conoscenze già disponibili. Un esempio concreto è la collaborazione già citata con Thales Alenia Space: l'azienda disponeva di ventiquattro anni di dati sui sistemi elettrici e sulle batterie dei satelliti e ci ha chiesto se, attraverso tecniche di data analytics e analisi di serie temporali, fosse possibile estrarre informazioni utili che non erano ancora emerse. Dunque, da un lato grandi quantità di dati e know-how industriale non completamente sfruttato; dall'altro tecniche di ricerca avanzate sviluppate in ambito accademico. La sfida era verificare se strumenti già esistenti, magari sviluppati in altri contesti, potessero essere applicati a quei dati per generare valore, ed è effettivamente avvenuto. Queste challenge venivano lanciate e, a seconda delle competenze, le università rispondevano, costruendo gruppi di lavoro anche inter-ateneo. Nel caso citato, per esempio, hanno collaborato Thales Alenia Space, Università di Pisa e Università di Bologna. Uno degli aspetti più interessanti, oltre al risultato tecnico, è stata la creazione di interazioni reali tra approccio universitario e cultura industriale.

Questa logica di coordinamento si è riflessa anche nel rapporto tra i vari Spoke dell'IC-SC? Quali forme di coordinamento si sono sviluppate e in che cosa si è distinto il vostro approccio?

Saponara: Il dialogo tra gli Spoke è avvenuto principalmente attraverso momenti di coordinamento comune, in particolare all'interno dello Spoke Board, che si riuniva periodicamente per definire alcune linee guida condivise. Questo ha permesso di mantenere un allineamento generale, ma ogni Spoke ha poi adottato modalità organizzative proprie, in funzione delle specificità del proprio ambito. Nel nostro caso il modello organizzativo è emerso anche da un tentativo iniziale diverso: avevamo provato a partire dal basso, chiedendo ai gruppi di proporre linee progettuali autonome, una sorta di "libro bianco". Il risultato, però, è stato una forte dispersione, che era anche in parte naturale, perché il mondo accademico è composto da figure autonome e ogni ricercatore tende a sviluppare la propria linea. Il rischio era quello di avere molte iniziative valide, ma scollegate tra loro. Senza una struttura adeguata, il progetto sarebbe diventato difficilmente governabile. Per questo abbiamo introdotto una struttura a matrice, con responsabili di sede e responsabili di attività, cercando di mantenere un equilibrio tra l'esigenza di non perdere le eccellenze e le iniziative individuali e quella di evitare una frammentazione eccessiva.

Un altro elemento interessante è che, pur all'interno di questa struttura, sono stati mantenuti alcuni spazi per contributi trasversali di alto livello. In alcune linee di ricerca sono stati coinvolti gruppi di fisici, in collaborazione con il CNR, e sono intervenute figure di rilievo come Giorgio Parisi, con contributi sulla teoria della comples-

sità e dei sistemi caotici, particolarmente rilevanti per la gestione di sistemi complessi. Abbiamo inoltre organizzato due workshop all'anno, tra Pisa e Roma, come momenti di confronto. In queste occasioni sono intervenuti altri esperti di primo piano come Federico Faggin, contribuendo ad arricchire il dibattito.

Come è stato lavorare secondo questo approccio e quali valori aggiunti hanno portato i diversi soggetti, tanto del settore pubblico quanto di quello privato, a queste interazioni? Qual è stata la natura dei risultati?

Saponara: Il nostro lavoro è stato facilitato dal fatto che fossero coinvolti grandi gruppi industriali, abituati a fare ricerca e sviluppo con reparti strutturati per restare competitivi. Questo ci ha permesso di lavorare su sfide sistemiche sviluppando modelli applicabili a contesti diversi, dal satellite all'infrastruttura stradale o ferroviaria. Quindi sfide di medio-lungo periodo e trasversali. Anche la composizione del lato accademico ha contribuito a questo obiettivo, coinvolgendo molte delle principali scuole di ingegneria italiane – Roma, Pisa, Firenze, Milano, Torino,



Pavia, Bologna – oltre al CNR, garantendo un livello elevato di competenze. I gruppi di lavoro venivano costruiti in modo mirato, evitando di coinvolgere tutti in ogni attività per non rendere il sistema ingestibile.

I risultati hanno avuto una doppia natura: industriale, perché hanno portato allo sviluppo di soluzioni utili alle aziende, spesso anticipando i tempi che internamente sarebbero stati più lunghi; e scientifica, perché hanno generato pubblicazioni validate dalla comunità internazionale, permettendo all'università di mantenere il proprio ruolo. In questo senso, siamo passati da un lavoro frammentato a una logica di sistema, orientata a produrre risultati di impatto. Un aspetto particolarmente interessante è che da questa collaborazione si è creata una rete che ha continuato a funzionare: alcune università coinvolte, in particolare Torino, Roma, Pisa e Bologna, sono poi entrate insieme in un grande progetto europeo, il Digital Autonomy for Risk Engineering in Europe (DARE), partecipando come ICSC. Questo dimostra che la rete costruita aveva una solidità reale e non era solo legata ai finanziamenti. Quando si è presentata un'opportunità a livello europeo, è stato naturale partecipare insieme, valorizzando le relazioni già consolidate. E il tema stesso dell'autonomia digitale europea è oggi centrale, perché riguarda la capacità dell'Europa di non dipendere da altri per tecnologie strategiche come architetture di calcolo, algoritmi e sistemi di analisi dei dati. In questo senso, l'esperienza dell'ICSC rappresenta anche una base per inserirsi in queste dinamiche più ampie.

Questo modello di collaborazione tra università, infrastrutture e industria di quali condizioni necessita per essere replicato?

E quali sono invece i limiti di un approccio di questo tipo?

Saponara: Sul tema della replicabilità, la risposta dipende molto dall'obiettivo. Se parliamo di ricerca di base, curiosity-driven, in cui il ricercatore propone idee anche ad alto rischio e potenzialmente molto innovative, allora è giusto mantenere un modello distribuito, con finanziamenti più contenuti e ampia libertà. Quando però l'obiettivo è costruire un ecosistema capace di produrre risultati tangibili come applicazioni ingegneristiche, infrastrutture e capacità di calcolo, allora un modello disperso non è più sufficiente. In questi casi è necessario costruire una massa critica, non solo a livello nazionale ma anche europeo. Un esempio concreto è quello dei data center, infrastrutture che richiedono investimenti molto elevati sia in termini economici sia energetici. È evidente che singole università non possono sostenerli, e quindi diventa inevitabile lavorare in modo aggregato, attraverso partnership pubblico-private.

Il coinvolgimento dell'industria è fondamentale anche perché consente di affiancare ulteriori risorse ai finanziamenti pubblici e di orientare gli investimenti verso applicazioni concrete. Non a caso molti progetti sono sostenuti congiuntamente da diversi ministeri, proprio perché hanno una doppia valenza, scientifica e industriale. In questo senso, il modello dell'ICSC è necessario quando si tratta di tecnologie avanzate che devono produrre risultati nel medio periodo e contribuire a colmare il divario con altri sistemi, come quello statunitense o cinese, dove esiste una forte integrazione tra pubblico, università e industria.

Abbiamo già fatto riferimento all'Europa e a contesti internazionali come Stati Uniti e Cina. Esistono modelli ai quali l'ICSC ha guardato? E, soprattutto, questo approccio come si colloca nel contesto italiano, sia in termini di posizionamento internazionale sia rispetto alle specificità del nostro sistema?

Saponara: Un esempio utile è stato, a mio parere, quello dell'Interuniversity Microelectronics Center (IMEC) in Belgio, che è uno dei principali centri europei nel campo della microelettronica. L'IMEC nasce con l'idea di aggregare le competenze delle università in un unico centro di riferimento nazionale, invece di avere strutture separate. L'ICSC può essere visto in modo analogo, come uno strumento che aggrega il lavoro delle università e consente di realizzare infrastrutture che altrimenti non sarebbero possibili, con un impatto sulla reputazione internazionale. In prospettiva, un modello di questo tipo può essere esteso anche ad altri ambiti, creando poli di eccellenza distribuiti ma coordinati, per esempio su settori strategici. In Germania esiste la rete degli istituti Fraunhofer, che svolge una funzione di aggregazione tra ricerca e industria; in Francia il CEA, nato sull'energia atomica ma poi evoluto in un grande polo tecnologico.

Il modello italiano, e in parte europeo, è diverso da quello statunitense, dove si concentrano grandi risorse su pochi atenei di punta, mentre accanto esiste un sistema molto ampio di università meno rilevanti. In Italia la qualità è più distribuita, motivo per cui non vediamo molte università nelle primissime posizioni, ma tante nelle prime centinaia. Questo punto di forza diventa un limite quando si tratta di realizzare



infrastrutture costose e rende evidenti la necessità di strutture aggregative come l'ICSC, che non sostituiscono le università, ma le mettono in rete così da raggiungere una massa critica adeguata per competere a livello internazionale. Nel contesto italiano, questo modello si collega anche a temi molto concreti, come la manutenzione delle infrastrutture: in un Paese con un patrimonio ampio e complesso come il nostro, strumenti come la modellazione avanzata e la diagnostica predittiva sono una necessità.

In un contesto in cui il tema della sovranità tecnologica è sempre più centrale, come si colloca oggi l'approccio open source?

Saponara: Sul tema dell'open source il discorso è articolato. Dal punto di vista accademico è un elemento centrale, perché i risultati della ricerca devono essere condivisi e validati; quindi, esiste una spinta naturale verso l'apertura. Dal punto di vista industriale, però, l'apertura totale può comportare una perdita di vantaggio competitivo, soprattutto in un contesto globale in cui altri attori non adottano lo stesso livello di condivisione. Se l'Europa rendesse tutto completamente open, mentre altri mantengono parti di know-how proprietario, potrebbe crearsi uno squilibrio. Per questo è necessario trovare un equilibrio, che all'interno dell'ICSC c'è stato: molti risultati sono stati resi disponibili attraverso pubblicazioni, software, dataset e repository, mantenendo però una protezione del valore industriale dove necessario.

C'è poi un ulteriore aspetto, che è quello della responsabilità, la cosiddetta

liability: le soluzioni open source sono fornite senza garanzie, ma quando si passa ad applicazioni reali – per esempio il controllo di un satellite o di un'infrastruttura critica – serve qualcuno che si assuma la responsabilità del funzionamento del sistema. Questo implica certificazioni, assicurazioni e costi. Per questo motivo, spesso l'open source rappresenta un punto di partenza, su cui vengono costruite soluzioni più strutturate, che includono supporto e responsabilità. L'open source rimane fondamentale per la ricerca e la diffusione della conoscenza, ma deve essere integrato in un modello più ampio che tenga conto anche della competitività industriale e delle responsabilità operative.

Guardando al futuro dell'ICSC e dello Spoke 6, sembra emergere una funzione del supercalcolo che va oltre la sola capacità computazionale, intrecciandosi con temi come autonomia tecnologica, coordinamento industriale e gestione dei dati. Rispetto agli obiettivi iniziali, quali nuove direzioni si stanno delineando?

Saponara: Su questo punto è ancora presto per trarre conclusioni definitive, anche perché la discussione in corso riguarda la continuazione del progetto. I risultati ottenuti sono stati complessivamente positivi, sia dal lato accademico sia da quello industriale, e c'è un interesse concreto a proseguire. I fondi del PNRR tenderanno però a ridursi e il sistema dovrà dimostrare di poter camminare con le proprie gambe. Le sfide future saranno fortemente legate all'uso sempre più pervasivo dell'intelligenza artificiale e delle tecniche di analisi dei dati, ma anche al tema, oggi centrale,

della sovranità tecnologica. Non è più possibile dare per scontato un modello in cui si utilizzano tecnologie sviluppate altrove, beneficiandone in modo indiretto. Il contesto geopolitico è cambiato e questo spinge anche le imprese a sviluppare capacità autonome di innovazione. In questo scenario, il ruolo di un'infrastruttura come l'ICSC diventa ancora più rilevante, anche perché opera proprio sugli ambiti oggi più strategici. Una delle direttrici emergenti riguarda il rapporto tra intelligenza artificiale e robotica, dove l'intelligenza artificiale interagisce con il mondo fisico, per cui si parla di physical AI. Un'altra è lo sviluppo di soluzioni distribuite, come l'AI on the edge, cioè sistemi che operano vicino all'utente o al dispositivo invece che su server remoti. Questo si collega anche alla diffusione di intelligenze artificiali "private" o specializzate, progettate per specifici contesti applicativi. Oggi, utilizzando strumenti come ChatGPT, si inviano richieste a server remoti spesso fuori dal controllo diretto dell'utente, generando questioni rilevanti quando si trattano dati sensibili. In ambito universitario, ad esempio, ci si è chiesti se fosse possibile usare questi strumenti per elaborare documenti interni e in molti casi la risposta è stata negativa, proprio per il tema del controllo dei dati. Da qui nasce la sfida di sviluppare sistemi che permettano di utilizzare l'intelligenza artificiale mantenendo il controllo sulle informazioni.

Un'altra direttrice riguarda l'applicazione di queste tecnologie anche a settori non necessariamente ad alta intensità tecnologica, come l'agroalimentare, il tessile o la manifattura tradizionale.

Parliamo di strumenti specifici, adattati ai singoli contesti produttivi, che rafforzano la necessità di lavorare in modo aggregato. È difficile immaginare che singole università o aziende possano sviluppare da sole tutte queste competenze: ha più senso costruire squadre che mettano insieme talenti e specializzazioni diverse, anche perché le eccellenze sono distribuite.

Questo approccio ha iniziato a influenzare anche il comportamento delle aziende. L'ICSC ha infatti creato tavoli di confronto, come l'Industrial Advisory Board, in cui realtà molto diverse, dall'energia alla mobilità, fino alla difesa, si trovano a condividere esigenze e strategie comuni su temi trasversali come intelligenza artificiale, big data e high performance computing. Si sono così create occasioni di confronto che normalmente non esistono in modo strutturato: il CTO di Eni che dialoga con quello di Leonardo o del Gruppo Ferrovie dello Stato, condividendo pratiche, approcci e metodologie. Questo ha favorito una maggiore circolazione di best practice e, allo stesso tempo, la costruzione di una visione più coordinata dello sviluppo tecnologico e delle infrastrutture digitali. Su temi come data center e infrastrutture HPC, dove gli investimenti sono molto elevati, il rischio è che ogni gruppo sviluppi soluzioni isolate. Un contesto come l'ICSC ha invece favorito la nascita di un tavolo comune che rappresenta uno degli effetti più interessanti del progetto. In prospettiva, questa dinamica può rafforzare il sistema complessivo, ridurre la frammentazione e rendere più coerenti le strategie di sviluppo tecnologico del Paese.

Sviluppo Materiali e Scienze Molecolari

Intervista a Stefano Fabris

a cura di Pandora Rivista

Stefano Fabris (CNR) è Leader dello Spoke 7 “Materials and Molecular Sciences” e membro dello Spoke Coordination Board del Centro Nazionale ICSC.

Oggi, grazie al supercalcolo e all'intelligenza artificiale, è possibile simulare il comportamento della materia fino alla scala atomica prima ancora di arrivare alla sperimentazione fisica. Questa è una delle sfide centrali dello Spoke 7, che lei coordina. L'obiettivo è studiare il comportamento della materia, prevederne proprietà avanzate e ridurre tempi e costi della sperimentazione. È corretto inquadrare così il vostro lavoro? E come avete operato concretamente in questa direzione, anche dal punto di vista organizzativo?

Fabris: La cosiddetta “materials discovery” descrive bene il senso di quello che facciamo. La scoperta di nuovi materiali ha accompagnato l'intera storia della civiltà umana e, in fondo, le grandi epoche storiche vengono spesso identificate proprio attraverso i materiali: l'età della pietra, del bronzo, del ferro, fino ad arrivare oggi a quella che molti definiscono l'età del silicio. Tutto ciò ci dà la misura del ruolo centrale che la scoperta e lo sviluppo di nuovi materiali hanno avuto

e continuano ad avere. Nel contesto contemporaneo questo tema diventa ancora più importante. Le grandi sfide che abbiamo davanti – la transizione energetica, l'emergenza climatica, i problemi ambientali, le tecnologie quantistiche, la Space Economy – richiedono tutte materiali nuovi o materiali esistenti profondamente ripensati. Fino a poco tempo fa il paradigma era sostanzialmente questo: si prendeva un materiale noto e si cercava di migliorarlo progressivamente, magari modificandone la composizione o aggiungendo nuovi elementi. Oggi invece stiamo andando verso un approccio quasi opposto, perché si parte dal problema applicativo e dalle proprietà che un materiale dovrebbe avere per risolverlo. Ad esempio, potrei avere bisogno di un materiale per la microelettronica di potenza che abbia precise caratteristiche elettroniche, che sia riciclabile, costruito con elementi non critici dal punto di vista geopolitico e compatibile con la sovranità tecnologica europea. Definiti questi vincoli, il problema diventa trovare materiali che soddisfino contemporaneamente tutte queste proprietà. È qui che la “materials discovery” si trasforma quasi in “materials by design”, dove emergono teorie e modelli sofisticati,

capaci di descrivere accuratamente sistemi complessi fatti di atomi, elettroni e strutture multiscala. Servono software in grado di risolvere queste equazioni in modo efficiente e servono naturalmente supercalcolatori capaci di eseguire simulazioni estremamente avanzate. Questo è lo spirito che ha guidato il progetto dello Spoke 7, con l'obiettivo di mettere i materiali avanzati e innovativi al centro di una strategia tecnologica nazionale ed europea. Oggi, infatti, esistono iniziative europee molto importanti in questo ambito – si sta discutendo anche di un vero e proprio *Materials Act* – con l'obiettivo di coordinare ricerca, sviluppo e applicazioni strategiche sui materiali. Da questo punto di vista il nostro lavoro è perfettamente allineato con le strategie europee.

Quello che vogliamo fare è rafforzare la leadership italiana in un settore in cui il nostro Paese ha competenze riconosciute a livello internazionale, soprattutto nello sviluppo di teorie, modelli e software per la simulazione accurata di materiali e sistemi molecolari. Tuttavia, non basta sviluppare i codici ma bisogna anche ottimizzarli affinché funzionino in maniera efficiente sulle grandi infrastrutture di supercalcolo, come il supercomputer Leonardo. Utilizzare bene una macchina come questa è fondamentale, perché parliamo di sistemi estremamente costosi, con consumi energetici molto elevati. Se utilizzo decine di migliaia di processori contemporaneamente, devo essere sicuro che il software li stia sfruttando davvero tutti in maniera efficiente e che non si perda potenza computazionale a causa di problemi di comunicazione o di altro genere. Una parte importante del lavoro è stata dedicata proprio all'ottimizzazione dei codici esistenti e allo sviluppo di nuovi strumenti capaci di sfruttare pienamente queste architetture avanzate.

Tutto questo, naturalmente, è orientato a un obiettivo più generale: aumentare la competitività nazionale ed europea attraverso la scoperta e la progettazione di nuovi materiali.

Può fare qualche esempio concreto di applicazioni o problemi in cui questo approccio – che combina simulazione avanzata, supercalcolo e intelligenza artificiale – ha permesso di ottenere risultati significativi rispetto ai metodi più tradizionali?

Fabris: In realtà il nostro approccio non è stato quello di sostituire i metodi tradizionali, ma di integrarli, in quanto i metodi tradizionali restano fondamentali e costituiscono ancora oggi la base del lavoro che facciamo. Ci muoviamo sostanzialmente lungo tre direttrici. La prima riguarda lo sviluppo e il consolidamento dei cosiddetti codici di punta. L'Italia – e più in generale l'Europa – ha una tradizione scientifica molto riconosciuta nello sviluppo di metodi e software per la simulazione dei materiali. Parliamo di codici capaci di risolvere equazioni fondamentali della fisica quantistica, simulare il comportamento degli elettroni all'interno di sistemi molecolari, prevedere le proprietà elettroniche e ottiche dei materiali oppure studiare il comportamento di sistemi biologici complessi, come le interazioni tra proteine o tra una proteina e una superficie. Sono problemi estremamente complessi che richiedono modelli molto accurati. La seconda direttrice consiste invece nel combinare questi metodi fondamentali con approcci più avanzati orientati alla scoperta guidata di nuovi materiali. È qui che entrano in gioco l'intelligenza artificiale, l'high-throughput computing e la generazione massiva di dati. In pratica, utilizziamo i codici fisici più accurati come motore di base e li integriamo

con algoritmi capaci di esplorare enormi spazi di possibilità, guidando il calcolo verso l'identificazione di materiali promettenti. La terza direttrice riguarda invece il rapporto con il mondo reale, in stretto collegamento con l'esperimento. Le simulazioni devono poter essere confrontate con dati sperimentali reali e, in molti casi, servono anche a interpretare i risultati degli esperimenti stessi.

A questo si aggiunge naturalmente il rapporto con il sistema industriale e produttivo, che rappresenta un altro elemento centrale del progetto. Per fare qualche esempio concreto, uno degli ambiti su cui abbiamo lavorato riguarda il fotovoltaico avanzato. Il problema, in questo caso, è trovare materiali in grado di assorbire la luce nel modo più efficiente possibile. Solitamente si procede partendo da materiali già noti, come il silicio, cercando di migliorarli progressivamente. L'approccio che utilizziamo noi è diverso: attraverso la combinazione di simulazioni avanzate, high-throughput computing e algoritmi di intelligenza artificiale, possiamo esplorare grandi quantità di combinazioni materiali e identificare nuove composizioni che magari non sono mai state testate sperimentalmente. In pratica, il sistema cerca configurazioni di elementi e strutture capaci di ottimizzare l'assorbimento della luce e quindi le prestazioni del materiale. Un altro esempio importante è il drug discovery, cioè la scoperta di nuovi farmaci. Anche qui il problema è estremamente complesso, perché riguarda la simulazione del comportamento di molecole in ambienti fisiologici molto articolati per capire come interagiscono con determinati siti attivi biologici. Attraverso le simulazioni e gli algoritmi di esplorazione avanzata possiamo identificare conformazioni molecolari promettenti e persino sugge-

rire nuove modalità di progettazione dei farmaci. Sono problemi che, senza queste tecnologie, richiederebbero tempi e costi sperimentali enormemente superiori.

Abbiamo parlato dell'ottimizzazione dei metodi e dell'utilizzo sempre più avanzato delle architetture di calcolo. In questo quadro, quanto pesa oggi il tema della sostenibilità del supercalcolo, considerando che questi sistemi richiedono una potenza computazionale crescente?

Fabris: È una domanda importante, anche se esula leggermente dal tema specifico dei materiali. Non sono un tecnico informatico e non so fornire numeri precisi, però quello che posso dire è che il tema della sostenibilità energetica nel supercalcolo è ormai centrale. L'Europa ha deciso di dotarsi di una vera e propria infrastruttura strategica di supercalcolo, dalle macchine pre-exascale come Leonardo fino ai sistemi exascale e alle AI Factories, con infrastrutture interconnesse tra loro e pensate come parte di una strategia comune. Sono macchine che consumano moltissima energia e proprio per questo, già nella fase di progettazione, vengono sviluppate soluzioni per ridurre o recuperare parte del consumo energetico. Per esempio, una delle infrastrutture europee è stata costruita vicino a una centrale idroelettrica dismessa e utilizza parte dell'energia prodotta dalla diga. Inoltre, il calore generato dai processori viene recuperato per riscaldare il centro abitato vicino all'impianto. Anche Leonardo utilizza sistemi di recupero energetico molto avanzati.

Tornando al tema dei materiali e del nostro lavoro, il punto fondamentale è che non basta costruire macchine efficienti, ma è necessario utilizzarle in modo efficiente. Ed è qui che entra in gioco il

software. Uno degli esempi più importanti è Quantum Espresso, un codice sviluppato in Italia e oggi tra i più utilizzati al mondo per simulazioni atomistiche e materiali da principi primi, cioè risolvendo direttamente le equazioni fondamentali della meccanica quantistica. Un codice del genere può funzionare su un normale computer, con una o due CPU, ma il problema vero nasce quando coinvolge centinaia di migliaia di processori contemporaneamente. In teoria, se raddoppio il numero di processori utilizzati, dovrei dimezzare il tempo necessario per risolvere il problema. Nella pratica, però, questo è un risultato estremamente difficile da ottenere. Molti codici, aumentando il numero di processori, non danno risultati efficienti. Ciò significa che una parte delle risorse computazionali rimane inutilizzata e continua comunque a consumare energia. In altre parole, se sto facendo lavorare migliaia o decine di migliaia di processori senza ottenere un reale miglioramento delle prestazioni, sto sprecando energia. La sostenibilità, dunque, non riguarda soltanto la costruzione delle macchine, ma anche l'ottimizzazione del software. Rendere i codici realmente capaci di utilizzare in modo efficiente grandi architetture parallele è uno degli elementi fondamentali per la sostenibilità del supercalcolo.

In un ambito come il vostro, la collaborazione con l'industria è inevitabilmente un elemento strutturale. Come si è sviluppato il dialogo tra ricerca pubblica e imprese all'interno dello Spoke 7 e quanto è stato importante lavorare a stretto contatto con le esigenze del sistema industriale italiano?

Fabris: Questo è stato uno degli aspetti più riusciti e più soddisfacenti di tutta l'iniziativa, non solo del nostro Spoke. Tutto il capitolo del PNRR che ha finan-

ziato i Centri Nazionali, gli Ecosistemi dell'Innovazione e le altre grandi infrastrutture aveva come riferimento proprio il rapporto tra ricerca e impresa. Può sembrare uno slogan semplice, ma in realtà ha prodotto un vero cambio di paradigma che ho potuto notare direttamente. All'inizio esistevano ancora approcci tradizionali da entrambe le parti: il mondo accademico e della ricerca orientato alla produzione scientifica e alle pubblicazioni; il mondo industriale che invece guarda soprattutto all'ottimizzazione, alla produzione e ai risultati immediatamente applicabili. In Italia la collaborazione pubblico-privato esiste da tempo, anche nel settore dei materiali, e ci sono stati modelli molto efficaci, però spesso si trattava di collaborazioni focalizzate sulla soluzione di problemi specifici o legate a contratti mirati. In questo caso, invece, il valore aggiunto è stato diverso, grazie anche alla creazione di gruppi misti pubblico-privato che hanno imparato a lavorare insieme in maniera continuativa, condividendo metodologie, competenze e perfino approcci culturali diversi. Le attività restavano applicate a problemi concreti, ma non necessariamente limitate allo sviluppo immediato di un singolo dispositivo o prodotto. Le aziende hanno avuto accesso a metodologie avanzate che difficilmente avrebbero potuto sviluppare autonomamente; i ricercatori e le ricercatrici hanno iniziato a considerare il trasferimento tecnologico come un'attività importante e strategica, complementare rispetto all'attività accademica. In fondo, è anche il messaggio che emerge dal rapporto Draghi: l'Europa e l'Italia hanno un forte bisogno di trasferimento tecnologico e occuparsi di queste attività è altrettanto rilevante quanto fare ricerca di punta.

Gli esempi sono molti. Come Spoke abbiamo collaborato con Eni, Leonardo, Ferrovie dello Stato, Lavazza, Granarolo, Tampieri e molte altre realtà industriali. Abbiamo lavorato su classi di materiali legati alla transizione energetica, utilizzando metodologie di materials discovery per identificare nuove soluzioni; oppure su modelli multiscala per caratterizzare interfacce complesse, come quelle tra elettroliti differenti nelle batterie. Ci siamo occupati inoltre di sistemi di simulazione per prevedere le proprietà di coating e vernici capaci di ridurre l'attrito. Queste collaborazioni hanno permesso la produzione di risul-

tati scientifici condivisi e pubblicabili, cosa che normalmente nei contratti industriali tradizionali è molto più difficile. C'è stato poi tutto il lavoro dei bandi a cascata, in cui lo Spoke ha destinato oltre tre milioni di euro a progetti di ricerca rivolti a soggetti pubblici e privati, talvolta in collaborazione tra loro: simulazione atomistica e molecolare, ottimizzazione dei codici per il supercalcolo, sviluppo di nuove applicazioni informatiche e nuove metodologie computazionali. Abbiamo finanziato più di venti progetti, con una quota molto significativa di attività al Sud e il coinvolgimento di numerosi partner privati.

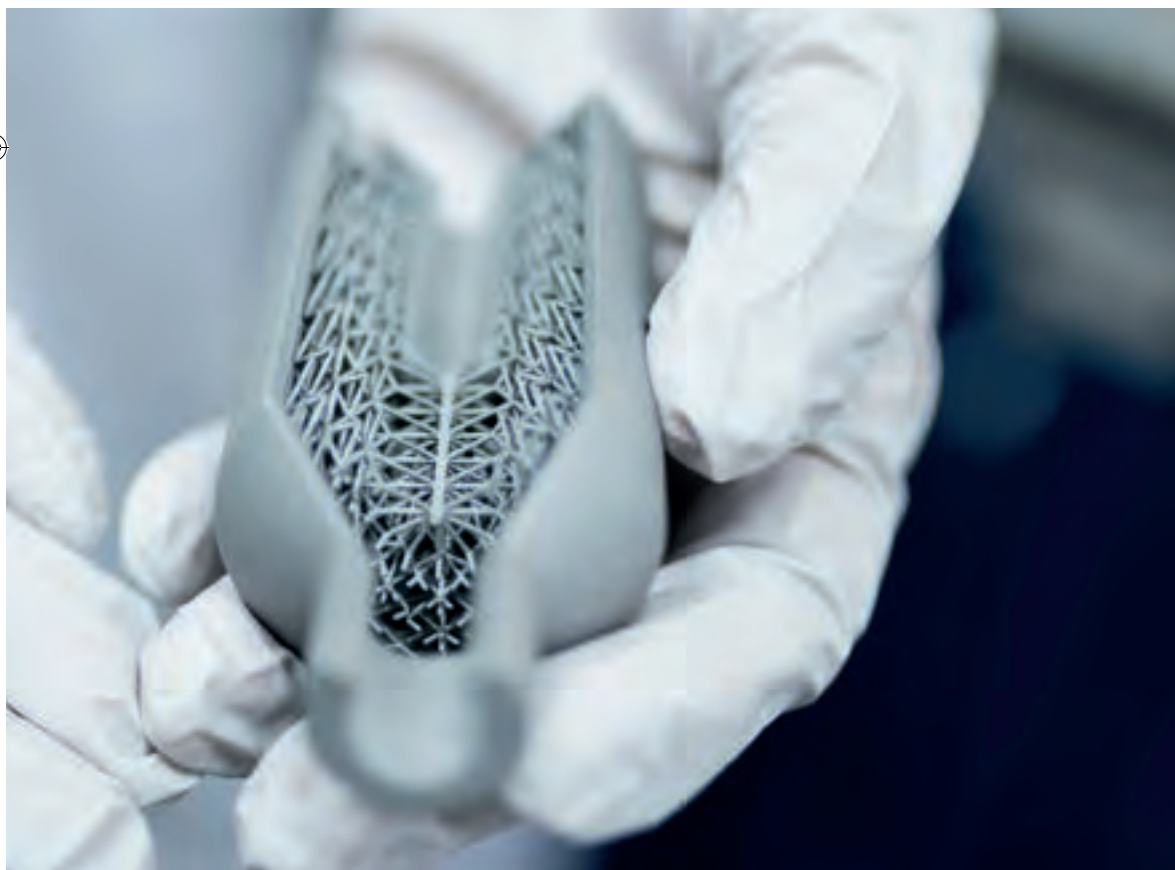


Quali applicazioni potrebbero produrre gli impatti più significativi nei prossimi anni? E quali prospettive si aprono per il vostro lavoro dopo l'esperienza dello Spoke 7?

Fabris: Le applicazioni più importanti sono quelle legate alle grandi sfide del nostro tempo, molte delle quali richiedono direttamente lo sviluppo di nuovi materiali o nuove metodologie di simulazione. Parliamo della transizione energetica, dell'approvvigionamento energetico sostenibile, dei problemi ambientali, dell'inquinamento, dell'emergenza climatica, ma anche di settori industriali come l'automotive, le costruzioni e tutto il campo delle tecnologie

quantistiche, ambiti in cui i materiali avanzati hanno un ruolo fondamentale. Il supercalcolo e le simulazioni numeriche rappresentano il metodo, mentre i materiali costituiscono l'applicazione trasversale.

Se guardiamo ai grandi programmi europei o alle iniziative nate nel PNRR, è difficile trovare un settore in cui il tema dei nuovi materiali, della loro caratterizzazione o della loro ottimizzazione, non sia presente. Ed è fondamentale allinearsi alle strategie europee sui materiali innovativi per continuare a sviluppare competenze nel campo della simulazione avanzata, del supercalcolo e della materials discovery.



Medicina in Silico e Dati Omici

Intervista ad Andrea Cavalli

a cura di Pandora Rivista

Andrea Cavalli (IIT) è Leader dello Spoke 8 “In Silico Medicine and Omics Data” e membro dello Spoke Coordination Board del Centro Nazionale ICSC.

L'intelligenza artificiale è diventata uno degli strumenti più discussi anche nel campo della medicina e della ricerca biomedica. Nel caso dello Spoke 8, il rapporto tra nuove tecnologie, Big Data e medicina di precisione ha avuto un ruolo centrale. Quali sono state, concretamente, le attività e i progetti sviluppati? E che cosa sta cambiando oggi, rispetto anche a pochi anni fa, nel modo di fare ricerca e innovazione in ambito sanitario?

Cavalli: Con lo Spoke 8, “In Silico Medicine and Omics Data”, abbiamo assistito a una trasformazione rapidissima, perché ci siamo trovati esattamente nel mezzo dell'esplosione dell'intelligenza artificiale applicata alla medicina. Penso ad AlphaFold, il sistema sviluppato da DeepMind per prevedere la struttura tridimensionale delle proteine, premiato con il Nobel per la Chimica già nel 2024, ma anche a strumenti più recenti come AlphaMissense, che riesce a prevedere con grande precisione se specifiche mutazioni genetiche siano patogene oppure benigne, oppure AlphaGenome, progettato per interpreta-

re anche le regioni non codificanti del DNA e capire come le varianti genetiche influenzino la regolazione dei geni. Modelli come Evo 2 stanno addirittura aprendo una nuova fase, perché non si limitano ad analizzare sequenze biologiche, ma sono in grado di leggere, interpretare e persino progettare DNA, RNA e proteine su scala genomica. Alcuni di questi strumenti sono finiti sulle copertine di *Nature* e *Scienze* negli ultimi due anni, e il Centro Nazionale si è trovato a operare all'interno di questa trasformazione. Quando abbiamo iniziato il progetto, parlare di high performance computing applicato alla medicina sembrava quasi fantascienza, perché eravamo ancora prima dell'avvento di ChatGPT e dell'ingresso di questi strumenti nel dibattito quotidiano. Oggi invece è quasi difficile trovare qualcuno che non abbia usato un chatbot per interpretare un sintomo o leggere un referto. Ovviamente parliamo di una forma molto superficiale di intelligenza artificiale clinica, però rende bene l'idea della velocità con cui è cambiata la percezione pubblica.

Nel frattempo, nella ricerca biomedica stava succedendo qualcosa di molto più profondo, soprattutto nel rapporto tra intelligenza artificiale, capacità di calcolo e dati

omici, cioè le enormi quantità di informazioni biologiche generate da tecnologie avanzate che permettono di analizzare contemporaneamente migliaia di geni, proteine e altre molecole presenti in un organismo. Nel nostro caso ci siamo concentrati soprattutto sull'analisi dei dati omici: dalla genomica, che studia il patrimonio genetico, alla trascrittomica, che analizza l'attività dei geni, fino più in generale a tutte le tecniche che permettono di descrivere in dettaglio le caratteristiche molecolari dei pazienti. Qui l'uso dell'intelligenza artificiale è diventato inevitabile, perché stiamo parlando di Big Data. Un genoma umano contiene circa 3,4 miliardi di coppie di basi, ma i geni che codificano proteine rappresentano appena il 2-4% del totale. Per anni il restante 98-96% è stato definito junk DNA, cioè "DNA spazzatura", perché non se ne comprendeva la funzione. Eppure, la Natura difficilmente conserva qualcosa di davvero inutile: semplicemente non avevamo ancora gli strumenti per interpretarlo. Oggi, invece, sistemi di intelligenza artificiale sempre più sofisticati stanno iniziando a leggere anche quella parte del genoma che fino a poco tempo fa veniva chiamata "junk genome": un'enorme porzione di informazione genetica rimasta per anni in gran parte indecifrabile.

Dentro questo quadro, su quali attività vi siete concentrati e come avete organizzato il lavoro dello Spoke 8?

Cavalli: Ci siamo concentrati soprattutto sul tumore pancreatico, una delle patologie oncologiche più difficili da trattare. Non era una scelta nata dal nulla: esisteva già un percorso di ricerca avviato soprattutto con l'Istituto Clinico Humanitas di Milano, anche se su numeri molto più piccoli. Il progetto ci ha permesso di portare quel lavoro a una

scala completamente diversa, costruendo una coorte prospettica di circa 300 pazienti – probabilmente una delle più grandi in Italia, e tra le più rilevanti a livello europeo per questo tipo di caratterizzazione genomica. "Prospettica" significa che i pazienti venivano reclutati e seguiti fin dall'inizio del percorso clinico, con protocolli approvati dai comitati etici e pienamente conformi al GDPR. Abbiamo lavorato con due realtà molto diverse: da un lato Humanitas, un grande ospedale di ricerca molto avanzato nella medicina traslazionale; dall'altro l'Ospedale Infermi di Rimini, una struttura pubblica che ha creduto fortemente in questo approccio. Per noi rappresentavano due facce complementari della sanità italiana. Il punto decisivo, però, era costruire dataset realmente utilizzabili. Ed è qui che spesso nasce un equivoco: si pensa che basti digitalizzare le cartelle cliniche, quando in realtà il problema è generare dati interoperabili, ordinati, standardizzati e quindi realmente analizzabili. Generare tali dati richiede indicativamente il 20% dello sforzo, mentre analizzarli richiede il restante 80%. E paradossalmente il vero Big Data in medicina ancora non esiste davvero, perché i dati sono frammentati, raccolti con logiche diverse e spesso difficili da integrare. E, soprattutto, sono pochi rispetto alla mole di dati che la strumentazione oggi disponibile può generare. Una delle innovazioni più concrete del progetto ha riguardato l'organizzazione del workflow ospedaliero. Per ottenere sequenziamenti genomici di alta qualità è necessario lavorare su tessuto fresco. Nella pratica clinica standard, però, il tessuto prelevato durante l'intervento chirurgico viene fissato in formaldeide e incluso in paraffina per le analisi anatomopatologiche: una procedura fondamentale



per la diagnostica tradizionale, ma che degrada il DNA e quindi ne limita l'utilizzo per le analisi genomiche avanzate. Per questo motivo abbiamo coinvolto i biologi direttamente nel percorso chirurgico, in stretta collaborazione con chirurghi e anatomopatologi, così da isolare immediatamente la parte di campione destinata al sequenziamento e conservarla correttamente mediante congelamento. Può sembrare un dettaglio tecnico, ma in realtà rappresenta un cambiamento organizzativo profondo. Ancora oggi pochissimi ospedali sono strutturati per produrre dati genomici di questo livello in modo sistematico.

Un'altra sfida cruciale è la gestione dei dati. Quando si parla di intelligenza artificiale applicata alla medicina si pensa subito agli algoritmi, mentre spesso il problema principale è quello di comprendere come trasferire, archiviare e analizzare enormi quantità di informazioni biologiche e cliniche. Senza reti ad alta velocità, sistemi di archiviazione conformi al GDPR e adeguate capacità di calcolo, la medicina computazionale semplicemente non può funzionare. Ed è qui che entra in gioco il supercalcolo. In settori come la climatologia, la fisica o l'aerospazio l'HPC era già utilizzato da anni; in medicina no. Uno degli aspetti più innovativi del progetto è stato proprio dimostrare che non può esistere medicina di precisione senza high performance computing. Una parte importante del lavoro ha riguardato anche l'ottimizzazione computazionale: grazie alla collaborazione con NVIDIA e allo sviluppo di nuovi algoritmi bioinformatici siamo riusciti a ottenere una velocità di elaborazione fino a trenta volte superiore rispetto ai codici precedenti. E 30x è un risultato più unico che raro in informatica.

Queste attività richiedono collaborazioni molto ampie, sia sul piano tecnologico sia su quello scientifico. Dentro il Centro Nazionale avete lavorato anche in dialogo con altri Spoke? E, più in generale, quanto è stato importante avvalersi di un ampio spettro di competenze diverse in un progetto di questo tipo?

Cavalli: La multidisciplinarietà è stata assolutamente centrale. Spesso dall'esterno si immagina uno Spoke come il nostro come qualcosa di molto verticale, ma in realtà le competenze coinvolte erano estremamente eterogenee. Nel nostro Spoke lavoravano medici, biologi, fisici, matematici applicati, ingegneri, informatici, esperti di computer science. Parliamo di gruppi molto grandi: avevamo più di cento affiliati distribuiti tra università, centri di ricerca e ospedali, dove ognuno arrivava allo stesso problema da un punto di vista completamente diverso. E devo dire che già coordinare tutto questo all'interno dello Spoke è stato un risultato importante. Io paragono questi Spoke a grandi progetti europei, perché il livello di complessità organizzativa era simile; non tanto sul piano internazionale, quanto su quello della varietà delle competenze e delle attività da coordinare in tempi molto stretti. Con gli altri Spoke il dialogo c'è stato soprattutto con lo Spoke 0, cioè quello dedicato più al coordinamento e alle infrastrutture comuni. In particolare, abbiamo collaborato sulla piattaforma Omics, che toccava alcuni dei temi di cui parlavamo prima: storage, HPC, gestione dei dati, interoperabilità.

Va anche detto che questi progetti erano compressi in tempi molto stretti, legati alle scadenze del PNRR, e questo ha reso tutto più difficile. La ricerca scientifica, soprattutto in ambiti complessi come questi, avrebbe bisogno di tempi più lunghi – cinque o sei anni almeno – mentre qui

abbiamo dovuto concentrare le attività in poco più di due anni effettivi. Eppure, nonostante questo, siamo riusciti a costruire delle comunità interdisciplinari che oggi ragionano in maniera molto più integrata tra clinica, biologia computazionale, intelligenza artificiale e supercalcolo.

Nel dibattito pubblico, soprattutto parlando di innovazione e ricerca, spesso emergono delle aspettative molto alte sui risultati, quasi immediate. Nel vostro caso, invece, appare evidente questa necessità di tempi lunghi e di costruzione progressiva. Da questo punto di vista, quali sono state le principali difficoltà e quali i risultati più importanti raggiunti dallo Spoke 8?

Cavalli: Credo che una delle difficoltà principali sia proprio spiegare come funziona realmente la ricerca scientifica. A volte nel dibattito pubblico sembra quasi che, una volta stanziati dei finanziamenti, ci si aspetti automaticamente una soluzione immediata ai problemi. Ma la scienza non funziona così, soprattutto in ambiti estremamente complessi come l'oncologia o la medicina di precisione. Noi abbiamo lavorato, come dicevamo, su una delle patologie oncologiche più difficili da trattare. Pensare di risolvere un problema di questo tipo in due o tre anni sarebbe semplicemente irrealistico. Quello che si poteva fare – e che era il vero obiettivo di un progetto come questo – era costruire prove di concetto solide, creare infrastrutture, dimostrare che determinati modelli funzionano e possono essere sviluppati ulteriormente nel tempo. Ed è esattamente quello che abbiamo fatto, mettendo insieme ospedali, laboratori biologici e infrastrutture HPC in un flusso integrato che prima non esisteva. In quindici anni, la mortalità da malattie oncologiche è

stata ridotta di circa il 25%. L'avvento della medicina di precisione potrà ulteriormente ridurre la mortalità grazie all'integrazione di ricerca di base e clinica, intelligenza artificiale, infrastrutture HPC e multidisciplinarietà.

Lo Spoke 8 ha dimostrato che questo approccio può produrre risultati clinicamente rilevanti. Per esempio, abbiamo avuto pazienti che, grazie alle analisi genomiche sviluppate all'interno del progetto, sono entrati in protocolli clinici che altrimenti non sarebbero stati individuati attraverso il percorso clinico standard. In un ambito come questo anche un singolo caso ha un valore enorme, perché significa che quei dati, quelle infrastrutture e quel modello organizzativo hanno avuto una ricaduta concreta sulla vita reale delle persone. I limiti restano molti e il principale è quello infrastrutturale. Oggi in Italia – ma direi più in generale in Europa – manca ancora una vera generazione sistematica e un'organizzazione dei dati biomedici. Mancano standard comuni, interoperabilità, capacità di storage e di calcolo diffuse dentro il sistema sanitario. E manca spesso anche una cultura condivisa rispetto al ruolo che il supercalcolo avrà nella medicina del futuro. Oggi il contesto è incoraggiante, anche perché l'esplosione dell'intelligenza artificiale ha reso tutto più evidente, ma la costruzione di questo ecosistema è ancora in una fase preliminare.

Nel corso dell'intervista è emerso più volte il tema delle infrastrutture, della necessità di costruire sistemi realmente interoperabili tra ospedali, centri di ricerca e supercalcolo. Da questo punto di vista, quali sono le principali condizioni necessarie perché questi modelli possano diventare scalabili e diffusi nel sistema sanitario?

Cavalli: Il problema vero non è inventare strumenti completamente nuovi, ma costruire un ecosistema capace di farli dialogare in modo efficace. Dobbiamo lavorare su tre elementi fondamentali, che ho già citato: data transfer, data storage e data analytics. Significa avere connessioni adeguate a trasferire grandi quantità di dati tra ospedali, laboratori e centri di calcolo, infrastrutture di archiviazione compatibili con il GDPR e con tutti i vincoli necessari per i dati sanitari, e capacità computazionale sufficiente per analizzare questi dati in tempi realistici. Oggi molte strutture ospedaliere sono ancora molto arretrate dal punto di vista infrastrutturale. Si parla continuamente di terabit, exascale e su-

percalcolo, ma poi in alcuni casi ci si trova ancora con server locali molto vecchi, connessioni lente, sistemi poco interoperabili. E questo diventa immediatamente un limite quando si lavora con la genomica, l'imaging avanzato o l'intelligenza artificiale applicata alla medicina. Se vogliamo fare medicina computazionale su larga scala dobbiamo poter trasferire rapidamente enormi quantità di dati genomici o immagini cliniche ad alta definizione. Lo stesso vale per la radiologia: immagini sempre più dettagliate significano file sempre più grandi e necessità di calcolo sempre maggiori. Senza infrastrutture adeguate tutto questo rischia di rimanere confinato a pochi centri molto avanzati.

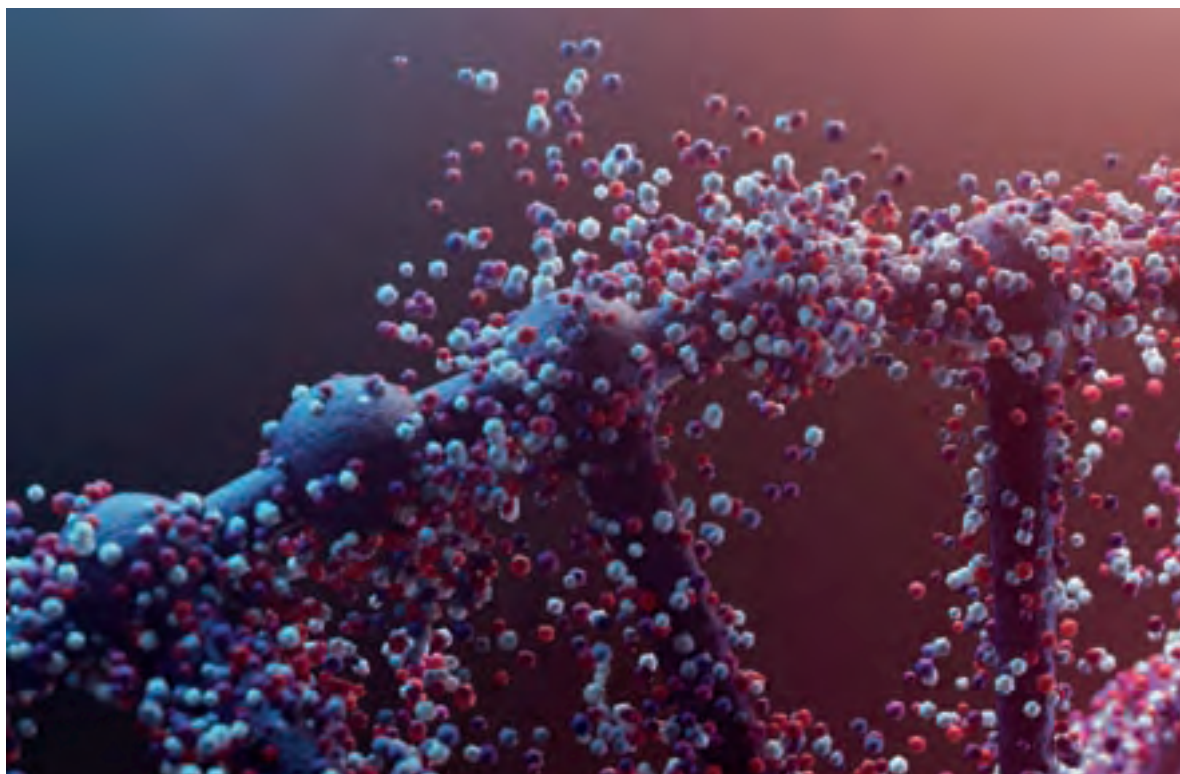


Credo che il nodo vero sia costruire reti nazionali realmente integrate. Gli ospedali non devono necessariamente avere enormi capacità di calcolo al proprio interno, ma devono poter accedere facilmente a infrastrutture condivise attraverso connessioni veloci e sicure. Il futuro probabilmente sarà sempre più basato su questa triangolazione tra ospedale, laboratorio biologico e centro HPC. Poi naturalmente serve anche un cambiamento culturale. Quando abbiamo iniziato a parlare di high performance computing applicato alla medicina, molti vedevano ancora questi temi come qualcosa di molto distante dalla pratica clinica quotidiana, quasi fantascienza. Oggi non è più così. Nei prossimi anni la vera sfida sarà trasformare queste

sperimentazioni avanzate in infrastrutture ordinarie del sistema sanitario nazionale.

Guardando alle prospettive future della ricerca, quali potrebbero essere le ricadute più significative nei prossimi anni? E invece dal punto di vista del gruppo di lavoro e del percorso aperto dallo Spoke 8, come immagina l'evoluzione di questa esperienza oltre la conclusione del progetto?

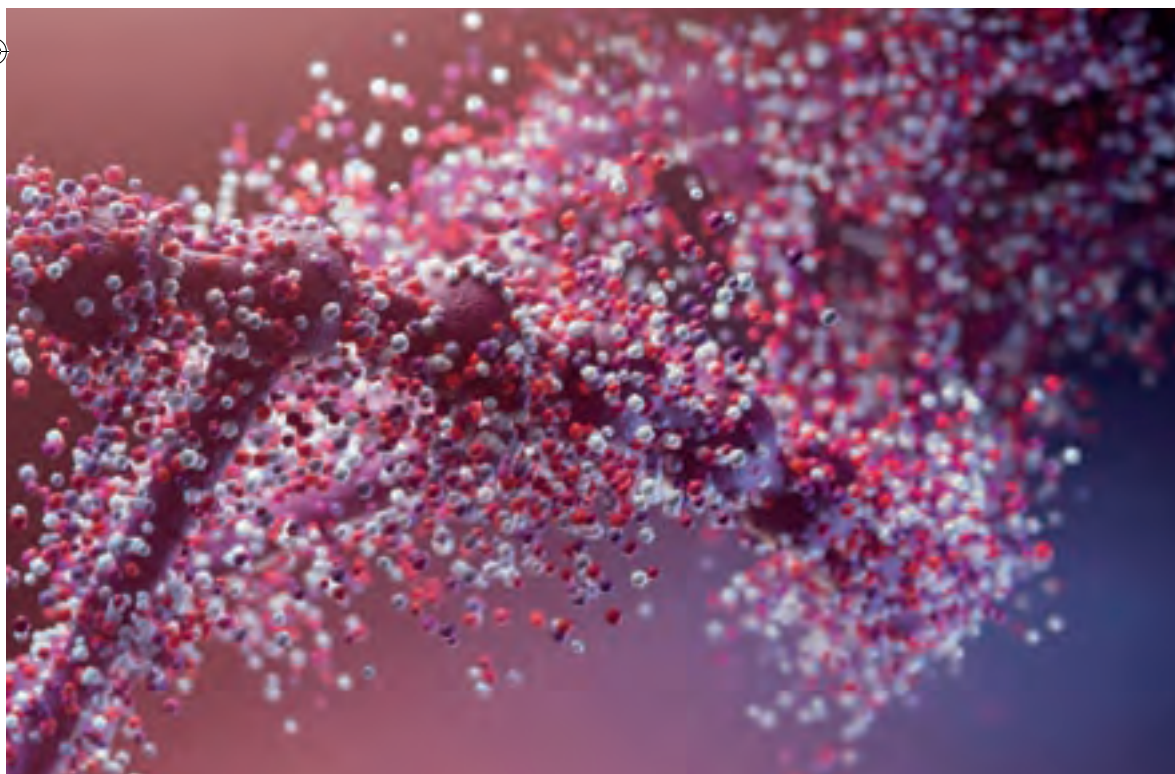
Cavalli: Quello che abbiamo fatto finora riguarda soprattutto la genomica, ma in futuro la caratterizzazione di un paziente integrerà sempre più livelli di informazione diversi. Le tecnologie per generare questi dati esistono già; il punto decisivo sarà riuscire a combinarli e interpretarli con l'aiuto dell'intelligenza artificiale.



L'obiettivo finale è rendere diagnosi, prognosi e terapie sempre più precise e personalizzate. E questo non riguarderà soltanto il DNA. Pensiamo, per esempio, alla radiomica: le nuove TAC e risonanze magnetiche producono immagini estremamente dettagliate, che contengono grandi volumi di informazioni cliniche. Analizzarle richiede capacità di calcolo sempre più avanzate, e quindi un'integrazione sempre più stretta tra medicina e infrastrutture di calcolo avanzate.

Una prospettiva concreta è sicuramente quella di ampliare la scala del lavoro che abbiamo iniziato. Da una parte aumentando le collaborazioni cliniche – per esempio stiamo già lavorando per coinvolgere nuovi ospedali, come Verona,

che sul tumore pancreatico ha competenze molto avanzate – e dall'altra aumentando la quantità e la profondità dei dati raccolti sui pazienti. Bisognerà costruire nuove progettualità e accedere a nuovi finanziamenti, ma una volta capito cosa possono fare questi strumenti, è difficile immaginare di tornare indietro. La velocità di questa evoluzione è forse l'aspetto più impressionante: in pochi anni l'intelligenza artificiale applicata alla medicina è passata da tema specialistico a questione centrale anche fuori dalla comunità scientifica. Per questo credo che nei prossimi cinque o dieci anni vedremo cambiamenti ancora più profondi, sia nella ricerca biomedica che nell'implementazione concreta della medicina di precisione.



Società Digitali e Smart Cities

Intervista a Nicola Mazzocca

a cura di Pandora Rivista

Nicola Mazzocca (UNINA) è Leader dello Spoke 9 "Digital Society and Smart Cities" e membro dello Spoke Coordination Board del Centro Nazionale ICSC.

Lo Spoke 9 del Centro Nazionale ICSC affronta le sfide delle Smart Cities e delle società digitali progettando modelli, architetture di calcolo e sistemi software a supporto della gestione di infrastrutture e applicazioni d'interesse pubblico e industriale. Quali sono stati i principali ambiti di intervento e come si inseriscono i gemelli digitali in questo quadro?

Mazzocca: Le Smart Cities, insieme alla Digital Society, prevedono l'applicazione delle tecnologie informatiche alla vita dei cittadini e delle imprese in diversi settori applicativi. Nel caso del nostro Spoke, i settori di riferimento sono stati cinque: mobilità, salute, infrastrutture, ambiente e logistica. Per ciascuno di questi ambiti abbiamo sviluppato appositi prototipi dimostrativi che illustrano, ad esempio, come sia possibile sfruttare al meglio la sinergia tra intelligenza artificiale, capacità di calcolo e reti di comunicazione per elaborare le informazioni necessarie a gestire la mobilità in un centro urbano, tema tipico delle

Smart Cities. Per farlo abbiamo utilizzato tecnologie che consentono sia di simulare sia di monitorare le situazioni in tempo reale, con l'obiettivo di intervenire in modo tempestivo ed efficace.

A questi cinque settori va affiancata la capacità di acquisire ed elaborare dati per realizzare sistemi come il Digital Twin che, attraverso la simulazione di eventi, permette di agire in modo predittivo, monitorando e modificando la realtà.

Lo Spoke 9 è caratterizzato da una particolare vocazione interdisciplinare. Quali sono state le principali linee di sviluppo coinvolte? In che modo è stato possibile elaborare metodologie efficaci sotto ciascun punto di vista?

Mazzocca: All'interno delle attività progettuali abbiamo lavorato su due livelli distinti. Da un lato, sforzandoci di produrre sin da subito risultati concreti: architetture innovative di sistema, modelli e algoritmi sia di carattere generale sia specifici per settore, come quelli dedicati alla mobilità, alla salute o all'ambiente. Dall'altro, operando a un livello di TRL (Technology Readiness Level) medio-alto, con una significativa capacità di sviluppo di prototipi e dimostratori.

Questo approccio ibrido si è rivelato particolarmente fecondo, perché ci ha portato a realizzare applicazioni concrete direttamente in contesti urbani reali. Uno dei soggetti più importanti per la sperimentazione è stata la città di Bologna; alcune applicazioni sono state condotte con le città di Catania, Brindisi e di Castellammare di Stabia.

In parallelo, con alcuni partner abbiamo sviluppato attività specifiche in

domini applicativi particolarmente rilevanti. Soggetti come Intesa Sanpaolo, operatori del settore assicurativo, Fincantieri e Leonardo hanno dato un contributo significativo in questo senso, consentendoci di avanzare sia sul fronte delle architetture sia su quello dello sviluppo software e dei modelli computazionali.

Potrebbe portare alcuni esempi di applicazioni concrete realizzate nelle città?



Mazzocca: A Bologna, per esempio, abbiamo lavorato sul controllo del traffico urbano. In quel contesto è stato fondamentale verificare la disponibilità e la qualità dei dati per addestrare modelli con funzionalità sia predittive sia di interfacciamento con la dinamica reale del traffico. Quel lavoro è stato condotto principalmente dalla Fondazione Bruno Kessler, dall'Università di Bologna e in parte dall'Università di Napoli. Un'azione simile è stata svolta sui sistemi per la misurazione della qualità dell'aria a Lecce e in altre realtà pugliesi, questa volta con approcci predittivi rispetto

all'inquinamento ambientale. Sul tema della mobilità multimodale – ovvero la capacità di modellare spostamenti che integrano diverse modalità di trasporto – ha lavorato invece l'Università di Catania, utilizzando anche il proprio campus universitario come contesto sperimentale su scala ridotta.

Il progetto di Castellammare di Stabia rappresenta invece un'iniziativa più recente, in cui stiamo cercando di capire come politiche di gestione delle infrastrutture e del patrimonio urbano possano contribuire a ridurre il numero degli



incidenti in città. È un tema che richiede molti dati, modelli predittivi efficaci e capacità di definire politiche di intervento per migliorare la viabilità e aumentare la sicurezza. Questo ci insegna che non è sufficiente ottimizzare un sistema in modo statico, ma occorre raccogliere dati in tempo reale per migliorare continuamente le politiche di gestione. E per fare questo servono intelligenza predittiva, capacità di misurazione dell'esistente e, soprattutto, capacità di integrare in modo coeso modelli e attività operative.

Verso quale idea di città – e prima ancora di società – tende il lavoro dello Spoke 9? E in che misura dotarsi di queste tecnologie rappresenta una scelta strategica per il Paese?

Mazzocca: Va precisato che l'Italia è tra i Paesi più industrializzati al mondo, eppure registra ancora un ritardo significativo nell'applicazione di queste tecnologie. Preso atto del fatto che non abbiamo la possibilità di sviluppare tecnologie ad alta prestazione proprietarie come processori o GPU, un diverso tipo di integrazione tecnologica, sostenuto da modelli software opportunamente sviluppati, potrebbe realmente offrire caratterizzazioni competitive per il mercato italiano. Se disponessimo di un Digital Twin di una città, ad esempio, potremmo lavorare in modo mirato sull'ottimizzazione dei suoi consumi. Non provare a dotarsi di queste tecnologie significherebbe di fatto delegare a soggetti terzi anche l'intelligenza applicata alle nostre realtà urbane, rinunciando a priori a qualsiasi capacità di interlocuzione.

Va inoltre sottolineato che il nostro Spoke è stato quello con la maggiore incidenza territoriale nel Mezzogiorno: su sedici bandi aperti, la quota più consistente ha coinvolto realtà meridionali, grazie all'interesse di imprese radicate nel Sud Italia.

Complessivamente sono state coinvolte trentaquattro realtà, di cui l'89% operanti nel Mezzogiorno.

Quali rischi comporta, in termini di privacy e sicurezza, l'assenza di adeguati meccanismi di trasparenza nella gestione dei dati urbani?

Mazzocca: Penso che questo sia il tema centrale della società digitale, insieme alla necessità di garantire una partecipazione inclusiva. Per questa ragione ci stiamo adoperando non soltanto per creare i nostri modelli, ma soprattutto per renderli spiegabili, analizzabili e basati su dati aperti. Le città sono enormi generatori di dati. E questi vanno opportunamente anonimizzati – sia per le imprese private sia per la ricerca, che ne ha bisogno per sviluppare e validare prodotti efficaci – senza però contravvenire ai principi costituzionali che tutelano la libertà e l'autodeterminazione dell'individuo. È un equilibrio delicato, che non ha una dimensione esclusivamente tecnologica, ma che deve conciliare vincoli normativi, istanze sociali, principi etici ed esigenze di competitività industriale. Forze che spingono spesso in direzioni diverse.

Pensiamo, ad esempio, alla previsione del traffico in seguito alla chiusura di un tratto stradale: un sistema di intelligenza artificiale ben progettato potrebbe elaborare decisioni molto più rapidamente di un operatore umano, con evidenti vantaggi pratici ma anche con una responsabilità molto elevata nella gestione dei dati. La nostra missione è piuttosto insidiosa e consiste nel trovare una strada percorribile. Ma credo che delegare a terzi l'uso di queste tecnologie, senza costruire una capacità propria, non ci avvicina a quella strada – tanto più se si parla delle nostre città.

In che modo il dibattito italiano si confronta con quello europeo sulla gestione dei dati e la regolamentazione dell'intelligenza artificiale?

Mazzocca: Il quadro regolatorio ha preso avvio con il GDPR, che trova ora una sua estensione nell'AI Act europeo e nella direttiva europea NIS 2 sugli standard per la cybersicurezza. Si tratta di un sistema che classifica le applicazioni in base al livello di rischio (consentite, non consentite, ad alto rischio o a rischio limitato). Questo impianto è stato recepito anche dalla Legge 132 del 2025, la normativa italiana sull'intelligenza artificiale, che ha dato una propria caratterizzazione nazionale su basi statistiche. La parola chiave, tanto a livello europeo quanto in questa declinazione italiana, è "antropocentrismo". Anche nel nostro Spoke abbiamo operato secondo questo principio, ricorrendo alla generazione di dati sintetici per esplorare i limiti delle inferenze consentite ai sistemi automatici, tutelando al contempo la privacy. Il dato sintetico, in questo senso, è uno strumento prezioso che protegge e al contempo abilita lo sviluppo. Tuttavia, ci sono ancora diverse ambiguità: l'articolo 16 della Legge 132 del 2025 stabilisce che l'utilizzo degli algoritmi e dei dati sarà disciplinato da successivi regolamenti. Ma senza una sperimentazione sistematica su dati e applicazioni reali, come si possono tracciare confini normativi credibili? La domanda resta momentaneamente sospesa.

Dal canto suo, l'Europa ha tentato di rispondere istituendo ambienti di sperimentazione controllata – i cosiddetti sandbox – basati su dati sintetici o reali, all'interno dei quali testare applicazioni in condizioni protette. A mio avviso, le Smart Cities possono rappresentare proprio questo tipo di sandbox, nonché laboratori urbani in cui sperimentare in modo responsabile.

Quali direttrici di sviluppo e di ricerca emergono complessivamente dallo Spoke 9? In che modo i risultati ottenuti consentono un ripensamento del futuro delle città?

Mazzocca: Per fortuna la nostra traiettoria è già definita. I risultati prodotti ci hanno permesso di vincere un progetto nell'ambito del PON (Programma Operativo Nazionale), della durata di diciotto mesi, che sviluppa e consolida le attività avviate nel Centro Nazionale. Il progetto intende portare capacità di calcolo dedicate non più soltanto nelle grandi infrastrutture centralizzate, ma nei sistemi periferici: l'edge computing. Questo slittamento introduce però nuove sfide in termini di affidabilità – perché si tratterà di dispositivi più piccoli e potenzialmente più vulnerabili –, efficienza algoritmica e consumo energetico. Non si tratta semplicemente di pensare a un mondo algoritmico, ma a un ecosistema capace di usare le informazioni nel modo più efficace, agendo su parametri che migliorano la vita delle persone senza incidere sulla loro libertà o generare ulteriori disuguaglianze. Un miglior sistema di condizionamento ambientale, ad esempio, non pone problemi di discriminazione se produce un vantaggio sociale diffuso, anziché far sì che ne benefici soltanto chi già dispone di impianti ad alte prestazioni.

C'è poi un'altra dimensione importante legata alla gestione dell'imprevisto. Dobbiamo quindi essere in grado di sviluppare sistemi capaci di generare scenari simulati sufficientemente fedeli alla realtà, in modo che nel caso in cui verifichi un dato evento dannoso, siamo già pronti a intervenire. Questa è, in fondo, l'ambizione più elevata dietro alla possibilità di sviluppare algoritmi distribuiti.



Quantum Computing: le nuove frontiere del Calcolo

Intervista a Paolo Cremonesi

a cura di Pandora Rivista

Paolo Cremonesi (POLIMI) è Leader dello Spoke 10 "Quantum Computing" e membro dello Spoke Coordination Board del Centro Nazionale ICSC.

Lo Spoke 10 del Centro Nazionale ICSC si concentra sulla crescita del quantum computing come leva abilitante per problemi di calcolo estremamente complessi, utilizzabili in diverse applicazioni scientifiche e industriali. L'attuazione di quali fasi ha reso possibile raggiungere questo risultato?

Cremonesi: Provando a sintetizzare, i tre livelli su cui abbiamo operato sono stati hardware, "middleware" e applicazioni. Sono stati finanziati quattro laboratori in Italia, ciascuno focalizzato su una tecnologia diversa per la costruzione di computer quantistici. Il più maturo è quello coordinato dall'Università "Federico II" di Napoli, dal professor Francesco Tafuri, che si è focalizzato sui computer quantistici superconduttori. Il secondo è quello coordinato dal professor Fabio Sciarrino, responsabile del Sapienza Quantum Lab dell'Università "La Sapienza" di Roma, che si è concentrato sui computer quantistici fotonici, basati sui fotoni. Il terzo laboratorio, basato a Firenze e coordinato dal professor Fran-

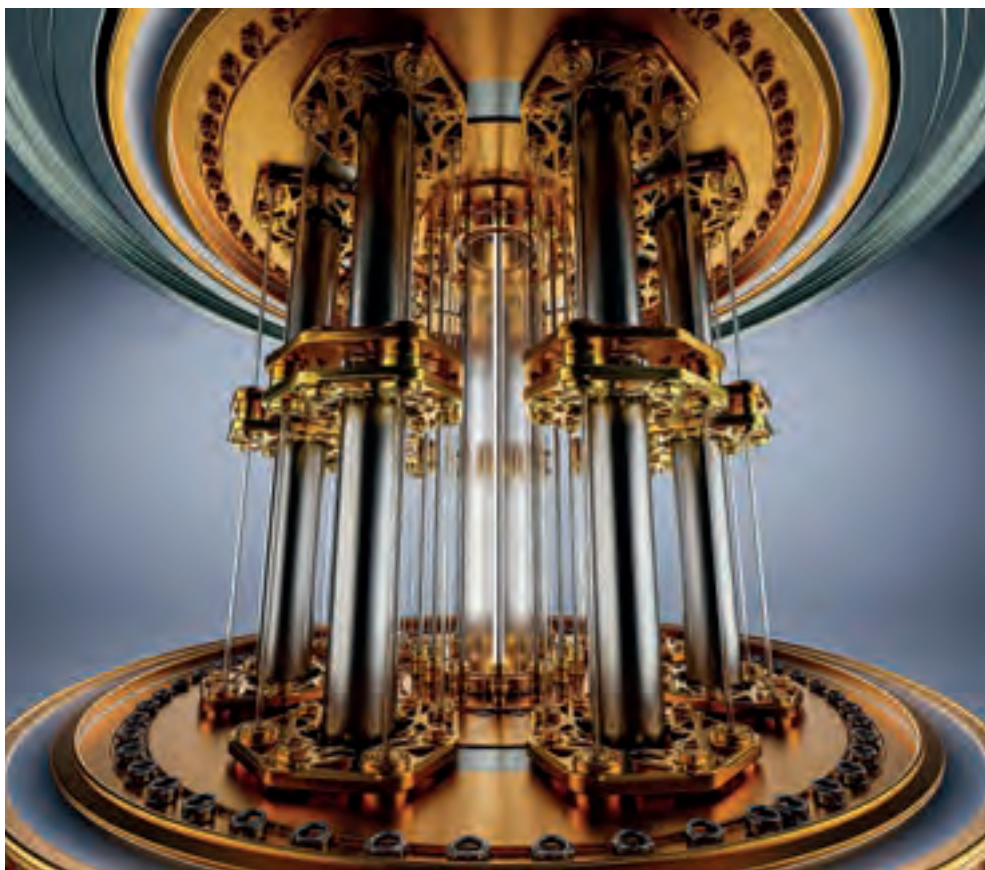
cesco Saverio Cataliotti dell'Università di Firenze, sperimenta computer quantistici basati su atomi neutri. Il quarto, infine, è quello dell'Università di Padova, coordinato dal professor Simone Montangero, che lavora su computer quantistici basati su ioni.

Avanzando nella catena del valore, lo Spoke ha portato avanti progetti di ricerca sul cosiddetto software intermedio, ovvero quelle librerie che collegano l'hardware alle applicazioni. I progetti in questa direzione sono stati numerosi. Uno degli ambiti più rilevanti è quello del quantum error correction: i processori quantistici commettono errori perché sono ancora macchine imprecise, soggette a rumore e senza un software capace di correggere questi errori non è possibile eseguire computazioni affidabili. Un altro contributo importante riguarda gli emulatori. Chi sviluppa applicazioni per computer quantistici dovrebbe poterle testare su macchine reali, ma si tratta di risorse costose e non sempre accessibili. Disporre di emulatori capaci di riprodurre in maniera ragionevole il comportamento di un computer quantistico è quindi fondamentale per chi lavora sul versante applicativo.

Il Politecnico di Milano ha contribuito nell'ambito del quantum error correction, mentre l'Università di Padova ha lavorato in maniera significativa sullo sviluppo di emulatori. Il terzo livello è quello delle applicazioni, sviluppate all'interno del Centro Nazionale in ambiti molto diversi tra loro: dalla finanza al machine learning, dall'intelligenza artificiale alla fluidodinamica, dalla chimica computazionale all'astrofisica. La maggior parte di queste non hanno ancora una ricaduta industriale diretta, ma ha avuto un impatto importante nel dimostrare come il computer quantistico possa essere utilizzato per affrontare certi tipi di problemi.

Come ha funzionato invece il raccordo dello Spoke 10 con gli altri Spoke, e come si prevede che evolva?

Cremonesi: Il Centro Nazionale ha pensato a uno strumento specifico per favorire questo dialogo, non solo fra Spoke ma anche fra Spoke e aziende: gli Innovation Grant, ovvero una quota di finanziamenti dedicata a progetti collaborativi. Nel nostro caso, è stata proprio questa quota lo strumento attraverso cui abbiamo collaborato con gli altri Spoke, in particolare con lo Spoke 2, lo Spoke 3 e lo Spoke 5, sempre in ambito applicativo.



A titolo di esempio, cito un progetto che ha coinvolto il Politecnico di Milano, Eni e l'Università dell'Aquila, nell'ambito dello Spoke 10 e dello Spoke 5, per simulazioni di chimica computazionale in aree di interesse per ENI. Di progetti analoghi ce ne sono stati molti altri.

A questo si aggiunge una collaborazione più strutturale con lo Spoke 0, che è lo Spoke dedicato all'infrastruttura di calcolo. Per le nostre attività abbiamo infatti utilizzato le risorse che lo Spoke 0 mette a disposizione dell'intero Centro Nazionale.

I temi dello Spoke 10 hanno una forte trasferibilità industriale, il che ha generato un interesse significativo anche da parte del settore privato. Come si sono distribuiti i finanziamenti tra i diversi tipi di progetto?

Cremonesi: Il budget dello Spoke è stato organizzato lungo tre linee di attività. La prima è quella della ricerca pura – i cosiddetti “flagship projects” – dedicata ad università e centri di ricerca, con un budget indicativo di 25 milioni di euro. La seconda linea riguarda i progetti di innovazione industriale, con un budget di circa 2 milioni di euro. Abbiamo supportato dieci iniziative di questo tipo, che hanno coinvolto nove aziende private in collaborazione con otto centri di ricerca pubblici. Le aree coperte sono state la cybersecurity, il Fintech (il quantum computing applicato alla finanza e alle assicurazioni), le utilities, con i relativi problemi di ottimizzazione, e la simulazione, dalla chimica computazionale alla fluidodinamica.

La terza categoria è quella dei Bandi a Cascata, riservati per regolamento a enti di ricerca pubblici o istituzioni private non facenti parte del Centro Nazionale, come forma di disseminazione e coinvolgimento di realtà esterne. Il budget complessivo

è stato di 3,2 milioni di euro, per un totale di sedici progetti che hanno coinvolto dodici aziende private e sette istituzioni pubbliche. Tre di questi erano nell'area hardware, i restanti tredici in ambito applicativo, con le stesse aree già citate a cui si sono aggiunti il settore dell'intelligenza artificiale e quello farmaceutico.

I risultati ottenuti dallo Spoke 10 tracciano già alcune direttrici per il futuro. Su quali linee di ricerca e sviluppo si intende continuare a lavorare?

Cremonesi: Nei tre anni del PNRR, una parte importante del finanziamento è stata dedicata alla realizzazione dei laboratori e alla componente hardware. Parallelamente, il Centro Nazionale ha acquistato due computer quantistici, installati fisicamente presso il Tecnopolo DAMA di Bologna – uno dalla società finlandese IQM, basato su tecnologia superconduttiva e denominato NOX, e uno cofinanziato da EuroHPC e dalla società francese Pasqal, basato su atomi neutri denominato SOL – e ha stipulato accordi con società esterne per accedere in cloud ad ulteriore capacità di calcolo. La parte hardware del centro si è quindi consolidata su due fronti: i laboratori di ricerca e le risorse di calcolo acquisite direttamente.

Da qui emergono due direttrici future: la prima è garantire la continuità operativa dei laboratori esistenti, che rappresentano un patrimonio scientifico e infrastrutturale che non può essere disperso. La seconda, che riteniamo altrettanto importante, riguarda le applicazioni. Una volta che la tecnologia hardware nell'ecosistema italiano avrà raggiunto una maggiore maturità, saremo in grado di investire con più decisione sugli ambiti applicativi, aumentando la ricaduta concreta per un ecosistema industriale –

quello italiano – che mostra fin da adesso un interesse concreto verso le potenzialità del calcolo quantistico.

In chiusura, quali ambiti applicativi rappresentano un'urgenza reale per il mercato italiano dove il quantum computing può offrire una risposta concreta?

Cremonesi: La nostra intenzione è quella di lavorare in stretta collaborazione con le aziende, partendo dalle loro necessità. Sono le imprese italiane che devono aiutarci a orientare la ricerca: non vogliamo sviluppare un'applicazione e poi andare a cercare il problema che potrebbe risolvere. Vogliamo fare il percorso inverso, partendo da bisogni concreti. Gli ambiti sono in buona parte quelli già emersi nel corso di questa conversazione: il settore farmaceutico, la chimica molecolare, l'intelligenza artificiale – che richiede un orizzonte temporale più lungo, ma su cui è importante iniziare a muoversi fin da ora – e il mondo Fintech, dove l'Italia può contare su una presenza bancaria di rilievo. Certamente, questo non esclude che nei prossimi anni emergano nuove necessità.

Il tutto si inserisce, tra l'altro, in piena sinergia con le altre attività del Centro Nazionale, che si sta muovendo con decisione verso il concetto di AI Factory: un'infrastruttura integrata pensata per rendere accessibile lo sviluppo e l'addestramento di modelli di intelligenza artificiale su larga scala, mettendo a disposizione di ricercatori e imprese potenza di calcolo, dati e strumenti all'interno di un unico ecosistema. È proprio in questo contesto che il quantum computing può diventare una leva ulteriore, non sostituendo l'infrastruttura esistente, ma potenziandola per affrontare problemi che i sistemi classici, anche i più avanzati, faticano a risolvere.



L'ecosistema ICSC come leva di sviluppo per il settore produttivo

Intervista a Renzo Giovanni Avesani

a cura di Pandora Rivista

Renzo Giovanni Avesani è Chief Innovation Officer di Unipol, Amministratore Delegato di Leithà e componente del Consiglio di Amministrazione del Centro Nazionale ICSC.

Il dibattito sull'innovazione si è concentrato prevalentemente sulle infrastrutture tecnologiche, dalla capacità di calcolo all'intelligenza artificiale. Il progetto del Centro Nazionale ICSC è nato però con l'ambizione di costruire un vero e proprio ecosistema. Dal suo punto di vista, qual è il valore aggiunto di questo modello, anche in relazione al tema della competitività industriale, che è stato al centro del lavoro dell'Industrial Board?

Avesani: L'aspetto più importante è quello di aver superato l'idea che basti mettere a disposizione l'hardware e poi lasciare che tutto il resto si sviluppi da sé. È stato un passo avanti ma, a mio avviso, il percorso non è ancora completato. Chi partecipa a questo ecosistema sa bene che la sfida si gioca su diversi livelli. Il punto di partenza è certamente l'hardware, ma subito dopo viene il capitale umano: servono persone che attorno a quell'infrastruttura vivano, lavorino e sviluppino competenze. C'è poi un terzo livello, che riguarda i servizi. Sull'hardware bisogna costruire

progressivamente una serie di facility che rendano il suo utilizzo simile a quello dei grandi attori internazionali, gli hyperscaler, che non mettono semplicemente a disposizione infrastrutture, ma un insieme di servizi. Noi abbiamo realizzato l'hardware; ora dobbiamo dotarlo di software, piattaforme e strumenti che consentano di fruirne in modo evoluto, andando oltre la semplice logica dell'affitto del tempo macchina.

Un altro elemento fondamentale è la presenza di personale dedicato alla ricerca applicata. Oggi non basta più immaginare che i ricercatori universitari lavorino per l'università e, contemporaneamente, per il Centro. Bisogna sviluppare un nucleo di ricercatori che appartengano al Centro stesso e che abbiano come missione specifica quella di fare ricerca applicata. Infine, c'è il tema del dialogo con il tessuto produttivo, dalle grandi imprese fino a quelle medie e piccole. È importante parlare con tutti, ma credo che, sulle tecnologie di frontiera, il punto di ingresso debbano essere necessariamente le grandi imprese. Sono loro che, confrontandosi con il Centro, possono far emergere i bisogni reali e contribuire allo sviluppo di soluzioni

insieme ai ricercatori, creando così applicazioni che abbiano poi una valenza sistemica. Questo percorso rende più semplice anche il trasferimento di quelle soluzioni alle medie e piccole imprese. Francamente, è difficile immaginare che le realtà più piccole riescano, da sole, a instaurare un dialogo efficace con il Centro senza un lavoro preliminare svolto insieme alle grandi aziende. Sono questi, a mio avviso, i tasselli che caratterizzano il modello e che possono rappresentare il suo vero valore aggiunto rispetto a esperienze analoghe del passato.

Uno degli obiettivi del lavoro del Centro Nazionale, dal lato delle imprese, è stato proprio quello di trasformare i risultati della ricerca in applicazioni concrete per il sistema produttivo. Dopo questi anni di attività, quali ritiene siano stati i risultati più significativi in questa direzione? E quali insegnamenti emergono dall'esperienza maturata finora che ha visto il coinvolgimento iniziale soprattutto di grandi imprese?

Avesani: Sulle tematiche che oggi definiscono la frontiera tecnologica e la ricerca pura, il Sistema Italia non dispone ancora di una massa critica sufficiente. Proprio per questo, una delle funzioni del Centro era quella di concentrarsi sulla ricerca applicata. Questo secondo ambito è quello che, in qualche misura, ha permesso alla Cina di diventare uno dei soggetti fondamentali per quanto riguarda l'innovazione tecnologica. Gli statunitensi sono sempre stati più avanti sul piano della ricerca pura, ma quando si è trattato di mettere a terra le applicazioni di quelle tecnologie, i cinesi hanno dimostrato una capacità di esecuzione straordinaria, ottenendo risultati che hanno poi avuto effetti di ritorno anche sulla ricerca di base. Ma il loro punto di partenza è stato l'applicazione. Alcuni

dei progetti portati avanti dal Centro hanno cercato di seguire proprio questo modello: alcune imprese avevano esigenze specifiche alle quali si poteva rispondere sviluppando applicazioni che, per loro natura, hanno un valore sistemico. Infatti, quando una grande impresa trova una soluzione a un proprio problema, spesso produce anche una risposta che può essere utile all'intero sistema. In alcuni casi si è provato a impostare il lavoro in questa direzione. Tuttavia, forse anche per la relativa giovinezza del Centro e per la limitata conoscenza delle attività che vi vengono svolte, c'è stata una notevole difficoltà nel far percepire al Sistema Paese ciò che è stato realizzato.

Penso, ad esempio, a un progetto che abbiamo seguito direttamente come Unipol, dedicato alle variabili meteo-climatiche e alla realizzazione di un sistema di monitoraggio. Era un progetto nato certamente da un nostro interesse industriale, ma che aveva come naturale destinatario il Sistema Paese e che avrebbe potuto – e potrebbe ancora, perché il lavoro è tuttora in corso – mettere a disposizione strumenti di grande utilità. Finora, però, il Sistema Paese si è dimostrato poco ricettivo rispetto a questo tipo di iniziative. Man mano che le soluzioni sviluppate dal Centro matureranno, si consolideranno e acquisiranno una loro identità riconoscibile, il mio auspicio è che l'attenzione da parte del sistema cresca. Detto questo, ritengo che tra le attività del Centro debba esserci anche quella di diffondere e promuovere con maggiore decisione i risultati raggiunti. Se nemmeno noi che produciamo queste innovazioni dimostriamo fino in fondo di credere nel valore di ciò che abbiamo realizzato, è inevitabile che anche il resto del Paese faccia fatica a riconoscerlo.



Lei osserva questi temi da una prospettiva duplice: da un lato come componente del Consiglio di Amministrazione della Fondazione ICSC, dall'altro come Presidente di Leithà, la società del Gruppo Unipol specializzata nello sviluppo di soluzioni data-intensive, dopo aver seguito in Unipol i processi di innovazione che hanno accompagnato la nascita di questo ecosistema. Come si alimentano reciprocamente queste due esperienze? E quali sono oggi le principali esigenze del mondo produttivo per rendere le infrastrutture e le tecnologie di frontiera sempre più accessibili, anche alle piccole e medie imprese?

Avesani: Ho seguito tutto lo sviluppo dell'interazione tra il Gruppo Unipol e il Centro dapprima come Amministratore Delegato di Leithà, che oggi presiedo. L'idea che abbiamo sempre avuto è stata quella di superare il modello tradizionale del rapporto tra ricerca e impresa, fondato su relazioni quasi personali tra un'azienda e un singolo professore o ricercatore, per passare invece a un modello diverso. L'impresa dovrebbe poter presentare una domanda, come se si rivolgesse a uno sportello, e trovare dall'altra parte un sistema organizzato di ricerca applicata, in grado di fornire risposte. Il mondo industriale non dovrebbe sobbarcarsi l'onere di andare a cercare, uno per uno, i ricercatori migliori. In questo modo non si lavora in scala e, soprattutto, non si rafforza il sistema della ricerca. Se il rapporto resta individuale tra azienda e ricercatore, vengono meno tutti quei collegamenti di cui la ricerca ha naturalmente bisogno per svilupparsi. Noi abbiamo sempre pensato che la creazione di un ecosistema di un certo tipo fosse la direzione da seguire. Ed è per questo che insistevo sulla necessità di avere ricercatori dedicati all'interno di ICSC: persone che lavorino per il Centro, si confrontino con le imprese e facciano della ricerca applicata la propria missione.

Dal punto di vista di Unipol, infatti, c'è la consapevolezza che la catena di trasmissione tra industria e ricerca, nei due sensi, sia rimasta sostanzialmente ferma per molti anni. Ricordo gli anni in cui l'Italia conquistò il premio Nobel per la chimica grazie alle ricerche di Giulio Natta sul polipropilene isotattico, che aprirono la strada alla nascita di un'industria chimica d'eccellenza. Da allora, però, non è successo più nulla di paragonabile. Al tempo stesso, è difficile immaginare di replicare in Italia un modello come quello dei Bell Laboratories, storicamente considerati la culla di innovazioni che hanno cambiato il mondo, perché non disponiamo di imprese con dimensioni tali da sostenere investimenti di quella portata. Di conseguenza, cercare di costruire un modello misto, pubblico-privato, mi sembra l'unica strada realmente percorribile. Del resto, anche realtà che possono essere considerate in qualche modo gemelle della nostra, penso in particolare alla Germania, stanno andando nella stessa direzione: centri che dispongono certamente di infrastrutture finanziate anche con risorse europee e nazionali, ma che hanno anche personale proprio, dedicato. L'esempio dell'industria chimica aiuta a capire anche il rapporto tra grande, media e piccola impresa. Quando si realizza un breakthrough, cioè un'innovazione capace di cambiare radicalmente uno scenario tecnologico, non cresce soltanto la grande azienda: si sviluppa anche tutto l'indotto che le ruota attorno. È un effetto di traino virtuoso che dovrebbe essere il punto di riferimento anche per questo modello di rapporto tra ricerca e impresa.

Dal punto di vista degli investimenti, il PNRR ha rappresentato un'occasione straordinaria per rafforzare le infrastrutture scientifiche e tecnologiche del Paese. La sfida, ora, è trasformare quell'investimento in un patrimonio permanente.

A suo avviso, quali sono le priorità affinché ICSC continui a rappresentare una leva di sviluppo per il sistema produttivo anche oltre il PNRR? E quali elementi sono indispensabili perché la collaborazione tra università, ricerca e imprese produca innovazione stabile, senza esaurirsi con la conclusione dei singoli progetti?

Avesani: Penso che serva una buona dose di altruismo da parte di tutti. La prima fase del PNRR e le risorse che sono arrivate sono servite soprattutto, almeno nel caso di ICSC, a costruire una solida infrastruttura tecnologica e, allo stesso tempo, a finanziare un numero molto consistente di dottorati industriali. Possiamo considerarlo un investimento iniziale: da una parte l'hardware, dall'altra il capitale umano. Deve essere chiaro però quale ritorno può produrre l'investimento. Se il ritorno fosse evidente, sarebbe molto più facile immaginare uno scale-up, con un ampliamento dell'iniziativa e anche un coinvolgimento crescente del settore privato, che potrebbe decidere di affiancare le risorse pubbliche.

Oggi, invece, ho l'impressione che siamo ancora in una fase in cui certamente l'università ha beneficiato di un forte afflusso di risorse, ha potuto acquisire professionalità di cui aveva bisogno – anche perché i canali di reclutamento erano bloccati da molti anni – e dove però a mancare è la capacità di trasformare queste opportunità in tempo realmente dedicato allo sviluppo di progetti industriali. Non ho piena visibilità sul lavoro svolto da questi ricercatori, ma se si chiede alle imprese se abbiano tratto un beneficio diretto dall'inserimento di queste figure finanziate dal PNRR, credo che la risposta sia ancora, almeno in parte, un punto interrogativo.

Una possibile spiegazione delle difficoltà che lei evidenzia potrebbe risiedere anche nei diversi orizzonti temporali di ricerca e impresa. Da un lato le aziende si aspettano un ritorno degli investimenti entro tempi definiti, dall'altro la ricerca richiede inevitabilmente percorsi più lunghi. Quanto pesa questo fattore?

Avesani: Gli investimenti fatti sul capitale umano avevano comunque un orizzonte temporale definito di quattro anni. A quel punto le possibilità erano sostanzialmente tre: o si tornava a chiedere allo Stato nuove risorse per proseguire quel lavoro, oppure quei ricercatori avevano prodotto risultati talmente rilevanti da convincere le imprese ad assumerli, oppure ancora il Centro Nazionale era in grado di assorbirne almeno una parte come personale stabile, dedicato allo sviluppo delle applicazioni della ricerca. Al momento è difficile dare una valutazione definitiva. Bisogna essere molto ottimisti per vedere già segnali chiari derivanti dall'ingresso di un numero così consistente di ricercatori negli investimenti del PNRR. Probabilmente qualcuno ne ha tratto beneficio, ma la questione resta ancora aperta.

Se vogliamo continuare a crescere dobbiamo essere molto più determinati. Le persone vengono finanziate perché ci sono risorse pubbliche che lo consentono, ma dobbiamo avere la certezza che, dopo un certo periodo di tempo, da quel lavoro emerga un risultato concreto: un prodotto, un'applicazione, qualcosa che possa essere utilizzato. Può funzionare oppure no, si può sbagliare anche molte volte, ma l'obiettivo deve essere quello. Non dobbiamo limitarci a fare teoria. Dobbiamo puntare all'applicazione, provarci, sperimentare. Se dieci tentativi non vanno a buon fine, magari sarà l'undicesimo a produrre il risultato che cerchiamo.

Il Centro Nazionale è chiamato a consolidare il proprio ruolo anche nello scenario europeo dell'innovazione. Quale dovrebbe essere, secondo lei, la traiettoria di sviluppo di questo ecosistema? E quale sarebbe il segnale più evidente che dimostrerebbe come l'investimento realizzato abbia realmente rafforzato la competitività del Sistema Paese, sia in Europa sia a livello globale?

Avesani: Il Centro Nazionale ICSC si colloca già oggi nella fascia alta delle infrastrutture europee. È uno dei pochi Centri sui quali la Commissione Europea ha deciso di investire, prima con l'hardware relativo a Leonardo e ora con nuove iniziative legate al cloud e all'intelligenza artificiale. Questo fattore ha già stimolato alcuni dei soggetti coinvolti a ragionare anche sulla realizzazione di un cloud nazionale. Le condizioni per competere a livello europeo, quindi, ci sono tutte. Siamo partiti con un investimento importante e con un'attenzione significativa da parte dell'Unione Europea. Ma queste iniziative, da sole, non bastano, perché è necessario trasformare questo potenziale in risultati concreti. La vera sfida è dare una sterzata decisa verso le applicazioni. È lì che l'industria capisce se un

centro come questo produce innovazione utile, capace di rispondere ai bisogni delle imprese e del sistema. Noi, come Unipol, siamo interessati in particolare ad alcuni ambiti che consideriamo strategici. Penso a tutto il tema degli eventi meteorologici e climatici, che ha un evidente interesse pubblico e privato, oppure alla mobilità: siamo la principale compagnia assicurativa italiana nel settore auto e gestiamo un numero enorme di veicoli già connessi, che rappresentano una base importante per sviluppare nuove applicazioni tecnologiche.

Gli investimenti europei e il patrimonio di competenze costruito possono consentire al Centro Nazionale ICSC di svolgere un ruolo di primo piano nell'innovazione a livello europeo e globale, ma bisogna dimostrare all'industria che ciò che si realizza ha un ritorno concreto. Ho grande rispetto, e inoltre un certo affetto, per la ricerca pura, anche perché sono stato anche professore universitario. Ma il punto è un altro: si tratta di fare ricerca applicata. Se questo ecosistema vuole avere un futuro, deve giocare la propria partita su quel terreno, spostandosi verso attività con un grado di maturità tecnologica sempre più alto.

