

L'High Performance Computing (HPC): Un settore strategico dell'ecosistema digitale

di Valerio Francola e Gordon A. Mensab¹

1. Cenni introduttivi e aspetti tecnici

Con l'espressione High Performance Computing (HPC), o in italiano calcolo ad elevate prestazioni, ci si riferisce alle tecnologie utilizzate per sviluppare sistemi di elaborazione in grado di fornire prestazioni molto elevate, a oggi dell'ordine dei petaflops². Uno dei tipi più conosciuti di soluzioni HPC è il supercomputer³. Un supercomputer è strutturato in migliaia di nodi di calcolo che lavorano insieme per completare una o più attività dando vita a un processo definito come "elaborazione parallela". In altre parole, si configura come una rete di migliaia di PC, che uniscono la potenza di calcolo per completare più rapidamente le operazioni e le attività in cui sono coinvolti. I supercomputer, infatti, sono talvolta chiamati computer paralleli perché il supercalcolo può utilizzare l'elaborazione parallela. L'elaborazione parallela è quando più CPU funzionano per risolvere un singolo calcolo in un dato momento.

¹ Questo testo costituisce una versione aggiornata del documento che ha introdotto il Seminario Astrid-LED su *Le prospettive del calcolo ad alte prestazioni: la posizione dell'Italia nel contesto internazionale*, 31 maggio 2022.

² In informatica, l'acronimo FLOPS (FLoating point Operations Per Second), indica il numero di operazioni in virgola mobile eseguite in un secondo dalla CPU.

³ Il supercomputer è un calcolatore con una potenza di calcolo di diversi ordini maggiore rispetto ai computer che normalmente possiamo trovare sul mercato. Con supercomputing invece si intende l'elaborazione di problemi estremamente complessi o ad alta densità di dati tramite le risorse concentrate di più sistemi informatici operanti in parallelo.

Anche gli scenari HPC utilizzano il parallelismo e, per completare questo processo, le soluzioni HPC si basano su tre componenti principali: calcolo, rete e storage. L'HPC prende la forma di nodi HPC che vanno a formare un supercomputer sotto forma di cluster⁴ HPC. I supercomputer sono in grado di eseguire parallelamente più calcoli ad alte prestazioni utilizzando diverse risorse aggregate.

In una architettura di calcolo dalle elevate prestazioni (HPC), i server di calcolo sono collegati in rete in un cluster e all'interno dei server del cluster agiscono i programmi software e gli algoritmi che vengono eseguiti contemporaneamente. Il cluster viene connesso in rete al sistema di storage per ottenere il risultato. Tutte queste componenti funzionano insieme con l'obiettivo di completare una serie di diverse attività ed è necessario che in questo processo, per garantire il massimo delle performance, ogni componente sia perfettamente sincronizzata con le altre. Ad esempio, la componente storage deve avere la capacità di fornire e inserire dati da e verso i server di calcolo con la stessa rapidità con cui vengono elaborati. Allo stesso modo, le componenti di rete devono essere in grado di supportare la trasmissione dei dati ad alta velocità tra i server di calcolo e il sistema storage. Se un componente perde sincronia rispetto agli altri, ne risentono le performance dell'intera infrastruttura HPC.

Questa potenza di elaborazione aggregata consente a diverse organizzazioni scientifiche, commerciali e ingegneristiche di risolvere grandi problemi altrimenti inaccessibili. In questo contesto anche le realtà aziendali che adottano le soluzioni HPC possono eseguire calcoli complessi sulla in-

⁴ Un cluster HPC è costituito da centinaia o migliaia di server di calcolo collegati in rete. Ogni server è chiamato nodo. I nodi di ciascun cluster lavorano in parallelo, aumentando la velocità di elaborazione per fornire un ambiente di High Performance Computing.

frastruttura locale ma anche modulare la potenza di calcolo di cui hanno bisogno grazie alle risorse offerte dai servizi cloud pubblici.

La scalabilità è uno dei principali vantaggi nell'adottare soluzioni di HPC. Infatti, la scalabilità di un sistema di elaborazione dati consiste proprio nella capacità del sistema stesso di modulare le proprie risorse di calcolo in base ai carichi di richieste.

L'HPC rappresenta un altro dei settori dell'ecosistema digitale in forte sviluppo, come indica la programmazione di ingenti investimenti in tutto il mondo. Ciò deriva, tra le altre cose, dalla disponibilità di enormi quantità di dati da elaborare a fini commerciali e scientifici (big data). Più precisamente, l'HPC è una tecnologia decisiva per elaborare e analizzare la sempre crescente produzione e disponibilità di dati – personali e non, strutturati e non, originati da esseri umani o da macchine – a vantaggio di imprese, cittadini, studiosi, pubbliche amministrazioni.

I campi di applicazione di HPC sono molteplici: dal monitoraggio e mitigazione degli effetti dei cambiamenti climatici alla produzione di veicoli più sicuri ed ecologici, dalla (maggiore) sicurezza informatica all'avanzamento delle frontiere della conoscenza in moltissimi campi scientifici. Ad esempio, l'HPC svolge un ruolo chiave nel settore della medicina, dove viene utilizzato nella progettazione di farmaci, nella comprensione delle origini e dell'evoluzione di epidemie e malattie, come è accaduto nel caso della pandemia da Covid-19, nella ricerca di cure specifiche e avanzate⁵. Più di recente, l'HPC è stato applicato per la progettazione di nuovi materiali, come

⁵ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/exscalate4cov-performs-most-complex-supercomputing-experiment-identify-new-therapies-covid-19>.

anche nel campo della bioingegneria, e in molti altri settori della frontiera tecnologica.

In questo contesto, come ricordato, l'HPC è una tecnologia strategica per l'elaborazione di dimensioni sempre più elevate di dati, interagendo virtuosamente con altre tecnologie digitali *general purpose* (intelligenza artificiale, big data, blockchain). Un discorso a sé riguarda il ruolo dei computer quantistici (vedi scheda), su cui si è avviata una accesa competizione per la costruzione del primo prototipo con prospettive industriali e commerciali.

Computer quantistici

I computer quantistici hanno la capacità di eseguire calcoli in simultanea e di eseguire operazioni di fattorizzazione in modo molto più efficiente rispetto ai computer convenzionali. Ciò significa, tra le altre cose, che un singolo computer quantistico potrebbe eludere anche i più forti schemi di crittografia in un tempo relativamente infinitesimale⁶, compresi quelli su cui si basano il settore bancario, delle comunicazioni, della difesa e della sanità.

Il numero di players in questa competizione è limitato dal costo significativo dello sviluppo delle tecnologie quantistiche, che di solito comporta super-raffreddamento, strutture schermate, materiali rari e capitale intellettuale. Ciò lascia il campo aperto principalmente a grandi potenze come gli Stati Uniti, la Cina, l'Europa e (in notevole ritardo⁷) la Rus-

⁶ <https://theconversation.com/chinas-quantum-satellite-could-make-data-breaches-a-thing-of-the-past-66863>.

⁷ Come si vedrà nel paragrafo dedicato alle iniziative dell'Unione Europea il 4 ottobre 2022 l'Impresa comune per il calcolo ad alte prestazioni europeo (EuroHPC) ha annunciato la selezione di 6 siti che

sia. Al momento, la Cina sembra essere in leggero vantaggio rispetto agli Stati Uniti, e i due paesi distanziano nettamente le altre economie occidentali e orientali. Tuttavia, paesi come Australia, Canada, Giappone e Singapore, attraverso progetti di ricerca e sviluppo collaborativi, cercano di recuperare terreno⁸. In quest'ottica, è da osservare con interesse il progetto dell'Israel Innovation Authority (IIA) che ambisce a far sì che la cosiddetta "Startup Nation" sia in prima linea in questo cambiamento. L'agenzia governativa ha stanziato 100 milioni di shekel (29 milioni di dollari) in tre anni per istituire un Centro israeliano di calcolo quantistico, che sarà costruito dall'azienda Quantum Machines di Tel Aviv.

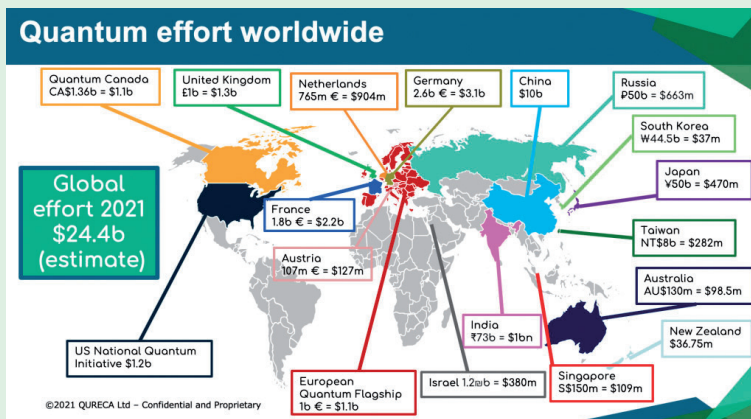


Fig. 1 – Investimenti globali in Quantum Computing (Fonte: Qureca Ltd) (<https://www.quireca.com/overview-on-quantum-initiatives-worldwide-update-mid-2021>)

ospiteranno i primi computer quantistici europei: saranno situati in Cechia, Germania, Spagna, Francia, Italia e Polonia.

⁸ J. Der Derian e A. Wendt, *Quantizing international relations: The case for quantum approaches to international theory and security practice*, First Published February 5 2020 (<https://doi.org/10.1177/0967010620901905>).

Anche l’Austria, che può vantare già collaborazioni importanti con la Cina in ambito quantum, ha prodotto una innovazione *breakthrough*: un team dell’Università di Innsbruck ha progettato un computer quantistico che va oltre l’informazione binaria – zero e uno – sbloccando risorse computazionali aggiuntive che sono state a lungo non disponibili in quasi tutti gli attuali dispositivi quantistici⁹.

2. Un sintetico quadro internazionale

Cina e Stati Uniti giocano il ruolo di leader a livello globale nel settore del supercalcolo, come dimostrano le più importanti e riconosciute classifiche internazionali, ad esempio quella rappresentata nella Tabella 1, dove si evidenziano i paesi con il maggior numero di supercomputer, oppure quella della Tabella 2, con l’elenco dei supercomputer più potenti al mondo¹⁰.

Nonostante il loro indubbio predominio, Cina e Stati Uniti non sono – tuttavia – gli unici protagonisti nella corsa al supercomputing.

In termini di numero di supercomputer (Tabella 1), al terzo posto troviamo infatti il Giappone, che peraltro può vantare Fugaku, ossia il secondo supercomputer attualmente più potente al mondo¹¹ (Tabella 2), realizzato da Fujitsu nei da-

⁹ <https://www.uibk.ac.at/de/newsroom/2022/quantum-austria-high-performance-computing-wird-ausgebaut/>.

¹⁰ Come anticipato, in genere, la potenza di elaborazione di un sistema HPC viene misurata in FLOPS (Floating point Operations Per Second).

¹¹ Il supercomputer Fugaku, basato su architettura ARM, pur essendo il secondo sistema più potente attualmente disponibile, è ancora distante dal raggiungere la dimensione exascale, ossia l’ordine di grandezza degli exaflops (1018 flops), cioè miliardi di miliardi di operazioni al secondo. A oggi questo risultato è stato raggiunto soltanto dal primo supercomputer

	Countries	Count	System Share (%)	Rmax (GFlops)	Rpeak (GFlops)	Cores
1	China	173	34.6	530,240,332	1,158,770,698	29,413,676
2	United States	128	25.6	2,085,045,140	3,150,397,946	27,715,304
3	Japan	33	6.6	626,505,930	817,352,794	11,984,068
4	Germany	31	6.2	200,537,160	306,053,664	3,896,660
5	France	22	4.4	168,660,070	242,483,550	3,874,520
6	Canada	14	2.8	47,804,800	80,390,249	1,076,384
7	United Kingdom	12	2.4	57,018,004	78,628,972	1,779,888
8	Russia	7	1.4	73,715,000	101,737,460	741,328
9	Italy	6	1.2	78,529,000	114,511,528	1,447,536
10	Netherlands	6	1.2	27,627,110	44,565,960	398,928
11	Brazil	6	1.2	24,113,500	39,212,939	460,736
12	Saudi Arabia	6	1.2	55,253,040	98,982,254	1,798,260
13	South Korea	6	1.2	83,677,000	118,233,580	1,460,292
14	Poland	5	1	14,321,830	22,271,790	234,960
15	Australia	5	1	17,196,950	27,300,835	408,768
16	Sweden	5	1	14,241,500	22,519,838	302,784
17	Switzerland	4	0.8	28,563,790	38,600,165	650,260
18	Finland	4	0.8	165,295,040	231,727,305	1,514,432
19	Singapore	3	0.6	8,570,830	14,425,080	222,208
20	India	3	0.6	10,953,340	12,082,026	244,488

Tab. 1 – Numero di supercomputer (e relative potenze) per Paese – aggiornamento giugno 2022 (Fonte: Top 500)

tacenter Riken di Kobe. Inoltre, nella Top 10, risultano presenti diversi paesi europei (Germania, Francia, Italia, Regno Unito) che, come vedremo nel paragrafo dedicato alle strategie dell'Unione Europea, indicano che si tratta di un mercato dell'ecosistema digitale in cui l'Unione Europea e i suoi Paesi

in classifica, Frontier, basato su architetture AMD. ARM e AMD sono due aziende all'avanguardia nel software per il calcolo ad alte prestazioni. L'architettura ARM (Advanced RISC Machine), in elettronica e informatica, indica una famiglia di microprocessori RISC a 32-bit e 64-bit sviluppata da ARM Holdings e utilizzata in una moltitudine di sistemi embedded. AMD (Advanced Micro Devices) è una multinazionale statunitense produttrice di semiconduttori tra i leader mondiali nella produzione di CPU per il mercato consumer, workstation e server e di chip grafici.

membri hanno sviluppato politiche in grado di rispondere alle pressioni competitive internazionali e alle necessità delle trasformazioni in atto, tra tutte le transizioni ecologica e digitale.

Nei paragrafi che seguono, verranno analizzate sinteticamente le strategie delle tre principali “aree geografiche” (Cina, Stati Uniti e Unione Europea) che, a livello internazionale, si contendono l’egemonia tecnologica e produttiva, come accade per molti altri comparti dell’ecosistema digitale¹².

2.1. Cina

Ad oggi, la Cina possiede il maggior numero di supercomputer al mondo nella classifica Top 500, anche se le sue macchine sono nel complesso meno performanti di quelle USA (vedi Tabella 1).

Negli ultimi anni, si sottolinea tuttavia una tendenza del Governo cinese a non confermare ufficialmente i progressi raggiunti nel supercalcolo, dovuta probabilmente in parte all’intenzione di evitare, secondo alcuni esperti¹³, possibili ulteriori sanzioni da parte degli Stati Uniti¹⁴, ma anche ad aspetti legati alla sicurezza nazionale. La sfida sui supercomputer coinvolge anche difesa e sicurezza nazionale: infatti, oltre a monitorare cambiamenti climatici e migliorare le prestazioni

¹² Per ulteriori approfondimenti si rimanda ai volumi Astrid su *Industria dei microchip. La strategia dell’Europa nella competizione internazionale* e *Industria dei cavi sottomarini. Tendenze di mercato e geopolitica*, a cura di Antonio Perrucci, Firenze, Passigli, 2022.

¹³ R. Waters, *US rushes to catch up with China in supercomputer race*, *Financial Times*, 18 maggio 2022.

¹⁴ Come è noto il Governo degli Stati Uniti ha inserito nella blacklist almeno 12 realtà cinesi associate al supercalcolo, tra cui il produttore Sugon con sede a Pechino e il National Supercomputing Centre di Wuxi, lo sviluppatore del supercomputer Sunway TaihuLight.

Rank	System	Cores	Rmax (PFlop/s)	Rpeak (PFlop/s)	Power (kW)
1	Frontier - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	8,730,112	1,102.00	1,685.65	21,100
2	Supercomputer Fugaku - Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu Interconnect D, Fujitsu RIKEN Center for Computational Science Japan	7,630,848	442.01	537.21	29,899
3	LUMI - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE EuroHPC/CSC Finland	1,110,144	151.90	214.35	2,942
4	Summit - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	2,414,592	148.60	200.79	10,096
5	Sierra - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM / NVIDIA / Mellanox DOE/NNSA/LLNL United States	1,572,480	94.64	125.71	7,438
6	Sunway TaihuLight - Sunway MPP, Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway, NRCPC National Supercomputing Center in Wuxi China	10,649,600	93.01	125.44	15,371
7	Perlmutter - HPE Cray EX235n, AMD EPYC 7763 64C 2.45GHz, NVIDIA A100 SXM4 40 GB, Slingshot-10, HPE DOE/SC/LBNL/NERSC United States	761,856	70.87	93.75	2,589
8	Selene - NVIDIA DGX A100, AMD EPYC 7742 64C 2.25GHz, NVIDIA A100, Mellanox HDR Infiniband, Nvidia NVIDIA Corporation United States	555,520	63.46	79.22	2,646
9	Tianhe-2A - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.2GHz, TH Express-2, Matrix-2000, NUDT National Super Computer Center in Guangzhou China	4,981,760	61.44	100.68	18,482
10	Adastr - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE Grand Equipement National de Calcul Intensif - Centre Informatique National de l'Enseignement Suprieur (GENCI-CINES) France	319,072	46.10	61.61	921

Tab. 2 – Top 10 dei supercomputer più potenti al mondo – aggiornamento giugno 2022 (Fonte: Top 500)

di molti settori produttivi, questi sistemi trovano importanti applicazioni in campo militare. Si tratta di un tema verso cui tutti i principali Stati mostrano grandissima attenzione, in particolare la Cina, e che pone quindi lo sviluppo di sistemi di supercalcolo sempre più evoluti come uno strumento in grado di superare sistemi di difesa basati sulla crittografia e quindi capaci di decifrare ogni azione dei governi con cui si è in competizione¹⁵.

L'obiettivo della Cina è di avere dieci sistemi di ultima generazione a elevate prestazioni di calcolo entro il 2025 ma, già ad oggi, risulterebbero almeno tre i sistemi exascale installati in Cina come emerso alla fine del 2021 da una ricerca scientifica condotta utilizzando questa tipologia di macchine di calcolo e iscritta al premio Gordon Bell¹⁶. Tra questi spiccherebbe in particolare l'ultima evoluzione del supercomputer Sunway¹⁷, un sistema di ultima generazione alla pari di Frontier, il supercomputer USA al momento primo nella classifica mondiale per potenza di calcolo (vedi Tabella 2). Si tratta di una macchina che, secondo un gruppo di scienziati cinesi del National Research Center of Parallel Computer Engineering and Technology (NRCPC), è in grado di riprodurre un modello di intelligenza artificiale sofisticato quasi quanto

¹⁵ L. Lamperti, *La Cina ha supercomputer sempre più potenti. Ma li tiene segreti*, 10 luglio 2022, (<https://www.wired.it/article/supercomputer-cina-potenza-stati-uniti/#:~:text=La%20Cina%20aveva%20gi%C3%A0%20il,sulle%20prestazioni%20delle%20nuove%20macchine>).

¹⁶ <https://www.acm.org/media-center/2021/november/gordon-bell-prize-2021>.

¹⁷ L'ultima evoluzione del supercomputer Sunway dovrebbe essere dotata di una velocità di un miliardo di miliardi di operazioni al secondo, ossia 5,3 exaflops e oltre 37 milioni di core di CPU (quattro volte più di Frontier).

il cervello umano, in cui sarebbero stati inseriti 174 trilioni di parametri, simile per l'appunto al numero di sinapsi nel cervello umano¹⁸.

Ciò confermerebbe il grande sviluppo interno della Cina nel campo dell'hardware, dopo che il primo tentativo di infrangere la barriera dell'exascale si era affidato alla tecnologia del produttore di chip statunitense AMD, rendendolo vulnerabile alle restrizioni commerciali imposte dal Governo USA. Al contrario, gli attuali due sistemi exascale si baserebbero su progetti di chip domestici, prodotti da due aziende cinesi, la Tianjin Phytium Information Technology e la Shanghai High Performance Integrated Circuit Design Center, entrambi nell'elenco delle sanzioni statunitensi (2020), anche se non c'è certezza in considerazione del fatto che, almeno ufficialmente, la Cina è ancora molto indietro nello sviluppo di *chip fab* avanzate¹⁹. In ogni caso, va evidenziato che per la fabbricazione di sistemi di calcolo exascale non è necessario l'impiego di microchip estremamente avanzati, ma secondo alcune fonti²⁰, sono sufficienti microchip da 14 nanometri; quindi, una tipologia che la Cina è già in grado di produrre con le competenze attualmente in suo possesso.

Nonostante il vantaggio della Cina nell'hardware, molti esperti tra cui David Kahaner, direttore dell'Asian Technology Information Program, indicano nel software il punto di forza

¹⁸ Z. Tong, *China supercomputer achieves global first with 'brain-scale' AI model*, 22 giugno 2022, <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3182498/china-supercomputer-achieves-global-first-brain-scale-ai-model>.

¹⁹ Ibidem.

²⁰ T. Prickett Morgan, *How China made an exascale supercomputer out of old 14 nanometer tech*, 22 marzo 2022, <https://www.nextplatform.com/2022/03/11/pondering-the-cpu-inside-chinas-sunway-oceanlight-supercomputer/>.

degli Stati Uniti. Infatti, la metà del costo di 3,2 miliardi di dollari dei tre computer exascale del Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti deriva da uno sforzo decennale per elaborare programmi da eseguire sulla nuova architettura informatica.

Infine, un accenno anche al tema delle tecnologie quantistiche, dove, seppur le principali innovazioni tecniche vengono ancora prodotte in istituzioni occidentali come l'IBM di Armonk, New York, l'Università della California (sostenuta da Google) e la Delft University of Technology nei Paesi Bassi (sostenuta dall'Unione Europea), è la Cina a mostrarsi molto avanti in termini di implementazione²¹.

Ad esempio, la Cina, sta assumendo una posizione di rilievo anche nel settore dei satelliti quantistici non violabili, ponendosi già da molti anni tra i leader nella ricerca e nello sviluppo in campo quantistico. Già a partire dal 2016, il Governo cinese ha avviato iniziative importanti presso le principali università nazionali con l'obiettivo di raggiungere rilevanti progressi nelle tecnologie quantistiche entro il 2030. Il risultato di tali iniziative si è concretizzato nell'investimenti di miliardi di dollari nel campo del calcolo e della comunicazione quantistica, anche grazie alla collaborazione con alcune delle principali Big Tech cinesi (Alibaba, Baidu e Quantum CTek).

Nello stesso anno, la Cina ha lanciato il primo satellite quantistico al mondo, che ha teletrasportato un fotone sulla

²¹ IBM ha aperto la strada nel 2016 con un computer a 5 qubit e poi con uno a 20 qubit nel 2017. La sua ultima "unità di elaborazione quantistica" (QPU), annunciata lo scorso novembre, ne ha 50, un qubit in più di quella di Intel. Entrambe sono state superate a marzo 2018 da Bristlecone di Google, con 72 qubit. Rigetti, una startup, ha recentemente dichiarato che sta costruendo un sistema a 128 qubit (anche se un numero maggiore non significa necessariamente migliore: alcuni qubit sono più soggetti a errori di altri e non esistono parametri di riferimento comunemente accettati per misurarne la qualità).

Terra nel 2017, nell'ambito del progetto Quantum Experiments at Space Scale (QUESS). Il satellite Micius ha completato con successo la distribuzione di chiavi quantistiche (QKD) dall'orbita alle stazioni a terra di Xinglong, in Cina, e Graz, in Austria²².

La chiamata Pechino-Vienna è stata effettuata tramite una connessione Internet convenzionale di tipo Skype con una chiave di crittografia sicura generata in un dispositivo quantistico montato in un satellite cinese. E, cosa fondamentale, la fisica quantistica che ha creato la chiave fa sì che qualsiasi tentativo di violazione del codice possa essere immediatamente individuato. «La crittografia quantistica è quanto di più vicino a cifrari infrangibili si possa ottenere», afferma Artur Ekert, professore dell'Università di Oxford e inventore del modello di entanglement quantistico²³ su cui i cinesi hanno basato il loro sistema²⁴.

²² <https://www.newsweek.com/china-using-quantum-physics-take-over-world-695026>; <https://www.scmp.com/news/china/economy/article/2140860/china-winning-race-us-develop-quantum-computers>.

²³ L'entanglement quantistico si manifesta quando due particelle sono intrinsecamente collegate e questa unione ha effetti sul sistema fisico: qualsiasi azione o misura sulla prima ha un effetto istantaneo anche sulla seconda (e viceversa) anche se si trova a distanza.

²⁴ La sicurezza della distribuzione quantistica delle chiavi (QKD) nel mondo reale dipende in modo critico dal numero di punti dati che il sistema può raccogliere in un intervallo di tempo finito. A oggi, le analisi di sicurezza a chiave finita più avanzate richiedono lunghezze di blocco dell'ordine di 10^4 bit per ottenere chiavi segrete positive. Questo requisito, tuttavia, può essere molto difficile da raggiungere nella pratica, soprattutto nel caso di QKD satellitari basati sull'entanglement, dove la perdita complessiva del canale può arrivare a 70 dB o più. Un'analisi migliorata della sicurezza a chiave finita riduce inoltre i requisiti di lunghezza dei blocchi del 14-17% per le impostazioni standard di canale e protocollo. In termini pratici, questa riduzione potrebbe far risparmiare settimane di tempo e risorse per la misurazione del QKD satellitare ba-

Inoltre, la Cina è impegnata nello sviluppo di una grande rete terrestre che utilizza la comunicazione quantistica per proteggere i messaggi, un primo passo verso comunicazioni quantistiche sicure a livello mondiale e, nel 2017, ha stabilito il primo collegamento di comunicazione quantistica terrestre a lunga distanza tra Pechino e Shanghai. Un sistema di comunicazione completamente “non violabile”, con sorveglianza o intercettazioni immediatamente rilevate a causa dell’effetto che la misurazione avrebbe sulle particelle quantistiche. Come ulteriore sviluppo la Cina ha destinato 10 miliardi di dollari alla costruzione del più grande laboratorio quantistico del mondo²⁵ e ha inserito la quantistica tra i pilastri del suo 14° Piano quinquennale²⁶.

2.2. Stati Uniti

La sfida tra Stati Uniti e Cina nell’ambito dello sviluppo dei supercomputer sempre più potenti ha raggiunto negli ultimi anni livelli elevatissimi. Gli Stati Uniti sono partiti da una posizione di vantaggio acquisita grazie ai significativi in-

sato sull’entanglement, avvicinando così la tecnologia QKD spaziale alla realtà. Come applicazione, viene utilizzata l’analisi migliorata per dimostrare che il satellite Micius QKD, recentemente presentato, è in grado di generare chiavi segrete positive con un livello di sicurezza di 10^{-5} .

<https://www.physics.ox.ac.uk/our-people/ekert/publications>.

²⁵ L’Università cinese di Scienza e Tecnologia di Hefei ha diversi siti di ricerca dedicati ai sistemi quantistici, tra cui un complesso di edifici e laboratori di recente costruzione fuori Shanghai dedicato esclusivamente alle comunicazioni quantistiche, che uno dei redattori di questo numero speciale ha visitato poco dopo una cerimonia di taglio del nastro con il presidente Xi e altri importanti funzionari aziendali e governativi.

²⁶ http://english.www.gov.cn/news/videos/202010/22/content_WS5f90e700c6d0f7257693e3fe.html.

vestimenti nell'informatica e nel supercalcolo operati negli ultimi anni sia dal Governo degli Stati Uniti sia dai giganti tecnologici americani come Microsoft, IBM, Intel e Google. A partire dal 2000, il panorama internazionale ha iniziato a cambiare sempre più rapidamente, con la Cina che ha guadagnato posizioni a livello internazionale grazie ai suoi ingenti investimenti nell'industria del supercalcolo. Il quadro è reso ancora più complesso, come abbiamo evidenziato nel paragrafo dedicato alla Cina, anche dalla scarsità di notizie ufficiali rese pubbliche dal Governo cinese.

Ad oggi gli USA sono proprietari del supercomputer più potente al mondo: si tratta di Frontier²⁷, supercomputer che si trova presso l'Oak Ridge National Laboratory negli Stati Uniti e che è in grado di raggiungere la velocità di calcolo di 1,1 exaflops²⁸.

All'interno del Governo Federale degli Stati Uniti, è il Dipartimento dell'Energia (DOE) a guidare le iniziative che mirano a spingere sempre più oltre il confine delle possibilità offerte dai supercomputer e dal calcolo a elevate prestazioni, cercando di sviluppare, presso i DOE National Laboratories, hardware e software in grado di realizzare macchine sempre più veloci e potenti. Oltre al già citato Frontier, il DOE possiede anche altri 3 supercomputer nelle prime 10 posizioni (Tabella 2): in quarta posizione il Summit, sempre all'ORNL, al quinto posto il Sierra, ospitato al Lawrence Livermore National Laboratory e infine al settimo posto il Perlmutter, ospitato al Lawrence Berkeley National Laboratory.

²⁷ <https://www.olcf.ornl.gov/frontier/>.

²⁸ Presto dovrebbe essere affiancato dal supercomputer Aurora da 2 exaflops, presso l'Argonne National Laboratory del Dipartimento dell'Energia il cui lancio ufficiale è stato più volte rimandato, e a inizio 2023 dal sistema El Capitan da 2+ exaflops, presso il Lawrence Livermore National Laboratory e utilizzato dalla National Nuclear Security Administration.

La leadership americana sembra affermarsi in particolare nei settori chiave della ricerca dedicata al supercalcolo, tra cui la matematica applicata e l'informatica, la litografia avanzata e la scienza dei materiali su nanoscala, aree in cui i programmi di ricerca del DOE Office of Science eccellono a livello internazionale.

La forte sinergia tra lo sviluppo hardware, da un lato, e lo sviluppo di software e applicazioni, dall'altro, è stata un punto di forza dell'approccio statunitense e ha trasformato, nel corso degli anni, l'HPC in uno strumento sempre più evoluto e in grado di accompagnare lo sviluppo scientifico e industriale.

Per supportare i ricercatori nella transizione verso l'era dell'exascale computing, il programma Advanced Scientific Computing Research²⁹ all'interno del DOE Office of Science ha collaborato con il programma Advanced Simulation and Computing³⁰ all'interno della National Nuclear Security Administration per ideare e implementare l'Exascale Computing Project (ECP). Quest'ultimo progetto si pone l'obiettivo di agevolare il lavoro di 1.000 ricercatori in tutta la nazione, concentrandosi sull'integrazione di ricerca e sviluppo di applicazioni, hardware e software necessari per utilizzare efficacemente un sistema a esascale.

Nonostante ciò, il duello con la Cina è diventato negli ultimi anni estremamente sfidante, costringendo gli Stati Uniti a un impegno importante per cercare di rimanere competitivi nel settore.

Un duello che si estende anche al calcolo quantistico. L'esperimento satellitare cinese, infatti, ha generato una risposta americana all'*early move* della Cina mediante l'adozione, nel

²⁹ <https://www.energy.gov/science/ascr/advanced-scientific-computing-research>.

³⁰ <https://www.sandia.gov/asc/>.

2018, di un disegno di legge da parte della Camera dei Rappresentanti degli Stati Uniti che ha approvato all'unanimità il National Quantum Initiative Act (NQIA)³¹. L'NQIA, con un finanziamento di circa 1,275 miliardi di dollari per i primi 5 anni, incarica il Presidente di attuare un “Programma di iniziativa nazionale sui quanti” per accelerare la ricerca e lo sviluppo della scienza dell'informatica quantistica e delle sue applicazioni tecnologiche. Il disegno di legge prevede i seguenti stanziamenti per le varie organizzazioni rientranti nel perimetro del National Quantum Coordination Office: (1) 400 milioni di dollari per le attività e i workshop del National Institute of Standards and Technology (NIST); (2) 250 milioni di dollari per i Centri multidisciplinari per la ricerca e l'istruzione quantistica della National Science Foundation (NSF); (3) 625 milioni di dollari per i Centri di ricerca del Dipartimento dell'Energia (DoE) e per i Centri nazionali di ricerca sulla scienza dell'informazione quantistica (Cfr. H.R. 6227, 115° Cong. – 2018)³². Un'azione confermata anche nel budget annuale del 2022³³.

La sfida Stati Uniti-Cina prosegue anche nell'ambito della capacità brevettuale: la Cina possiede più di 3000 brevetti³⁴ relativi alla tecnologia quantistica, circa il doppio degli Stati

³¹ <https://www.hpcwire.com/2018/09/17/house-passes-1-275b-national-quantum-initiative/>; <https://www.forbes.com/sites/astanley/2018/06/26/is-the-u-s-getting-its-act-together-on-quantum-computing/?sh=74301188704f>.

³² <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/6227/text>.

³³ <https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2021/01/NQI-Annual-Report-FY2021.pdf>.

³⁴ D. Garisto, “*China Is Pulling Ahead in Global Quantum Race, New Studies Suggest*”, Scientific American, 15 luglio 2021, disponibile su: www.scientificamerican.com.

Uniti, ma è indietro in termini di brevetti specifici per l'informatica quantistica, secondo un rapporto Valuenex del 2021.

È importante in questo quadro generale richiamare anche una (tradizionale) differenza tra i due sistemi di innovazione di Stati Uniti e Cina, riflesso peraltro dei diversi sistemi politici: da una parte, la ricerca cinese è quasi interamente concentrata in poche università statali e in aziende con stretti legami governativi, dall'altra parte, negli Stati Uniti, la ricerca risulta disseminata tra un numero elevato di società private e università.

Rispetto a questo contesto, sinteticamente delineato, si registra la decisione³⁵ della amministrazione Biden di inserire in una "blacklist" sette sviluppatori di supercomputer cinesi, ai quali non potranno più essere venduti materiali (come i microchip) per la realizzazione di supercalcolatori. La motivazione alla base della scelta è che le sette compagnie stanno collaborando con le forze armate cinesi per un ammodernamento dell'esercito, incluso l'utilizzo di supercomputer, con conseguenze destabilizzanti per gli equilibri internazionali. Per il Segretario americano al Commercio³⁶, le capacità di supercomputing sono vitali per lo sviluppo di quasi tutte le armi moderne e dei sistemi di sicurezza nazionale, come le armi nucleari o quelle ipersoniche. Come già avvenuto durante la presidenza Trump, anche il Presidente Biden sta proseguendo nella scelta di attuare politiche restrittive per l'export verso la Cina di prodotti strategicamente rilevanti.

In altri termini, come già visto per i cavi sottomarini e per i microchip, ossia in occasione dei due precedenti seminari sui mercati digitali, anche nel caso dell'HPC le motivazioni di carattere economico e tecnologico si accompagnano a conside-

³⁵ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2021/04/commerce-adds-seven-chinese-supercomputing-entities-entity-list-their>.

³⁶ <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2021/04/commerce-adds-seven-chinese-supercomputing-entities-entity-list-their>.

razioni di natura militare e di difesa nazionale: la geopolitica diventa così una dimensione di primario rilievo.

2.3. Il ruolo e le iniziative dell'Europa

Anche l'Europa ha un ruolo significativo che, peraltro, intende rafforzare: l'Unione Europea, in particolare, è decisa a recuperare terreno, come indica la roadmap prevista dal prossimo quadro finanziario pluriennale (2021-2027)³⁷.

Come è ampiamente noto, la Commissione Europea ha stabilito che almeno il 20% delle risorse che ciascuno Stato riceverà dal Recovery Fund dovrà essere finalizzato alla transizione digitale, incluso quindi lo sviluppo dei supercomputer.

Più in particolare, la Commissione Europea, nell'ambito dei programmi Horizon Europe³⁸, Europa Digitale³⁹ e Connecting Europe Facility⁴⁰, ha stanziato 3,5 miliardi di euro per l'impresa comune "EuroHPC". A questi si aggiungono altri 3,5 miliardi investiti dagli Stati membri e dai paesi associati e 1 miliardo di euro provenienti dai membri del settore privato dell'impresa comune EuroHPC. I progetti finanziati si estenderanno fino al 2033, con Francia (2,2 miliardi di dollari), Germania (3,1 miliardi di dollari) e Paesi Bassi (904 milioni di dollari) che stanno cercando di affermarsi come centri di competenza globale nel campo della quantistica⁴¹.

L'impresa comune per il calcolo ad alte prestazioni europeo (impresa comune EuroHPC), istituita nel 2018, ha l'obiettivo

³⁷ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/activities/funding-digital>.

³⁸ <https://horizoneurope.apre.it/>.

³⁹ https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes/digital-europe-programme_it.

⁴⁰ <https://ec.europa.eu/inea/en/connecting-europe-facility>.

⁴¹ <https://www.quareca.com/overview-on-quantum-initiatives-worldwide-update-mid-2021>.

di elaborare, implementare, ampliare e mantenere nell'UE un ecosistema di livello mondiale, federato, sicuro e iperconnesso, di infrastrutture di dati, servizi, calcolo quantistico e supercalcolo.

Un ulteriore passo avanti è avvenuto con l'approvazione da parte del Consiglio (13 luglio 2021) del Regolamento⁴² che consente la prosecuzione delle attività dell'attuale impresa comune EuroHPC, raccogliendo le risorse provenienti dall'UE, dai 27 Stati membri, da sei altri paesi (Figura 2) e da tre rappresentanti dei partner privati: l'European Technology Platform for High Performance Computing (ETP4HPC)⁴³, la Big Data Value Association (BDVA)⁴⁴ e la European Quantum Industry Consortium (QuIC)⁴⁵.



Fig. 2 – Paesi membri partecipanti a EuroHPC (Fonte: Unione Europea)

⁴² Regolamento del Consiglio relativo all'istituzione dell'impresa comune per il calcolo ad alte prestazioni europeo e che abroga il regolamento (UE) 2018/1488; <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-9273-2021-INIT/it/pdf>.

⁴³ <https://www.etp4hpc.eu/>.

⁴⁴ <https://www.bdva.eu/>.

⁴⁵ <https://www.euroquic.org/>.

In particolare, il Regolamento rafforza le capacità di ricerca e innovazione, lo sviluppo di un ecosistema di infrastrutture di supercalcolo e incentiva l'acquisizione di supercomputer di livello mondiale, mediante un'impresa comune. Questa scelta consente di estendere l'uso dell'infrastruttura di supercalcolo a un gran numero di utenti pubblici e privati. Inoltre, viene sostenuta la duplice transizione verde e digitale nonché promosso lo sviluppo di competenze chiave per la scienza e l'industria europee.

Nella Figura 3 e nella Tabella 3 sono riportate le informazioni “geografiche” e tecniche degli otto computer previsti nell'ambito del progetto dell'impresa comune europea.

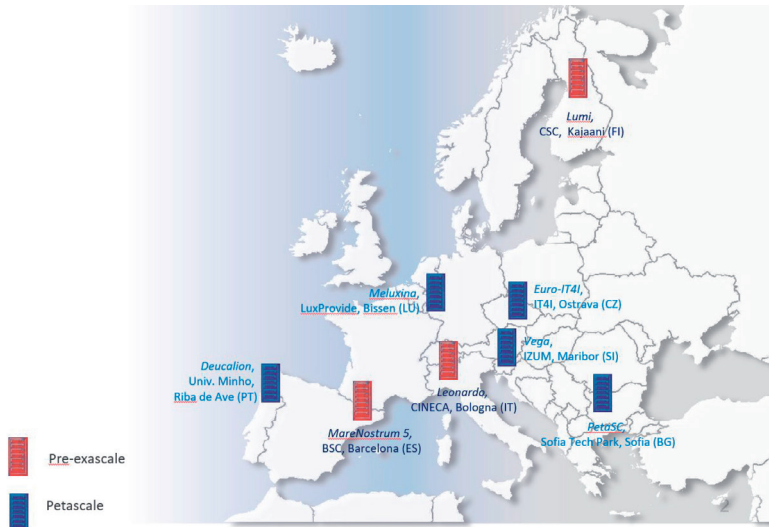


Fig. 3 – Gli otto supercomputer europei (Fonte: Unione Europea)

Inoltre, altri progetti europei importanti sono rappresentati dalle iniziative EPI (European Processor Initiative)⁴⁶, PRACE

⁴⁶ <https://www.european-processor-initiative.eu/>.

(Partnership for Advanced Computing in Europe)⁴⁷ e SHAPE (SME HPC Adoption Programme in Europe).

EPI è un progetto portato avanti da un consorzio di società e università europee, attuato nell'ambito del programma Horizon 2020 della Commissione Europea. L'obiettivo dell'iniziativa è implementare una roadmap per la progettazione di una nuova famiglia di processori europei a basso consumo che offrono alte prestazioni su tradizionali applicazioni HPC e applicazioni emergenti basate ad esempio sul *machine learning* e che possono dare un forte impulso nell'ambito dello sviluppo dei supercomputer, dell'analisi dei big data, e dell'innovazione dell'*automotive*.

PRACE è un'associazione internazionale senza scopo di lucro di diritto belga con sede a Bruxelles, nata nel 2004, e avviata con finanziamento del Programma Seventh Framework della Commissione Europea (FP7) nel 2008. Si tratta di una iniziativa sviluppata per realizzare un'infrastruttura di ricerca HPC paneuropea in grado di creare le condizioni per scoperte scientifiche di alto impatto e modelli di ricerca e sviluppo ingegneristico in tutte le discipline, per migliorare la capacità competitiva dell'industria europea. PRACE ha anche un forte interesse nel migliorare l'efficienza energetica dei sistemi informatici e nel ridurre il loro impatto ambientale.

Infine, SHAPE è un'iniziativa paneuropea supportata dal progetto PRACE il cui programma mira a sensibilizzare e fornire alle PMI europee le competenze necessarie per sfruttare le possibilità di innovazione create dall'High Performance Computing, aumentando così la loro competitività. Il programma consente alle PMI di beneficiare delle competenze e delle conoscenze sviluppate all'interno dell'infrastruttura di ricerca PRACE.

⁴⁷ <https://prace-ri.eu/>.

System type	System name	Hosting site	Site location	Country
Pre-exascale	LUMI	CSC	Kajaani	Finland
	LEONARDO	CINECA	Bologna	Italy
	MareNostrum 5	BSC	Barcelona	Spain
Petascale	Deucalion	MACC	Guimaraes	Portugal
	Discoverer	Sofiatech/PSB	Sofia	Bulgaria
	Karolina	IT4Innovations	Ostrava	Czech Republic
	MeluXina	LuxProvide	Bissen	Luxembourg
	Vega	IZUM	Maribor	Slovenia

Tab. 3 – Alcune informazioni sugli 8 supercomputer europei (Fonte: Unione Europea)

Con riferimento alla Tabella 3, si può osservare che nel giro di pochi anni, stando a quanto riportato da Top 500⁴⁸, la Top 10 dei supercomputer più potenti ha visto il passaggio da un duopolio quasi assoluto di Cina e Stati Uniti (nel 2018, occupavano 8 delle prime 10 posizioni) a una distribuzione più eterogenea (nel 2020, Cina e Stati Uniti occupavano comunque 6 delle prime 10 posizioni), nella quale iniziano ad apparire eccellenze europee come quelle italiane (CINECA, ENI), francesi (Grand Equipement National de Calcul Intensif – Centre Informatique National de l'Enseignement Suprieur) e tedesche (Forschungszentrum Juelich).

La strategia dell'Europa di diventare un polo d'avanguardia per i supercomputer, con la realizzazione degli otto⁴⁹ supercomputer EuroHPC, rappresenta pertanto un passo assolutamente determinante nell'ambito della partita al potere computazionale in corso a livello internazionale.

Inoltre, l'EuroHPC ha annunciato⁵⁰ il 4 ottobre 2022 la sele-

⁴⁸ <https://www.top500.org/>.

⁴⁹ La lista degli 8 supercomputer è la seguente: Discoverer (Bulgaria), Ostrava (Repubblica Ceca), Kajaani (Finlandia), Bissen (Lussemburgo), Minho (Portogallo), Maribor (Slovenia), Barcellona (Spagna), Leonardo (Italia).

⁵⁰ https://eurohpc-ju.europa.eu/selection-six-sites-host-first-european-quantum-computers-2022-10-04_en.

zione di 6 siti che ospiteranno, entro la seconda metà del 2023, i primi computer quantistici europei realizzati nell'ambito del quadro degli obiettivi per il decennio digitale, che prevede di disporre del primo computer con accelerazione quantistica entro il 2025 ed essere competitivi a livello internazionale, in termini di capacità quantistiche, entro il 2030. I computer quantistici saranno situati in Repubblica Ceca, Germania, Spagna, Francia, Italia e Polonia e verranno integrati in loco nei supercomputer esistenti, realizzando così un'ampia rete che si estenderà su tutta l'Europa. L'investimento totale previsto ammonta a oltre 100 milioni di euro, una metà dei quali proviene dall'UE e l'altra metà dai 17 paesi che partecipano all'EuroHPC. I nuovi computer quantistici sosterranno un'ampia gamma di applicazioni di rilevanza industriale, scientifica e sociale per l'Europa: lo sviluppo molto più rapido ed efficiente di nuove medicine; la risoluzione di complessi problemi di logistica e di programmazione per aiutare le imprese a risparmiare tempo e carburante; lo sviluppo e la possibilità di testare, in un ambiente virtuale, nuovi materiali come polimeri per aerei, convertitori catalitici per automobili, celle solari o superconduttori a temperatura ambiente in grado di immagazzinare energia a tempo indeterminato. L'annuncio odierno si inserisce in un impegno di più ampio respiro dell'UE che prevede l'acquisto, in futuro, di ulteriori computer quantistici e l'integrazione dei computer e dei simulatori quantistici europei come acceleratori nell'infrastruttura di supercalcolo. Per sviluppare ulteriormente il calcolo quantistico e più specificamente il software quantistico, la Commissione prevede di istituire centri di eccellenza per la scienza e l'industria incentrati su casi di utilizzo sia accademico sia industriale di computer e simulatori quantistici. Questi centri, rivolti a tutti gli appartenenti al settore dell'industria e al mondo accademico, come pure alla più ampia comunità di utenti della tecnologia quantistica, saranno un punto di riferimento per le applicazioni quantistiche accademiche e industria-

li e forniranno alle organizzazioni europee servizi e sostegno con modalità simili a quelle impiegate attualmente per i centri di eccellenza per il calcolo ad alte prestazioni.

3. Un accenno alla situazione dell'Italia

Come si è appena richiamato, il nostro Paese è ben rappresentato nelle classifiche internazionali: ad esempio, è presente con sei sistemi nel ranking Top 500.

Tra questi, l'HPC5, supercomputer di ENI, sviluppato da Dell EMC (in provincia di Pavia), attualmente il quarto supercomputer più potente in Europa⁵¹ (dodicesimo al mondo), preceduto soltanto dal tedesco Juwels (44,12 petaflops), dal francese Adastra (46,1 petaflops) e dalla new entry Lumi (151,9 petaflops), installato in Finlandia e facente parte del gruppo di 8 nuovi supercomputer europei (EuroHPC). Al quinto posto in Europa (ventunesimo al mondo), troviamo un'altra eccellenza italiana, il supercomputer Marconi-100⁵² che si trova nel centro ricerche CINECA di Casalecchio di Reno.

Anche Leonardo S.p.A. possiede una divisione HPC nella sede di Genova, dove è collocato un supercalcolatore, il da-vinci-1, presente nella classifica Top 500 (150° al mondo)⁵³.

Sembra quindi di poter affermare che il nostro Paese riveste un ruolo importante nell'ambito dell'HPC, non solo grazie a realtà accademiche e di ricerca di livello internazionale⁵⁴,

⁵¹ ENI dispone inoltre di altri 3 sistemi Top 500: HPC4 (33), HPC2 (128) e HPC3 (182).

⁵² Equipaggiato con CPU IBM Power9 e GPU Nvidia V100, è capace di raggiungere i 21,6 petaflop.

⁵³ I dati fanno riferimento alla classifica Top 500 aggiornata a novembre 2021.

⁵⁴ Oltre al CINECA, svolgono un ruolo importante il Centro Naziona-

ma anche in virtù degli importanti investimenti del settore industriale. Per l'industria italiana, infatti, il supercalcolo e l'HPC rappresentano un settore strategico per aumentare la produttività e la competitività a livello internazionale.

Oltre a ENI e Leonardo S.p.A., altre importanti realtà di impresa investono significative risorse nel settore. Tra gli esempi, si citano: i) Dallara, azienda leader nell'industria automobilistica grazie alla capacità di progettare e realizzare componenti estremamente performanti; ii) Dompé farmaceutici, che si avvale del supercalcolo per preselezionare virtualmente i farmaci più adeguati a ridurre la replicabilità dei virus, sviluppando terapie farmacologiche efficaci basate su nuovi composti attivi; iii) il centro di calcolo dell'European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), con sede a Bologna, che tramite l'HPC fornisce calcoli estremamente accurati sulle previsioni meteo per l'intero territorio Europeo; iv) le diverse applicazioni nel campo del cloud computing.

Inoltre, l'Italia riveste un ruolo importante nell'ambito di EuroHPC JU (European High Performance Computing Joint Undertaking), di cui si è detto in precedenza. Oltre a essere tra i paesi fondatori, l'Italia – come ricordato – ospita uno dei supercomputer “pre exascale” (precursore della tecnologia “exascale”), che si è avvalso di un finanziamento di 240 milioni di euro (sostanzialmente ripartiti tra Commissione Europea e Governo italiano).

Il nuovo supercomputer, il cui nome è Leonardo (circa 250 petaflops), è stato collocato (luglio 2022) presso il Tecnopolo

le Universitario di Calcolo Elettronico (CNUCE), l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) e il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Costituiscono tutte insieme un “ecosistema di ricerca” che ha sviluppato e consolidato competenze dedicate allo studio di architetture degli elaboratori, da un lato, e al calcolo scientifico, dall'altro lato.

di Bologna (Casalecchio di Reno)⁵⁵. La gestione è affidata al CINECA, un consorzio interuniversitario senza scopo di lucro formato da 112 enti pubblici, tra cui figurano il Ministero dell'Università e della Ricerca, il Ministero dell'Istruzione, 70 atenei e 40 istituzioni pubbliche nazionali.

Tra le applicazioni pratiche, Leonardo contribuirà alla riduzione e alla gestione dei rischi dovuti a situazioni estreme (terremoti, tsunami, eventi vulcanici, ma anche pandemie ed epidemie). Inoltre, questo supercomputer consente approcci di medicina personalizzata e predittiva, più affidabili previsioni meteo, ricerche e prospezioni minerarie sempre più accurate, con applicazioni anche nel campo della cybersecurity e dell'intelligenza artificiale.

Infine, a testimoniare la pervasività del tema, si segnala come – nell'ambito del progetto di cooperazione bilaterale rafforzata tra Francia e Italia – vi sia anche un protocollo di intesa su High Performance Computing, firmato il 4 gennaio 2022. Il progetto coinvolge i maggiori centri di supercalcolo di Italia e Francia, ossia CINECA, per l'Italia, e GENCI⁵⁶ e CEA⁵⁷, per la Francia. L'accordo di collaborazione, in ogni

⁵⁵ L'Italia, in quanto paese ospitante e maggior finanziatore, avrà diritto a utilizzare la metà della potenza di calcolo generata dalla macchina, che sarà messa a disposizione degli istituti di ricerca, delle università, e anche di aziende nazionali; la parte restante, invece, verrà utilizzata dai Paesi partecipanti alla Joint Undertaking di EuroHPC.

⁵⁶ GENCI (Grand équipement national pour le calcul intensif) è una struttura nata come operatore di ricerca che punta a rendere più diffuso l'uso della simulazione digitale con il calcolo ad alte prestazioni legato all'intelligenza artificiale.

⁵⁷ CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) opera nel campo della ricerca, dello sviluppo e dell'innovazione in particolare in quattro aree chiave: difesa e sicurezza, transizione energetica, trasformazione digitale e ricerca tecnologica per la medicina di domani.

caso, si inserisce nel quadro dell'ecosistema europeo del supercalcolo.

Un ulteriore tema di riflessione è rappresentato dalle misure di politica industriale che il Governo italiano metterà in campo, a cominciare dal PNRR, attraverso la destinazione di risorse dedicate alla crescita del settore. A questo riguardo, uno sforzo significativo è stato già previsto nell'ambito dell'attività di ricerca e innovazione, con l'avvio di importanti progetti alcuni dei quali sono stati descritti nelle pagine che seguono. Un esempio è il progetto presentato dalla Regione Emilia-Romagna insieme all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) e altri partner di istituire il National Centre for HPC, Big Data and *Quantum Computing* con i fondi previsti nell'ambito della Missione 4 del PNRR (Istruzione e Ricerca), Componente 2 (Dalla ricerca alla impresa), Investimento 1.4 (Potenziamento strutture di ricerca e creazione di “campioni nazionali di R&S” su alcune Key Enabling Technologies). Il Centro di Ricerca in High Performance Computing, Big Data e *Quantum Computing* ha visto l'effettivo avvio dei lavori in data 19 luglio 2022, con l'insediamento degli organi direttivi della Fondazione ICSC, chiamata a gestire uno dei centri nazionali previsti dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)⁵⁸.

Il Centro, entrato in piena operatività l'1 settembre 2022, è sito anch'esso nel Tecnopolo di Bologna, e ospita, come già accennato in precedenza, oltre al nuovo supercomputer Leonardo, anche l'European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Una scelta volta a generare un ecosistema che vede la messa in rete e a sistema delle conoscenze,

⁵⁸ <https://www.cnr.it/it/news/11269/pnrr-nasce-il-centro-nazionale-di-supercalcolo>; <https://www.regione.emilia-romagna.it/notizie/attualita/datavalley-a-bo-il-centro-nazionale-supercalcolo>.

competenze e risorse di realtà che operano in tutta Italia, per costruire un'infrastruttura distribuita e trasversale che supporti la ricerca scientifica e il mondo produttivo nell'innovazione e digitalizzazione del Paese, con un impegno a rendere disponibile per gli utenti l'infrastruttura cloud potenziata, già nel 2024.