

QUANTUM NEXUS
Città della Scienza | Napoli
09-04-2025

QUANTUM NEXUS

A journey into quantum science and technology

concept di

EUD-ORA

A.P.S. EUDORA E.T.S.
Via Coroglio n. 104 e 57 c/o Fondazione IDIS - Città della Scienza 80124 Napoli

QUANTUM NEXUS
Città della Scienza| Napoli
09-04-2025

concept di A.P.S. Eudora E.T.S.

Progetto grafico a cura di
Francesca Albanese
Giorgia Dublino

Accrescere ciò che vive

Non porto peso,
porto linfa.
Non costruisco torri,
ma riconosco semi.
Non ho bisogno di essere visto,
ma di vedere...
ciò che pulsa,
ciò che chiede di rinascere.
Città della Scienza
è un respiro antico
che chiede nuove mani,
nuovi occhi,
una visione che sappia ascoltare.
Io sono solo questo:
un passaggio di cura,
una voce che accende senza rumore,
una presenza che contempla
e nutre ciò che è pronto a fiorire.
Dove gli altri vedono cenere,
io riconosco brace.
Dove il tempo consuma,
io lascio spazio al ritorno.

un omaggio a Vittorio Silvestrini



Comitato Scientifico

Presidenza:
Riccardo Villari
Fondazione IDIS Città della Scienza
Paolo Silvestrini
Associazione Eudora, Università della Campania "Luigi Vanvitelli"

Curatela Scientifica:
Antigone Marino
Istituto Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti CNR-ISASI
Simona Mosca
Istituto Nazionale di Ottica CNR-INO
Associazione Eudora
Maria Parisi
Istituto Nazionale di Ottica CNR-INO
Associazione Eudora

Componenti del Comitato Scientifico:
Carmela Bonavolontà
Istituto Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti CNR-ISASI
Associazione Eudora

Carla Giusti
Fondazione IDIS - Città della Scienza
Associazione Eudora

Direzione Generale Mostra e Convegni:
Berardo Ruggiero
Istituto Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti CNR-ISASI,
Associazione Eudora

Concept di Quantum Nexus:
Paolo Silvestrini
Associazione Eudora, Università della Campania "Luigi Vanvitelli"
Berardo Ruggiero
Istituto Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti CNR-ISASI,
Associazione Eudora

Exhibition Design e Visual Design:
Carla Giusti
Fondazione IDIS - Città della Scienza
Associazione Eudora
Carla Langella
Diarc-Università degli Studi di Napoli Federico II
Angela Caianiello
Giovanna Nichilò
Diarc-Università degli Studi di Napoli Federico II
Antonio Ardolino, Elio Barisani, Marcelo Esposito,
Maria Cristina Ricci, Stefano Avvenente
Diarc-Università degli Studi di Napoli Federico II

Curatela Artistica:
Silvia Marzoli
Critica d'Arte
Massimo Sgroi
Direttore Artistico Museo Arte Contemporanea di Caserta

Comitato Scientifico Workshop Imprese:
Marco D'Aquino
Distek srl
Mikhail Lisitskiy
Istituto Superconduttori, materiali innovativi e dispositivi CNR-SPIN

Contributi scientifici:
Carmine Attanasio, Carmela Bonavolontà, Francesco Saverio Cataliotti, Giulia del Pace, Mikkel Ejames, Christian Esposito, Martina Esposito, Chiara Fort, Sareh Golkar, Carmine Granata, Mikhail Lisitskiy, Antigone Marino, Nadia Martucciello, Vito Mocella, Simona Mosca, Sergio Pagano, Vito Pagliarulo, Pierluigi Paolucci, Maria Parisi, Giampiero Pepe, Giacomo Roati, Berardo Ruggiero, Marco Salluzzo, Paolo Silvestrini, Francesco Tafuri, Diana Tartaglia, Massimo Valentino, Antonio Vettoliere, Verónica Vicuña Hernández.

Partners istituzionali:
Regione Campania, Fondazione IDIS - Città della Scienza, Associazione Eudora, Istituto Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti ISASI - CNR, Istituto Superconduttori, materiali innovativi e dispositivi SPIN - CNR, Istituto Nazionale di Ottica INO - CNR, Università di Napoli Federico II, Università di Salerno, Università della Campania "Luigi Vanvitelli", Istituto Nazionale Fisica Nucleare, Unesco QIY Quantum International Year 2025 - Quantum Science and Technology, Fondazione Leonardo, Centro Nazionale PNR High Performance Computing HPC, Partenariato Esteso PNR National Quantum Science and Technology Institute NQSTI, Università degli Studi di Palermo.

Partners di Impresa e Enti Patrocinanti:
Amazon AWS, Distek srl, QuantWare BV, QuantumValley srl, SpinQ Technology Inc., Leonardo S.p.A., Fondazione Bruno Kessler F.B.K., SeeQc EU srl, Classiq Technology LTD, Leiden Cryogenics, Photon Technology Inc Italy, IonQ Inc., Oxhy srl, TVP Solar-Tresol srl, Aesthelab-Lacouvette srl, CREO, Italian Quantum Weeks, Quantum Treks, Unione Industriali Napoli

Coordinamento produzione audiovisivi:
Giorgia Dublino Associazione EUDORA, Vittorio Dublino Associazione EUDORA e Marco Tartaglia Associazione EUDORA

Comunicazione e Ufficio Stampa:
Fondazione IDIS- Città della Scienza (Uffici Istituzionali) - EUDORA ATS (Francesco Sangiovanni) - Distek srl (Marco D'Aquino)

Sulla soglia del compimento

Non abbiamo voluto raccontare una verità compiuta.
 Abbiamo scelto di restare sulla soglia.
 Lì dove il senso vibra ancora incerto,
 dove l'opera non è definita, ma viva.
 Dove il tempo non è una linea, ma un campo quantico di possibilità.
 Quantum Nexus nasce così:
 non come una risposta, ma come una domanda aperta.
 Un luogo in cui le tecnologie del futuro incontrano
 le visioni del passato profondo,
 e l'intelligenza artificiale dialoga con l'oracolo antico.
 Non ci presentiamo come professori che affermano,
 ma come ricercatori che ascoltano,
 come coloro che da anni esplorano
 i confini tra fisica teorica, sperimentazione e visione artistica,
 e oggi sentono il bisogno di lasciare spazio
 alla parte invisibile dell'esperienza.
 Nel Quantum Nexus abbiamo portato anche ciò che non è ancora del tutto compreso.
 Non solo il sapere, ma l'interrogazione viva.
 L'intuizione, il dubbio, il gesto.
 La forma che si rivela togliendo,
 il silenzio che custodisce la struttura profonda del reale.
 Se in questo spazio qualcosa vi chiama,
 non cercate subito di capire.
 Ascoltate.
 Forse è il tempo di imparare a guardare
 con occhi nuovi,
 prima che tutto sia detto.

Berardo Ruggiero
 Paolo Silvestrini



SCIENZE E TECNOLOGIE QUANTISTICHE ALL' ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE INFN

Le proprietà di sovrapposizione, entanglement e interferenza, tipiche dei processi di meccanica quantistica, sono alla base dei computer quantistici, rendendoli potenzialmente più veloci di un sistema classico. Un computer quantistico "perfetto" con N qubit può in linea di principio essere capace di descrivere 2^N stati contemporaneamente. Con l'aumentare di N , la potenza di calcolo teorica aumenta esponenzialmente.

Il coinvolgimento di grandi aziende come Google, IBM, Intel e Microsoft, nonché di numerosi spin-off da centri di ricerca e università in tutto il mondo, sta producendo una rapida accelerazione verso enormi progressi tecnologici, con sistemi dotati di un centinaio di qubit o più, accessibili via modalità cloud.

L'Europa ha deciso di scommettere sulle Quantum Technologies come motore per lo sviluppo europeo, attraverso un progetto multimilionario e pluriennale flagship: l'INFN può e vuole far parte del filone di ricerca e sviluppo sulle tecnologie quantistiche.

Anche se non è realistico immaginare che l'INFN costruisca un computer quantistico nei suoi laboratori, le sue comunità intendono sfruttare le competenze tecnologiche esistenti per realizzare prototipi e contribuire alle attività di ricerca e sviluppo in questo campo. L'INFN intende inoltre partecipare alla ricerca su come utilizzare al meglio l'hardware che sarà disponibile, sia tramite emulatori sia su sistemi reali. La comunità dei fisici è la più adatta per studiare e implementare algoritmi utilizzando questa nuova tecnologia; gli interessi vanno dalla fisica delle basse, medie e alte energie, agli algoritmi per la minimizzazione generica e il quantum machine learning, e ai simulatori quantistici (sistemi quantistici in grado di riprodurre il comportamento di altri sistemi quantistici).

L'INFN è l'unico partner non statunitense del progetto SQMS (Superconducting Quantum Materials and Systems Center), con sede al Fermilab, finanziato dal DOE (Department of Energy) con 115 milioni di dollari. L'Ente contribuisce al progetto grazie al suo know-how competitivo a livello mondiale in fisica teorica, nelle tecnologie superconduttive e criogeniche e nello sviluppo di rivelatori.

L'INFN ha stipulato un accordo con il CERN per l'utilizzo della piattaforma di macchine quantistiche IBM, terminato nel maggio 2024, che ha garantito l'accesso all'hardware più recente fornendo capacità di calcolo ad alta priorità a una decina di gruppi teorici e sperimentali.

L'INFN è partner della rete europea QuantERA e partecipa alle call in cui vengono svolti test per gli sviluppi delle tecnologie e degli algoritmi, per un totale di sette progetti finanziati. L'obiettivo è di partire da semplici applicazioni, per lo più su emulatori quantistici e poi passare ad applicazioni più complesse, al fine di essere pronti a trarre profitto dalla "supremazia quantistica" in caso di scoperte tecnologiche nei prossimi anni. L'INFN consolida ulteriormente il proprio ruolo in quest'ambito, tramite la partecipazione al partenariato esteso QST e alle attività su quantum computing del Centro Nazionale ICSC, che fra l'altro acquisirà un acceleratore quantistico per "Leonardo", coordinando il gruppo di lavoro sul software.

a cura di:

Dott. Pierluigi Paolucci, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



Singoli fotoni per la comunicazione sicura e la radiometria quantistica sono ottenuti anche sfruttando l'emissione spontanea di singole molecole organiche in matrici solide. Abbiamo raggiunto livelli di efficienza record integrando molecole in strutture fotoniche, come chip in nitrato di silicio e/o polimerici, e antenne planari. Emettitori quantistici integrati sono anche impiegati come sensori su scala nanometrica per campi elettrici a distanza. I materiali organici, che in passato hanno avuto un enorme impatto nell'optoelettronica, stanno diventando fondamentali anche per le tecnologie quantistiche. Anche i centri di colore nel diamante hanno un grande potenziale per lo sviluppo di tecnologie di informazione e simulazione quantistica. Infatti possono essere utilizzati come efficienti emettitori di singoli fotoni e nello stesso tempo rappresentano una piattaforma ottimale per studiare effetti termodinamici su scala nanometrica, essenziali per l'ottimizzazione di motori microscopici termici e la simulazione quantistica dei processi chimici e biologici. Inoltre sfruttando dinamiche non lineari a cascata realizziamo particolari stati quantistici, indispensabili per misure di precisione al di là del limite fondamentale imposto dalla meccanica quantistica, con applicazioni anche nel campo della rivelazione di onde gravitazionali. Con le attività nel campo dell'optomeccanica quantistica riusciamo a portare oggetti mesoscopici come micro-oscillatori in regime quantistico. Tali micro-oscillatori sono usati anche per trasdurre le informazioni trasportate da fotoni con momento angolare orbitale in un sistema meccanico, con applicazioni ai network di comunicazione quantistica. Infine, studi teorici si concentrano anche sull'identificazione dell'entanglement multipartitico utilizzando l'informazione di Fisher in sistemi a variabili discrete, continue e ibride.

a cura di:

Prof. Francesco Saverio Cataliotti, Istituto Nazionale di Ottica del CNR

Quantum Nexus : Journey into Quantum Science and Technology

Sala Newton Città della Scienza

Napoli, 9 Aprile 2025

Tecnologie Quantistiche e Quantum Valley - Saluti Istituzionali

9.20 -9.50	Riccardo Villari	<i>Presidente Fondazione IDIS-Città della Scienza</i>
	Vincenzo Loia	<i>Rettore Università degli Studi di Salerno</i>
	Matteo Lorito	<i>Rettore Università degli Studi di Napoli Federico II</i>
	Vincenzo De Luca	<i>Presidente Regione Campania</i>

Ricadute delle Tecnologie Quantistiche nella Società

Chairman: **Alfredo De Santis** *Università degli Studi di Salerno*

9.50-10.00 **Simone Severini** *Divisione Amazon Web Services - AWS*
La Fisica Quantistica: la natura profonda della realtà

10.00-10.10 **Antonio Castaldo** *Fondazione Leonardo*
La Fisica Quantistica raccontata alle nuove generazioni

Scienze e Tecnologie Quantistiche nel Tessuto della Ricerca

Chairman: **Giovanni Piero Pepe** *Università degli Studi di Napoli Federico II*

10.10 -10.20 **Valeria Fascione** *Assessore alla Ricerca, Innovazione e Startup della Regione Campania*
Scienze e Tecnologie Quantistiche in Regione Campania

10.20 -10.30 **Antigone Marino** *Istituto Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti ISASI -CNR e NQSTI*
L' Istituto Nazionale di Scienze e Tecnologie Quantistiche (NQSTI)

Dalla Fisica Moderna alle Tecnologie Quantistiche

Chairman: **Paolo Silvestrini** *Università della Campania "Luigi Vanvitelli" e Associazione EUDORA*

10.30 -10.40 **Carmine Granata** *Istituto Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti ISASI -CNR*
Introduzione alle Tecnologie Quantistiche

10.40 -10.50 **Maria Parisi** *Istituto Nazionale di Ottica INO-CNR*
Luce quantistica per rilevare le onde gravitazionali.

10.50 -11.05 **Giovanni Piero Pepe** *Università degli Studi di Napoli Federico II*
Il Computer Quantistico dell'Università degli Studi di Napoli Federico II

11.05 -11.20 **Alfredo De Santis** *Università degli Studi di Salerno*
Impatto, potenzialità ed applicazioni di un sistema per il calcolo quantistico a servizio della comunità regionale

Mostra Quantum Nexus: A Journey into Quantum Science and Technology

Chairmen: **Berardo Ruggiero** *Istituto Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti ISASI -CNR e Associazione EUDORA*
Antonio Marchiello *Assessore Attività Produttive della Regione Campania*

11.20-11.40 **Carla Giusti** *Fondazione IDIS-Città della Scienza*
Tecniche Espositive e Mostra Quantum Nexus
Massimo Sgroi *Museo Arte Contemporanea Caserta*
Arte e Quantum Nexus
Simona Mosca *Istituto Nazionale di Ottica INO- CNR*
Introduzione alla Mostra Quantum Nexus

11.40 **Inaugurazione Mostra**

QUANTUM NEXUS VIAGGIO NEL MONDO DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA QUANTISTICA

In occasione dell'Anno 2025, Anno UNESCO della Tecnologie Quantistiche, **Fondazione IDIS - Città della Scienza e l'Associazione Eudora**, in collaborazione con i principali Enti di Ricerca campani che includono 5 Dipartimenti in 3 Università, 3 Istituti di ricerca del CNR e l'INFN presentano Quantum Nexus: Viaggio nel Mondo della Scienza e della Tecnologia Quantistica ovvero **una mostra interattiva, un'esposizione d'arte e scienza e una giornata di incontri scientifici con dimostrazioni tecnologiche dal vivo dedicati all'orizzonte della seconda rivoluzione quantistica.**

Il Significato di Quantum Nexus

La fisica quantistica, un tempo confinata alla speculazione teorica e ai laboratori, è oggi il cuore di una rivoluzione che coinvolge la società nel suo complesso. **Quantum Nexus** è il punto di incontro – il “nido” – tra scienza, tecnologia, arte e futuro. È un viaggio immersivo tra le più recenti scoperte e le applicazioni emergenti, pensato per rendere accessibili al grande pubblico i concetti più affascinanti e misteriosi della meccanica quantistica: **entanglement, sovrapposizione, non-località, computazione quantistica.**

Attraverso exhibit interattivi, dimostrazioni dal vivo e installazioni multimediali, i visitatori potranno esplorare una realtà che sfida la logica comune, in un'esperienza educativa, divulgativa e sensoriale.

Le imprese nel cuore della Rivoluzione

Uno degli elementi distintivi di **Quantum Nexus** è il coinvolgimento attivo delle imprese più avanzate nel settore delle tecnologie quantistiche. Abbiamo chiesto ai nostri partner industriali non solo di sponsorizzare l'evento, ma di dividerne la visione e di presentare il loro lavoro di ricerca volto a portare la seconda rivoluzione quantistica nella società e nella vita di tutti i giorni.

Non si tratta di presentare prodotti, ma di **mostrare ricerche e prototipi** che stanno trasformando il mondo della computazione, della comunicazione e della sensoristica. Un'occasione unica per il pubblico – in particolare per gli studenti – di **provare con mano simulatori, algoritmi e dispositivi reali**, in dialogo

diretto con i protagonisti della rivoluzione quantistica.

L'Arte Quantistica: un nuovo linguaggio

Nel solco della visione di Vittorio Silvestrini, fondatore di Città della Scienza, la mostra si apre anche a un dialogo tra **scienza e arte**, tra concetti astratti e rappresentazione visiva. Gli artisti coinvolti hanno tradotto i principi della fisica quantistica in immagini potenti, evocative e poetiche, creando un **nuovo immaginario visivo** che accompagna e amplifica il contenuto scientifico.

Uno sguardo al Futuro

Il futuro della scienza si gioca sull'informazione: **informazione quantistica, intelligenza artificiale, tecnologie ibride** in grado di simulare, prevedere e imparare in modi oggi inimmaginabili.

Il nostro viaggio è solo all'inizio. Come l'elettricità o Internet nei secoli passati, la fisica quantistica è destinata a **trasformare il nostro modo di vivere, pensare e comunicare.**

Le aree tematiche della mostra

Sviluppata in quattro aree tematiche, la mostra offre un'esperienza educativa per tutti, dai curiosi ai professionisti, e promuove una comprensione profonda delle tecnologie quantistiche che stanno plasmando il nostro futuro. Un viaggio che non solo spiega la fisica quantistica, ma invita anche a riflettere sul futuro delle tecnologie che cambieranno il nostro mondo. Con una combinazione di storia, teoria, innovazione e impatto sociale, la mostra offre un'esperienza completa per esplorare come la fisica quantistica stia plasmando il nostro presente e il nostro futuro.

Storia

Questa sezione traccia l'evoluzione della fisica quantistica, dalle prime intuizioni di Max Planck e Albert Einstein fino alle teorie più avanzate di oggi. I visitatori potranno scoprire i momenti cruciali che hanno portato alla formulazione della meccanica quantistica, esplorando gli esperimenti che hanno cambiato il corso della scienza, come l'effetto fotoelettrico e l'esperimento della doppia fenditura.



LE SCIENZE E TECNOLOGIE QUANTISTICHE ALL'ISTITUTO NAZIONALE DI OTTICA DEL CNR (INO-CNR)

L'Istituto Nazionale di Ottica (CNR-INO) è stato pioniere nel campo delle Scienze e Tecnologie Quantistiche (STQ), ed è attualmente uno dei protagonisti nel panorama internazionale di quella che chiamiamo “seconda rivoluzione quantistica”, grazie ai suoi importanti contributi nella ricerca pura e applicata, nel trasferimento tecnologico e nella formazione.

Le aree di ricerca all'interno dell'istituto che riguardano le STQ sono molto ampie e possono essere raggruppate in due filoni principali:

Materia fredda e simulazione quantistica

Il CNR-INO è leader internazionale nello studio di gas atomici quantistici degeneri, atomi freddi di Rydberg e molecole fredde stabili. Questi sistemi sono simulatori analogici quantistici ideali per affrontare problemi a molti corpi irrisolvibili usando anche i più potenti computer, problemi rilevanti per la materia condensata, la chimica quantistica e la fisica delle alte energie. L'attività teorica e sperimentale si focalizza su gas degeneri bosonici e fermionici, prodotti e manipolati con alta risoluzione spaziale in potenziali ottici a doppia buca, in reticoli, e persino in bassa dimensionalità. Con bosoni degeneri studiamo effetti coerenti, eccitazioni topologiche, la dinamica Josephson, il macroscopic quantum selftrapping, e schemi interferometrici quantistici. E' possibile caratterizzare nuovi stati della materia, come le “droplet” o il supersolido, una fase quantistica nella quale la superfluidità coesiste con la struttura periodica tipica di un solido. Con i gas fermionici ultrafreddi investighiamo fenomeni di trasporto quantistico come l'effetto Josephson, la simulazione della dinamica in sistemi bidimensionali, fasi superfluide in miscele e correnti chirali. Con gli atomi di Rydberg freddi studiamo transizioni di fasi di percolazione diretta in sistemi a molti corpi ed in presenza di dissipazione e driving esterno. Realizziamo molecole ultrafredde stabili con tecniche di buffer gas cooling e decelerazione Stark, sia per test spettroscopici di fisica fondamentale (variazioni spaziotemporali di costanti fondamentali, ricerca della quinta forza, ecc.) sia in vista di strategie secondarie di raffreddamento e intrappolamento.

Ottica quantistica, informazione e metrologia

I ricercatori del CNR INO hanno sviluppato piattaforme che sfruttano effetti quantistici a livello di singola particella per tecnologie di informazione e sensoristica. Uno degli approcci consiste nell'ingegnerizzazione di stati quantistici della luce attraverso l'interazione di impulsi laser ultracorti con cristalli non lineari. Stati non classici arbitrari della luce sono ottenuti con la realizzazione sperimentale di processi quantistici di base, come l'aggiunta e la sottrazione di singoli fotoni. Sequenze e sovrapposizioni di tali operazioni consentono la produzione di entanglement e l'implementazione di tecnologie puramente quantistiche, come l'amplificazione ad alta fedeltà senza introduzione di rumore. Tali capacità sono anche al cuore dei sistemi di distribuzione di chiavi quantistiche (QKD), sviluppate sulle reti metropolitane in fibra ottica.



agli errori quantistici e richiedono metodi di correzione degli errori per superare le limitazioni attuali. Insieme alla tecnologia dei qubit a giunzione Josephson Al-AlO_x, sono in corso di studio diversi altri approcci promettenti, tra cui i qubit a orbita di spin al silicio o semiconduttori, qubit a spin basati sulle vacanze di azoto nel diamante, giunzioni Josephson basate su altri materiali e concetti (come le JJ basate su FM), e/o i qubit topologici intrinsecamente tolleranti agli errori. Sebbene di recente siano stati raggiunti tempi di coerenza molto lunghi utilizzando qubit basati sugli spin (compresi i qubit al silicio purificati), la ricerca in questo campo soffre ancora della scalabilità verso il funzionamento multiqubit (accoppiamento di singoli qubit) e di maggiori difficoltà nella lettura.

In particolare, l'attività di ricerca è incentrata su sviluppo di dispositivi quantistici basati su superconduttori non convenzionali, superconduttori topologici e ibridi SC/FM per nuovi qubit topologici, Qubit superconduttori e reti quantistiche SC e Spin-orbit qubit basati su sistemi 2D non convenzionali.

a cura di :

Dott. Fabio Miletto Granozio, Istituto Superconduttori, materiali innovativi e dispositivi del CNR

QUANTUM NEXUS VIAGGIO NEL MONDO DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA QUANTISTICA

Una linea temporale interattiva e ricca di aneddoti offre uno sguardo sulla crescita di una teoria che ha rivoluzionato il nostro modo di comprendere la natura.

Fondamenti

In questa area, i concetti fondamentali della fisica quantistica sono presentati in modo accessibile e coinvolgente.

I visitatori avranno l'opportunità di esplorare fenomeni come il principio di sovrapposizione, l'entanglement, il dualismo onda-particella e la natura probabilistica delle particelle subatomiche. Attraverso esperimenti dal vivo e simulazioni interattive, il pubblico potrà "osservare" e "manipolare" particelle quantistiche, vivendo in prima persona l'affascinante incertezza che definisce il mondo quantistico.

Piattaforme

La terza sezione si concentra sulle tecnologie quantistiche emergenti, esplorando le piattaforme fisiche su cui si costruiscono le innovazioni quantistiche. I visitatori verranno introdotti ai diversi approcci tecnologici, come i computer quantistici

basati su qubit, le comunicazioni quantistiche e la crittografia quantistica. Verranno mostrati i progressi nell'utilizzo di fotoni, atomi e circuiti superconduttori per sviluppare dispositivi che un giorno potrebbero risolvere problemi impossibili per i computer classici. Attraverso esperimenti interattivi, i partecipanti potranno comprendere come i principi della fisica quantistica vengano applicati nella creazione di tecnologie all'avanguardia.

Società

Infine, la mostra esplora l'impatto delle tecnologie quantistiche sulla società. In un mondo sempre più interconnesso, le innovazioni quantistiche promettono di rivoluzionare numerosi settori: dalla crittografia quantistica che garantisce comunicazioni sicure, all'intelligenza artificiale quantistica che potrebbe accelerare la ricerca scientifica, fino ai sensori quantistici per il monitoraggio ambientale e medico. I visitatori avranno l'opportunità di riflettere sulle sfide etiche e sociali che accompagnano queste tecnologie, esplorando le loro implicazioni per la privacy, la sicurezza e la nostra vita quotidiana.



QUANTUM NEXUS UN VIAGGIO EPOCALE NEL FUTURO QUANTISTICO

“Quantum Nexus” è un’iniziativa molto significativa nel percorso di **Città della Scienza** verso la divulgazione delle frontiere più avanzate del sapere scientifico e tecnologico. **Fondazione Idis** si affianca così al progetto della **Regione** che intende realizzare una **Quantum Valley in Campania** con l’obiettivo di promuovere un ecosistema regionale, una rete tra Università, Istituzioni di Ricerca, imprese e pubbliche amministrazioni, con uno stanziamento di 100 milioni di euro, attraverso il programma **PR Campania FESR 2021-2027**. Un traguardo ambizioso finalizzato, tra l’altro, a stimolare importanti sinergie e innovazione tecnologica.

Città della Scienza si propone di connettere gli stakeholders del progetto e di raggiungere un pubblico più vasto con un linguaggio chiaro e coinvolgente, offrendo un’esperienza educativa immersiva e interattiva, capace di svelare i principi della fisica quantistica e le sue importanti applicazioni. **L’evento del 9 aprile 2025, Quantum Nexus**, si articola in vari momenti e si candida ad essere un portale verso il futuro, un invito a comprendere e a toccare con mano le tecnologie quantistiche che stanno plasmando la prossima rivoluzione industriale e sociale.

Città della Scienza con il museo scientifico interattivo **Corporea**, il **Planetario** di ultima generazione e tutte le sue attività, promuove la cultura scientifica e tecnologica attraverso mostre, laboratori, eventi e attività educative rivolte a un pubblico di tutte le età (scuole, università, famiglie...ecc.) con una affluenza annuale di circa **200.000 visitatori**. Il Polo napoletano, da sempre impegnato nella missione di rendere la scienza accessibile a tutti - in particolare, alle nuove generazioni - si pone ancora una volta come ponte di un dialogo fondamentale tra scienza, industria e società.

Quantum Nexus è quindi una tappa di un percorso in cui **Città della Scienza** si è riconosciuta, credendo fortemente, sin dall’inizio, nel potenziale delle tecnologie quantistiche, ospitando numerose iniziative e tavole rotonde che hanno esplorato le connessioni tra arte e scienza, la filosofia del vuoto quantistico e le implicazioni di questa “seconda rivoluzione quantistica”. Queste esperienze ci hanno confermato la necessità e l’urgenza di portare la conoscenza delle tecnologie quantistiche al centro del dibattito pubblico, rendendola comprensibile e appassionante per tutti.

La giornata del 9 aprile si articola in momenti distinti ma complementari. La mattinata sarà dedicata alla presentazione istituzionale dell’evento, un’occasione per sottolineare l’importanza strategica delle tecnologie quantistiche per il futuro del nostro territorio e del Paese.

Seguirà l’inaugurazione della mostra “**Quantum Nexus**”, un percorso espositivo che guiderà i visitatori attraverso la storia, i fondamenti teorici, le piattaforme tecnologiche emergenti e l’impatto sociale delle tecnologie quantistiche, offrendo un’esperienza didattica e al tempo stesso emozionante.

Il pomeriggio sarà animato da un workshop di alto profilo, che vedrà la partecipazione delle principali aziende del settore a livello nazionale e internazionale. Un’opportunità unica per



il ruolo delle correlazioni elettroniche, il grado di libertà spin-orbita e gli effetti di prossimità superconduttiva, rappresenta un obiettivo primario di questo settore. Parallelamente, si ricerca l’implementazione di metodi e concetti innovativi rispetto a quelli convenzionali, tra cui lo studio di fenomeni di non-equilibrio (anche in presenza di sorgenti dipendenti dal tempo) e l’analisi degli aspetti termodinamici nei dispositivi quantistici. Studi sulle tecnologie quantistiche a scala nanometrica mirano a comprendere i fenomeni di non-equilibrio e gli aspetti termodinamici dei dispositivi quantistici. L’impatto della meccanica quantistica sulle proprietà termodinamiche è particolarmente rilevante per lo sviluppo di nuovi dispositivi termoelettrici con alte prestazioni e per la ricerca di applicazioni di informazione quantistica a basso consumo energetico.

Fotonica ottica a microonde per scienza e tecnologia quantistica (Coordinatore Mikhail Ejrnaes)

La scienza dell’interazione luce-materia è il fulcro della questa attività di ricerca e si concentra su come l’applicazione di materiali e dispositivi innovativi possa far progredire le scienze e le tecnologie quantistiche.

La comprensione di un’interazione luce/materia controllata porterà a un’ondata di nuove funzionalità e tecnologie basate su componenti quantistici che, da un lato, utilizzano dispositivi allo stato solido per controllare la natura quantistica della luce e, dall’altro, utilizzano la luce per controllare la natura quantistica dei dispositivi allo stato solido.

La nostra attività di ricerca è multidisciplinare in quanto combina la fisica della materia condensata e la scienza dei materiali con l’ottica quantistica a microonde e la fisica dei laser. In questo senso, contribuisce a spingere i confini di ciò che può essere previsto nei campi e nelle tecnologie emergenti che si basano su nuovi materiali e sull’ottica quantistica a microonde, nonché su dispositivi con nuove funzionalità.

In particolare, l’attività di ricerca è incentrata su due ambiti:

Rivelazione quantistica: Realizzazione di microstrutture ultrasottili di superconduttori per la rilevazione di singoli fotoni. Studio dei meccanismi di rilevamento dei fotoni. Rivelatori superconduttori a singolo fotone e THz per varie applicazioni che comprendono l’informazione e la comunicazione quantistica, il telerilevamento atmosferico e il LIDAR, la metrologia, l’imaging ultrasensibile e la spettroscopia di deboli sorgenti di emissione in medicina e biologia.

Fotonica a microonde: la fotonica quantistica a microonde riguarda l’utilizzando di circuiti superconduttori e amplificatori parametrici a onde che si propagano (TWPA). Tali amplificatori sono utilizzati per amplificare i segnali a microonde deboli limitati dal rumore quantistico, per la lettura di qubit a stato solido e per gli esperimenti di ottica quantistica nel regime delle microonde. Vengono anche studiati risonatori ad alto fattore di qualità Q per la lettura e il rilevamento dei qubit, nonché dispositivi parametrici superconduttori per l’amplificazione limitata al rumore quantistico dei segnali a microonde deboli.

Nuove idee per dispositivi superconduttori basati su Spin per la scienza dell’informazione quantistica e la rilevazione (Coordinatore Mikhail Lisitskiy)

Lo sviluppo dei dispositivi quantistici sta progredendo rapidamente, ma c’è ancora bisogno di progressi significativi nella ricerca fondamentale e applicata per ottenere sistemi quantistici con un reale vantaggio quantistico. I qubit superconduttori stanno incontrando problemi legati



SCIENZE E TECNOLOGIE QUANTISTICHE ALL'ISTITUTO SUPERCONDUTTORI, MATERIALI INNOVATIVI E DISPOSITIVI DEL CNR (CNR-SPIN)

Le scienze e tecnologie quantistiche sono oggetto di una vasta ricerca interdisciplinare in tutto il mondo, coinvolgendo il mondo accademico, le PMI e le grandi industrie. Tuttavia, ci sono ancora diverse sfide da affrontare, come la realizzazione di bit quantistici resistenti agli errori per l'informatica quantistica, lo sviluppo di una piattaforma per la distribuzione di chiavi quantistiche nelle telecomunicazioni e l'implementazione di sensori e sistemi di imaging quantistici. SPIN-CNR ha contribuito attivamente a questa ricerca attraverso progetti nazionali e internazionali.

Questi progressi aprono nuove prospettive nella fisica quantistica e dei materiali, nell'informatica quantistica, nella fotonica quantistica e nella metrologia quantistica, sfruttando un approccio interdisciplinare che unisce le competenze nei campi di:

- Scienza e tecnologia dei materiali (fabbricazione di cristalli singoli ed eterostrutture complesse)
- Studio dei fenomeni di trasporto quantistico, effetto Josephson, a basse temperature
- Tecnologie di nano-fabbricazione e nano caratterizzazione
- Fabbricazione e caratterizzazione di Qubit
- Rivelatori a singolo fotone
- Amplificatori parametrici ad onde viaggianti (TWPA) e Tecnologia a microonde
- Teoria del trasporto quantistico in sistemi mesoscopici /nanoscopici
- Modellizzazione teorica e simulazione numerica di fenomeni di coerenza quantistica

Le attività di ricerca nel settore di Ricerca delle Scienze e Tecnologie Quantistiche (Responsabile **Marco Salluzzo**) possono essere suddivise in tre aree:

Nuovi materiali e metodi per la scienza e la tecnologia quantistica (Coordinatore Matteo Carrega)

Lo sviluppo delle tecnologie quantistiche richiede la ricerca su nuovi materiali e la progettazione di dispositivi che sfruttino i fenomeni quantistici a diverse scale. Questo richiede una collaborazione tra ricercatori teorici e sperimentali per modellare, fabbricare e caratterizzare materiali innovativi come le eterostrutture 2D, interfacce di ossido e materiali a forte spin-orbita, dispositivi ibridi semiconduttore/superconduttore, superconduttori ad alta temperatura e materiali topologici. L'istituto ha competenze nelle tecniche di fabbricazione di sistemi complessi, nel trasporto magnetico a bassa temperatura, nella spettroscopia elettronica avanzata e negli studi teorici sulla materia condensata. La ricerca si concentra sullo studio del trasporto quantistico in dispositivi nanometrici a bassa dimensionalità e in superconduttori non convenzionali, al fine di comprendere i nuovi stati della materia e le proprietà dei superconduttori. Questo lavoro contribuisce alla scoperta di nuove conoscenze fondamentali e potenziali applicazioni future. Una comprensione approfondita degli aspetti fondamentali, quali



approfondire le applicazioni concrete delle tecnologie quantistiche di seconda generazione, dialogare con esperti del settore e comprendere le strategie industriali che stanno guidando questa rivoluzione. **Ma il vero cuore pulsante di questa giornata sarà la possibilità, per la prima volta a Città della Scienza, di avvicinarsi e interagire con un computer quantistico.** Gli studenti avranno l'eccezionale opportunità di vedere da vicino e comprendere il funzionamento di questa macchina rivoluzionaria, aprendo una finestra sul futuro dell'informatica e sulle infinite potenzialità che le tecnologie quantistiche ci offrono.

"Quantum Nexus" nasce grazie all'impegno e al prezioso contributo dell'**Associazione Eudora**, che ringrazio, partner strategico la cui visione e collaborazione sono state determinanti per la realizzazione di questa importante iniziativa.

Con **"Quantum Nexus"**, **Città della Scienza** si conferma ancora una volta un motore di innovazione e un ponte tra il mondo della ricerca e la società, un luogo dove la scienza si fa racconto, esperienza e ispirazione per i giovani. Vi invitiamo a intraprendere insieme questo viaggio straordinario, a esplorare le frontiere del mondo quantistico e a riflettere sul futuro che queste tecnologie stanno contribuendo a plasmare. Scopriremo che la fisica quantistica non è un sapere elitario, ma la chiave per interpretare e costruire il nostro domani.

a cura di:

Prof. Riccardo Villari Presidente Fondazione IDIS-Città della Scienza



LA MISSIONE DELL'ASSOCIAZIONE EUDORA NELLA PROMOZIONE DELLE SCIENZE E TECNOLOGIE QUANTISTICHE

L'Associazione Eudora si dedica a promuovere la comprensione pubblica delle conoscenze avanzate in fisica quantistica, con particolare attenzione alle scoperte e alle applicazioni della Seconda Rivoluzione Quantistica. La nostra missione è rendere queste idee complesse accessibili e coinvolgenti per un vasto pubblico, favorendo un dialogo integrato tra scienza, filosofia, arte e società. Eudora immagina un mondo in cui il potenziale trasformativo della fisica quantistica sia non solo compreso ma anche abbracciato come catalizzatore per l'innovazione, la sostenibilità e il benessere umano. Collegando la scienza alla società, Eudora mira a incoraggiare individui e comunità a esplorare le possibilità offerte dalla scienza quantistica, costruendo un futuro radicato nella conoscenza, nella collaborazione e nell'armonia.

Obiettivi dell'Associazione Eudora

Promuovere la conoscenza e l'interesse per la Fisica Quantistica

Eudora mira a stimolare la curiosità e ad approfondire la comprensione della fisica quantistica attraverso una varietà di attività educative. Queste includono formati tradizionali come workshop, seminari, programmi di formazione e pubblicazioni, affiancati da approcci interattivi e digitali progettati per coinvolgere un pubblico sempre più diversificato e globale.

Sensibilizzare sull'impatto delle Tecnologie Quantistiche e sulla Sostenibilità

Un obiettivo centrale di Eudora è evidenziare l'importanza delle tecnologie quantistiche sostenibili e il loro potenziale per guidare soluzioni innovative volte a ridurre l'impatto ambientale. Promuovendo un approccio scientifico che rispetti e valorizzi le risorse naturali, Eudora intende contribuire a uno sviluppo sostenibile per le generazioni future.

Sostenere la ricerca per applicazioni in Salute e Benessere

Eudora supporta la ricerca scientifica volta ad ampliare le applicazioni delle tecnologie quantistiche nei settori della salute e del benessere psico-fisico. Attraverso l'innovazione in questi ambiti, l'Associazione si impegna a esplorare il potenziale trasformativo della scienza quantistica per migliorare la qualità della vita.

Colmare il divario tra Scienza e Società

Oltre all'educazione e alla ricerca, Eudora si propone come piattaforma per un dialogo interdisciplinare, riunendo scienziati, filosofi, artisti e pensatori per esplorare le implicazioni più profonde della fisica quantistica. Questa collaborazione cerca di ispirare nuove prospettive su come le scoperte quantistiche influenzino non solo il panorama tecnologico, ma anche le dimensioni culturali ed etiche dell'esperienza umana.

Ampliare l'accesso attraverso iniziative culturali e artistiche

Riconoscendo il potere dello storytelling e della creatività, Eudora integra iniziative artistiche e culturali nella sua missione per rendere la fisica quantistica più comprensibile e stimolante. Attraverso collaborazioni con artisti e istituzioni culturali, l'Associazione utilizza l'arte come



disturbi del movimento, Disturbi dello spettro autistico (ASD), Sclerosi multipla e sclerosi laterale amiotrofica (SLA), Demenza frontotemporale e altre patologie neurodegenerative, dove la MEG fornisce informazioni essenziali per la ricerca e il trattamento personalizzato.

Uno dei grandi vantaggi della MEG è la sua **totale non invasività**: si tratta di un metodo di imaging **puramente passivo**, che non richiede **mezzi di contrasto, radiazioni ionizzanti o l'applicazione di campi elettrici o magnetici esterni**. Grazie alla sua altissima sensibilità e alla capacità di misurare l'attività cerebrale con precisione al millisecondo, questa tecnologia apre nuove frontiere per la **diagnosi precoce** e lo **studio dei meccanismi alla base delle malattie neurologiche**.

Education and Outreach

Lo **Spoke 9 del partenariato esteso National Quantum Science and Technology Institute (NQSTI)** si pone due obiettivi principali: lo sviluppo di un'istruzione e di una formazione orientate alle tecnologie quantistiche; e creare una consapevolezza sempre maggiore della quantistica e delle tecnologie ad essa associate nella comunità civile.

L'Istituto di Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti (CNR-ISASI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) svolge un ruolo significativo all'interno dello Spoke 9 (**Coordinatrice Antigone Marino**), contribuendo con la sua vasta esperienza e risorse alla realizzazione degli obiettivi prefissati.

I **"Quantum Treks"** sono percorsi tematici ideati per avvicinare studenti, appassionati di scienza e cittadini curiosi al mondo della meccanica quantistica e delle sue applicazioni tecnologiche moderne. Questi itinerari offrono vari livelli di approfondimento e includono laboratori interattivi, giochi da tavolo, eventi e mostre. **Le attività sono state organizzate con la collaborazione di diverse istituzioni, tra cui l'Istituto Nazionale di Ottica (CNR-INO), l'Istituto Superconduttori, Materiali Innovativi e Dispositivi (CNR-SPIN), il Dipartimento di Fisica e il Centro Musei delle Scienze Naturali e Fisiche dell'Università degli Studi di Napoli Federico II.**

"Missione Fisica" è un realizzato in collaborazione con gli istituti CNR-INO e CNR-SPIN, volto ad avvicinare gli studenti delle scuole superiori campane al mondo della ricerca scientifica. Attraverso Percorsi per le Competenze Trasversali e l'Orientamento (PCTO) in fisica moderna, l'iniziativa offre ai giovani partecipanti una comprensione diretta del lavoro dei ricercatori e dell'importanza del CNR nella comunità scientifica nazionale e internazionale. Giunta alla sua terza edizione nell'anno scolastico 2024-2025, "Missione Fisica" si concentra sulla Fisica Quantistica, con un programma che mette in luce il ruolo cruciale delle tecnologie quantistiche nell'affrontare le sfide contemporanee, esplorando come queste possano essere applicate nei settori dell'energia, delle comunicazioni e dell'informatica, contribuendo così a costruire un futuro più sostenibile.

In occasione della **Giornata Internazionale delle Donne e Ragazze nella Scienza**, proclamata dall'UNESCO, CNR-ISASI ha organizzato un evento speciale l'11 febbraio 2025 presso l'Area di Ricerca del CNR di Napoli. L'iniziativa, dedicata alle scuole, ha avuto l'obiettivo di promuovere la parità di genere nelle discipline STEM (Scienza, Tecnologia, Ingegneria e Matematica). Durante la giornata, sono state affrontate tematiche cruciali come le questioni di genere nelle discipline STEM, il linguaggio inclusivo e l'importanza di cambiare prospettiva per superare stereotipi e barriere.

a cura di:

Dott. Ivo Rendina Istituto di Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti del CNR

Dott. Berardo Ruggiero Istituto di Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti del CNR



Luce e Materia: la fotonica quantistica

Un altro aspetto fondamentale della ricerca di ISASI riguarda la **fotonica quantistica (Vito Mocella, Gianluigi Zito et al.)**, ovvero l'uso della luce per sviluppare dispositivi avanzati e simulare fenomeni quantistici. Lo studio delle **singolarità fotoniche** e degli stati topologici della luce permette di creare nuovi tipi di sensori quantistici, dispositivi ottici innovativi e materiali avanzati con applicazioni nel campo della **sicurezza, delle telecomunicazioni e della scienza dei materiali**.

Uno degli aspetti più rivoluzionari di questa ricerca riguarda la **localizzazione topologica del campo fotonico**, un fenomeno che permette di confinare e amplificare l'intensità elettromagnetica in regioni nanometriche, aumentando l'interazione **luce-materia** e aprendo nuove prospettive per la **fotonica nonlineare e il sensing ultra-sensibile**.

Un altro risultato di grande rilievo è la protezione topologica degli **stati fotonici Bound States in the Continuum (BIC)**, che li rende **stabili contro disturbi strutturali**, consentendo **applicazioni altamente robuste e affidabili**. Questa proprietà ha reso possibile la formazione di condensati di **Bose-Einstein (BEC) a temperatura ambiente**, un traguardo cruciale per il controllo della **coerenza quantistica** e la riduzione delle fluttuazioni termiche, fattori determinanti per lo sviluppo di tecnologie fotoniche scalabili.

Questa ricerca unisce **teoria dei sistemi topologici, ottica singolare e fisica della materia condensata**, aprendo scenari inediti per lo sviluppo di: **Metamateriali quantistici** - progettati per manipolare la luce con proprietà innovative- **Dispositivi fotonici robusti** - in grado di operare in ambienti ostili senza perdita di funzionalità-; **Nuove architetture per la computazione quantistica ottica**, sfruttando stati di luce topologicamente protetti per il trasferimento di informazioni quantistiche; **Piattaforme avanzate per la simulazione di fenomeni quantistici**, utili per esplorare nuove fasi della materia e sviluppare tecnologie emergenti.

Le tecnologie basate sulla **fotonica quantistica** non solo offrono una prospettiva completamente nuova sulla manipolazione della luce e dell'informazione quantistica, ma pongono anche le basi per **un'evoluzione radicale delle telecomunicazioni, della crittografia quantistica e della sensoristica avanzata**. Grazie a questa ricerca, ISASI si colloca all'avanguardia nel panorama internazionale della fotonica quantistica e delle sue applicazioni.

La Tecnologia Quantistica per applicazioni Biomediche

L'applicazione delle tecnologie quantistiche alla medicina rappresenta una delle sfide più affascinanti e promettenti per il futuro della ricerca scientifica e clinica. **ISASI-CNR vanta una lunga tradizione nella sensoristica superconduttiva**, risalente agli anni '90, grazie ai contributi pionieristici di **Maurizio Russo** e di **Carmine Granata**. Questo know-how si è tradotto nello sviluppo di dispositivi avanzati basati sulla **superconduttività**, tra cui gli **SQUID (Superconducting Quantum Interference Devices)**, che rappresentano i **sensori magnetici più sensibili mai realizzati**.

Gli SQUID non solo sono fondamentali per la **computazione quantistica**, dove vengono studiati come potenziali qubit, ma svolgono anche un ruolo cruciale come sensori magnetici ultrasensibili. Questa tecnologia è alla base della **magnetoencefalografia (MEG)**, una tecnica neurofisiologica innovativa che consente di **misurare in modo completamente non invasivo** i debolissimi campi magnetici generati dall'attività neuronale.

Il **sistema MEG sviluppato da ISASI-CNR** è attualmente in uso presso un centro clinico di Napoli (**Maugeri-Hermitage, Capodimonte**), dove viene impiegato nello studio di **patologie neurologiche complesse tra cui l'Alzheimer e deterioramento cognitivo lieve (MCI), Morbo di Parkinson e**



ponete per connettere idee scientifiche con emozioni e immaginazione, creando esperienze significative per il pubblico.

Creare una comunità inclusiva e collaborativa: Eudora si impegna a favorire un ambiente inclusivo che accolga prospettive diversificate e incoraggi la collaborazione. L'Associazione crede che l'intersezione di discipline e background diversi arricchisca la comprensione collettiva della scienza quantistica e del suo potenziale per trasformare la società

L'Associazione Eudora e il progetto Quantum Nexus

Nel progetto **Quantum Nexus**, Eudora trova la sua espressione più compiuta: un **Nexus**, un nodo, un punto di incontro tra diverse dimensioni del sapere e dell'esperienza umana. Il termine Nexus evoca la rete invisibile di connessioni che lega ogni cosa – un concetto che risuona profondamente con la **non località** e la **coerenza quantistica**, elementi centrali nella seconda rivoluzione quantistica che stiamo oggi vivendo.

La mostra **Quantum Nexus – Viaggio nella Scienza e nella Tecnologia Quantistica, ideata e coordinata da Associazione Eudora in collaborazione con Fondazione IDIS - Città della Scienza, in tutte le sue sessioni proposte** rappresenta un'esperienza immersiva, didattica e multidisciplinare pensata per avvicinare il grande pubblico a una nuova visione della realtà. Quantum Nexus non è solo una mostra, ma un **processo culturale in continua espansione**, nato dall'interazione tra scienziati, artisti, educatori e imprese. È un invito a pensare insieme il futuro, a partire dalle più profonde scoperte della nostra epoca.

Eudora è orgogliosa di aver costruito, con il contributo di tutte le istituzioni scientifiche campane e nazionali, un progetto che non solo **divulga il sapere scientifico**, ma lo **integra in una visione ampia e umanistica**, aperta al dialogo tra le discipline e alla crescita collettiva.

Un percorso in evoluzione

Questa mostra rappresenta solo **una delle tappe** di un cammino iniziato con grande passione nel marzo 2024. L'evento inaugurale, tenutosi il **4 marzo 2024**, ha dato il via a una serie di iniziative:

- **Maggio 2024:** la **Tavola Rotonda sulla Sostenibilità e le Tecnologie Quantistiche**, che ha aperto un dialogo tra scienza, società e ambiente;
- La mostra "Scienza e Arte - Immaginari Quantistici", **Maggio 2024**, che ha rappresentato visioni anticipatrici di scienziati e artisti sul mondo invisibile;
- I momenti di **commemorazione di due grandi figure napoletane** che hanno ispirato questa visione: **Antonio Barone e Vittorio Silvestrini**, entrambi scienziati e visionari, pionieri della divulgazione scientifica e della ricerca sui sistemi quantistici.

Quantum Nexus è un invito a pensare il futuro come qualcosa che nasce dalle radici profonde della conoscenza, e che si costruisce nell'incontro tra scienza, arte e consapevolezza collettiva. L'Associazione Eudora continuerà a farsi promotrice di questo dialogo, con progetti che valorizzano la ricerca, la creatività e l'intelligenza connettiva del nostro tempo.

a cura di Paolo Silvestrini, Presidente di EUDORA



TECNOLOGIE QUANTISTICHE SUPERCONDUTTIVE. IL RUOLO STRATEGICO DELL' UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

Le Tecnologie Quantistiche (QT) sono un settore R&D fortemente innovativo con un potenziale d'impatto di cui è difficile solo immaginare la ricaduta in questo momento: il futuro preannuncia una vera rivoluzione nei prossimi anni, derivante dalla gestione e sfruttamento su scala macroscopica delle potenzialità dei fenomeni quantistici di singole particelle (elettroni, fotoni, etc...) e di fenomeni collettivi ad essi associati (transistor, laser, etc..) di cui abbiamo visto gli effetti notevoli negli scorsi decenni. La cosiddetta seconda rivoluzione quantistica ha visto lo sviluppo delle tecnologie quantistiche di seconda generazione, che includono la computazione, la crittografia quantistica, e la sensoristica avanzata.

L'agenda strategica europea sulle QT dedica a questa tematica ingenti finanziamenti non solo per lo sviluppo delle ricerche e delle tecnologie ma anche per la realizzazione di reti di infrastrutture in grado di sostenere i profondi cambiamenti che ci attendono, favorendone anche l'impatto industriale.

L'Università di Napoli Federico II (UNINA) si pone in Italia come uno dei nodi nazionali per rendere l'Italia un key player nell'ambito delle QT, in particolare per la computazione e la comunicazione quantistica, come fornitore di tecnologie abilitanti, sviluppatore di piattaforme integrate ed algoritmi, e come end-user industriale. UNINA ha acquisito questo ruolo centrale anche consolidando una leadership nazionale su alcune piattaforme hardware quantistiche, come per esempio quella superconduttiva, e si configura come volano per portare la ricerca di frontiera dai laboratori alle imprese, da prototipi ai prodotti industriali.

La tradizione sulla superconduttività affonda le sue radici nel grande lavoro scientifico che fa riferimento al **Prof. Antonio Barone**, che ha saputo creare negli ultimi cinquanta anni una vera Scuola riconosciuta internazionalmente, e a cui oggi i tanti scienziati che lavorano in questo settore QT devono la loro formazione, direttamente o indirettamente. Quelli che oggi sono i temi fondanti alla base dell'hardware per il calcolo quantistico oppure dello sviluppo di rivelatori di radiazione realizzati su piattaforma superconduttiva nascono dalla grande attenzione che il prof Barone ha sempre riservato nel corso della sua carriera scientifica a temi come l'effetto Josephson, l'elettronica superconduttiva e l'interazione della radiazione con la materia superconduttiva.

Il computer quantistico pubblico è oggi realtà a Napoli ed è aperto alla comunità presso i Laboratori del Dipartimento di Fisica "E. Pancini" dell'Università di Napoli Federico II. Il computer usa al momento un processore a 24 bit quantistici (qubit) di tipo transmon raffreddato in un criostato a diluizione a temperature vicine allo zero assoluto (10 milliKelvin).

Nella seconda parte del 2025 il computer sarà potenziato con una nuova architettura a 64 qubit grazie ad una significativa collaborazione con l'azienda olandese QuantWare, dove i processori vengono al momento fabbricati. La realizzazione segue un percorso scientifico cominciato alcuni anni fa, che ha avuto un passaggio fondamentale nella prima a misura in



SCIENZE E TECNOLOGIE QUANTISTICHE ALL' ISTITUTO DI SCIENZE APPLICATE E SISTEMI INTELLIGENTI DEL CNR (CNR-ISASI): UNA TRADIZIONE DI RICERCA E INNOVAZIONE

L'Istituto di Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti (ISASI-CNR) ha una lunga e prestigiosa tradizione nello sviluppo delle **tecnologie quantistiche di seconda generazione**, grazie a studi pionieristici che risalgono agli anni '80, quando l'Istituto era noto come **Istituto di Cibernetica "E. Caianiello"**.

In quegli anni, sotto la guida di **Antonio Barone**, direttore dell'istituto e figura di spicco nel campo della superconduttività, prese forma una scuola di ricerca che avrebbe avuto un impatto duraturo sulle tecnologie quantistiche. Tra gli anni 1980 e 1995 **Paolo Silvestrini, Roberto Cristiano, Sergio Pagano e Berardo Ruggiero**, insieme ai loro colleghi, furono protagonisti di studi sperimentali e teorici fondamentali sui **dispositi Josephson**, contribuendo ad aprire una nuova strada verso la realizzazione dei primi **qubit superconduttori**.

Parallelamente, ISASI ha costruito una solida rete di collaborazioni internazionali, tra cui spiccano gli scambi scientifici con il **Landau Institute di Mosca**, un centro di eccellenza mondiale nella fisica teorica. Qui, i fisici **Anatoli Larkin e Yuri Ovchinnikov**, esperti di fisica della materia condensata e superconduttività, contribuirono con modelli teorici avanzati alla comprensione del comportamento quantistico dei dispositivi Josephson.

Queste ricerche pionieristiche hanno gettato le basi per lo sviluppo delle moderne tecnologie quantistiche basate sulla **superconduttività**. Oggi, ISASI continua questa tradizione di eccellenza, in collaborazione con il **prof. Paolo Silvestrini** della Vanvitelli (ricercatore associato presso ISASI), occupandosi della progettazione di **qubit superconduttori (Carmine Granata, Antonio Vettoliere)** e dello sviluppo e della misura di **network di qubit superconduttori (Carmela Bonavolontà, Emanuela Esposito, Massimo Valentino e Berardo Ruggiero)**, il qubit essendo il cuore pulsante dei computer **quantistici di nuova generazione**. Una attenzione particolare viene data a nuove configurazioni **topologiche intrinsecamente tolleranti agli errori**.

In particolare, l'Istituto sta portando avanti studi innovativi per:

- **Migliorare le prestazioni dei qubit** attraverso l'uso di nuovi materiali magnetici, per aumentare la stabilità e la coerenza quantistica.
- **Creare memorie quantistiche avanzate**, un passo cruciale per l'archiviazione e l'elaborazione delle informazioni in sistemi quantistici.
- **Analizzare il comportamento quantistico collettivo di reti di 5 o 10 qubit**, per comprendere le dinamiche dell'entanglement quantistico e costruire architetture più robuste e scalabili di computer quantistici ad alta efficienza.

Oltre agli sviluppi hardware, ISASI continua a essere un punto di riferimento per lo studio teorico di **reti Josephson 2D superconduttive**, con particolare attenzione alla **coerenza collettiva** dei qubit e al loro **accoppiamento in stati entangled**, elementi essenziali per realizzare le **porte logiche quantistiche** necessarie alla computazione quantistica.

Grazie a questa combinazione di esperienza storica e innovazione continua, ISASI rimane all'avanguardia nella ricerca sulle tecnologie quantistiche di seconda generazione.



Inoltre, il supporto di partner aziendali, tra cui realtà di eccellenza nel settore dell'ingegneria informatica come **Engineering Ingegneria Informatica e NetCom-Group**, ha giocato un ruolo determinante nello sviluppo e nella concretizzazione dei progetti, promuovendo un efficace ponte tra ricerca accademica e applicazioni industriali.

Queste iniziative, finanziate da importanti bandi nazionali ed europei, testimoniano l'impegno del Dipartimento nel promuovere l'innovazione e l'eccellenza scientifica, ponendo le basi per sviluppi tecnologici di rilevanza strategica sia per la ricerca accademica che per l'industria. In questo modo, la Vanvitelli si conferma come un punto di riferimento nel panorama nazionale ed internazionale della ricerca applicata al Quantum Computing, all'ottimizzazione e alle tecnologie emergenti.

a cura di:

Prof. Paolo Silvestrini Dipartimento di Matematica e Fisica-DMF, su delega del Rettore.



Italia di un qubit superconduttivo nel 2020, realizzato grazie alla collaborazione con un'altra industria, la SeeQc, che ha creduto nelle potenzialità e competenze del gruppo di ricerca di UNINA. La costruzione dell'intera architettura, finanziata grazie al PNRR all'interno del CN1 HPC and Quantum Computing e del Progetto NQSTI, ha riguardato la progettazione e realizzazione dell'intero set-up sperimentale, l'integrazione con i processori Quantware, lo sviluppo di protocolli di misura e di mitigazione degli errori, l'interfaccia utente verso lo sviluppo di casi d'uso legati a software sviluppati per funzionare sulla stessa macchina. Si tratta di una infrastruttura pubblica unica in Italia, che include un indotto di competenze di frontiera sulla computazione quantistica, che vanno dalla progettazione dei sistemi, dei componenti e dei circuiti (dai qubit ai processori e ai sistemi di read-out e di controllo) alla misura, alla realizzazione di protocolli e di algoritmi quantistici, al funzionamento dei processori modulari a multi-qubit.

Sul versante della fabbricazione UNINA ha realizzato un laboratorio di micro e nanofabbricazione denominato UniNAo operativo da metà 2025, una vera e propria foundry che permetterà di rafforzare la intera filiera legata alla piattaforma superconduttiva per le QT, dove sarà possibile realizzare dispositivi superconduttivi di avanguardia, come nuovi processori quantistici anche ideati a Napoli oppure nuove configurazioni per il sensing quantistico.

Napoli è oggi anche sede di importanti sperimentazioni nel campo della comunicazione quantistica avendo realizzato la prima rete quantistica multi-nodi permanente, che collega il nodo della Italian Quantum Backbone (IQB) presso l'Area CNR di Pozzuoli con il Campus Universitario Federico II di San Giovanni a Teduccio presso il Centro di Competenza Meditech e con il Laboratorio Quantum del Dipartimento di Fisica E. Pancini presso il campus di Monte Sant'Angelo. Una rete di comunicazione quantistica è la base per la sperimentazione di nuovi protocolli da usare nelle telecomunicazioni e nelle trasmissioni di dati sensibili in un modo intrinsecamente inviolabile, perché basati sui principi della Meccanica Quantistica, prefigurando miglioramenti esponenziali nella sicurezza dei dati critici a protezione delle istituzioni governative europee, dei loro centri dati, ospedali, reti energetiche e altro ancora.

La nuova infrastruttura di comunicazione quantistica rappresenta l'evoluzione di un percorso seguito attraverso molti progetti nazionali ed internazionali, e di vari percorsi di trasferimento tecnologico verso le piccole e medie imprese. Il collegamento con l'infrastruttura IQB, che sul territorio italiano distribuisce segnali di tempo e frequenza campione utilizzando fibre ottiche commerciali, consente anche il collegamento con l'infrastruttura europea EuroQCI (Quantum Communication Infrastructure), dando la possibilità ad UNINA di contribuire alla crescita di uno dei pilastri principali della strategia dell'UE in materia di cybersicurezza per i prossimi decenni.

Anche la rete multi-nodale di Napoli è pubblica, ed è a disposizione di Aziende e Istituti di Ricerca, nazionali ed internazionali, interessate a sviluppare soluzioni integrate con nuovi sistemi di trasmissione e dispositivi quantistici, offrendo un'opportunità al sistema industriale nazionale tra le più avanzate in ambito europeo.

Le tecnologie superconduttive con i sensori nanometrici, applicati ai sistemi di fornitura QKD (Quantum Key Distribution), sono in grado di garantire performances altrimenti non raggiungibili da tecnologia tradizionale in termini di distanze di comunicazione (centinaia di Km), con una notevole riduzione degli errori di trasmissione delle chiavi crittografiche. Le competenze sui materiali superconduttivi, sulla progettazione e realizzazione di dispositivi



nanometrici, sullo sviluppo di elettronica per la rivelazione ed analisi dei segnali consentono di sfruttare l'enorme potenziale che questi sensori hanno nel garantire altissime efficienze di rivelazione quantistica fino al regime di singolo fotone per lunghezze d'onda ben superiori a quelle TLC, aprendo così la strada ad applicazioni alquanto significative come per esempio la comunicazione quantistica in free space che guarda al futuro segmento satellitare di EuroQCI.

a cura di:

Prof. Giampiero Pepe e Prof. Francesco Tafuri, Dipartimento di Fisica "Ettore Pancini"



Presso i Laboratori di Fisica Atomica e Molecolare, si sperimentano sistemi atomici per la formazione di atomi di Rydberg, come i vapori caldi di mercurio. Gli studi sono attualmente mirati all'osservazione di fenomeni coerenti, tra i quali la trasparenza elettromagnetica indotta (EIT). L'EIT offre la possibilità di controllare la luce con la luce, attraverso un meccanismo di interazione nonlineare che coinvolge almeno tre livelli energetici. Questi ultimi possono delineare tre diverse strutture: a cascata, a forma di Λ e di V . Più precisamente, la trasmissione di un raggio laser (sonda) attraverso un mezzo otticamente denso viene manipolata utilizzando un secondo raggio laser (controllo). Si tratta di un fenomeno chiave per lo sviluppo di sensori e dispositivi quantistici su piattaforma atomica. Tra questi, troviamo i dispositivi di archiviazione e memoria quantistica. La principale peculiarità degli esperimenti presso la Vanvitelli consiste nell'osservazione di questi fenomeni coerenti in vapori atomici a temperatura ambiente, piuttosto che in sistemi gassosi raffreddati a temperature prossime allo zero assoluto. Ciò semplifica enormemente gli apparati sperimentali, rendendoli maggiormente robusti e affidabili e dunque idonei allo sviluppo di dispositivi per il calcolo e l'informazione quantistica.

Relativamente alla computazione quantistica, le attività del Dipartimento si articolano su diverse linee di ricerca. Una delle principali direttrici riguarda lo sviluppo e l'applicazione di algoritmi quantistici per problemi di elaborazione delle immagini. In ambito classico, questo tipo di problemi presenta diverse criticità, tra cui l'elevata complessità computazionale e, in taluni casi, la necessità di processare i dati in tempo reale, rendendo necessario l'utilizzo di tecniche numeriche efficienti senza degradare l'accuratezza.

Le tecnologie quantistiche offrono nuove opportunità per la risoluzione di tali problematiche, ponendo sfide significative per la ricerca scientifica. I progetti finanziati - tra cui iniziative come QUANTIC (NQSTI Spoke 8) e QML-NTED (ICSC Spoke 10) - dimostrano il nostro impegno nel tradurre la ricerca teorica in applicazioni pratiche. Questi progetti, insieme ad altri in corso, affrontano temi strategici relativi all'integrazione delle metodologie classiche e quantistiche, applicabili in diversi ambiti: dall'elaborazione e classificazione delle immagini, passando per le applicazioni in Teoria Nucleare, fino allo sviluppo di nuove tecniche numeriche per problemi reali come la fluidodinamica. Quest'ultima linea di ricerca, che verrà affrontata nell'immediato futuro, riguarda l'analisi e lo sviluppo di metodi numerici di ottimizzazione, integrando approcci classici e innovativi nel campo del Quantum Computing.

Il Dipartimento vanta inoltre una consolidata esperienza in crittografia, con particolare attenzione alla crittografia post-quantum, basata su problemi per i quali non esistono algoritmi efficienti nemmeno per computer quantistici. **Il gruppo di ricerca di Geometrie di Galois e Applicazioni lavora allo sviluppo e al test di nuovi schemi crittografici**, in collaborazione con istituzioni e università internazionali, avvalendosi del supporto di diversi progetti scientifici finanziati o sottomessi a finanziamento - tra cui un ERC Synergy Grant - sviluppati in cooperazione con università straniere ed istituti di ricerca.

Il successo di queste iniziative è ulteriormente rafforzato da **preziose collaborazioni**. Oltre alle già citate collaborazioni storiche e strategiche con gli istituti CNR- ISASI e CNR-SPIN, in particolare, il Dipartimento collabora attivamente con il gruppo di **Quantum Computing dell'Università di Napoli "Federico II"**, creando sinergie che favoriscono lo scambio di conoscenze e competenze specifiche nel settore. Le applicazioni in fluidodinamica beneficiano delle collaborazioni con realtà esterne di eccellenza come il **CIRA**, che ha contribuito alla realizzazione di tecniche innovative per affrontare le relative sfide.



RICERCA QUANTISTICA INTEGRATA: IL CONTRIBUTO DELLA UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA CAMPANIA “LUIGI VANVITELLI” TRA SUPERCONDUTTIVITÀ, ATOMI DI RYDBERG E ALGORITMI AVANZATI

L'Università degli Studi della Campania “Luigi Vanvitelli” è attiva nel campo delle scienze e tecnologie quantistiche attraverso il Dipartimento di Matematica e Fisica. L'attività di ricerca spazia dalla teoria alla sperimentazione avanzata ed è orientata sia alla comprensione di fenomeni quantistici fondamentali sia allo sviluppo di applicazioni innovative. Il Dipartimento si distingue per l'approccio interdisciplinare, integrando Fisica, Matematica e Informatica in metodologie di ricerca all'avanguardia. Tali sinergie consentono di affrontare sfide complesse, come quelle che caratterizzano il campo delle scienze e tecnologie quantistiche.

L'attività sperimentale e teorica sulla coerenza quantistica in sistemi superconduttivi e sui qubit Josephson, avviata negli anni Ottanta presso l'allora Istituto di Cibernetica del CNR dal prof. Paolo Silvestrini in collaborazione con Antonio Barone, rappresenta una delle radici storiche della ricerca napoletana e mondiale nel campo del “quantum”. Tale linea di ricerca, sviluppata in stretta connessione con il CNR-ISASI e il CNR-SPIN, è tuttora attiva presso l'Università della Campania “Luigi Vanvitelli” e in sintonia con le più avanzate piattaforme di calcolo quantistico a livello globale. È descritta in dettaglio nelle presentazioni degli Istituti CNR con i quali il dipartimento collabora, dove è localizzata la sofisticata strumentazione necessaria alle ricerche: in sintesi consiste nello studio delle proprietà di coerenza di singoli qubit e di sistemi fino a 10 qubit accoppiati, nell'effetto della disposizione topologica sulla stabilità delle proprietà di coerenza, e sull'utilizzo di tali sistemi per la realizzazione di tecnologie quantistiche di seconda generazione con applicazione nel campo della medicina e della sensoristica avanzata.

Le tecnologie sviluppate nei Laboratori di Fisica Atomica e Molecolare per la realizzazione di verifiche sperimentali dei fondamenti della meccanica quantistica e per applicazioni alla metrologia, talvolta sfociate nella determinazione di costanti fondamentali della Fisica, hanno raggiunto un livello di maturità tale da delineare uno sbocco in termini di sensori e dispositivi quantistici su piattaforma atomica e molecolare. Un primo esempio riguarda il campo della termometria, laddove la nuova definizione di kelvin, unità di misura della temperatura termodinamica assoluta, apre interessanti prospettive per la realizzazione di termometri primari che sfruttano effetti quantistici. In questo contesto, entrano in gioco i cosiddetti atomi di Rydberg, ovvero un atomo con uno dei suoi elettroni portato a grandi distanze dal nucleo, su un livello energetico altamente eccitato. La loro struttura li rende particolarmente sensibili a campi elettrici e magnetici, nonché alla radiazione termica nel lontano infrarosso, motivo per il quale possono fungere da sonda remota di temperatura. È opportuno ricordare il ruolo da protagonista che la Vanvitelli ha ricoperto per oltre un decennio nella roadmap che ha condotto alla ridefinizione del kelvin, essendo stata partner del network europeo riguardante la determinazione della costante di Boltzmann e poi ancora partner nell'ambito del progetto europeo InK, incentrato sull'implementazione del nuovo kelvin. Tornando agli atomi di Rydberg, essi rappresentano una promettente piattaforma per la realizzazione del computer quantistico, così come dimostrato dall'azienda francese Pasqal, leader al mondo di questa tecnologia, particolarmente sviluppata per atomi alcalini come il rubidio.



UNIVERSITÀ DI SALERNO: VERSO IL FUTURO QUANTISTICO TRA DISPOSITIVI, CALCOLO E SICUREZZA

Un gran numero di applicazioni nell'ambito delle tecnologie quantistiche quali crittografia, comunicazione e computazione possono basarsi su una piattaforma fotonica. Vent'anni dopo la loro introduzione, i rivelatori di fotoni singoli basati su materiali superconduttivi rimangono la tecnologia di punta nel campo grazie alle loro prestazioni. Tuttavia, la complessità delle sfide tecnologiche fa sì che vi sia un'intensa attività di ricerca svolta per ottimizzare ulteriormente le prestazioni di questi dispositivi per applicazioni specifiche.

Il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Salerno contribuisce a questo filone di ricerca basandosi sull'esperienza maturata negli anni nel campo della sintesi e della caratterizzazione elettrica di materiali superconduttivi convenzionali in forma di film sottili da utilizzare per progettare rivelatori con proprietà efficienti in un certo regime di funzionamento.

L'attività è incentrata sullo sviluppo e sulla caratterizzazione nuovi materiali superconduttivi (NbRe, NbReN, WRe) o strutture ibride superconduttive in forma di film ultrasottili per la realizzazione di rivelatori di singolo fotone a base di nano- e microfilari. In questi ultimi anni il Dipartimento di Fisica è stato impegnato nella messa a punto di materiali da impiegare in dispositivi in grado di lavorare nel medio infrarosso, una tecnologia che ha il potenziale di diventare rivoluzionaria per una varietà di applicazioni, tra cui la QKD (Quantum Key Distribution) in sistemi ibridi di comunicazione “fibra-spazio” o il monitoraggio LIDAR (Light Detection and Ranging), oltre che nell'ambito dell'astronomia, della ricerca di materia oscura e della medicina. **Il Dipartimento di Fisica è anche molto attivo nello sviluppo di dispositivi quantistici per calcolo quantistico** e, in particolare, per l'interfacciamento di qubit e sistemi di qubit. Attraverso collaborazioni nazionali, sviluppate in ambito INFN prima ed in ambito NQSTI in seguito, sono stati sviluppati amplificatori superconduttori con rumore al limite quantistico, per la lettura dei deboli segnali a microonde generati nei qubit durante il loro funzionamento. Gli amplificatori superconduttivi al limite quantistico sviluppati sono denominati JTWPAs, un acronimo che indica Josephson Traveling Wave Parametric Amplifiers e rappresentano una frontiera della ricerca ed una tecnologia abilitante per lo sviluppo di processori quantistici con elevato numero di qubit. I JTWPAs si basano sui dispositivi superconduttivi chiamati giunzioni Josephson, una competenza presente nel Dipartimento di Fisica fin dalla metà degli anni '70 del secolo scorso. Queste attività sui dispositivi quantistici sono complementari alle attività di sviluppo di qubit e sistemi di qubit svolte dai partner nazionali e sono finanziate attraverso quattro bandi a cascata del NQSTI. Il Dipartimento di Fisica avrà, a fine PNRR, una linea completa ed aggiornata allo stato dell'arte per la progettazione, fabbricazione e test a temperature prossime allo zero assoluto (20 mK) di dispositivi superconduttivi per applicazioni quantistiche.

Al Dipartimento di Informatica dell'Università degli Studi di Salerno la ricerca sulle tematiche quantistiche si concentra sull'uso del calcolo quantistico per migliorare la sicurezza informatica, in particolare nel rilevamento delle minacce informatiche e nella



protezione dei dispositivi dagli attacchi. Le attività di ricerca svolta esamina due aree principali: il miglioramento degli Intrusion Detection Systems (IDS) e la creazione di metodi di autenticazione più sicuri.

Gli IDS sono essenziali per mantenere le reti sicure identificando attività insolite o dannose. I metodi tradizionali utilizzano il machine learning per individuare queste minacce, ma spesso hanno difficoltà con dati grandi e complessi e ad adattarsi a nuovi tipi di attacchi. È qui che entra in gioco il QML. I modelli quantistici hanno il potenziale per elaborare i dati più velocemente e gestire la complessità meglio degli approcci tradizionali. In questo contesto sono stati implementati e valutati tre tipi di modelli quantistici: Quantum Support Vector Classifiers (QSVC), Variational Quantum Classifiers (VQC) e Hybrid Quantum-Classical Neural Networks, utilizzando due noti set di dati che simulano gli attacchi di rete. Tale lavoro di ricerca dimostra che il QML potrebbe migliorare significativamente la capacità dell'IDS di rilevare le minacce in modo più accurato ed efficiente. **Il Dipartimento di Informatica è impegnato nello studio dell'utilizzo di reti quantistiche generative avversarie (QGAN)** per il rilevamento delle anomalie, che aiuta a identificare minacce nuove e sconosciute riconoscendo schemi insoliti nei dati. I modelli tradizionali di apprendimento automatico possono avere difficoltà con questo perché non sono adatti a gestire dati complessi o sbilanciati. Le reti generative avversarie (GAN) migliorano il rilevamento delle anomalie creando schemi di dati realistici, ma richiedono molta potenza di calcolo e hanno ancora delle limitazioni con dati complessi. Stiamo esplorando le GAN quantistiche (QGAN), che combinano i punti di forza del calcolo quantistico e delle GAN. Una QGAN utilizza un generatore quantistico (che crea dati) e un discriminatore classico (che valuta i dati). Questo modello ibrido può imparare a generare schemi realistici in modo più efficiente, il che lo rende migliore nell'individuare le anomalie. Man mano che più dispositivi si collegano a Internet, l'autenticazione sicura diventa sempre più importante. I metodi tradizionali si basano su chiavi crittografiche, ma queste possono essere intercettate o rubate. Per risolvere questo problema, i ricercatori hanno sviluppato Quantum PUF (QPUF), che utilizzano i principi della meccanica quantistica per migliorare la sicurezza, sfruttando le caratteristiche fisiche uniche di un dispositivo quantistico per l'autenticazione. A differenza dei metodi tradizionali, i QPUF non si basano su chiavi archiviate o persino su canali di comunicazione quantistici. È stato progettato un circuito quantistico per creare QPUF e lo si è testato sull'hardware quantistico di IBM. I QPUF hanno mostrato prestazioni elevate in termini di casualità, unicità e affidabilità. Ciò suggerisce che i QPUF potrebbero fornire un metodo più sicuro e resistente alle manomissioni per l'autenticazione dei dispositivi in futuro. Migliorando il modo in cui gli IDS rilevano le minacce e rendendo i metodi di autenticazione più sicuri, gli approcci basati su tecniche quantistiche hanno il potenziale di offrire una protezione a reti e dispositivi che risulta più efficace ed efficace rispetto ai metodi classici. Sebbene permangano le sfide legate al rumore quantistico e alle limitazioni hardware, i risultati suggeriscono che l'apprendimento automatico quantistico e l'autenticazione basata sulla tecnologia quantistica potrebbero svolgere un ruolo chiave nel futuro della sicurezza informatica.

Al **Dipartimento di Ingegneria Industriale** dell'Università di Salerno si concentra l'attività di ricerca su Sperimentazione su computer quantistici: verso il futuro dell'elaborazione dati, in particolare del Gruppo di Misure Elettroniche del dell'Università degli Studi di Salerno si focalizza sull'analisi dell'affidabilità operativa e della sensibilità ai parametri ambientali dei computer quantistici, in particolare di quelli a basso costo e ad uso sperimentale, detti quantum computer da banco.

Questi dispositivi rappresentano una frontiera tecnologica emergente, in quanto si basano sulle



leggi della meccanica quantistica per effettuare elaborazioni che, per complessità e velocità, risultano impraticabili per i calcolatori classici.

Ciononostante, i quantum computer attualmente disponibili presentano notevoli vincoli pratici. I modelli più performanti necessitano di ambienti altamente controllati, con temperature prossime allo zero assoluto e sistemi avanzati per ridurre interferenze elettromagnetiche e vibrazioni meccaniche. Proprio per questo motivo, nei laboratori di Misure ci si sta dedicando allo studio di sistemi quantistici di dimensioni ridotte e costi contenuti, basati sulla tecnologia a risonanza magnetica nucleare (NMR), che possono funzionare in ambienti ordinari e potenzialmente essere integrati in contesti applicativi mobili, come veicoli ferroviari o stradali. L'impiego di quantum computer direttamente a bordo di automobili o treni ad alta velocità, ad esempio, porterebbe vantaggi sostanziali rispetto al calcolo remoto su server centralizzati.

L'elaborazione in loco dei dati ridurrebbe drasticamente la latenza, garantendo decisioni in tempo reale in situazioni critiche, e assicurerebbe continuità operativa anche in assenza di connettività. Inoltre, la gestione diretta dei dati a bordo incrementerebbe la sicurezza informatica e consentirebbe l'adattamento dinamico degli algoritmi alle specificità del mezzo o dell'ambiente circostante. Tali capacità saranno particolarmente rilevanti nell'ambito dei veicoli autonomi, dove la prontezza nell'analisi e nella risposta a scenari complessi rappresenta una condizione imprescindibile. Per poter immaginare uno scenario in cui i quantum computer siano impiegati in mobilità, è però necessario comprenderne a fondo i limiti. Il lavoro attuale del gruppo Misure si concentra proprio su questo: valutare quanto le condizioni ambientali influiscano sulle prestazioni computazionali.

Nei più recenti esperimenti è stato osservato che, aumentando la complessità dei circuiti quantistici (espressa, ad esempio, nel numero di porte logiche Hadamard o X, porte NOT, concatenate), i risultati si allontanano progressivamente dalle distribuzioni teoriche previste. Questo tipo di degrado delle prestazioni non può essere attribuito esclusivamente alla fase di calibrazione del dispositivo, ma piuttosto alla naturale instabilità dei qubit in ambienti non perfettamente isolati. L'obiettivo corrente è quello di individuare quali parametri ambientali, come temperatura, vibrazioni o disturbi elettromagnetici, siano più impattanti e come sia possibile, una volta misurati, introdurli nei modelli di calcolo per correggere in tempo reale i risultati o limitarne la distorsione.

Sebbene la strada verso un'adozione diffusa di computer quantistici compatti e affidabili sia ancora lunga, i risultati sperimentali che stiamo ottenendo contribuiscono a definire i requisiti minimi e le strategie di compensazione necessarie a rendere questi dispositivi utilizzabili al di fuori dei laboratori. L'obiettivo attuale è favorire una transizione tecnologica in cui il calcolo quantistico non sia solo un tema di ricerca teorica o applicabile in contesti industriali d'élite, ma possa diventare uno strumento operativo in scenari civili quotidiani, dove la rapidità, l'efficienza e la resilienza del sistema informatico rappresentano requisiti imprescindibili.

a cura di:

Prof. Carmine Attanasio e Prof. Sergio Pagano, Dipartimento di Fisica DF

Prof. Alfredo De Santis e Prof. Christian Esposito Dipartimento di Informatica DI

Prof. Antonio Pietro Santo, Dipartimento Ingegneria Industriale DIIN