



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# Dalla ricerca quantistica alle applicazioni di domani

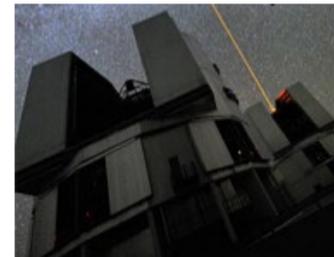
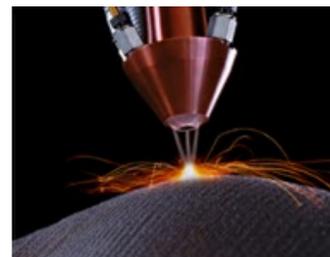
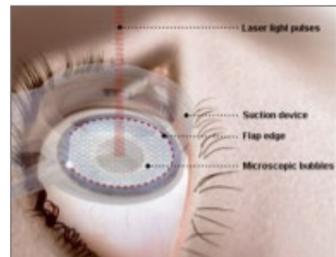


**Tommaso Calarco**

Dipartimento di Fisica e Astronomia «Augusto Righi»

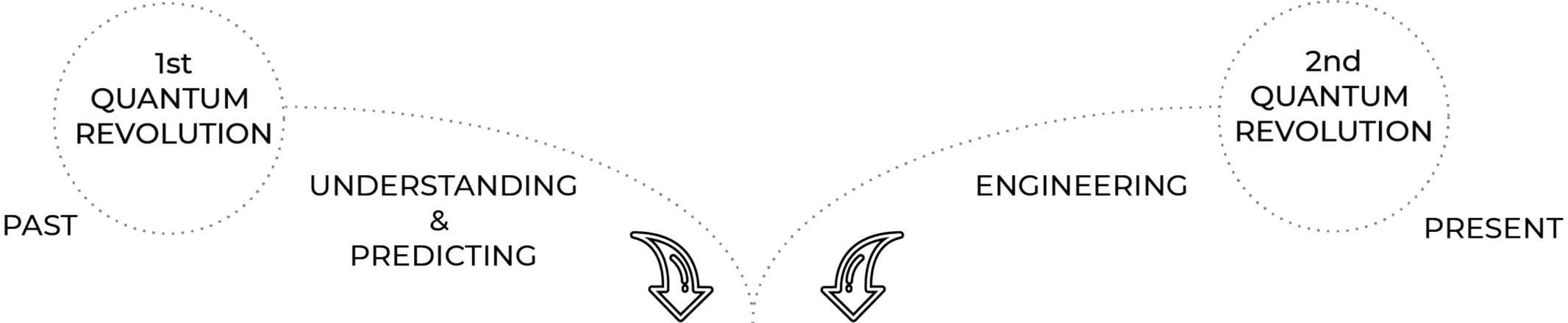
# LA PRIMA RIVOLUZIONE QUANTISTICA

... ha plasmato il mondo in cui viviamo oggi

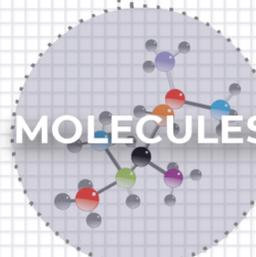
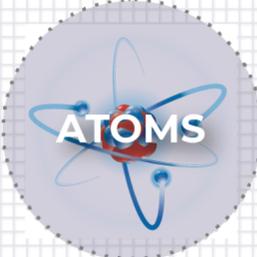
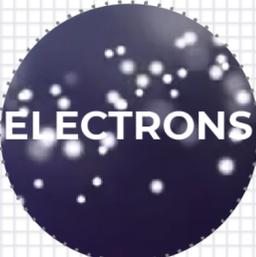
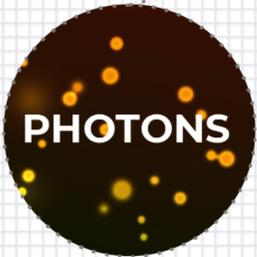


- ▶ Leggi fondamentali del mondo microscopico: la **meccanica quantistica**
- ▶ Tecnologie come il **transistor** e il **laser**
- ▶ Basato su **effetti collettivi**:  
Molti quanti manipolati contemporaneamente

# COSA SONO LE TECNOLOGIE QUANTISTICHE?



## QUANTUM TECHNOLOGIES DEVICES & SYSTEMS



CAPACITY

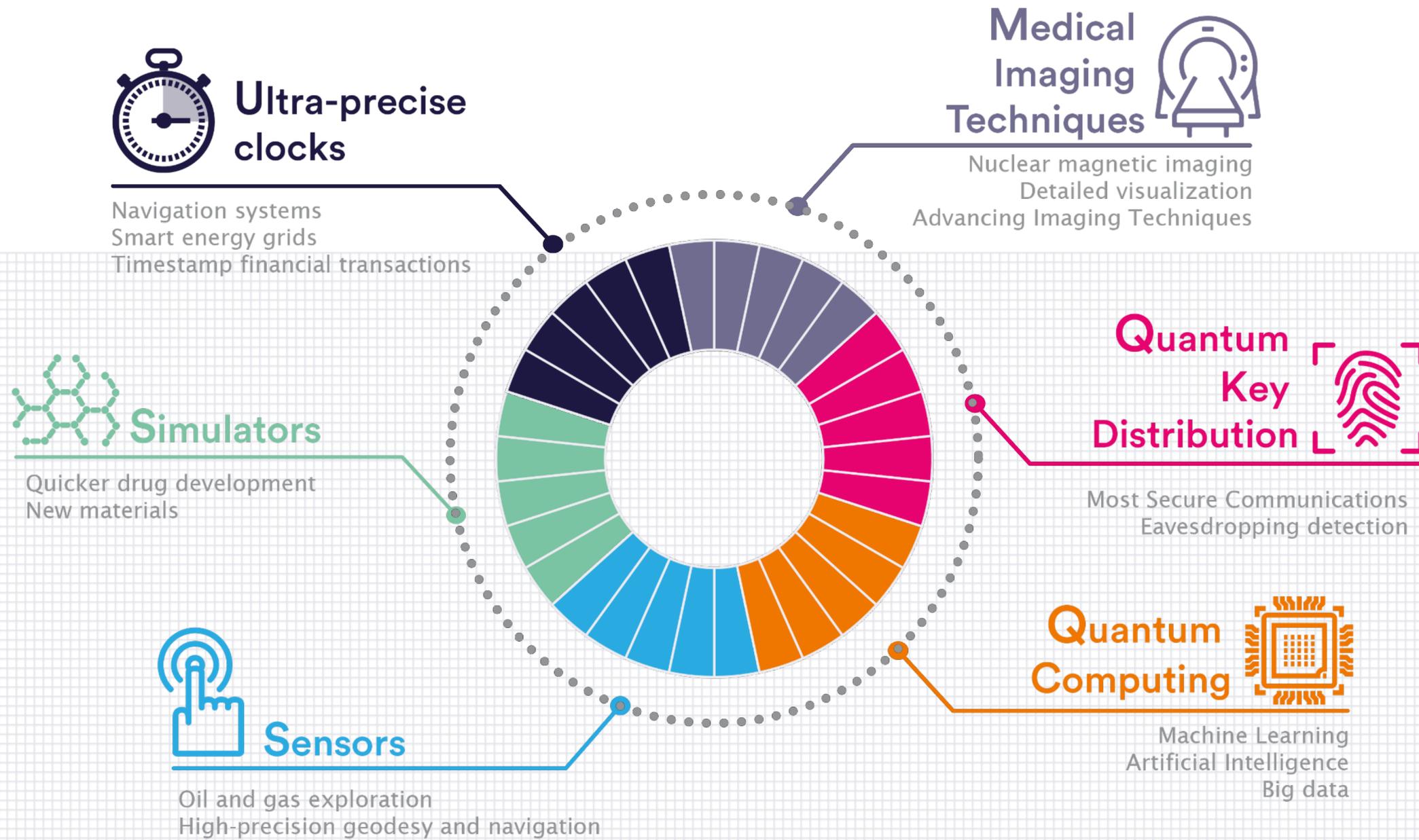
SENSITIVITY

SPEED



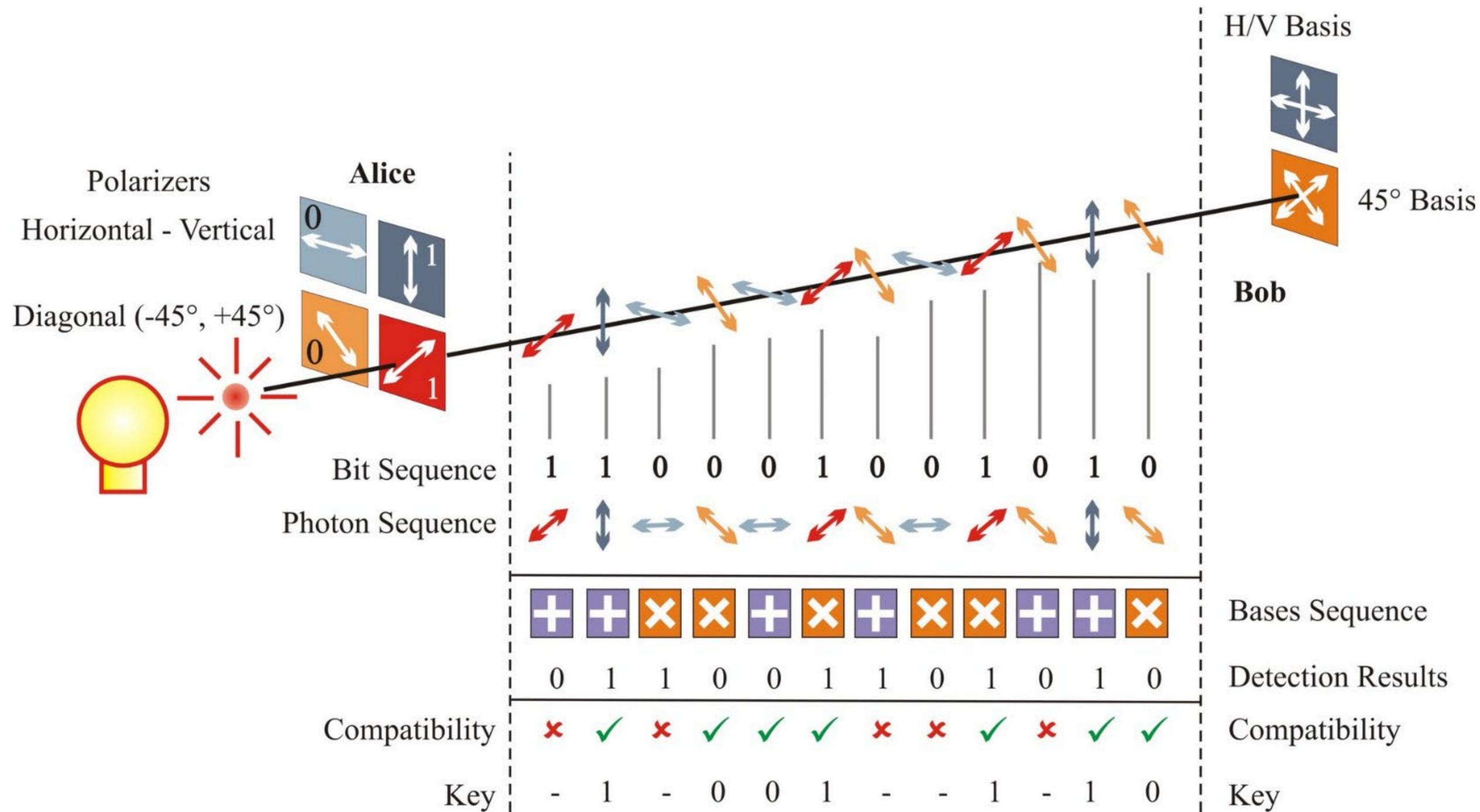
## REVOLUTIONARY IMPROVEMENTS INDUSTRY & MARKET

# APPLICAZIONI



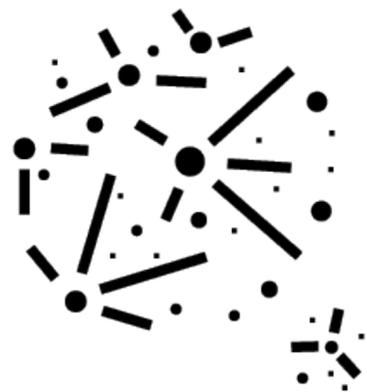
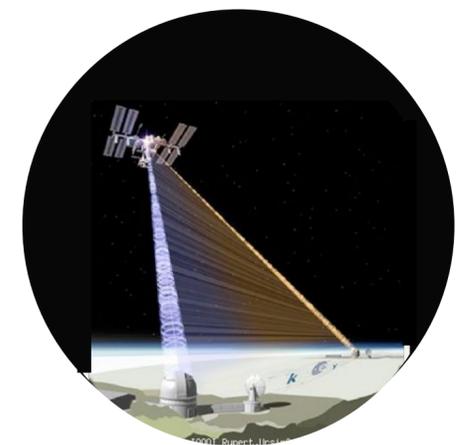
# COMUNICAZIONE QUANTISTICA

Principio di base: Non clonabilità





Crittografia quantistica: sicurezza per i dati, la finanza, le smart grid,...



**QUANTUM**  
Communication

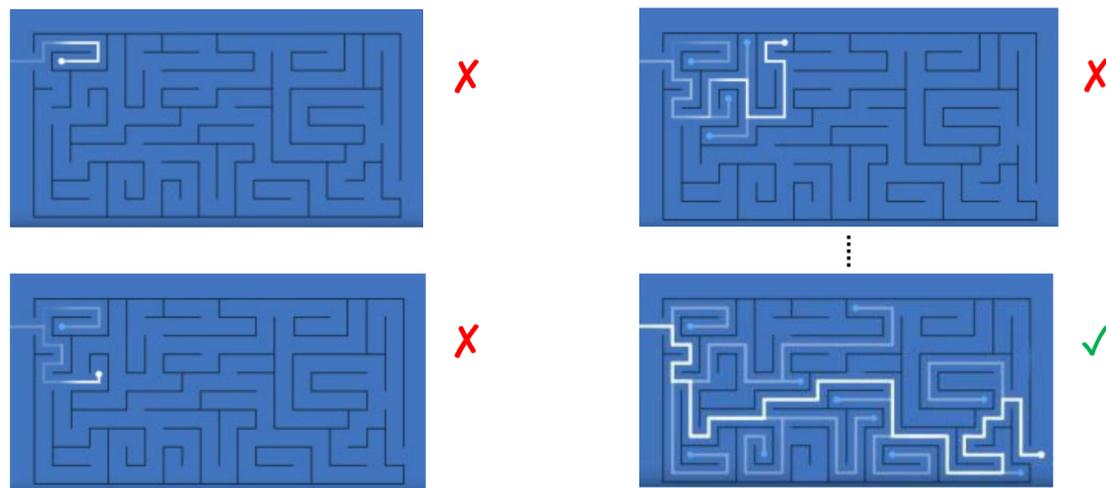
# COMPUTAZIONE QUANTISTICA

Principio di base: Parallelismo quantistico

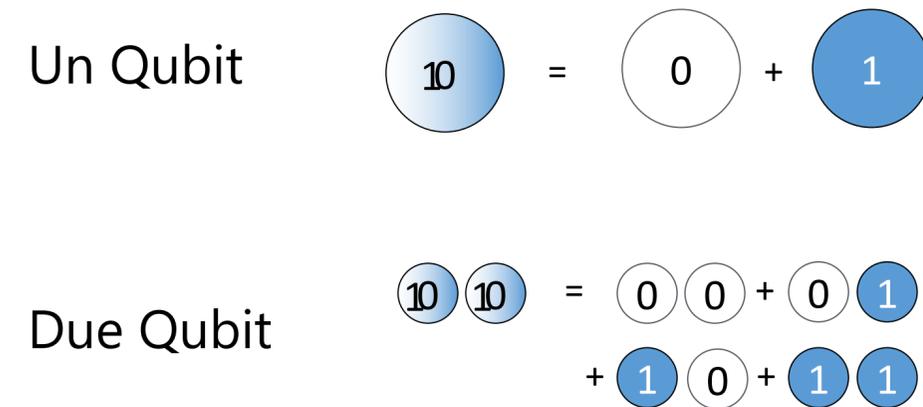
Computer classico



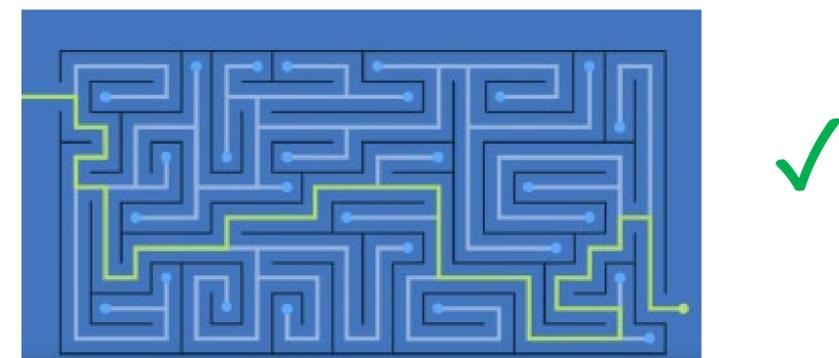
Ricerca in un labirinto: processo iterativo



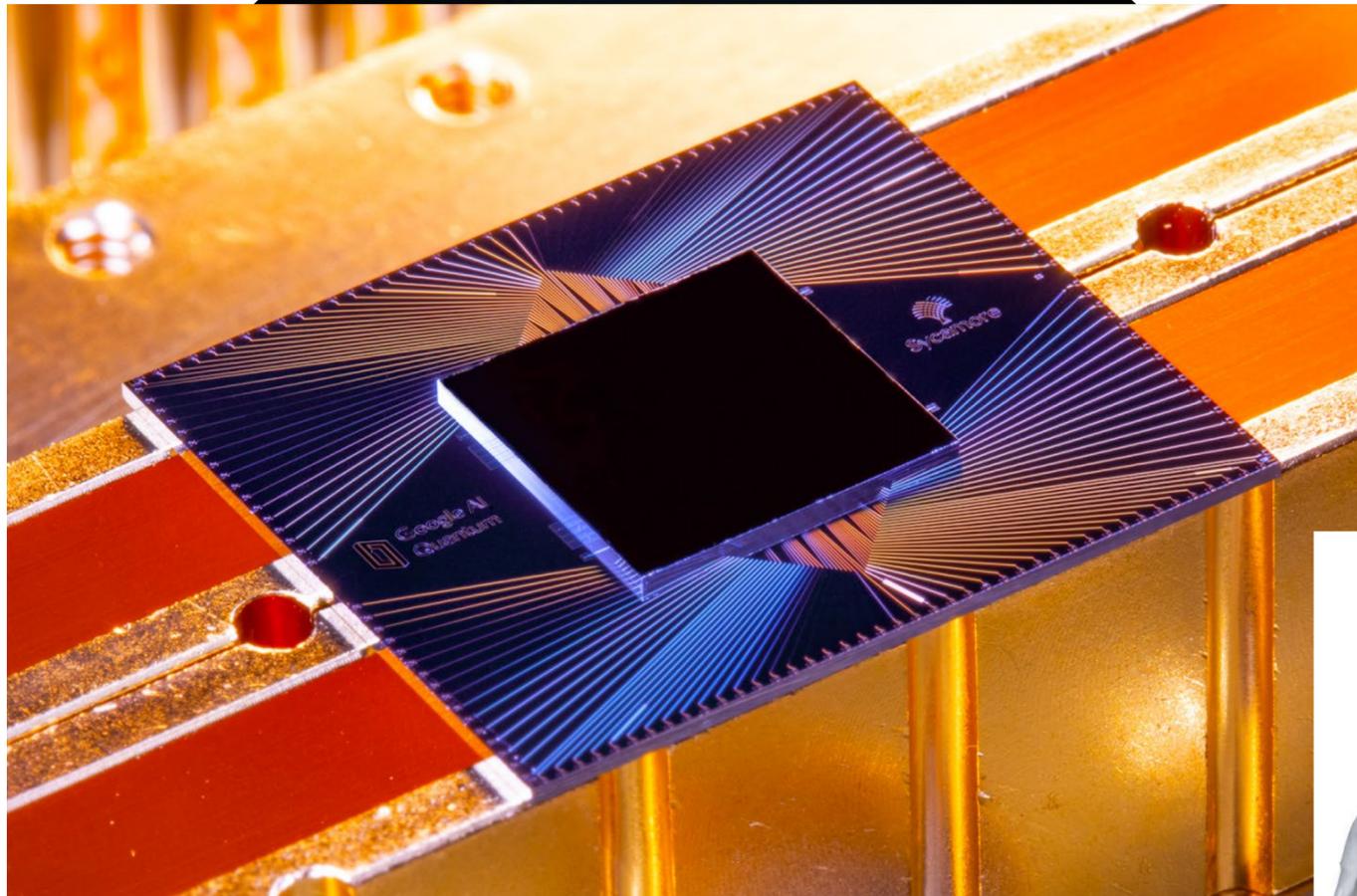
Computer quantistico



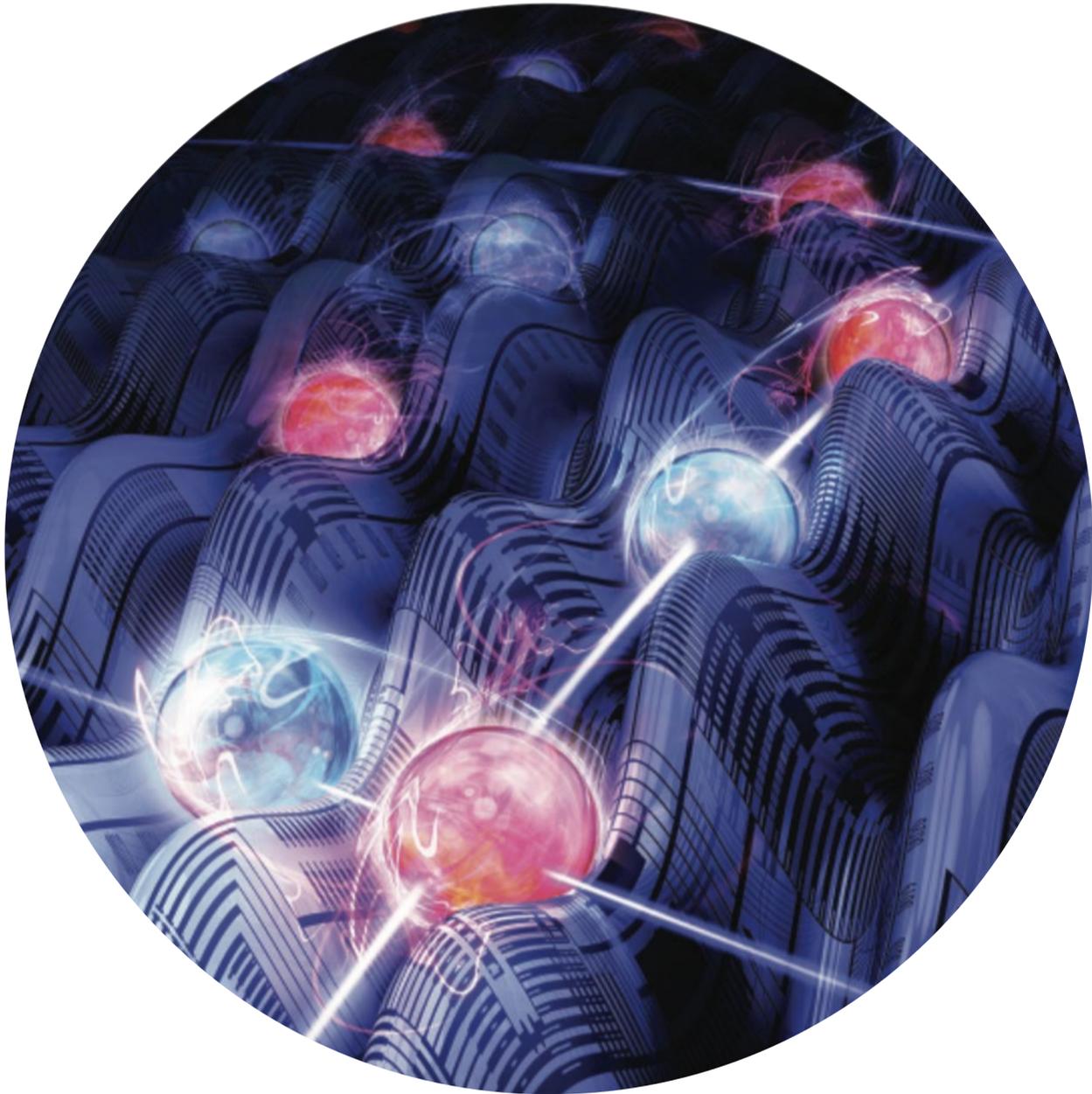
Sfruttare il parallelismo quantistico



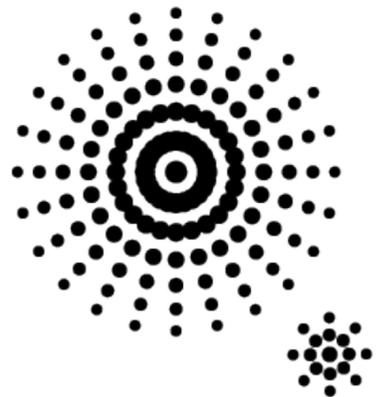
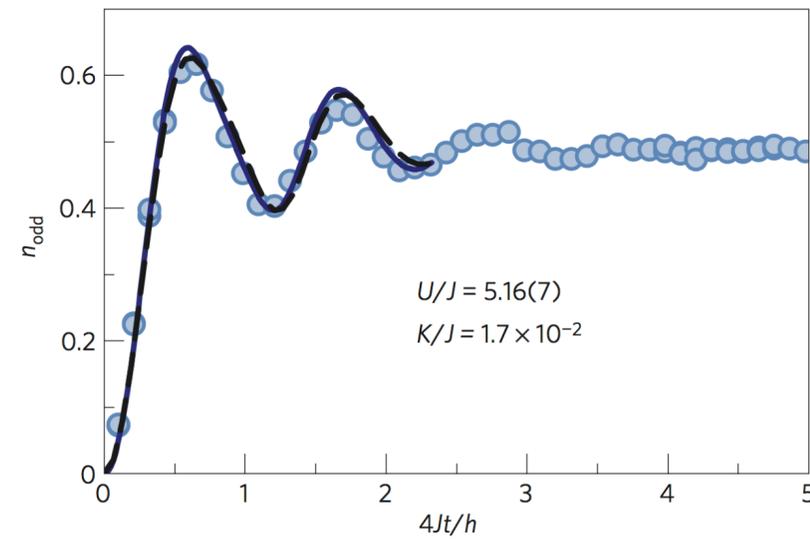
Enorme potenza di calcolo per l'ottimizzazione (traffico, logistica, reti energetiche...) e l'intelligenza artificiale



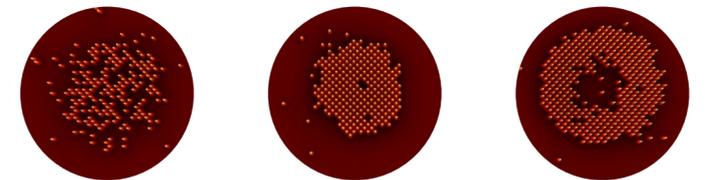
**QUANTUM**  
Computing

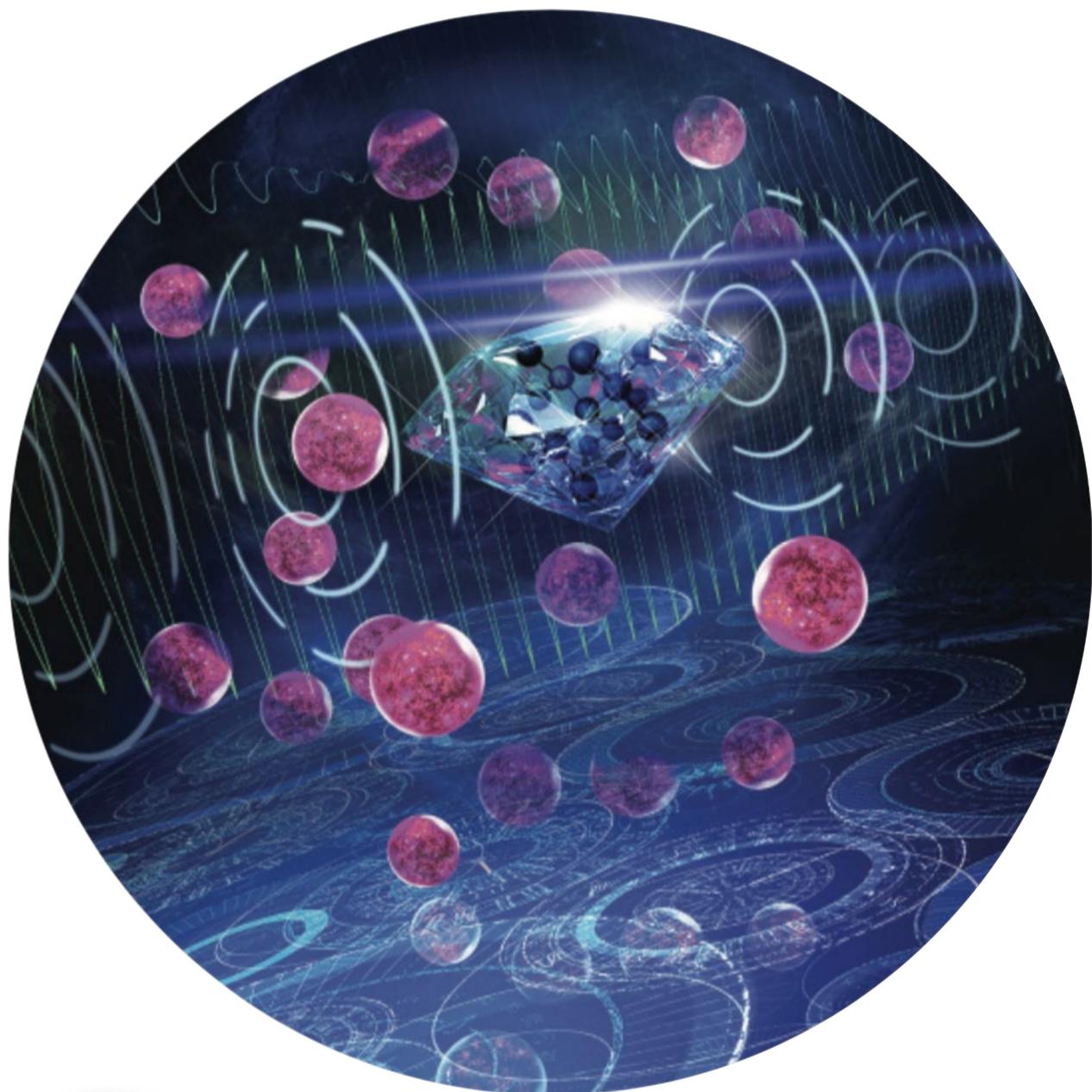


Progettazione di nuovi prodotti chimici (farmaci, fertilizzanti...) e di nuovi materiali, come i superconduttori ad alta temperatura.

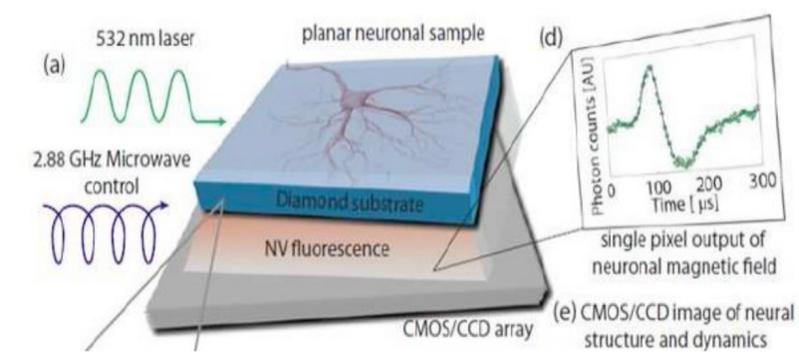


**QUANTUM**  
Simulation





Dalla diagnostica medica alla navigazione ultraprecisa;  
... Internet delle cose



**Q.QUANTUM**  
Sensing & metrology

# Risultati della Quantum Flagship



**QUANTUM**  
Communication

Per una società digitale sicura e un internet quantistico



**QUANTUM**  
Simulation

Simulazione di sistemi complessi per la progettazione e lo sviluppo



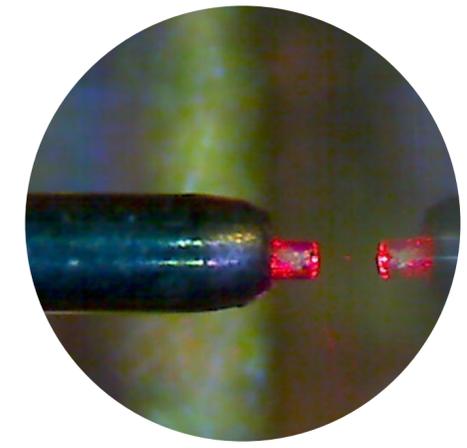
**QUANTUM**  
Sensing metrology

Portare la precisione e le prestazioni a livelli mai visti prima



**QUANTUM**  
Computing

Potenza di calcolo per risolvere problemi attualmente irrisolvibili



**QUANTUM**  
Basic science

Affrontare le sfide fondamentali per lo sviluppo delle tecnologie quantistiche

- ✓ **Progressi a livello mondiale** nel QKD a variabili continue
- ✓ **Memorie quantistiche multiplexate** e ad alta efficienza
- ✓ Sviluppo di componenti di sistemi avanzati

- ✓ Simulatori quantistici programmabili di nuova generazione su base atomica
- ✓ **Vantaggio quantico pratico**
- ✓ **Infrastruttura ibrida HPC/quantum paneuropea** (simulazioni analogiche a 100 qubit presso FZJ e GENCI)

- ✓ **Sensori quantistici in diamante** (auto, imaging medico)
- ✓ I primi **sensori quantistici nello spazio**
- ✓ Nuovi sensori quantistici basati su MEMS
- ✓ **Orologi ottici quantistici** integrati/compatti di nuova generazione

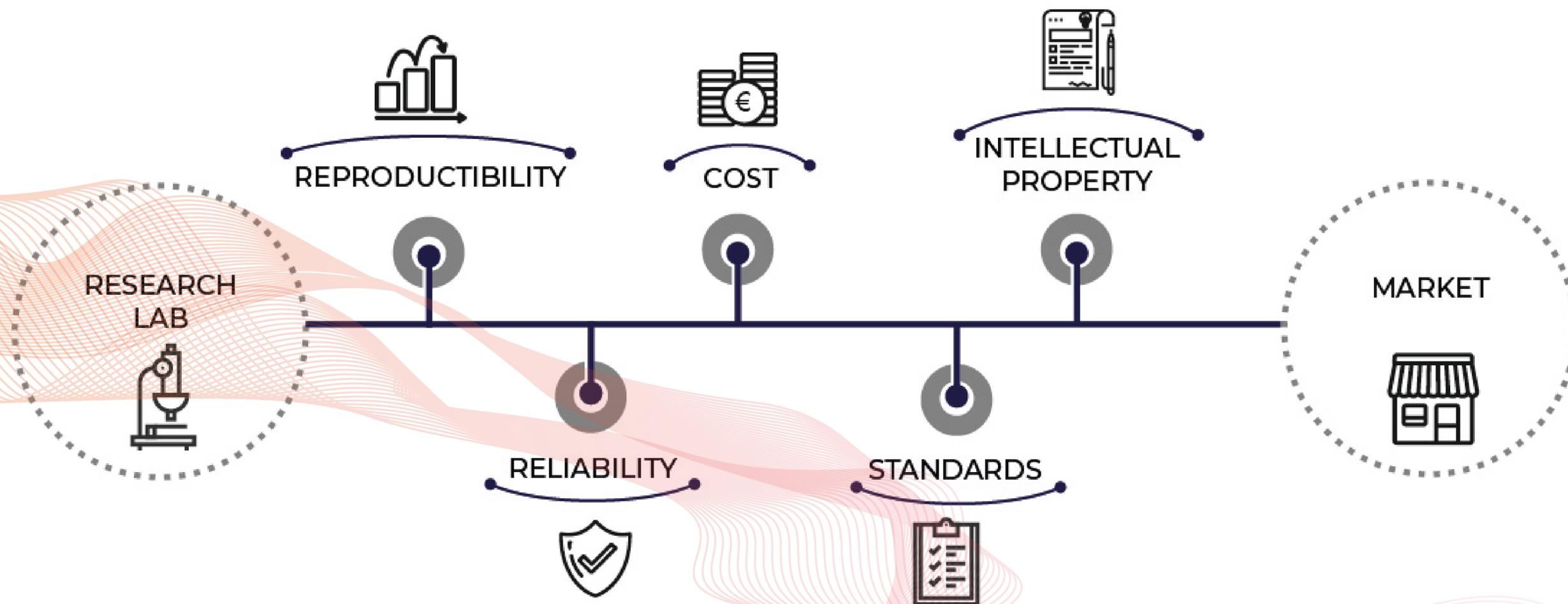
- ✓ **Computer quantistico a 50 qubit a ioni intrappolati** (con un basso consumo energetico di 1,5KW) implementato e online
- ✓ Costruito **25 dispositivo superconduttore di qubit** con una fedeltà del 99% del gate a 2 qubit

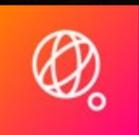
- ✓ **Record mondiale di tunabilità** degli emettitori di fotoni
- ✓ Nuovi rivelatori di fotoni singoli
- ✓ Porte quantistiche ad alta fedeltà con ioni manipolati a microonde
- ✓ **Sorgenti di luce** compatte basate su fotoni **entangled**
- ✓ Rilevamento e controllo di singoli ioni di terre rare



# Innovazione e infrastrutture

Affrontare le sfide della scalabilità dal laboratorio ai prodotti e ai servizi, sensibilizzare l'opinione pubblica e riunire le principali parti interessate sono tutti elementi essenziali per sviluppare l'ecosistema dinamico dell'innovazione che porrà l'Europa all'avanguardia nell'industria emergente delle tecnologie quantistiche.





# INFRASTRUTTURA DI COMUNICAZIONE QUANTISTICA

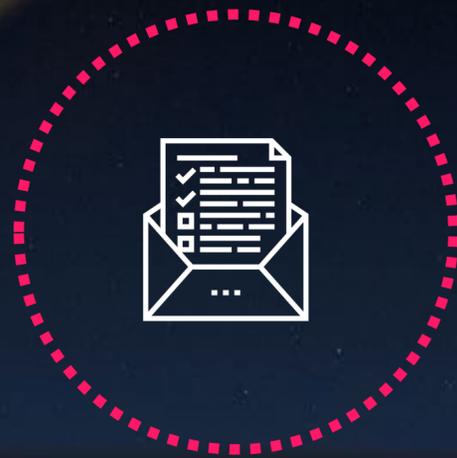


Integrare la crittografia  
quantistica nei sistemi di  
comunicazione critici



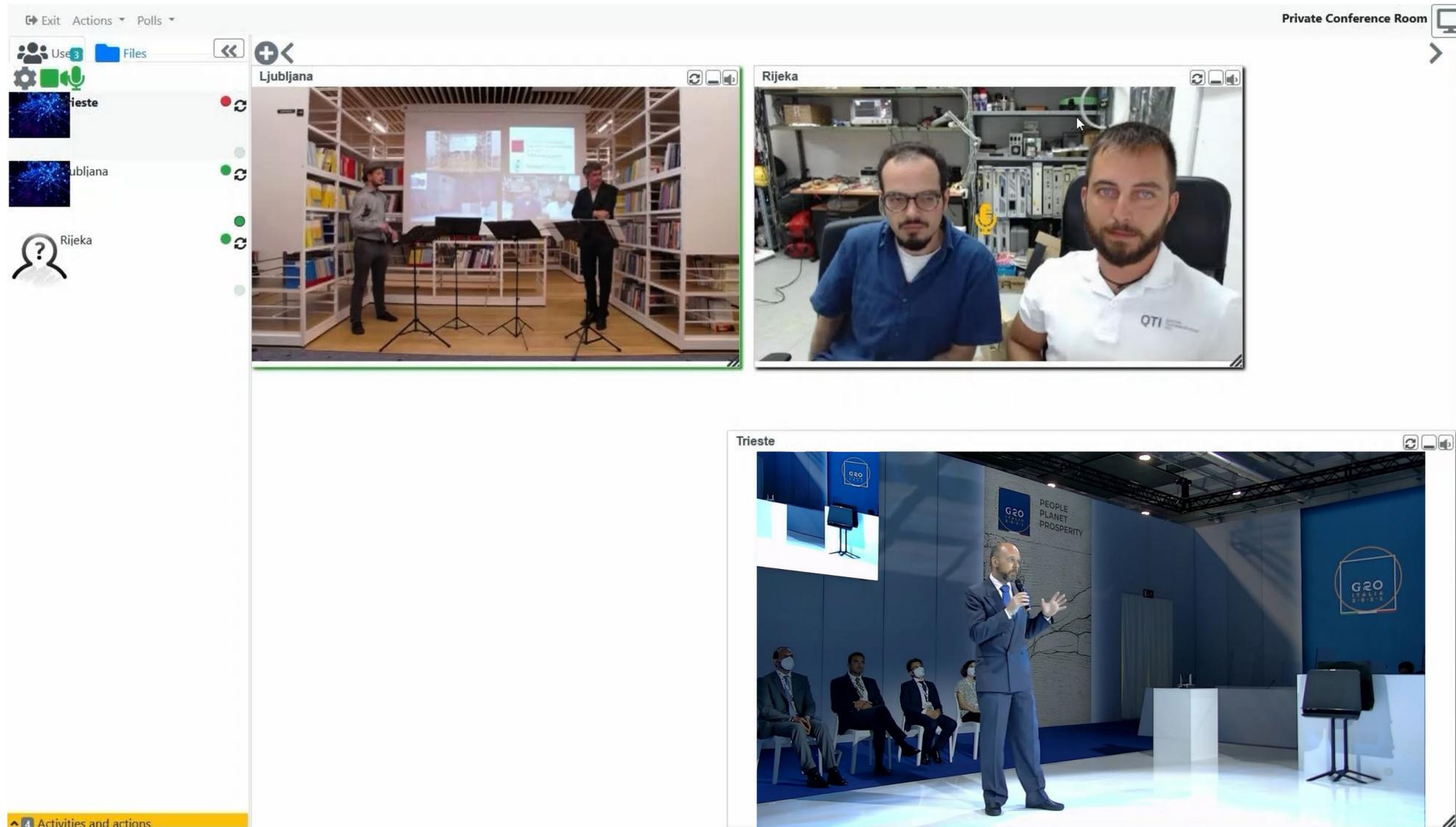
Combinare componenti  
terrestri e satellitari per  
un'ampia copertura

Protezione delle reti di dati,  
sincronizzazione degli orologi,  
voto elettronico,...



Infrastruttura backbone  
per l'internet quantistico

# Dimostrazione EuroQCI tripartita al



[https://www.youtube.com/watch?v=LLc\\_YP7Engl&t=466s](https://www.youtube.com/watch?v=LLc_YP7Engl&t=466s)

# INFRASTRUTTURA DI SIMULAZIONE E CALCOLO QUANTISTICO

Emulazione classica di hardware quantistico in HPC

Hardware per il calcolo e la simulazione quantistica (trappole ioniche, qubit super/semiconduttori, qubit di spin, circuiti fotonici, atomi neutri)

Testbed quantistici per gli sviluppatori di hardware

Database delle applicazioni quantistiche (verifica/validazione, algoritmi, applicazioni)

# Dimostrazione EuroQCS, G7 Bologna 2024

Dimostrazione dal vivo di una computazione di **screening di tossicità** in remoto su un processore quantistico

Misura in loco della **variazione dell'accelerazione di gravità** a causa del moto della Luna

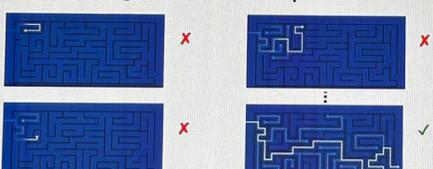
**Quantum Computing**  
Quantum parallelism

**Classical computer**

One Bit: 0 OR 1

Two Bits: 00 OR 01 OR 10 OR 11

Searching through a maze: iterative process

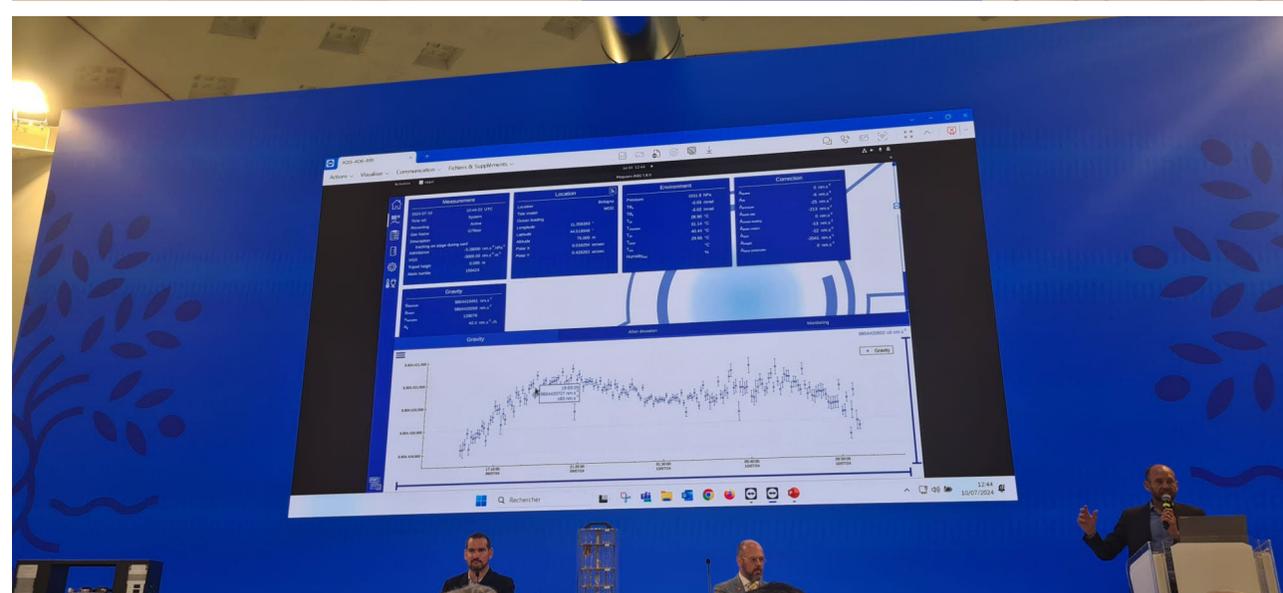
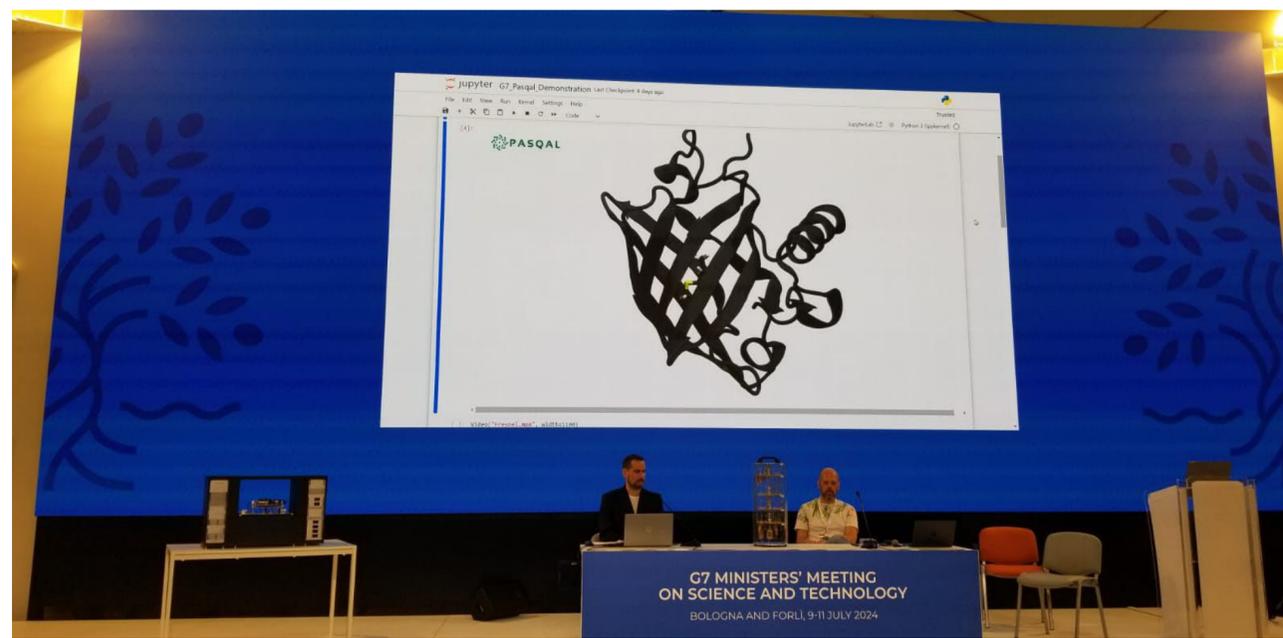


**Quantum computer**

One Qubit:  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$

Two Qubits:  $\frac{1}{2}(|00\rangle + |01\rangle + |10\rangle + |11\rangle)$

Searching through a maze: exploit quantum parallelism

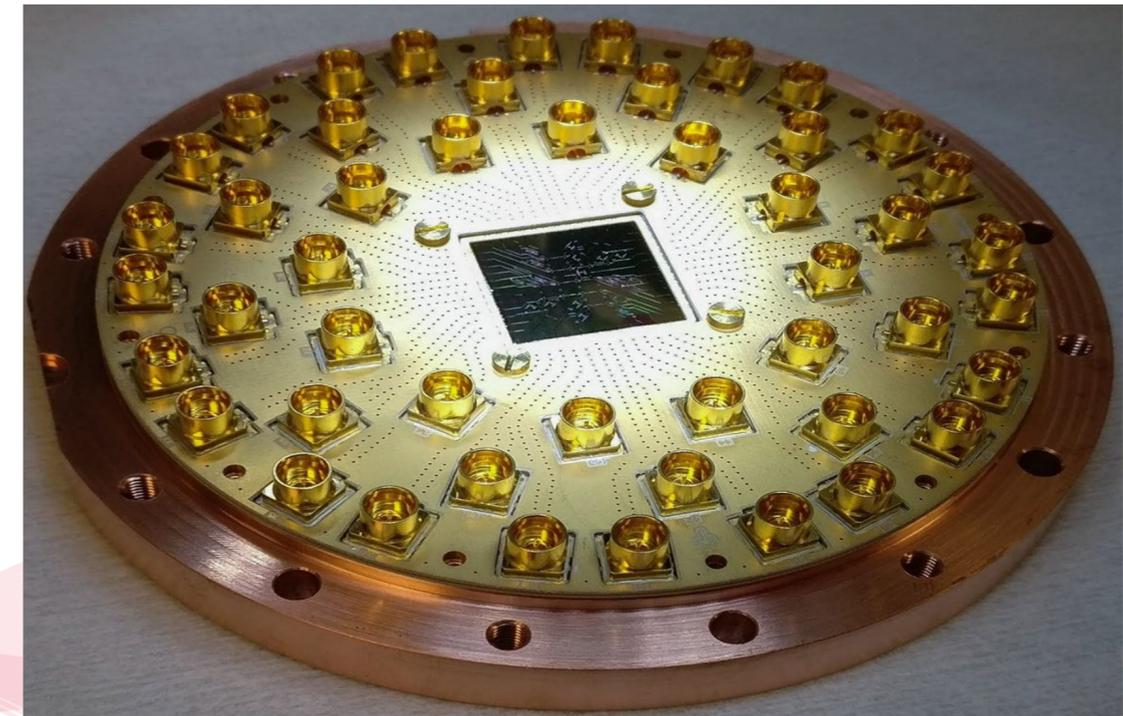
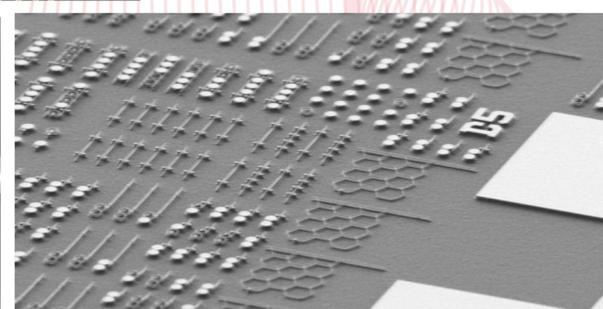
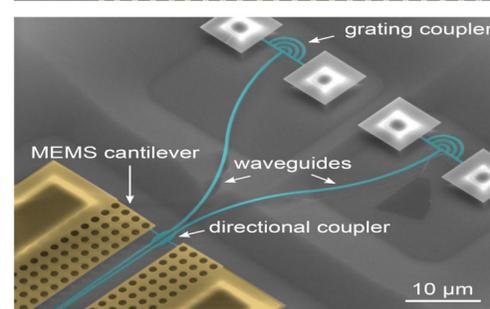
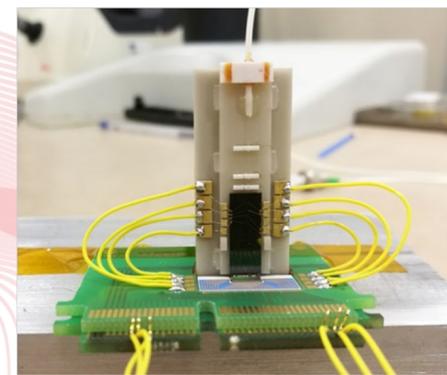
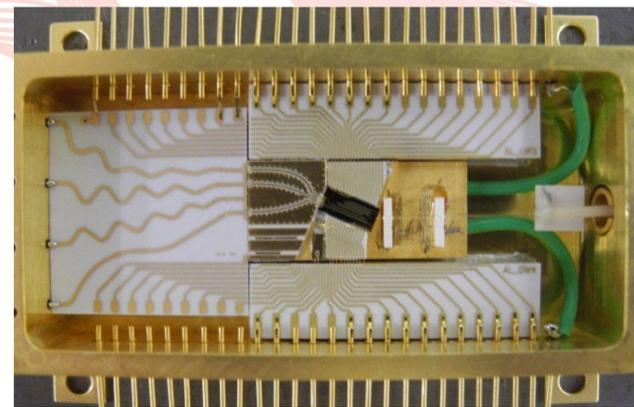
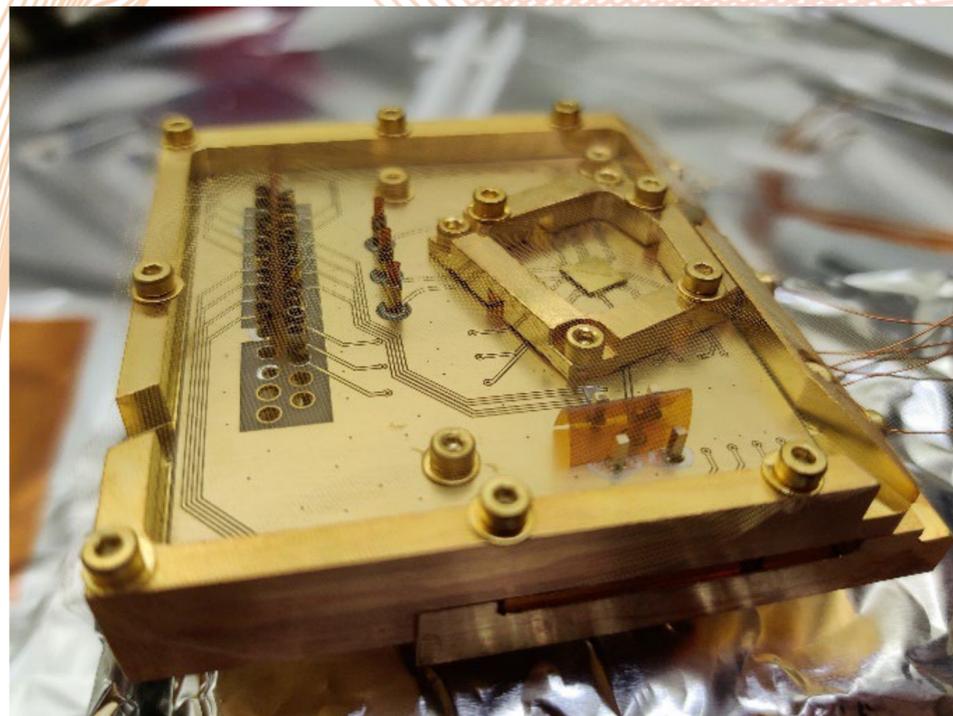


# INDUSTRIALIZZARE LE TECNOLOGIE QUANTISTICHE

- ✓ L'iniziativa Quantum Flagship ha ottenuto **risultati superiori alle aspettative**
- ✓ La conversione di questi risultati in **innovazione di mercato** richiede lo sviluppo e la **produzione** di dispositivi quantistici, attraverso la produzione di **chip quantistici**.

*un dispositivo che elabora informazioni a livello di singoli sistemi quantistici, con un livello di integrazione dei componenti variabile su un singolo chip a seconda della*

**Chip quantistico** *piattaforma quantistica utilizzata, impiegato in macchine di calcolo, come computer quantistici autonomi o acceleratori per supercomputer, o nelle reti, dove può fornire servizi completamente nuovi come comunicazioni ultra-sicure o marcature temporali ultra-precise*



# Gruppo di lavoro sulla strategia quantistica italiana



Avviato da un'**iniziativa congiunta** di **MUR** e **MIMIT** a seguito della **firma** della **Dichiarazione Quantistica Europea**

Attivo da **maggio 2024**

Composto da **rappresentanti del MIMIT/MUR** (e DTD-PCM, ACN, Difesa) e da **espert\* della comunità scientifica**

Formulare la **Strategia italiana sulle tecnologie quantistiche**



Ministero delle Imprese  
e del Made in Italy