

# DAI QUANTI AL QUBIT

## al computer quantistico

---

Elisa Ercolessi

---



Theory and Phenomenology  
of Fundamental Interactions

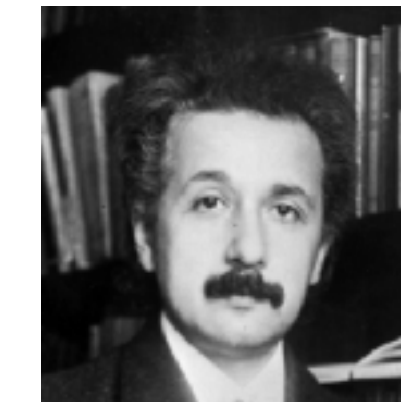
UNIVERSITY AND INFN · BOLOGNA

# LA PRIMA RIVOLUZIONE QUANTISTICA

## OLD QUANTUM PHYSICS



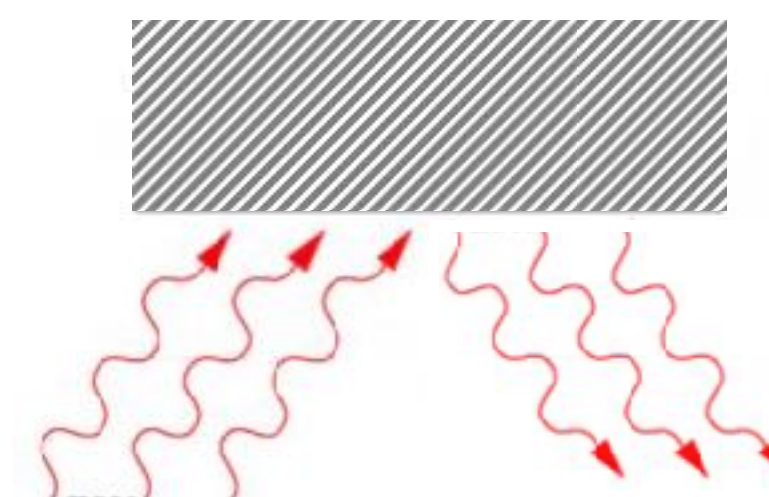
**Max Planck** - 1900 radiazione di corpo nero



**Albert Einstein** - 1905 l'effetto fotoelettrico

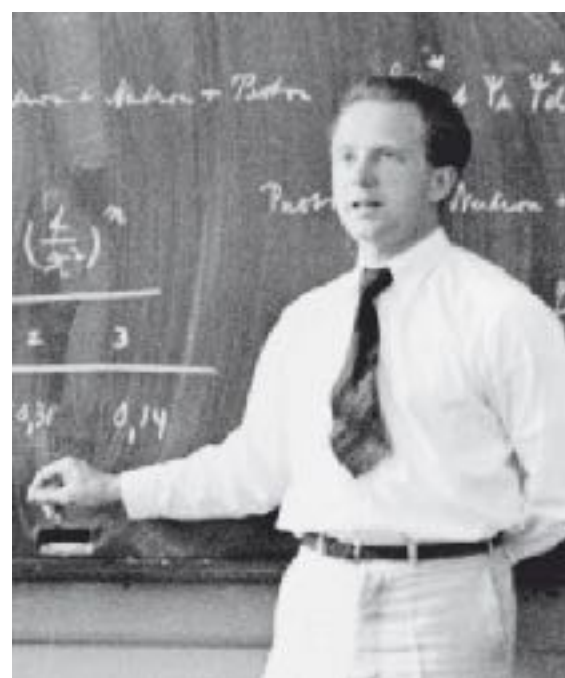
quando la luce interagisce con la materia, può scambiare energia solo in multipli di una ben determinata quantità o pacchetti (con  $E = hf$ ) che vengono detti:

**QUANTI** di luce



1900-1925 si raccolgono molti risultati sulla descrizione della materia e della luce a livello microscopico (atomo idrogeno, effetto Compton, ...) con interpretazioni di carattere fenomenologico/euristico, senza una teoria consistente

## 1925-26



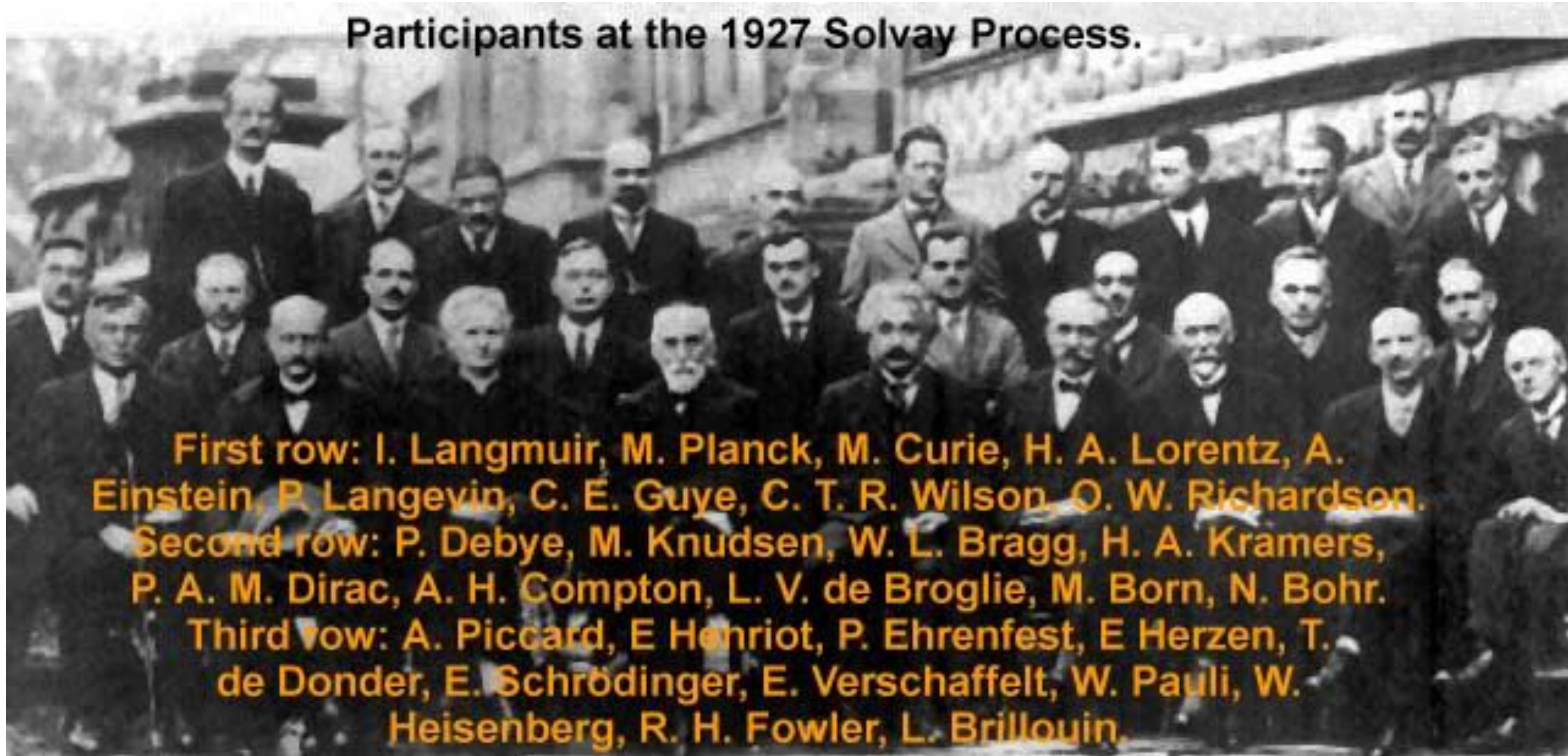
**Werner Heisenberg** introduce meccanica quantistica delle matrici, per descrivere il comportamento degli spettri atomici.

**Erwin Schrodinger** pubblica una serie di lavori in cui introduce la sua famosa equazione d'onda per descrivere il comportamento delle particelle a livello microscopico

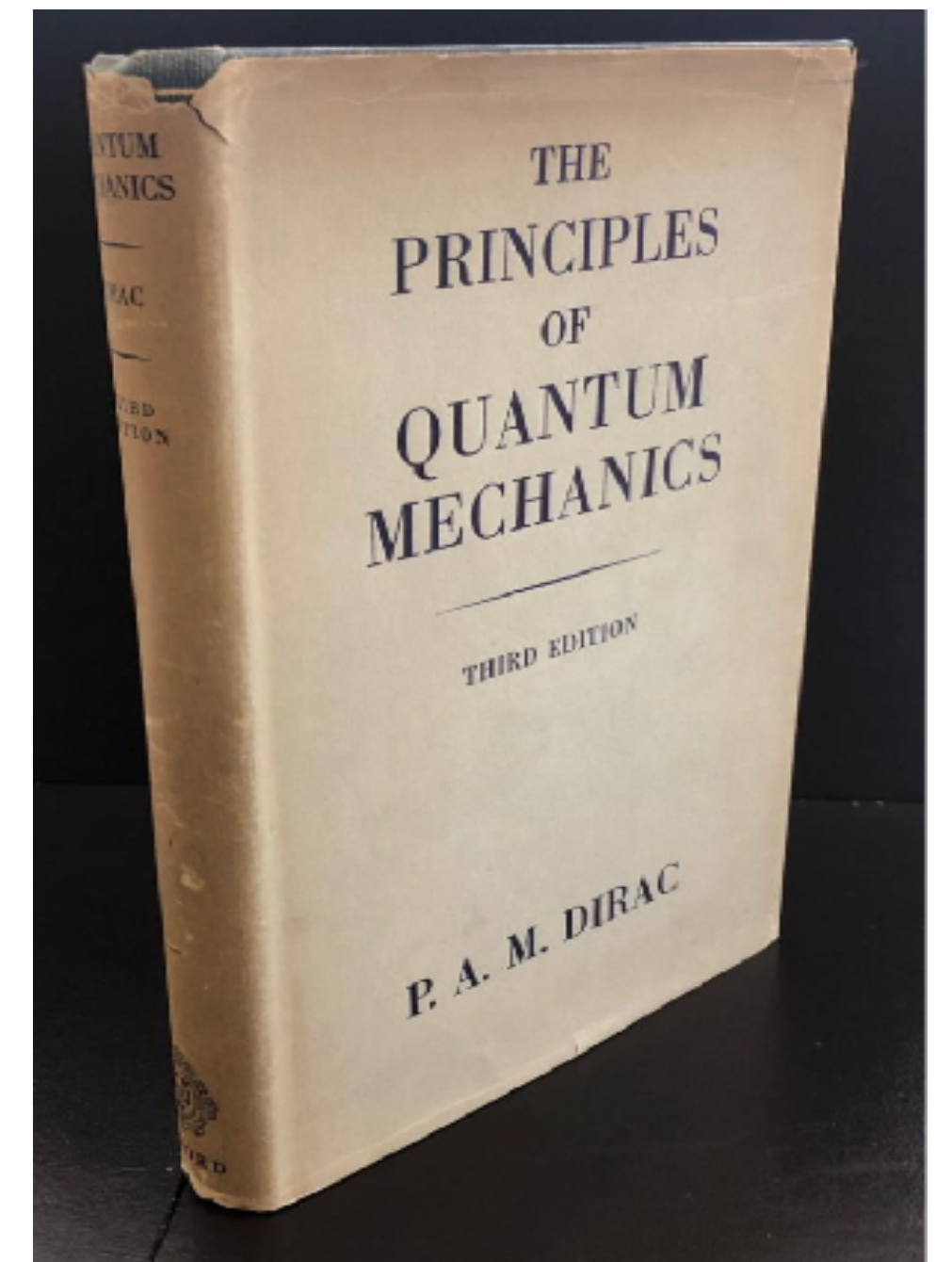


... E POI ...

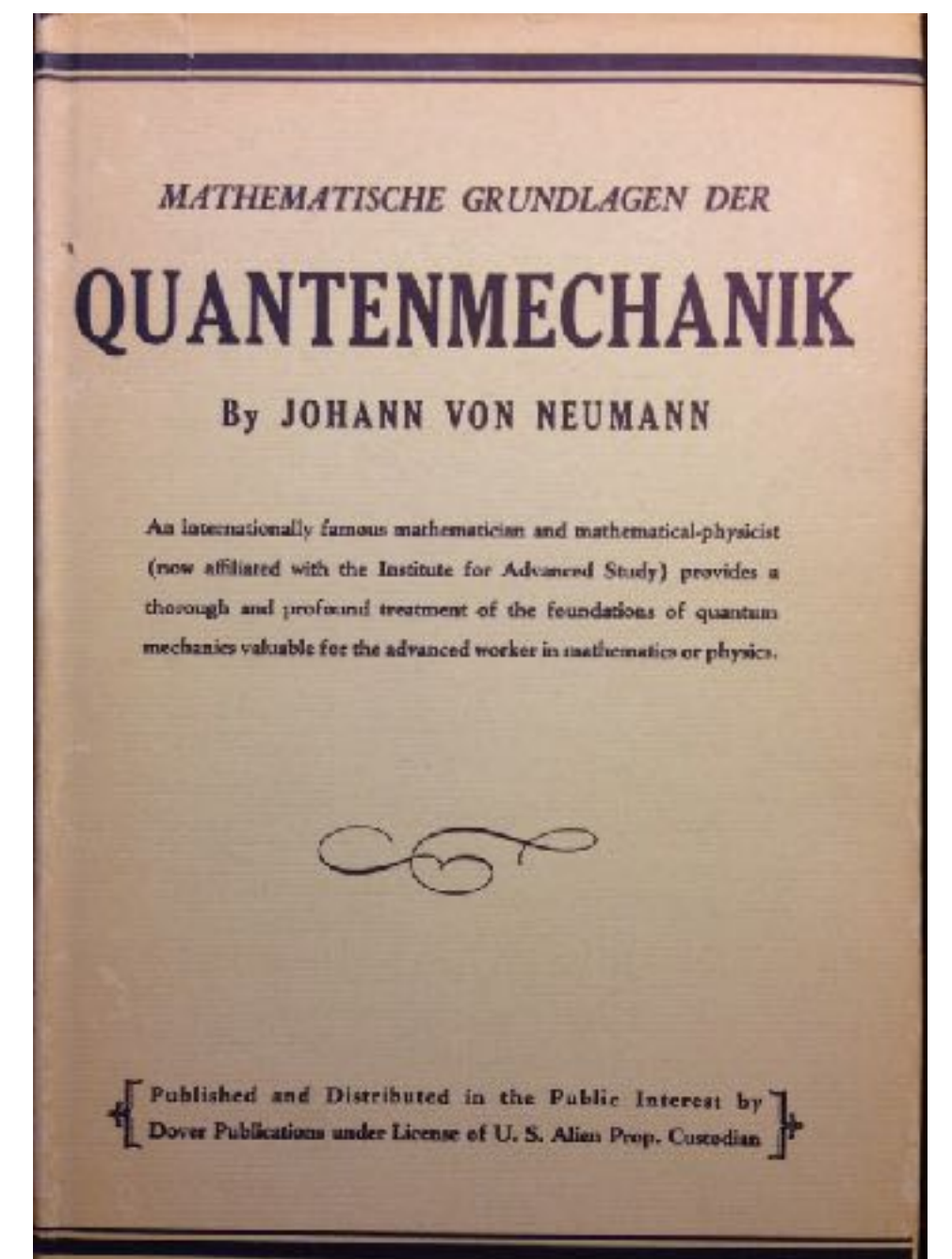
Participants at the 1927 Solvay Process.



First row: I. Langmuir, M. Planck, M. Curie, H. A. Lorentz, A. Einstein, P. Langevin, C. E. Guye, C. T. R. Wilson, O. W. Richardson.  
Second row: P. Debye, M. Knudsen, W. L. Bragg, H. A. Kramers, P. A. M. Dirac, A. H. Compton, L. V. de Broglie, M. Born, N. Bohr.  
Third row: A. Piccard, E. Henriot, P. Ehrenfest, E. Herzen, T. de Donder, E. Schrödinger, E. Verschaffelt, W. Pauli, W. Heisenberg, R. H. Fowler, L. Brillouin.



1930



1932

## ... DIBATTITI SENZA FINE

dualità onda-particella

collasso della funzione d'onda

paradosso del gatto di Schrodinger

paradosso Einstein-Podolsky-Rosen

teoria delle variabili nascoste



Bohr vs. Einstein



R. Feynman:

“... I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics...”

Anche se la fisica quantistica

- è descritta da una teoria che ha oramai un secolo di vita ed è ben compresa
- ha avuto più verifiche sperimentali nella storia di ogni altra disciplina, senza mai essere smentita
- ha portato applicazioni tecnologiche nei campi più disparati

essa viene ancora considerata una cosa difficile da insegnare, se non misteriosa

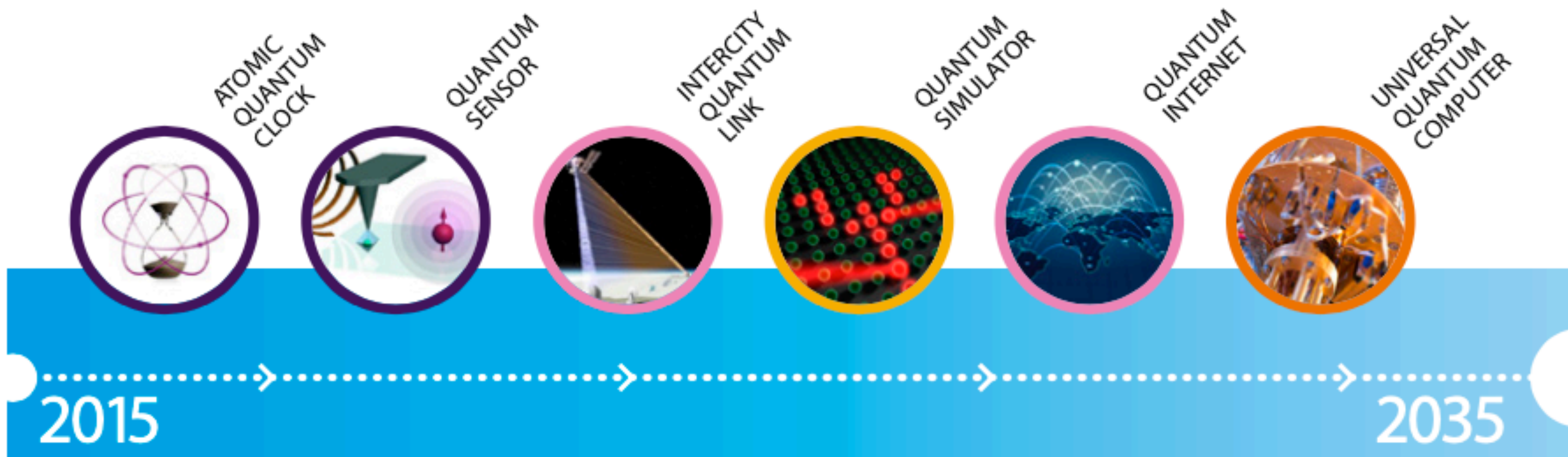
# un secolo dopo .....LA SECONDA RIVOLUZIONE QUANTISTICA

La Fisica Quantistica è una scienza matura:

sia nei suoi aspetti di fondamento e matematici

sia nelle abilità sperimentali per manipolare un oggetto quantistici

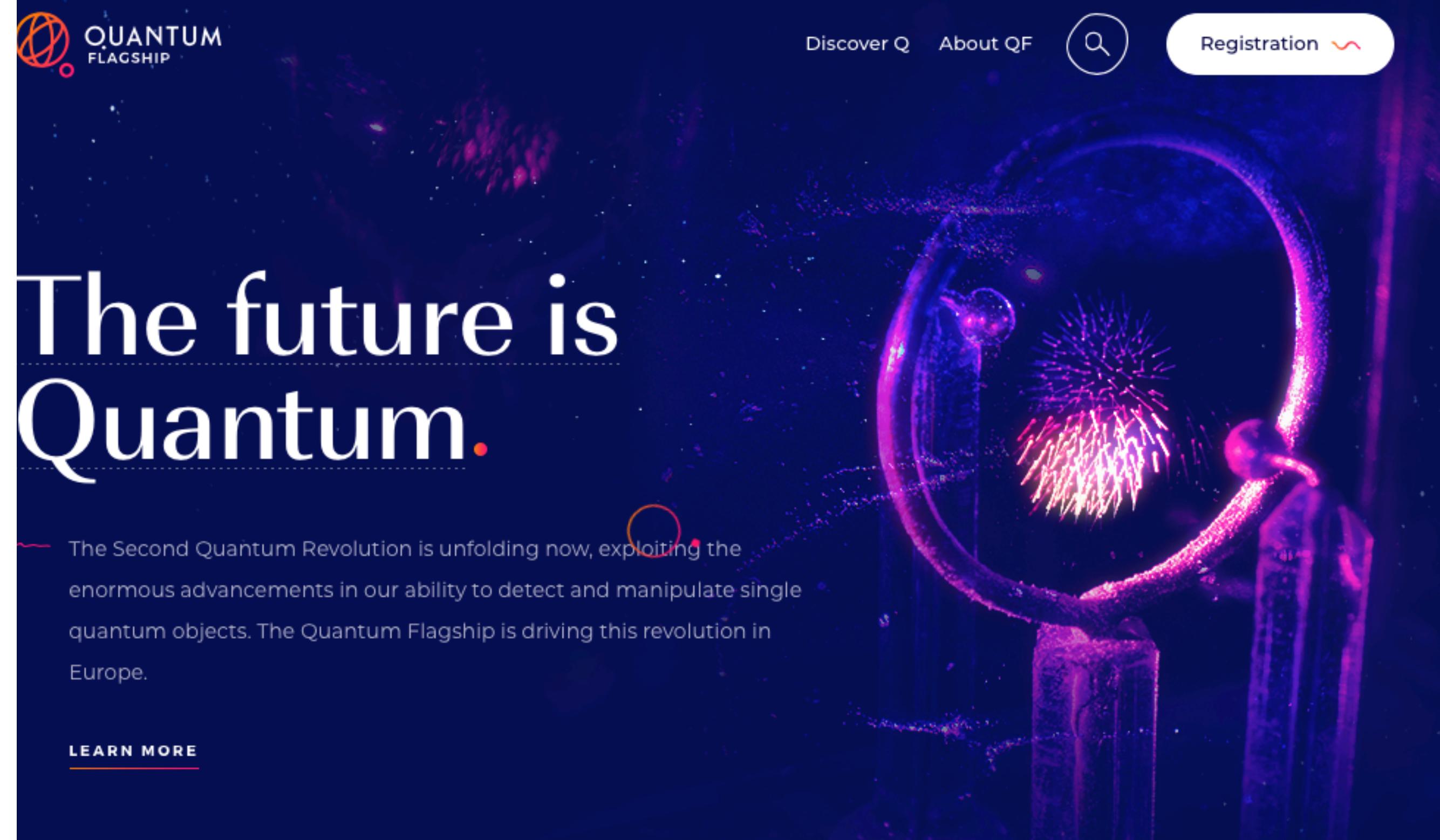
Possiamo quindi utilizzarla che RISORSA per sviluppare, metodologie, protocolli e tecnologie che la fisica classica non consente



# QuantumManifesto

A New Era of Technology

May 2016



This manifesto is a call to launch an ambitious European initiative in quantum technologies, needed to ensure Europe's leading role in a technological revolution now under way.

<https://qt.eu>

## Quantum Flagship in a nutshell.



01

1b €

Quantum Technology will be funded with at least one billion Euro by the European Commission.

02

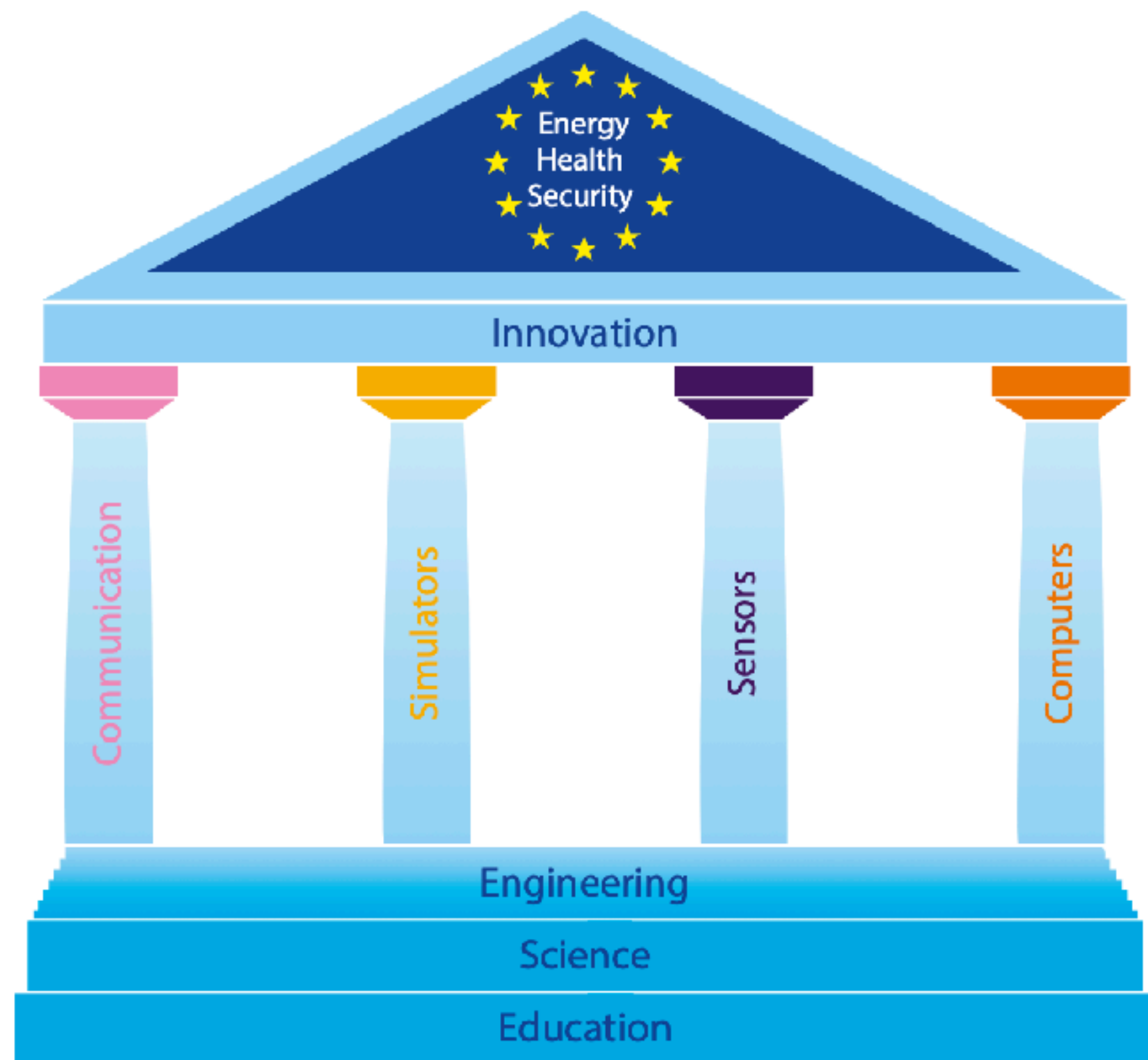
10+ yrs

Flagship's timescale

03

5000+

researchers residing in all EU and associated countries involved



In Italia?

Molte Università e Enti di Ricerca (INFN, CNR, ...) partecipano a progetti nazionali ed europei



anche per le/i ragazze/i delle scuole superiori

## Progetto QTedu

attività di Alternanza Scuola-Lavoro nel 2021 e 2022

UNIBO

Laboratorio PLS sulla Seconda Rivoluzione Quantistica



**14 APRILE**  
**WORLD QUANTUM DAY**

<https://www.quantumweeks.it>

su tutto il territorio nazionale (anche a Bologna)  
conferenze divulgative, interviste, giornate di orientamento ...

Concorso di Creatività Quantistica

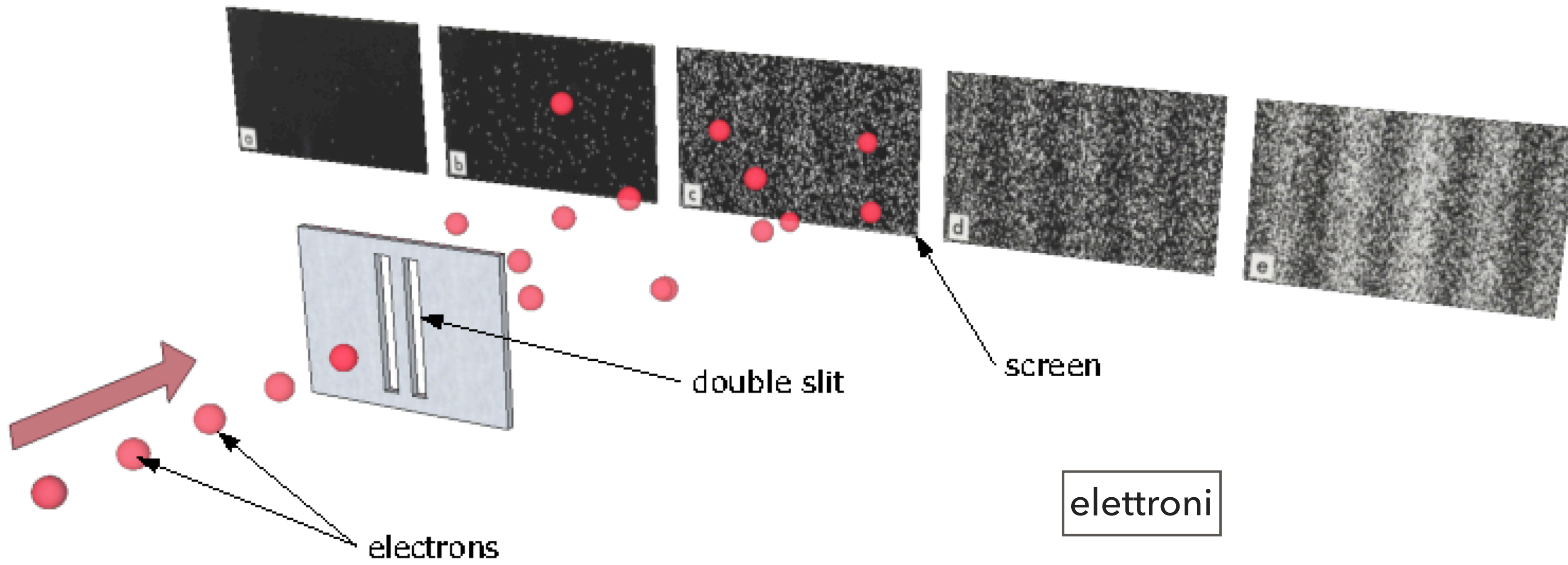
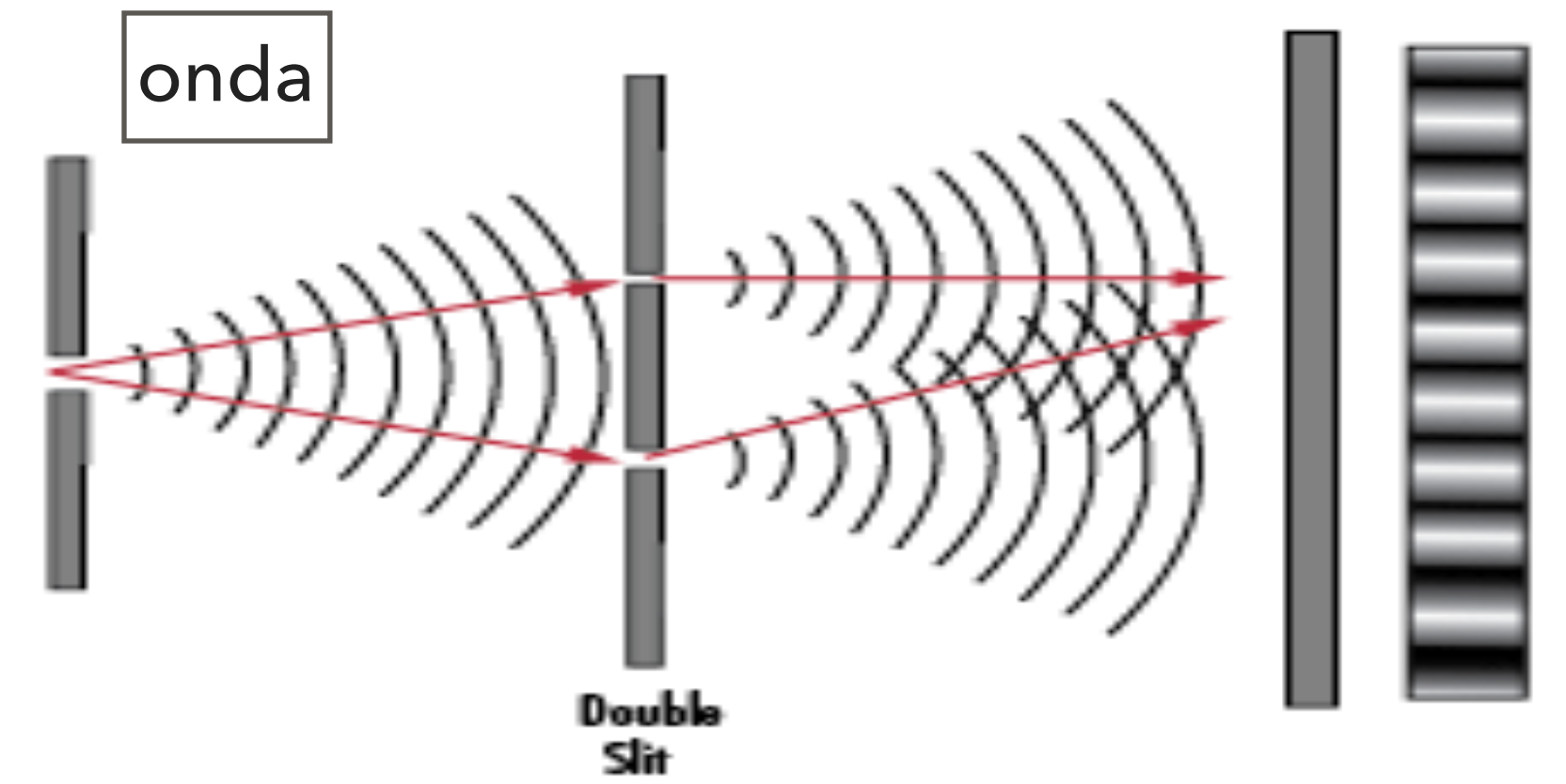
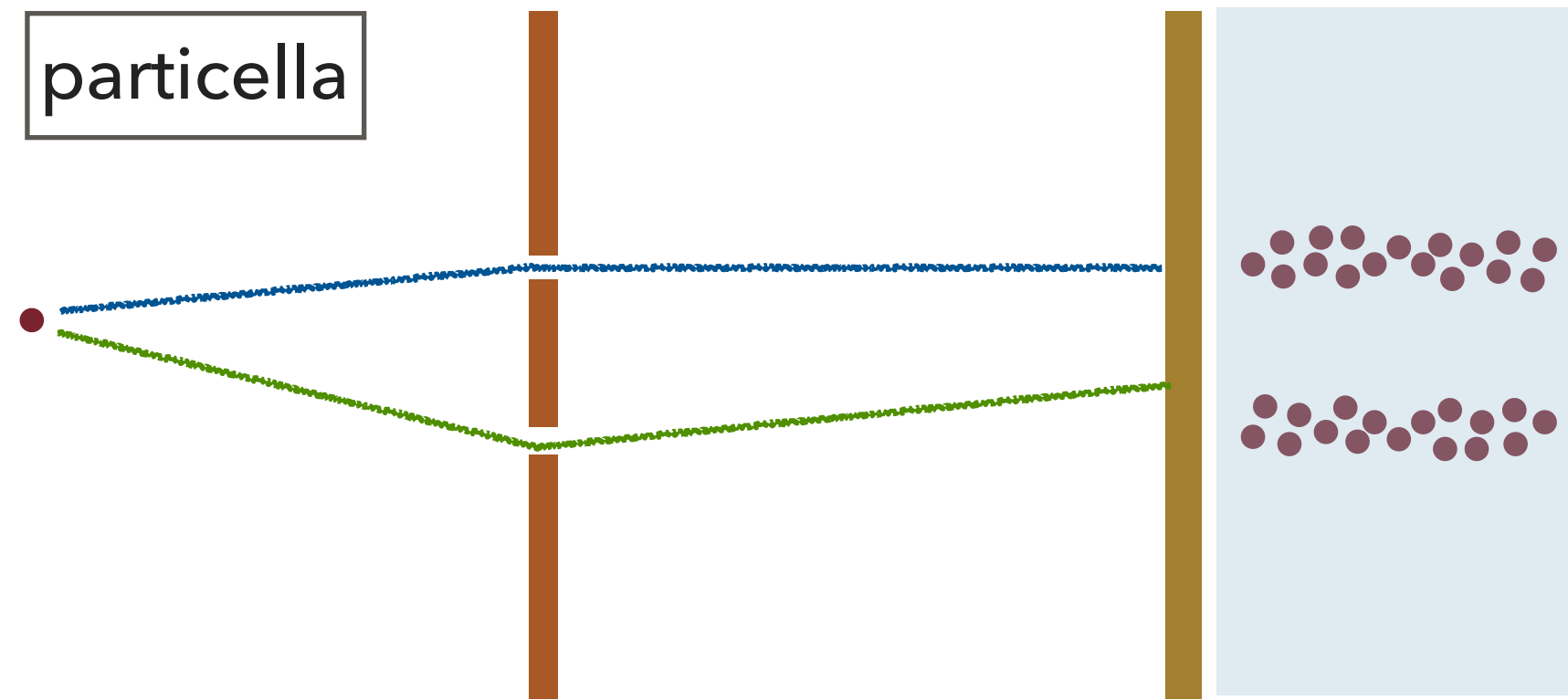
**SUGGERIMENTI QUANTISTICHE**

“ La creatività non è altro che un'intelligenza che si diverte” (A. Einstein)

# L'OGGETTO QUANTISTICO

## Interferenza da doppia fenditura con elettroni singoli

[l-esperimento-piu-bello-della-fisica.bo.imm.cnr.it](http://l-esperimento-piu-bello-della-fisica.bo.imm.cnr.it)



G. Pozzi, G.F. Missiroli, P.G. Merli



## COS'È un OGGETTO QUANTISTICO?

- ▶ non è una particella: localizzata, indivisibile, numerabile, ...
- ▶ non è un'onda: estesa, divisibile, continua, ...



## COS'È un OGGETTO QUANTISTICO?

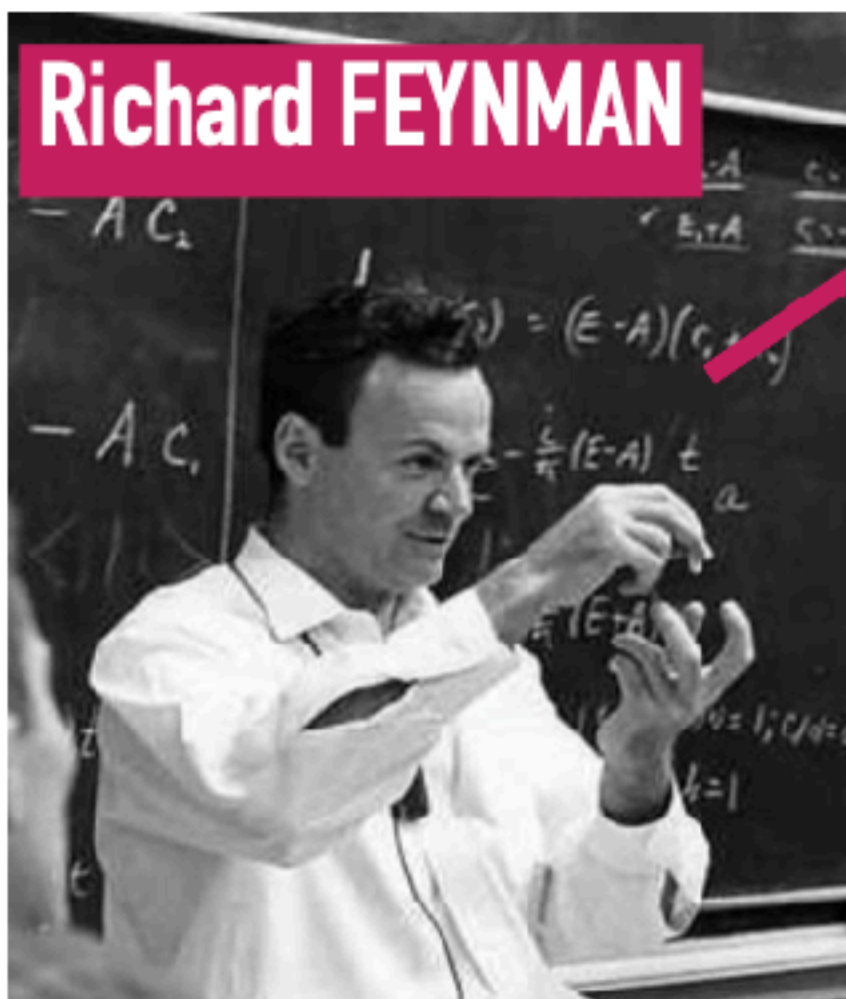
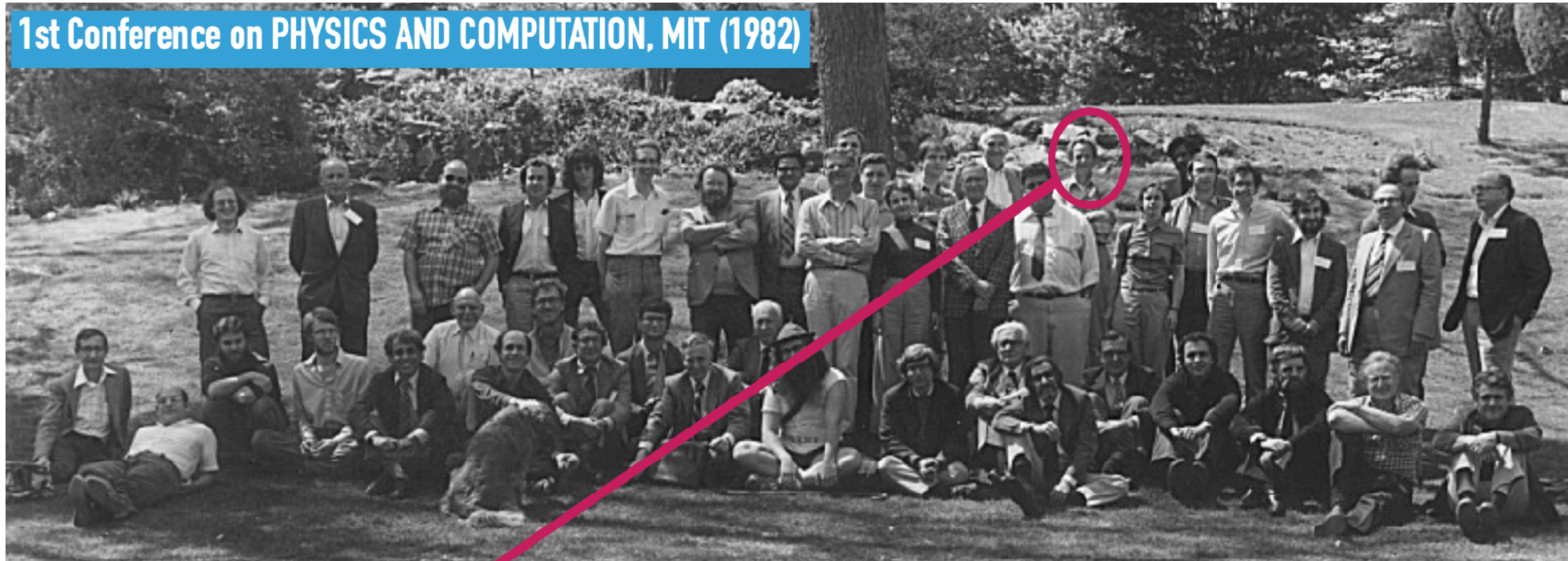
- ▶ non è una particella: localizzata, indivisibile, numerabile, ...
- ▶ non è un'onda: estesa, divisibile, continua, ...



- ▶ è un nuovo tipo di oggetti, con proprietà sue particolari, che sfidano le leggi della fisica classica e il senso comune, ma che possiamo riconoscere, modellizzare e utilizzare

# COMPUTER QUANTISTICI

1st Conference on PHYSICS AND COMPUTATION, MIT (1982)



**“Nature isn't classical, dammit, and if you want to make a simulation of nature, you'd better make it quantum mechanical, and by golly it's a wonderful problem, because it doesn't look so easy.”**  
**(Richard Feynman, 1982)**

# Simulating Physics with Computers

Richard P. Feynman

Department of Physics, California Institute of Technology, Pasadena, California 91107

## SIMULATORI

Macchina di AntiKiTHera  
(1 sec. ac)



FERMIAC (1946)



GALLERIA  
DEL VENTO

## CALCOLATORI

ENIAC (1946)



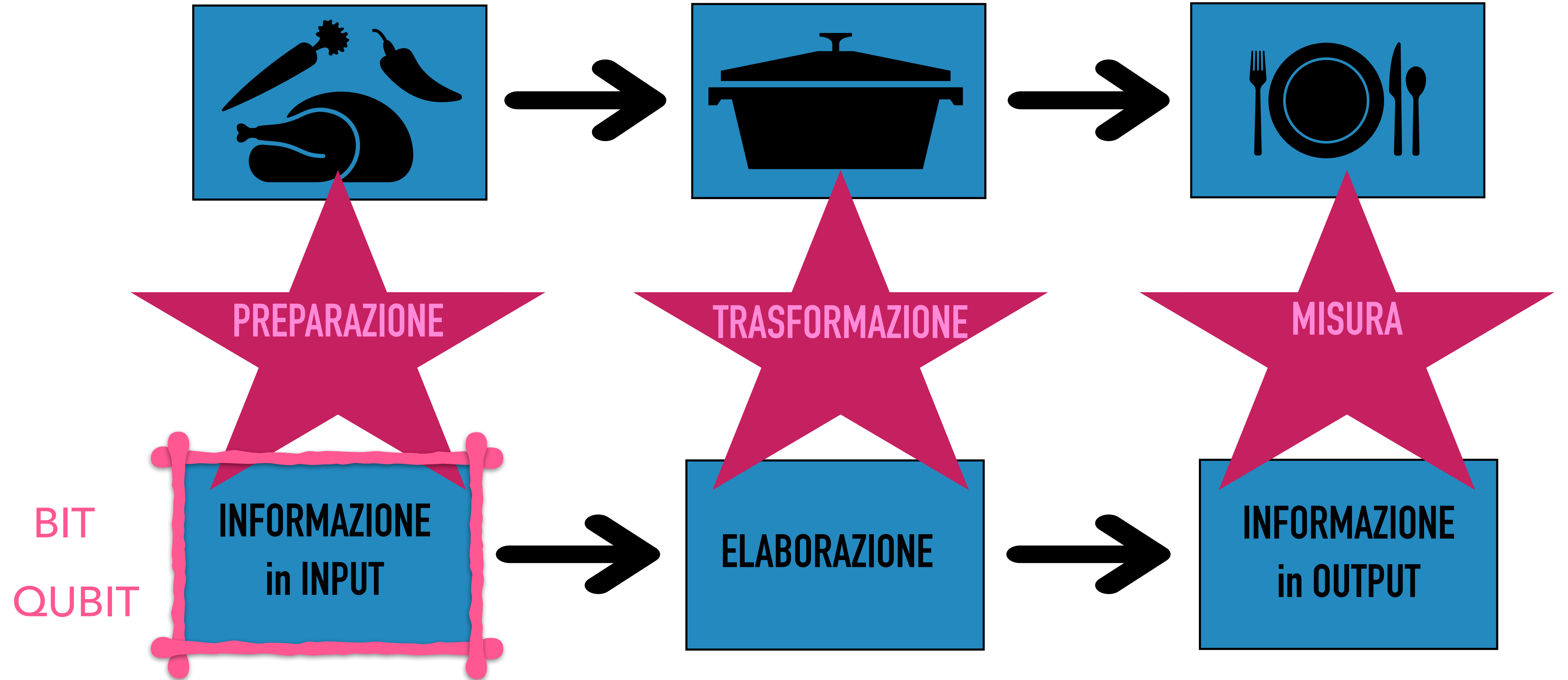
IBM PC (1981)



FUGAKU  
supercomputer (2020)



## COSA FA UN COMPUTER?



## COSA FA UN COMPUTER QUANTISTICO?

Ciascuna di queste fasi è dettata dalle leggi della fisica quantistica ed ha le sue peculiarità rispetto a come opera un computer classico.

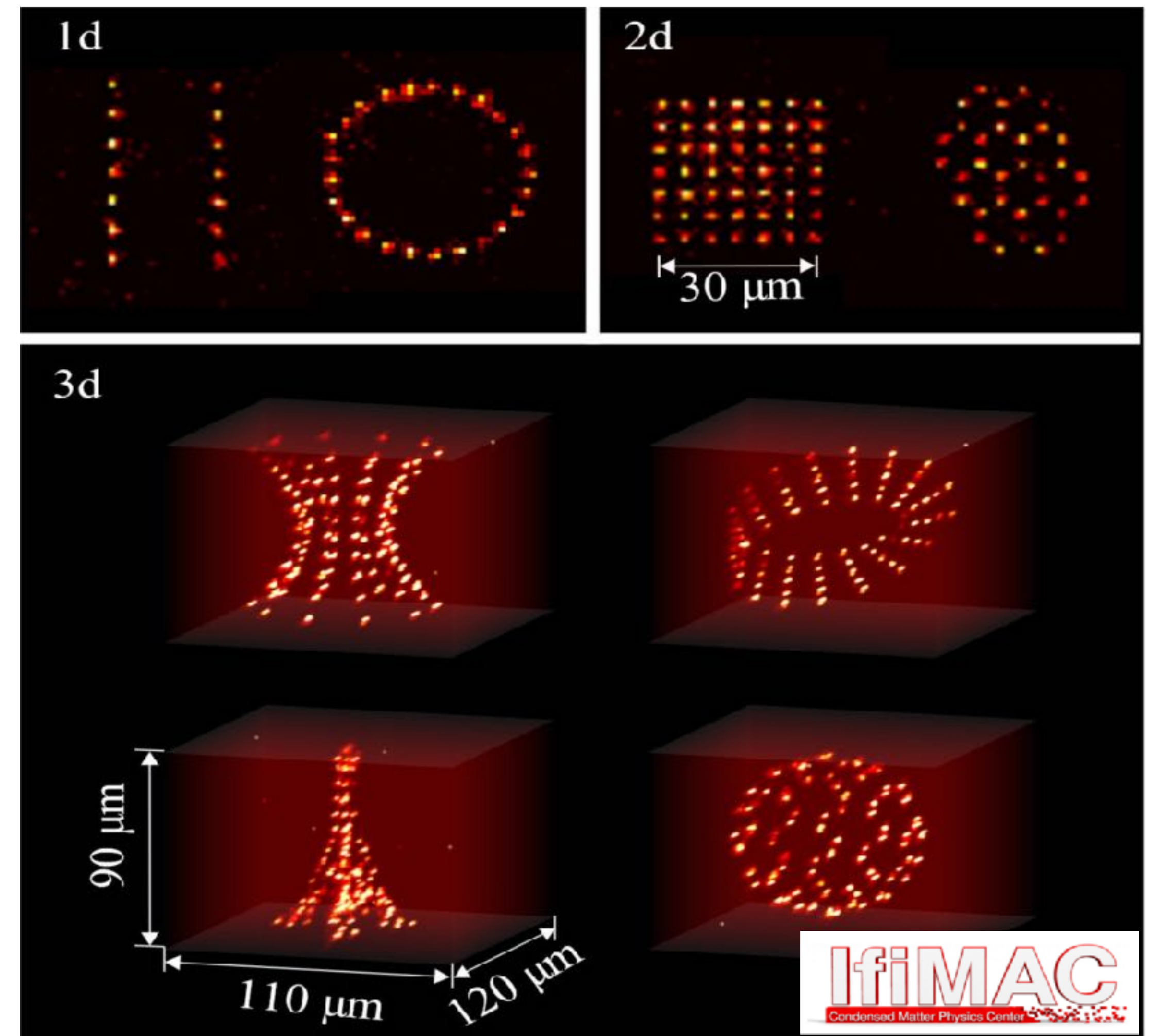
Sono proprio queste peculiarità che rendono un computer quantistico molto più potente di un computer classico.

## SIMULATORI quantistici

Manipolazione di singoli atomi/ioni freddi, intrappolati da un potenziale ottico (laser).

Versatilità:

- geometrie diverse
- diverse velocità di "hopping"
- interazioni variabili
- gradi di libertà interni
- statistiche diverse (bosoni, fermioni, ...)

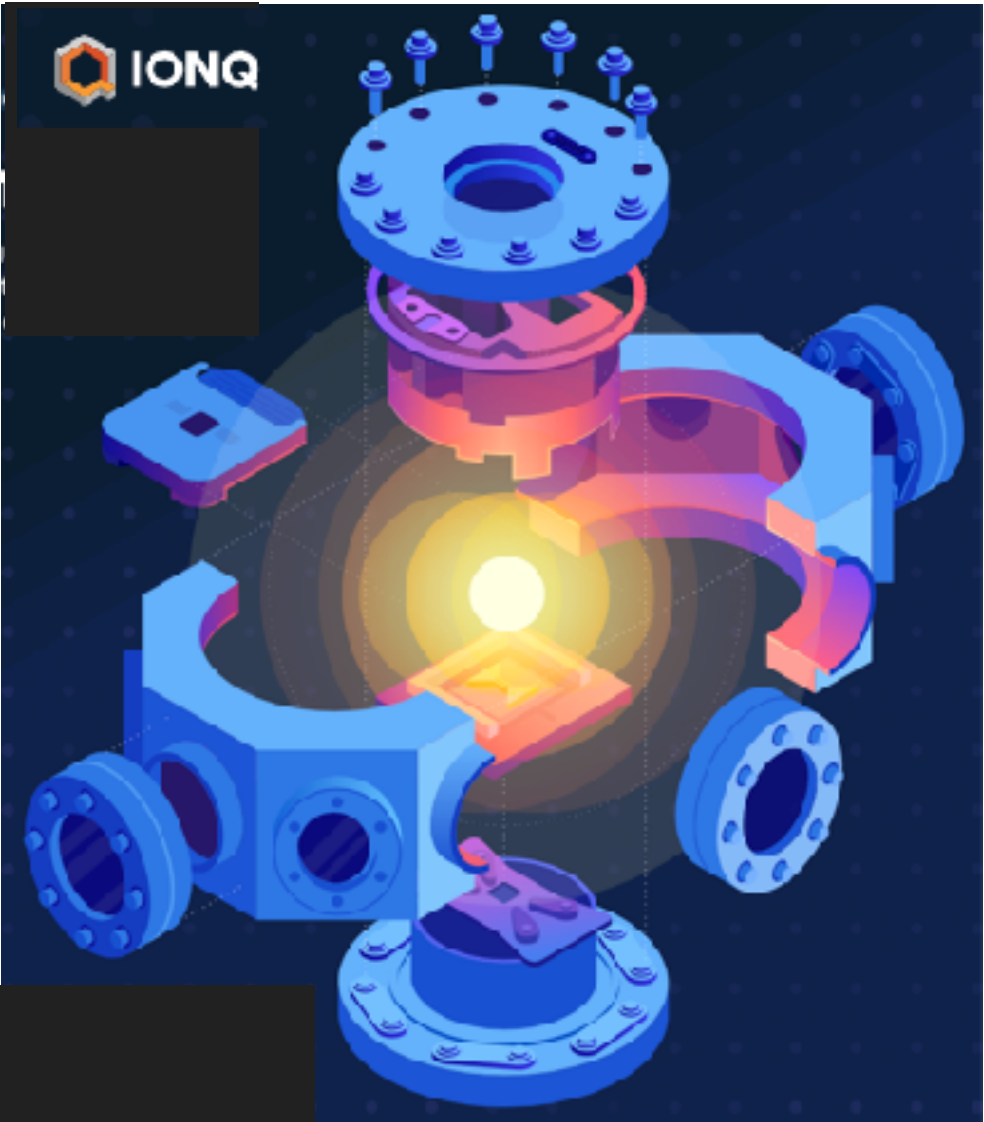
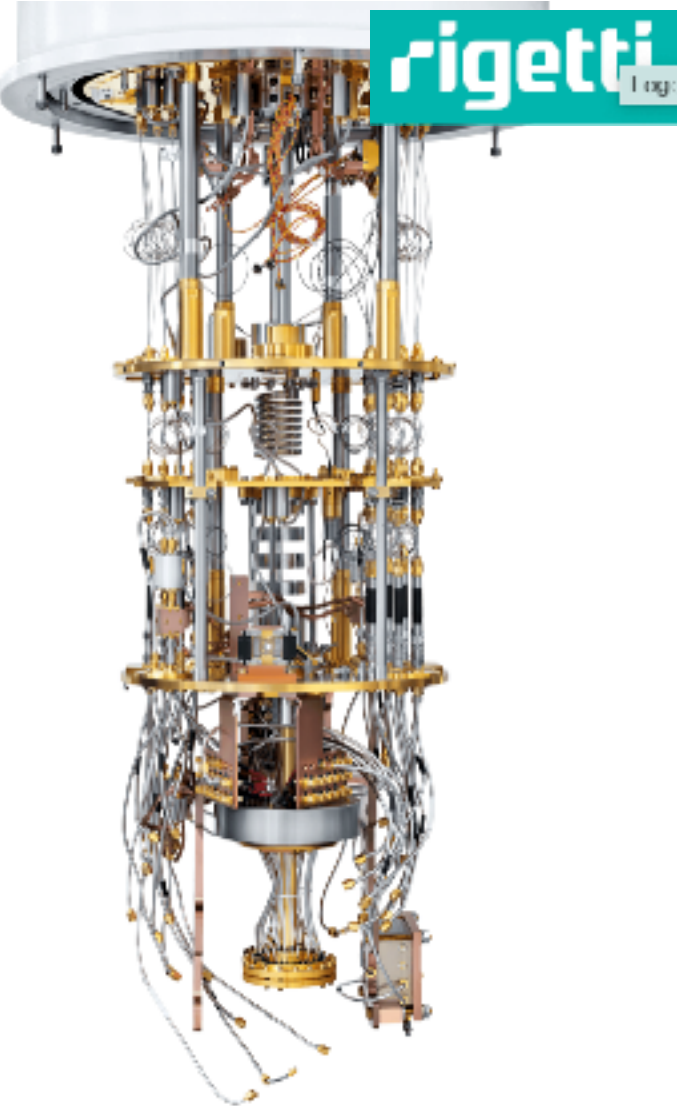


Simulazione di una vasta gamma di modelli:

- sistemi di fisica della materia
- modelli di particelle e gravità

# COMPUTER quantistici

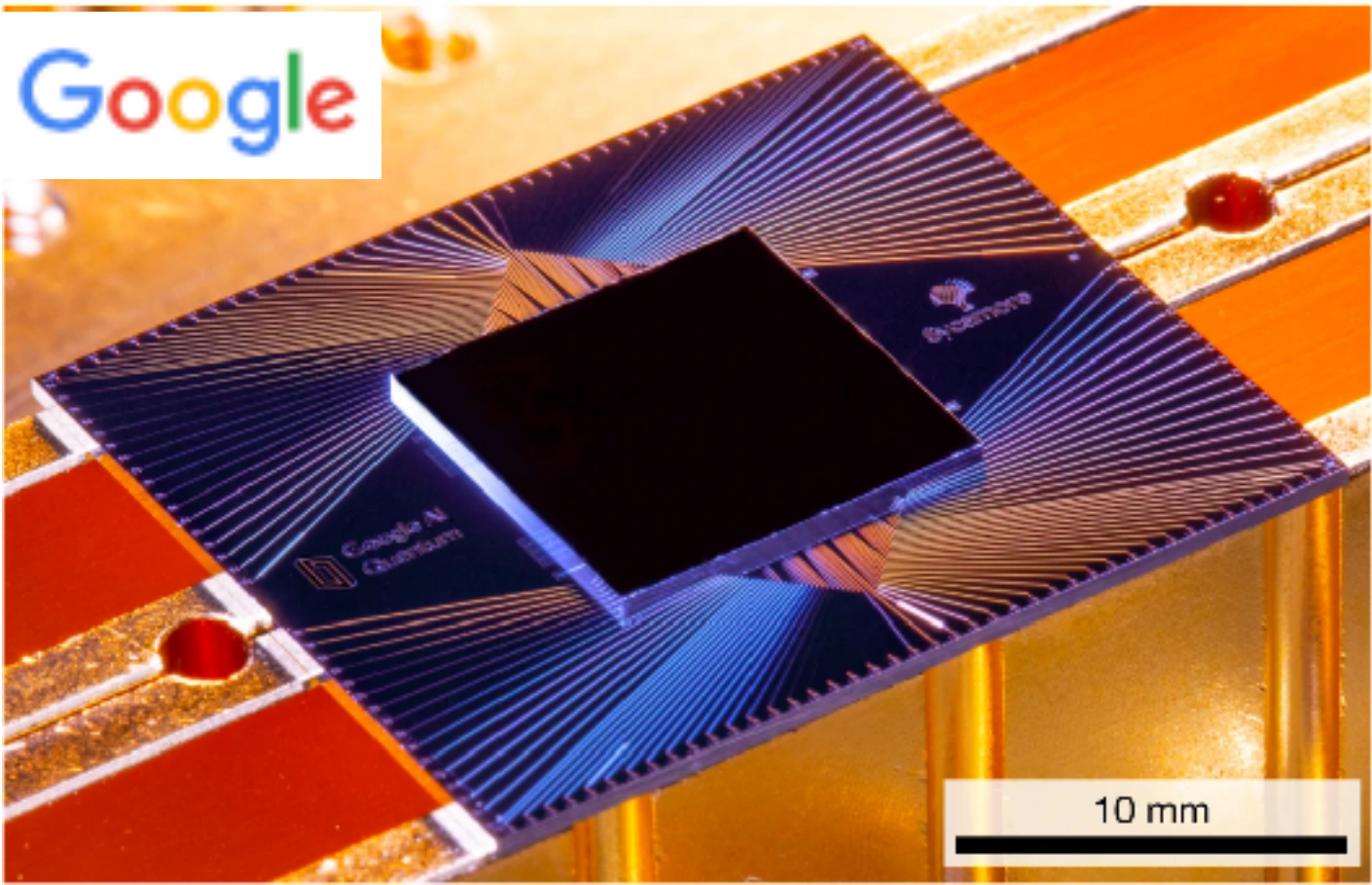
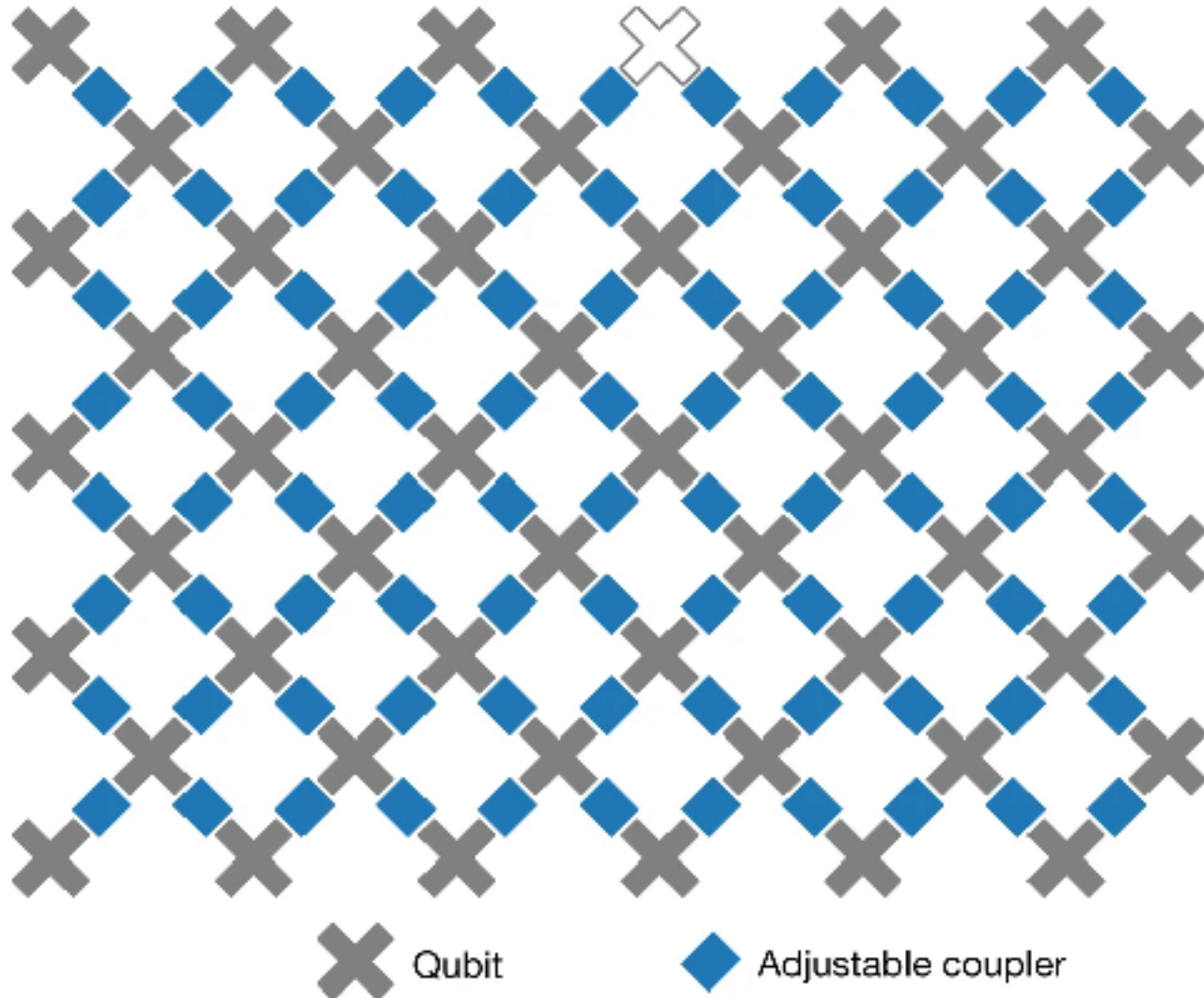
Computer universali basati sul qubit e sulla logica quantistica (non binaria)



## Quantum supremacy using a programmable superconducting processor

Frank Arute, Kunal Arya, [...] John M. Martinis

Nature 574, 505–510(2019) | Cite this article





GRAZIE