



Qubit, cos'è, come funziona e perché è l'unità del calcolo quantistico

Scritto da Stefano Patelli il 21/07/2026

Indice dei contenuti

- Che cos'è un qubit?
- Qual è la differenza tra bit e qubit?
- Come si rappresenta matematicamente lo stato quantistico?
- Cosa significa essere in sovrapposizione di stati?
- Come si realizzano fisicamente i qubit?
- Cosa succede al momento della misura?
- Perché servono i qubit logici e la correzione degli errori?
- Quanti qubit hanno oggi i computer quantistici?
- Il numero di qubit è l'unica metrica che conta?
- Come si sperimenta con i qubit senza hardware quantistico?
- Lavora con i qubit da subito, in emulazione

Tutto il calcolo quantistico poggia su un solo mattone, il qubit. Capire che cos'è, come si comporta e in cosa differisce dal bit tradizionale è il passaggio obbligato per chiunque voglia valutare seriamente le tecnologie quantistiche, dal ricercatore al decisore aziendale.

In questa pagina rispondiamo alle domande più frequenti, dalla definizione di qubit alla matematica che lo descrive, dalle tecnologie con cui viene costruito nei laboratori al problema della misura e della fragilità, fino alla distinzione tra esemplari fisici e logici e a come sperimentare concretamente senza possedere un computer quantistico, grazie all'emulazione quantistica, il terreno su cui HumanQ sviluppa già oggi progetti concreti.

Ogni sezione risponde a una domanda reale di ricerca, così da poter essere letta anche singolarmente.

Che cos'è un qubit?

Il qubit o qbit, contrazione di quantum bit, è l'unità elementare dell'informazione quantistica, è un sistema fisico a due livelli distinguibili, convenzionalmente indicati come $|0\rangle$ e $|1\rangle$, governato dalle leggi della meccanica quantistica. La differenza sostanziale rispetto a ogni supporto informativo classico è che i due stati o livelli non si escludono a vicenda, perché finché il sistema resta isolato esso **può occupare una combinazione dei due stati, con pesi che l'algoritmo quantistico può manipolare**. Il termine fu introdotto dal fisico Benjamin Schumacher negli anni Novanta e oggi identifica sia l'astrazione matematica sia il dispositivo concreto che la realizza. Una trattazione enciclopedica è disponibile su Wikipedia. Vale una precisazione

HumanQ s.r.l.

P.IVA e C.F.: 04790260980
Via delle Scuole 1/G, 25128 Brescia (BS)
030 64 90 099 – info@humanq.it
humanq@pec.it

Incubatore Certificato

Polo Innovativo s.r.l.
P.IVA e C.F.: 04389320989



Certificazioni:
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018



Polo Innovativo
ESPERTI DI ACCELERAZIONE, PARTNER PER IL CAMBIAMENTO



Regione Lombardia

Ente accreditato
ID n. 1458 del 17/10/24



terminologica, dato che nella letteratura italiana si incontra anche la dicitura **bit quantistico**, perfettamente equivalente, e in questa guida i due termini sono usati come sinonimi.

Qual è la differenza tra bit e qubit?

Il bit classico è un interruttore che in ogni istante può valere 0 oppure 1, e leggere il suo valore non lo modifica. L'omologo quantistico è invece descritto da due ampiezze complesse e vive in uno spazio continuo di stati possibili (è potenzialmente entrambe i valori 0 e 1), mentre la lettura, cioè la misura, lo costringe a scegliere uno dei due valori e distrugge l'informazione intermedia.

La conseguenza più importante è combinatoria, perché n bit contengono una sola configurazione tra 2^n , mentre n qubit descrivono simultaneamente tutte le 2^n configurazioni tramite le rispettive ampiezze. È questa crescita esponenziale dello spazio degli stati, unita all'entanglement quantistico, la risorsa tecnologica che nessun server classico oggi possiede.

Come si rappresenta matematicamente lo stato quantistico?

Lo stato di un qubit ha una rappresentazione geometrica molto elegante, **la sfera di Bloch**, in cui ogni punto della superficie corrisponde a uno stato possibile. I poli rappresentano gli stati classici 0 e 1, mentre tutti gli altri punti sono sovrapposizioni, e le porte logiche a ingresso singolo si visualizzano come rotazioni del vettore sulla sfera.

Le porte a coppia di qubit, come la CNOT, generano invece correlazioni non classiche tra due sfere, ed è da queste correlazioni che nasce l'entanglement. La sezione dedicata a come funziona un computer quantistico mostra come queste rotazioni compongano interi algoritmi per lo sviluppo di calcolo quantistico.

Il formalismo dello stato puro

Lo stato puro si scrive $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$, con la condizione di normalizzazione $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$. Una parametrizzazione più espressiva usa gli angoli della sfera di Bloch, $|\psi\rangle = \cos(\theta/2)|0\rangle + e^{i\varphi} \sin(\theta/2)|1\rangle$, dove θ e φ individuano un punto sulla superficie della sfera e la fase globale è fisicamente irrilevante. Le porte a singolo qubit sono quindi rotazioni unitarie di questo vettore.

Cosa significa essere in sovrapposizione di stati?

La sovrapposizione quantistica è spesso raccontata come "essere 0 e 1 allo stesso tempo", ma la formulazione rigorosa è più sottile, perché il sistema possiede ampiezze non nulle su entrambi gli esiti, e tali ampiezze possono interferire tra loro come onde, sommandosi o cancellandosi.

Gli algoritmi quantistici sfruttano proprio l'**interferenza** per amplificare le risposte corrette e sopprimere quelle errate; la sovrapposizione non è quindi un trucco di parallelismo gratuito, dato che estrarre il risultato richiede di modellare le fasi con precisione, ed è il motivo per cui progettare algoritmi quantistici efficaci è un

HumanQ s.r.l.

P.IVA e C.F.: 04790260980
Via delle Scuole 1/G, 25128 Brescia (BS)
030 64 90 099 – info@humanq.it
humanq@pec.it

Incubatore Certificato

Polo Innovativo s.r.l.
P.IVA e C.F.: 04389320989



Certificazioni:
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018



Polo Innovativo
ESPERTI DI ACCELERAZIONE, PARTNER PER IL CAMBIAMENTO



Regione
Lombardia

Ente accreditato
ID n. 1458 del 17/10/24



lavoro a sé. Un esempio tipico è l'algoritmo di Deutsch-Jozsa, in cui una sola interrogazione, orchestrata sulle fasi, risolve un problema che classicamente richiederebbe invece almeno la metà + 1 delle verifiche possibili, mostrando in modo scientifico e sperimentale la logica di tutti gli approcci a interferenza.

Come si realizzano fisicamente i qubit?

Qualunque sistema quantistico a due livelli controllabile può fungere da qubit, e la corsa industriale ha selezionato alcune piattaforme principali.

- **Circuiti superconduttori** raffreddati a millikelvin, la via seguita da IBM e Google.
- **Ioni intrappolati** manipolati con laser, la via di IonQ e Quantinuum.
- **Atomi neutri** in pinzette ottiche.
- **Fotoni** in circuiti fotonici.
- **Spin di elettroni** in semiconduttori, la via più affine all'industria dei chip.

Ogni tecnologia offre un compromesso diverso tra fedeltà delle operazioni, velocità, connettività e scalabilità, e nessuna ha ancora stabilito una tecnologia sovrastante sulle altre. Centri di ricerca europei e italiani, coordinati anche dalla Quantum Flagship, lavorano su più piattaforme in parallelo. Alle famiglie citate si aggiungono approcci ibridi e topologici, ancora sperimentali, che promettono protezione intrinseca dagli errori.

Cosa succede al momento della misura?

La misurazione è l'atto che riporta il mondo quantistico a quello classico, perché interrogare il sistema nella base computazionale restituisce 0 con probabilità $|\alpha|^2$ e 1 con probabilità $|\beta|^2$, secondo la regola di **Born**, e da quell'istante lo stato coincide con l'esito osservato. Quindi l'informazione contenuta nelle ampiezze non è più leggibile direttamente, ed è per questo motivo che un algoritmo ben progettato concentra la probabilità sull'esito utile prima di attivare la misurazione. A questo infine si aggiunge la **decoerenza**, la misura involontaria operata dalle interferenze dell'ambiente e che degrada lo stato in tempi brevissimi. Questo è il principale motivo che costringe a confinare in estremo isolamento l'hardware fisico.

Il disturbo (noise) non è presente nell'emulazione

A differenza dell'hardware reale, invece **l'emulazione è nativamente priva di rumore (noise)**. Poiché la decoerenza non si verifica spontaneamente in un ambiente software, il calcolo a parità di risorse risulta **estremamente più preciso**. Sebbene il disturbo impatti pesantemente sulle macchine fisiche, nell'emulatore può comunque essere introdotto deliberatamente tramite appositi modelli di rumore, così da simulare fedelmente il comportamento dell'hardware reale quando sia necessario studiarne od evolverne la tecnologia di denoising.

HumanQ s.r.l.

P.IVA e C.F.: 04790260980
Via delle Scuole 1/G, 25128 Brescia (BS)
030 64 90 099 – info@humanq.it
humanq@pec.it

Incubatore Certificato

Polo Innovativo s.r.l.
P.IVA e C.F.: 04389320989



Certificazioni:
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018



Polo Innovativo

ESPERTI DI ACCELERAZIONE, PARTNER PER IL CAMBIAMENTO



Regione
Lombardia

Ente accreditato
ID n. 1458 del 17/10/24



I tempi di coerenza nel mondo fisico variano enormemente tra le diverse piattaforme, dai microsecondi dei circuiti superconduttori ai secondi, e oltre, degli ioni intrappolati, ed è entro questa finestra che l'intero circuito deve completarsi, ragione per cui velocità delle porte e durata della coerenza vanno sempre lette insieme.

Perché servono i qubit logici e la correzione degli errori?

I dispositivi fisici sono rumorosi, dato che ogni porta introduce un piccolo errore e la decoerenza fa il resto. La correzione degli errori quantistici risolve il problema codificando l'informazione in modo ridondante, facendo cooperare molti qubit fisici per rappresentare un solo qubit logico, protetto e affidabile. I rapporti attuali variano da decine a migliaia di unità fisiche per ogni esemplare logico, a seconda del codice usato e della qualità dell'hardware impiegato. Questo è il motivo per cui il conteggio grezzo di un processore dice ben poco sulle prestazioni del sistema, perché contano la qualità dei qubit e quanti qubit logici se ne possono ricavare a sua volta.

Quanti qubit hanno oggi i computer quantistici?

La domanda va disambiguata prima di poterle rispondere, perché il termine qubit designa due grandezze molto diverse fra loro. Infatti sul piano dei **qubit fisici** la soglia del migliaio è stata superata già alla fine del 2023, quando IBM ha presentato il processore Condor con 1121 unità superconduttive e le piattaforme ad atomi neutri hanno raggiunto numeri paragonabili; la stessa IBM ha però dichiarato prestazioni comparabili a quelle del precedente Osprey da 433 unità, a conferma del fatto che quel traguardo riguardava la resa di fabbricazione e la densità del chip ed è ben diversa dalla potenza di calcolo effettivamente disponibile. Sul piano dei **qubit logici**, ossia le unità protette dalla correzione degli errori (e le sole che contino per un algoritmo di profondità), i risultati verificati si collocano invece ancora nell'ordine delle decine, con le migliori dimostrazioni pubblicate nel biennio 2024-2026 comprese fra poche unità e il centinaio, ottenute spendendo da alcune decine ad alcune centinaia di qubit fisici per ciascun esemplare logico, a seconda del codice adottato.

Nel mondo fisico siamo dunque ancora nell'era NISQ, cioè in una fase rumorosa, non corretta e adatta a esperimenti e prototipi più che alla produzione; le roadmap dei principali produttori collocano i primi sistemi con qualche centinaio di qubit logici corretti verso la fine del decennio, ma le stime vanno lette con prudenza, perché la scalabilità della correzione d'errore è essa stessa una sfida di ricerca ancora molto aperta.

A titolo di completezza va ricordato inoltre che per problemi industriali reali serviranno migliaia di esemplari logici, ovvero milioni di componenti fisici, un traguardo tuttora lontano che rende perciò più preziose le alternative disponibili oggi, a partire dall'**emulazione**, dove i circuiti si sviluppano e si validano senza attendere l'incertezza di quell'hardware.

HumanQ s.r.l.

P.IVA e C.F.: 04790260980
Via delle Scuole 1/G, 25128 Brescia (BS)
030 64 90 099 – info@humanq.it
humanq@pec.it

Incubatore Certificato

Polo Innovativo s.r.l.
P.IVA e C.F.: 04389320989



Certificazioni:
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018



Polo Innovativo
ESPERTI DI ACCELERAZIONE, PARTNER PER IL CAMBIAMENTO



Regione
Lombardia

Ente accreditato
ID n. 1458 del 17/10/24



Il numero di qubit è l'unica metrica che conta?

No, ed è una semplificazione da cui diffidare. Le metriche rilevanti includono la fedeltà delle porte, cioè quanto ogni operazione è accurata, i tempi di coerenza, cioè quanto a lungo lo stato sopravvive, la connettività, cioè quali coppie possono interagire direttamente, la profondità di circuito eseguibile e metriche aggregate come il volume quantistico. Un processore con poche unità eccellenti può superare in utilità uno strumento con molte limitazioni tecniche. Chi valuta questi progetti dovrebbe sempre indagare queste cifre, e diffidare dei confronti costruiti sul solo conteggio di qubit, poiché spesso è solo marketing anziché ingegneria. Le stesse metriche valgono, specularmente, per giudicare la qualità di un ambiente di emulazione.

Come si sperimenta con i qubit senza hardware quantistico?

La risposta è l'emulazione quantistica, in cui un'infrastruttura classica ad alte prestazioni riproduce esattamente l'algebra dei qubit, permettendo di costruire circuiti, ispezionare gli stati intermedi — cosa impossibile su hardware reale, dove la misura è immediatamente anche distruttiva — attivare modelli di rumore controllati e ripetere ogni esecuzione in modo deterministico.

L'emulazione quantistica è lo strumento ideale per formazione, ricerca e prototipazione industriale, ed è esattamente il terreno su cui HumanQ sviluppa i propri progetti di emulazione quantistica, con un principio guida preciso, cioè mantenere il focus su ciò che si può sviluppare già oggi, invece di attendere un hardware che maturerà con tempi e costi ancora molto incerti.

Rispetto alla simulazione quantistica di sistemi fisici, l'emulazione replica la teoria del calcolo, non la macchina fisica. Sul piano operativo, il sistema di emulazione consente anche di confrontare fianco a fianco versioni diverse dello stesso circuito, misurando come cambiano fedeltà e profondità, un ciclo di ottimizzazione che sull'hardware reale avrebbe costi e tempi proibitivi e che in emulazione si chiude invece in poche ore di lavoro preparatorio.

Fin dove arriva l'emulazione classica

La rappresentazione a vettore di stato richiede 2^n ampiezze complesse, ciascuna delle quali occupa sedici byte in doppia precisione, sicché il fabbisogno di memoria raddoppia a ogni qubit aggiunto: trenta qubit stanno in circa diciassette gigabyte, quaranta ne richiedono quasi diciotto terabyte e cinquanta superano i diciotto petabyte. Attorno alla quarantina di qubit si colloca dunque il confine dell'emulazione esatta su infrastrutture ragionevoli, mentre le rappresentazioni compresse, come le reti tensoriali o il formalismo degli stabilizzatori, spostano quel limite molto più in là purché l'entanglement del circuito resti contenuto. Dichiarare la soglia non indebolisce l'emulazione, al contrario, la colloca esattamente entro quella finestra in cui i circuiti si progettano, si validano e si ottimizzano con una precisione e una ripetibilità che nessuna macchina fisica odierna è in grado di offrire.

HumanQ s.r.l.

P.IVA e C.F.: 04790260980
Via delle Scuole 1/G, 25128 Brescia (BS)
030 64 90 099 – info@humanq.it
humanq@pec.it

Incubatore Certificato

Polo Innovativo s.r.l.
P.IVA e C.F.: 04389320989



Certificazioni:
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018



Polo Innovativo

ESPERTI DI ACCELERAZIONE, PARTNER PER IL CAMBIAMENTO



Regione
Lombardia

Ente accreditato
ID n. 1458 del 17/10/24



Lavora con i qubit da subito, in emulazione

HumanQ sviluppa progetti di emulazione quantistica, per progettare e testare circuiti su casi d'uso reali, formare il tuo team e costruire già oggi ricerca e sviluppo quantistica. Scopri l'emulazione quantistica, valuta la quantum readiness della tua azienda o contatta il team HumanQ.

Tag: qubit, entanglement, sovrapposizione, disturbo, interferenza, misura, emulazione, simulazione.

HumanQ s.r.l.

P.IVA e C.F.: 04790260980
Via delle Scuole 1/G, 25128 Brescia (BS)
030 64 90 099 – info@humanq.it
humanq@pec.it

Incubatore Certificato

Polo Innovativo s.r.l.
P.IVA e C.F.: 04389320989



Certificazioni:
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018



Polo Innovativo
ESPERTI DI ACCELERAZIONE, PARTNER PER IL CAMBIAMENTO



Regione
Lombardia

Ente accreditato
ID n. 1458 del 17/10/24