



Emulazione quantistica, cos'è, come funziona

Perché conviene affidarsi all'emulazione quantistica in questo momento storico?

Pubblicato il 15/07/2026 · humanq.it

Indice dei contenuti

- Che cos'è l'emulazione quantistica?
- Qual è la differenza tra emulazione quantistica e simulazione?
- Perché emulare invece di usare un computer quantistico reale?
- Come funziona tecnicamente un emulatore quantistico?
- Quanti qubit si possono emulare su hardware classico?
- Quali vantaggi offre l'emulazione quantistica a ricerca e formazione?
- Quali casi d'uso industriali si sviluppano in emulazione?
- Come avviare un progetto di emulazione quantistica?
- Che cos'è la piattaforma di emulazione EQM?
- Che cos'è il Centro Italiano di Emulazione Quantistica?
- Porta il tuo caso d'uso in emulazione quantistica

L'emulazione quantistica consente di sviluppare, testare e validare algoritmi quantistici già oggi, su infrastrutture classiche ad alte prestazioni, senza attendere che l'hardware maturi e senza sostenere i costi di accesso alle macchine reali. Il termine "emulazione" circola ancora poco fuori dagli ambienti specialistici, però indica una pratica che imprese e gruppi di ricerca stanno già adottando, perché è il modo più stabile per lavorare sul computer quantistico. Qui trovi la definizione, la differenza rispetto alla simulazione quantistica, i limiti fisici dell'approccio, i vantaggi economici e operativi, i casi d'uso industriali e il funzionamento delle piattaforme di emulazione.

Che cos'è l'emulazione quantistica?

L'emulazione quantistica riproduce su calcolatori classici il comportamento logico di un processore quantistico, quindi i qubit, le porte, la misura e, qualora servisse, anche il rumore. L'emulatore esegue lo stesso identico circuito che girerebbe sull'hardware reale e ne restituisce gli stessi risultati, con una differenza che cambia il modo di lavorare, perché lo stato quantistico completo resta memorizzato in modo esplicito e si può ispezionare in qualunque istante dell'esecuzione, mentre l'hardware si comporta come una scatola nera e restituisce soltanto statistiche di misura. Su un emulatore si osserva l'evoluzione delle ampiezze porta dopo porta, ogni esecuzione si ripete in modo identico e un'anomalia si isola con precisione, invece di annegare nella dispersione statistica.

Qual è la differenza tra emulazione quantistica e 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



I due termini vengono spesso usati come sinonimi, però indicano attività diverse. L'emulazione riproduce la macchina, cioè il processore quantistico con la sua architettura logica, e per farlo calcola su computer classico (CPU/GPU) l'evoluzione di vettori di stato e matrici di densità, così che il circuito scritto per l'hardware reale vi giri senza modifiche. La simulazione costruisce invece un modello astratto del comportamento di un sistema, senza vincolarsi all'architettura della macchina che lo esegue. La distinzione ha conseguenze pratiche immediate, perché chi sviluppa un algoritmo destinato a uno specifico processore ha bisogno di un emulatore che gli garantisca compatibilità e ripetibilità, mentre chi studia un materiale o una molecola può ricorrere a metodi di simulazione anche molto lontani dall'architettura a circuiti oggi presente. Il secondo caso è approfondito nella pagina dedicata alla simulazione quantistica.

Perché emulare invece di usare un computer quantistico reale?

Le ragioni sono di ordine economico e operativo, e si possono misurare tutte.

- **Costo.** L'accesso alle macchine reali si paga a tempo di esecuzione, mentre un'infrastruttura di emulazione ha costi prevedibili.
- **Disponibilità.** Non ci sono code di prenotazione sui sistemi condivisi, quindi il lavoro procede quando serve al team.
- **Determinismo.** L'hardware attuale è ancora molto rumoroso e ogni esecuzione restituisce qualcosa di leggermente diverso, mentre l'emulatore ripete esattamente lo stesso risultato, condizione senza la quale il debug di un algoritmo diventa impraticabile.
- **Ispezionabilità.** Sugli stati emulati si misura tutto senza distruggerli, e questo accorcia i tempi di sviluppo degli algoritmi quantistici.
- **Controllo del rumore.** In emulazione non esiste hardware fisico, quindi la decoerenza non si presenta da sola come accade sulle macchine reali, e i modelli di errore vengono introdotti deliberatamente e calibrati a piacere, per prevedere come il circuito si comporterà sui dispositivi di domani, inclusa la correzione degli errori.

Resta poi il fattore organizzativo, perché un'infrastruttura di emulazione su hardware classico si integra nei processi IT esistenti e si governa con le competenze sistemiche già presenti in azienda, senza criogenia e senza contratti di accesso remoto vincolanti.

Come funziona tecnicamente un emulatore quantistico?

Un emulatore quantistico rappresenta lo stato del sistema con un array di numeri che descrive tutte le combinazioni possibili dei qubit coinvolti, e ogni porta logica applicata al circuito diventa un calcolo su questo array, eseguibile in parallelo su CPU e GPU. L'array cresce però in modo esponenziale con il numero di qubit, così oltre una certa soglia si passa a rappresentazioni alternative, pensate per circuiti con caratteristiche particolari. Scegliere la rappresentazione adatta al circuito è il lavoro ingegneristico più delicato nella costruzione di un emulatore. Le implementazioni più recenti distribuiscono il calcolo su più nodi, e in quel caso la banda di interconnessione diventa il vero collo di bottiglia, prima ancora della

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



memoria disponibile.

La rappresentazione a vettore di stato

La rappresentazione più diretta è il vettore di stato, un array di 2^n ampiezze complesse per n qubit, di norma in doppia precisione, cioè 16 byte per ampiezza. Ogni porta è una moltiplicazione matrice-vettore strutturata, parallelizzabile su CPU e GPU. La memoria cresce esponenzialmente, perché le 2^{30} ampiezze necessarie a 30 qubit occupano circa 17 GB, mentre le 2^{40} di 40 qubit arrivano a circa 17 TB. Oltre questa soglia si adottano rappresentazioni alternative, come le reti tensoriali che sfruttano la struttura del circuito, i metodi a matrice densità per il rumore e le tecniche di stabilizzazione per circuiti Clifford.

Quanti qubit si possono emulare su hardware classico?

Con il vettore di stato completo, un server ben equipaggiato gestisce fino a 30-35 qubit, mentre le infrastrutture HPC dedicate superano i 40, soglia oltre la quale la memoria richiesta raddoppia a ogni qubit aggiunto. Le reti tensoriali spostano il limite molto più in là quando i circuiti hanno bassa profondità o entanglement limitato, tanto che sono già state emulate istanze da decine di qubit ritenute in passato fuori portata. Per un'impresa conta soprattutto un aspetto pratico, cioè che la grande maggioranza dei prototipi industriali odierni, dagli studi di ottimizzazione al quantum machine learning, rientra comodamente entro questi limiti.

Quali vantaggi offre l'emulazione quantistica a ricerca e formazione?

Nella ricerca, l'accesso allo stato completo permette di misurare in modo esatto grandezze che sull'hardware si stimano con procedure statistiche costose, come le entropie di entanglement, la fedeltà e gli spettri. Nella formazione il vantaggio è didattico, perché chi impara vede la sovrapposizione costruirsi e l'interferenza agire, invece di doverle dedurre da istogrammi rumorosi. Per i team aziendali l'emulazione è la palestra in cui costruire competenze prima che diventino urgenti, dato che gli sviluppatori si formano su strumenti reali, con curve di apprendimento rapide e senza dipendere da fornitori esteri di hardware, e i circuiti scritti oggi in emulazione funzioneranno poi sulle macchine future. C'è anche un effetto meno evidente, poiché ogni esperimento lascia un modello riproducibile, e questo nella ricerca facilita la peer review, mentre in azienda permette di conservare e confrontare i risultati nel tempo.

Quali casi d'uso industriali si sviluppano in emulazione?

Oggi in emulazione si sta già lavorando soprattutto su tre famiglie di problemi.

- **Ottimizzazione.** Instradamento di flotte, scheduling produttivo, allocazione di portafogli, problemi in cui gli algoritmi variazionali si prototipano interamente in emulazione, con ricadute su finanza e logistica.
- **Simulazione molecolare** per farmaceutica e materiali, dove l'emulatore valida i circuiti prima del passaggio a macchine reali, con applicazioni in sanità.

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



- **Sicurezza.** Valutazione dell'impatto degli attacchi quantistici e transizione alla crittografia post-quantistica, tema di rilevanza strategica nazionale legato anche al perimetro Golden Power.

La panoramica completa è nelle applicazioni del quantum computing. In tutti e tre i casi il lavoro utile consiste nel confronto sistematico con i metodi classici, perché è così che si capisce dove il quantum promette un margine economico e dove invece non lo promette, prima di avviare investimenti.

Come avviare un progetto di emulazione quantistica?

Un progetto di emulazione si articola di norma in quattro tappe, con tempi che si misurano in mesi.

- 1 **Assessment.** Si individuano i processi che presentano problemi computazionalmente critici e si stima il potenziale quantistico.
- 2 **Formazione.** Il team acquisisce le basi operative direttamente sulla piattaforma.
- 3 **POC - Proof of concept.** Un caso d'uso viene prototipato in emulazione, con metriche di confronto rispetto alle soluzioni classiche già in uso.
- 4 **Roadmap.** Si pianificano l'evoluzione del prototipo, i criteri di passaggio all'hardware reale e il presidio della quantum readiness aziendale, compreso il fronte crittografico su cui il NIST ha già fissato gli standard.

Per scegliere il primo caso d'uso conviene cercare un problema abbastanza circoscritto da realizzare in poche settimane e abbastanza reale da avere un termine di paragone classico misurabile, perché è il confronto con la baseline a produrre apprendimento, mentre una dimostrazione fine a sé stessa lascia poco in mano al team.

Che cos'è la piattaforma di emulazione EQM?

EQM è un motore di emulazione quantistica del Centro Italiano di Emulazione Quantistica. Serve per affiancare imprese, università e istituzioni nell'esecuzione di circuiti quantistici su infrastruttura classica ad alte prestazioni, con strumenti di ispezione dello stato, modelli di rumore configurabili e ambienti di lavoro riproducibili. La piattaforma accompagna l'intero ciclo di vita di un progetto, dalla formazione del team alla prototipazione dell'algoritmo, dalla validazione con rumore realistico alla predisposizione del codice per l'esecuzione su hardware reale odierno e per quello che sarà pronto in futuro. Trattandosi di un'infrastruttura nazionale, governabile e verificabile, la scelta ha anche una ricaduta di autonomia tecnologica per il Paese. L'accesso avviene tramite ambienti di lavoro remoti e interfacce di programmazione compatibili con i framework più diffusi, così che il codice scritto altrove si porti sulla piattaforma senza riscritture.

Che cos'è il Centro Italiano di Emulazione Quantistica?

Il Centro Italiano di Emulazione Quantistica è l'iniziativa che porta EQM a sistema, un centro nazionale con emulatore a Pavia e infrastruttura server a Genova, presentato pubblicamente a luglio 2026 con dimostrazioni applicative in difesa, sanità e mobilità. Gli obiettivi dichiarati sono due, perché il Centro offre al

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



tessuto industriale e accademico italiano un punto di accesso sovrano alle tecnologie di calcolo quantistico, e allo stesso tempo costruisce una filiera di competenze nazionali su un dominio classificato tra le tecnologie critiche. In un contesto europeo in cui la Quantum Flagship spinge sull'autonomia strategica, è la risposta italiana sul fronte dell'emulazione.

Porta il tuo caso d'uso in emulazione quantistica

HumanQ affianca imprese e istituzioni dall'assessment al proof of concept. Valuta la quantum readiness della tua organizzazione o contatta il team HumanQ, all'indirizzo info@humanq.it, per progettare insieme il primo esperimento in emulazione.

Tags: qubit, emulazione quantistica · Articolo pubblicato su humanq.it/it/emulazione-quantistica

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