

Proposta di Assegno di Ricerca dal titolo  
“Quantum communications: state design and error correction”

Finanziato nell'ambito del PRIN2022 - 2022JES5S2

**Sede dell'attività:** Università di Bologna, sede di Cesena

**Proponente:** Prof. Ing. Marco Chiani

**Titolo del progetto di ricerca dell'AdR: “Quantum communications: state design and error correction”**

L'attività è svolta nell'ambito del PRIN2022 - 2022JES5S2. Il progetto di ricerca è finalizzato a promuovere l'avanzamento delle comunicazioni e delle reti quantistiche, allo scopo di ideare nuovi approcci e sviluppare metodologie efficaci per sfruttare appieno i vantaggi delle comunicazioni quantistiche. L'analisi e la progettazione di sistemi e reti di comunicazione quantistica presentano molte sfide legate alla natura quantistica dei sistemi stessi e alla loro interazione con l'ambiente circostante. Per affrontare tali sfide, il progetto propone di focalizzarsi su due aspetti: la preparazione degli stati quantistici e la protezione degli stati attraverso tecniche di correzione d'errore.

L'obiettivo principale del progetto è quello di avanzare nelle conoscenze e competenze a livello nazionale, al fine di sviluppare sistemi e reti quantistiche in grado di garantire requisiti prestazionali in presenza di fenomeni quantistici di decoerenza. Questo obiettivo viene perseguito attraverso tre principali linee di ricerca:

1. La progettazione e la caratterizzazione di una nuova classe di stati quantistici, che tenga conto delle sfide legate alla preparazione degli stati.
2. L'elaborazione di un quadro di riferimento per lo sviluppo di tecniche di discriminazione degli stati quantistici.
3. Lo sviluppo di tecniche di correzione degli errori quantistici, al fine di garantire comunicazioni quantistiche affidabili, insieme a nuovi approcci basati su pacchetti quantistici.

**Piano di Attività**

*Obiettivo del piano di attività:*

In tale contesto, l'incaricato avrà come obiettivo lo sviluppo di nuovi codici a correzione d'errore che tengano conto delle architetture tecnologiche odierne [1] e lo sviluppo di tecniche di comunicazione ibrida (quantistica + classica) basata su quantum piggybacking [2].

*Metodologia:*

Verranno progettati QECC adattati ai modelli di canale quantistico. In particolare, si studieranno codici quantistici su grafi, come i codici Quantum Low-Density Parity-Check [3] e i codici topologici a correzione d'errore quantistica [1], con tecniche di decodifica iterativa o basate su grafi tengano conto dei vincoli quantistici.

Verranno sviluppate tecniche congiunte di correzione degli errori quantistici e classici per il piggyback di informazioni classiche su flussi quantistici [2], dove il canale piggyback può essere creato introducendo errori intenzionali corrispondenti a una sequenza controllata di sindromi. Queste sindromi sono

ulteriormente protette, in presenza di rumore quantistico, da codici a correzione di errore classici secondo un compromesso tra prestazioni e ritardi. Le informazioni classiche possono quindi essere aggiunte ed estratte a tempi arbitrari senza consumare risorse quantistiche aggiuntive e senza disturbare il flusso quantistico.

L'inserimento di qubit come dati di controllo non è un approccio praticabile per il controllo e l'instradamento nelle reti quantistiche, poiché la misurazione distrugge la sovrapposizione degli stati quantistici. A questo scopo, durante il progetto si studieranno tecniche basate su piggyback dell'informazione classica su quella quantistica [2] attraverso l'introduzione di errori intenzionali sui qubit, in modo che l'informazione classica sia costituita dalla sequenza di sindrome dell'errore. Questa idea verrà investigata per concepire una rete quantistica a pacchetti.

#### *Attività previste nel periodo di attività*

- Fase 1. Rassegna critica della letteratura sulle tecniche di trasmissione quantistiche e moderni codici a correzione d'errore quantistico.
- Fase 2. Proposte di codici a correzione d'errore che tengano conto dell'architettura su cui l'informazione è immagazzinata.
- Fase 3. Simulazione e validazione delle performance dei codici proposti.
- Fase 4. Indagine su possibili schemi di comunicazione basati su piggybacking quantistico.

#### *Alcune pubblicazioni del proponente relative all'oggetto di ricerca*

[1] Valentini, Lorenzo, Diego Forlivesi, and Marco Chiani. "Performance Analysis of Quantum Error-Correcting Surface Codes over Asymmetric Channels." arXiv preprint arXiv:2302.13015 (2023).

[2] Chiani M., Conti A., Win M. Z. (2020). Piggybacking on quantum streams. PHYSICAL REVIEW A, vol. 102, p. 1-6, ISSN: 2469-9926, doi: 10.1103/PhysRevA.102.012410

[3] Liva, Gianluigi, William E. Ryan, and Marco Chiani. "Quasi-cyclic generalized LDPC codes with low error floors." IEEE Transactions on Communications 56.1 (2008): 49-57.