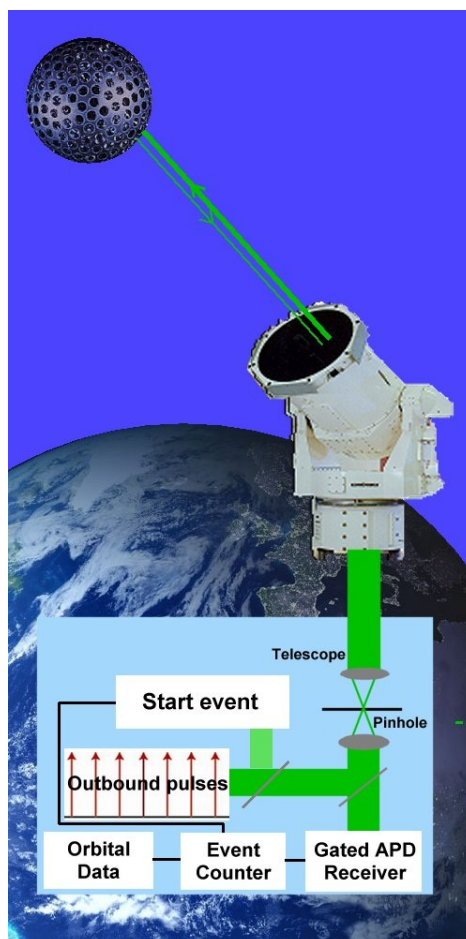


# QuantumFuture

## Progetto strategico per esplorare le comunicazioni quantistiche

*QuantumFuture Team*

Il laser, una tra le migliori invenzioni basate sulle proprietà quantistiche della Natura, ha compiuto lo scorso anno cinquant'anni. La radiazione laser ha realizzato il sogno di chi ha concepito processi che sfruttano la coerenza, come Dennis Gabor per l'olografia, che ha dovuto attendere oltre 10 anni dall'invenzione per dimostrarla efficacemente (a lui dobbiamo la massima *The best way to predict the future is to invent it*). Illuminando con un laser alcuni particolari cristalli è possibile indurre i cosiddetti effetti non lineari, che sortiscono la generazione di luce con frequenze (cioè colori) diverse da quella iniziale, convertendo così impulsi infrarossi in altri nell'estremo ultravioletto di durata di centinaia di attosecondi oppure nel medio infrarosso o nei TeraHertz, aprendo nuove finestre spettrali ove sfruttare efficacemente la luce. Tra questi processi vi è la generazione di due fotoni identici, ciascuno con energia pari a metà di quella del fotone che li ha generati. Questa coppia di fotoni, originata simultaneamente e nel medesimo punto, è caratterizzata da una proprietà assai strana: l'entanglement. Questo termine, introdotto da Erwin Schrödinger nel 1935, indica una correlazione tra le due particelle che non ha un corrispondente in Fisica Classica: una misura compiuta su un membro della coppia influenza istantaneamente anche l'altro, indifferentemente dalla loro separazione spaziale pur in accordo con la Relatività Einsteiniana. Utilizzando misure opportune, l'entanglement è quindi una risorsa nuova da sfruttare e risulta particolarmente efficace per distribuire in maniera protetta l'informazione.



**Schema dello scambio di singoli fotoni tra un retro riflettore in orbita e l'Osservatorio MLRO dell'Agenzia Spaziale Italiana a Matera.**

L'entanglement è una manifestazione di un principio basilare della teoria quantistica, il principio di sovrapposizione. Esso influenza in maniera essenziale perfino la natura dell'unità minima di informazione scambiabile, i quantum-bit, o qubit. Se nell'informazione classica lo stato del bit può essere unicamente 1 OPPURE 0, lo stato del qubit è invece una sovrapposizione di 1 E 0. I qubit si possono codificare in proprietà elementari dei singoli fotoni, come per esempio la polarizzazione. Si intuisce quindi che la comunicazione a singoli fotoni ha delle carte nuove da giocare, a patto di creare un canale di scambio adeguatamente riparato da luce di fondo che impedirebbe di riconoscere i fotoni del segnale.

A partire da queste semplici premesse, l'interazione tra scienza e tecnica dell'informazione e Meccanica Quantistica sta formando un campo nuovo, l'INFORMAZIONE QUANTISTICA, che

potrà rivoluzionare molti aspetti del nostro modo di scambiare, immagazzinare ed elaborare informazione. Alcuni dei più prestigiosi laboratori di ricerca al mondo hanno raccolto la sfida e hanno iniziato a raggruppare le competenze e risorse per comprendere questa nuova disciplina e farla progredire verso un nuovo orizzonte, dalla teoria alle ricadute tecnologiche.



Studio della propagazione ottica in ambiente urbano per la comunicazione a singolo fotone.

QuantumFuture è un progetto strategico finanziato dall'Università di Padova. Il Progetto ha lo scopo di sviluppare la comunicazione quantistica utilizzando i punti di vista e le diverse tecniche provenienti dai Gruppi di Ricerca che hanno proposto il progetto: Telecomunicazioni, Automatica, Astronomia e Ottica Quantistica. Le competenze sono sia sperimentali che teoriche, e riteniamo questa sinergia uno dei punti di forza più innovativi

e peculiari del progetto. Il nostro scopo è di lavorare in questo nuovo fronte – l'informazione quantistica – e mantenere l'Ateneo patavino in prima fila nel panorama internazionale. Il budget del progetto è di 1.4 M€ e la durata è triennale.

Tra i primi obiettivi del Progetto vi è lo studio di come estendere la distanza di comunicazione utilizzando singoli fotoni, e in particolare di farlo in spazio libero. Il nostro team ha già realizzato la prima dimostrazione di scambio di singoli fotoni tra una sorgente in orbita e una terminale a Terra. Lo scopo ora è di studiare le modifiche alla polarizzazione del fotone nel suo percorso tra il trasmettitore in orbita – chiamato convenzionalmente Alice – ed il ricevitore – Bob.

Un altro tema è comprendere e mitigare gli effetti della turbolenza indotta dall'atmosfera nei fasci a singolo fotone. Tanto meglio si stabilizza la propagazione, utilizzando sistemi ottici avanzati e specchi deformabili, tanto più si può ridurre l'apertura del ricevitore, minimizzando la ricezione di fotoni di fondo. Per questo fine abbiamo iniziato una campagna di esperimenti per misurare le deformazioni del fascio e provare vari tipi di telescopi per trasmettere e ricevere.

In prospettiva, vogliamo mettere a punto la distribuzione di informazione sfruttando coppie di fotoni entangled lungo canali ottici in spazio libero su lunga distanza. Sottolineiamo la connotazione 'in spazio libero', senza l'uso cioè del canale in fibra ottica, per conseguire una sperimentazione veramente globale e tra spazio e terra. Questa connotazione giustifica anche la presenza in Quantum Future di un gruppo di ricercatori di Astronomia con specifiche competenze di ottica e di propagazione della luce in atmosfera.

L'applicazione più diretta è lo scambio di chiavi crittografiche basate sull'invio di un treno di qubit definiti in una base non ortogonale. Questo metodo, noto come Quantum Key Distribution (QKD), basa la propria sicurezza non sulla difficoltà di risolvere un problema complesso per un avversario con capacità computazionali limitate, ma su due principi fisici: l'impossibilità di copiare i qubit e l'alterazione dello stato di un qubit causata da qualunque misura. Un avversario che cercasse di capire lo stato del qubit misurandolo verrà dunque identificato. Negli anni passati abbiamo realizzato al DEI un sistema QKD, che ora verrà potenziato e integrato a sistemi di comunicazione realistici.



**Link ottico tra le isole Tenerife e La Palma, arcipelago delle Canarie, per i test ottici della Comunicazione Quantistica a lunghissima distanza e bassissima potenza.**

Nell'ambito del progetto, un altro compito specifico è quello di studiare prototipi di ricevitori per sistemi di telecomunicazione quantistici, che sfruttino quindi la maggiore flessibilità, rispetto ai sistemi ottici classici, associata a uno stato quantistico. Questa verrà impiegata per abbassare la probabilità d'errore in rivelazione e di conseguenza, a parità di prestazioni e potenza trasmessa, per raggiungere maggiori distanze.

Uno schema che permette di ottenere le prestazioni ottime è il ricevitore di Dolinar, caratterizzato da un anello di feedback che “corregge” continuamente l'intensità e la fase del segnale ottico che viene combinato localmente con il segnale ricevuto. A partire dall'esperienza sviluppata con la modulazione di polarizzazione, si vuole studiare un ricevitore di questo tipo, in modo da evidenziare la fattibilità e le limitazioni pratiche, legate soprattutto ai tempi di ritardo del fotorivelatore e dell'anello di feedback e ai problemi di allineamento di fase/frequenza nella combinazione segnale ricevuto-laser locale.

Va anche evidenziato l'interesse più generale legato alla verifica sperimentale della validità delle leggi della meccanica quantistica su grandi distanze, che in una prospettiva futura potrebbe realizzarsi nello scambio di stati quantici tra satelliti a distanza interplanetaria.



**L'obiettivo della dimostrazione pubblica che si terrà al Palazzo della Ragione è quella di divulgare le prospettive della comunicazione quantistica e quale tipo di ricerca si svolge nell'Ateneo patavino. Verrà presentato un esperimento di comunicazione di un chiave segreta utilizzando singoli fotoni tra un trasmettitore e un ricevitore situati a circa 40m di distanza e posti all'interno del Palazzo.**

Palazzo della Ragione, Padova, 3-4 Ottobre 2011

I partecipanti a QuantumFuture sono:

Dr. Antonio Assalini, Dr. Davide Bacco, Dr. Enrico Ballarin, Prof. Cesare Barbieri (responsabile Astronomia), Prof. Antonio Bianchini, Dr. Stefano Bonora, Dr. Matteo Canale, Dr. Ivan Capraro, Prof. Gianfranco Cariolaro, Dr. Stefano Cavazzani, Dr. Roberto Corvaja, Dr. Vania Da Deppo, Dr. Alberto Dall'Arche, Dr. Nicola Dalla Pozza, Prof. Augusto Ferrante, Dr. Francesca Gerlin, Dr. Nicola Laurenti (responsabile TLC), Dr. Davide Marangon, Dr. Elettra Mari, Prof. Giampiero Naletto, Prof. Sergio Ortolani, Prof. Michele Pavon, Prof. Giorgio Picci, Prof. Gianfranco Pierobon, Dr. Claudio Pernechele, Dr. Anna Sponselli, Dr. Fabrizio Tamburini, Dr. Francesco Ticozzi (responsabile Automatica), Dr. Andrea Tomaello, Dr. Giuseppe Vallone, Dr. Paolo Zoccarato

ed il coordinatore è il Prof. Paolo Villoresi.

Contatto:

Prof. Paolo Villoresi

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Via Gradenigo 6

35131 Padova

cell: 366 6686401

paolo.villoresi@unipd.it