

COMPITI E SUDDIVISIONE FONDI TRA LE UNITÀ DI RICERCA
prot. 2005024254

Coordinatore Scientifico	David VITALI
Ateneo	Università degli Studi di CAMERINO
Titolo della Ricerca	Generazione, manipolazione e rivelazione di luce entangled per comunicazioni quantistiche
Finanziamento assegnato	Euro 383.000
Durata	24 Mesi

Obiettivo della Ricerca

L'obiettivo del progetto è di studiare la comunicazione quantistica con luce entangled affrontando sia dal punto di vista teorico che sperimentale gran parte dei suoi vari aspetti. Il progetto coinvolge cinque unità di ricerca che lavoreranno in maniera fortemente integrata per raggiungere quattro obiettivi principali: 1) realizzazione sperimentale di nuove ed efficienti sorgenti di radiazione entangled, dal regime di singole coppie di fotoni fino a quello di campi intensi; 2) rivelazione efficiente e ricostruzione completa dello stato quantistico e delle proprietà di entanglement della radiazione generata; 3) studio della robustezza dell'entanglement (sia di coppie di fotoni che di modi ottici in variabile continua) rispetto alla propagazione in canali quantistici rumorosi e in particolare lungo fibre ottiche; 4) realizzazione e sviluppo di alcuni protocolli di comunicazione quantistica sia diretta che basata sulla distribuzione quantistica di chiavi. In questo modo si creerà una rete di laboratori in grado di porsi all'avanguardia a livello internazionale nel campo della comunicazione quantistica basata su radiazione ottica entangled, generata mediante processi parametrici in cristalli non lineari del second'ordine.

Vediamo ora come si articolano nel dettaglio questi obiettivi specifici. Per quanto concerne il primo punto, verranno realizzati sperimentalmente e messi a punto diversi schemi di generazione di radiazione entangled. Si realizzeranno sorgenti di singole coppie di fotoni prodotti da fluorescenza parametrica entangled in polarizzazione, e si cercherà di ottimizzare il loro accoppiamento in fibra ottica. Verranno generate coppie di fotoni entangled in tempo-frequenza e anche coppie di fotoni "hyperentangled", cioè entangled in più di un grado di libertà, considerando simultaneamente polarizzazione e momento dei fotoni. Verranno generati anche qudits, con $d=3,4$. Nel regime a variabile continua, si realizzerà una sorgente di fasci gemelli con polarizzazioni tra loro ortogonali e degeneri in frequenza mediante un oscillatore parametrico, per lo studio della comunicazione quantistica basata sulle quadrature di campo di ampiezza e di fase. Per quanto concerne l'obiettivo relativo alla rivelazione di radiazione entangled metteremo a punto schemi efficienti sia per la ricostruzione completa della matrice densità dello stato di coppie di fotoni entangled, sia per la ricostruzione mediante tomografia omodina quantistica dello stato entangled di due fasci gemelli. Le coppie di fotoni entangled prodotte dalla fluorescenza parametrica verranno utilizzate anche per la ricostruzione tomografica della funzione di Wigner di stati non classici a basso numero di fotoni, sfruttando un nuovo sistema per la rivelazione omodina risolta in tempo ad altissima frequenza.

Per quanto concerne il terzo obiettivo si affronteranno due aspetti diversi: uno più generale riguardante la propagazione di luce entangled in variabile continua lungo canali rumorosi e uno più applicativo riguardante la propagazione di coppie di fotoni entangled in polarizzazione lungo fibre ottiche. Infine le sorgenti di luce entangled e i sistemi di rivelazione efficiente messi a punto verranno utilizzati per la realizzazione di alcuni protocolli di comunicazione quantistica. Si studieranno e realizzeranno nuovi schemi di comunicazione diretta oppure con distribuzione di una chiave, basati su un doppio uso del canale quantistico, in modo da garantire un livello di sicurezza superiore rispetto ai tradizionali protocolli ad una via. Si realizzeranno inoltre alcuni componenti fondamentali per la comunicazione quantistica come discriminazione completa dell'intero set di stati di Bell con alta efficienza oppure un gate C-NOT, sfruttando la sorgente di stati hyper-entangled realizzata all'interno del progetto. Infine indagheremo su nuovi possibili usi di qudits per comunicazioni quantistiche.

Innovazione rispetto allo stato dell'arte nel campo

1) Messa a punto di sorgenti per la generazione di stati entangled in uno o più gradi di libertà della radiazione

L'unità di Roma migliorerà la sorgente di stati di fotoni entangled in polarizzazione ad alta brillantezza già sviluppata. Verrà aumentata la brillantezza e verrà massimizzato il rapporto tra il numero delle coppie di fotoni rivelati e il numero di singoli eventi rivelati. Verranno inoltre realizzate due nuove versioni di tale sorgente: 1) La prima opererà in condizioni di pompaggio a femtosecondi. 2) La seconda versione della sorgente ad alta brillantezza si basa sul pompaggio continuo di un laser a stato solido a singolo modo longitudinale a 266 nm. Successivamente, la stessa sorgente ad alta brillantezza verrà modificata per generare coppie di fotoni hyper-entangled, basate sui due gradi di libertà della polarizzazione e del momento. Successivamente, le proprietà di hyper-entanglement di questi stati verranno utilizzate per la generazione di qudits, ($d = 3$ o $d = 4$). Infine l'unità di Roma seguirà un ulteriore approccio sperimentale per la generazione di qudit, basato sulla conservazione del momento angolare orbitale (OAM) nel processo di conversione parametrica. La sorgente ad alta brillantezza verrà utilizzata per generare stati entangled stati entangled OAM di due qudit, codificati nei modi Laguerre-Gauss del campo elettrico.

Le unità di Firenze e Camerino studieranno l'accoppiamento in fibre ottiche a singolo-modo di coppie di fotoni entangled in polarizzazione, sia nel caso di pompa laser continua sia pulsata (Firenze). Si studieranno possibili nuove geometrie di generazione, utilizzando ad esempio multi cristalli in cascata e nuove configurazioni interferometriche che permettano di alleviare le limitazioni nell'accoppiamento. Un ulteriore soluzione che verrà investigata e che sarà svolta in collaborazione anche con le unità di Roma e

Napoli, è l'uso di nuovi tipi di cristalli quali i *periodically-poled crystal*. In particolare si considereranno varie opzioni per la polarizzazione periodica sia di cristalli di niobato di Litio sia di KTP (PPLN, PPKTP). L'unità di Firenze utilizzerà i cristalli *periodically-poled* anche al fine di aumentare l'efficienza della produzione di pompa per generazione di seconda armonica. L'unità di Napoli invece realizzerà una sorgente di luce *entangled* a variabile continua basata su un amplificatore parametrico ottico degenere in continua, sotto soglia di oscillazione, con un cristallo di KTP *poled* (interazione di tipo-II). La cavità ottica sarà triplamente risonante sia sulla pompa sia su segnale ed idler.

2) Rivelazione e ricostruzione tomografica di stati quantistici *entangled* della radiazione

La tomografia quantistica omodina (TQO) della radiazione è un metodo per caratterizzare completamente lo stato quantistico di un segnale ottico. Noi useremo la TQO per caratterizzare completamente l'uscita delle sorgenti parametriche, sia per la generazione di *squeezing* sia di *entanglement*. I risultati verranno utilizzati per ottimizzare i regimi di funzionamento nella generazione di *entanglement*. La caratterizzazione degli stati *entangled* in variabile continua avverrà mediante misure di disuguaglianze a la Bell, misura della matrice di covarianza e TQO.

Le unità di Napoli e Firenze in collaborazione tra di loro, al fine di ottimizzare i rispettivi sistemi omodina per la caratterizzazione degli stati prodotti, studieranno configurazioni e circuiti elettronici a basso rumore. In particolare, l'unità di Firenze curerà la realizzazione di un nuovo sistema per la rivelazione omodina risolta in tempo ad altissima frequenza. Verrà sviluppata una nuova classe di rivelatori ad alta efficienza quantica e altissima frequenza (>100 MHz) ottimizzati per l'impiego con stati di campo quantistici a basso numero di fotoni. Infine, un nuovo disegno dei circuiti elettronici coinvolti e l'utilizzo di componenti a montaggio superficiale consentirà di ridurre drasticamente la presenza di rumore elettronico ad alta frequenza.

3) Propagazione lungo canali quantistici di radiazione *entangled*

a) Propagazione di luce *entangled* in variabile continua lungo canali rumorosi.

Verranno usati metodi tomografici basati su misure di omodina per la caratterizzazione dei parametri di un canale. L'idea è basata sulla ricostruzione tomografica dei segnali prima e dopo la propagazione in un canale o l'interazione con un componente. Il punto cruciale sta nell'utilizzo di segnali *entangled* in variabile continua o *squeezed*, che sono molto più sensibili alle perturbazioni dei normali segnali coerenti. La tecnica di stima che ne risulta è assoluta, poiché non dipende dall'uso di "standard" predeterminati e non necessita della conoscenza del segnale di sonda, che può essere ricostruito congiuntamente ai parametri durante l'esperimento. L'unità di Napoli studierà sperimentalmente tale problema simulando la presenza di un canale rumoroso con un debole assorbimento e confrontando gli stati *entangled* in ingresso ed in uscita al dispositivo. L'unità di Milano curerà la ricostruzione di tipo tomografico dei dati sperimentali ottenuti.

b) Propagazione di coppie di fotoni *entangled* in polarizzazione lungo fibre ottiche.

Mediante tecniche tomografiche, l'unità di Camerino analizzerà i vari effetti che degradano la propagazione di qubit in polarizzazione in fibra ottica, e successivamente cercherà di eliminare o almeno ridurre la decoerenza dovuta a tali effetti. Una prima strategia è di codificare l'informazione in appropriati *decoherence free subspaces* (DFS): l'idea è di inviare stati di singoletto entro un'unica fibra in modo che i due qubit siano affetti da identiche fluttuazioni di polarizzazioni preservando quindi il singoletto. Una seconda strategia è quella di adottare tecniche di *bang-bang decoupling*, già sviluppata e ben collaudata in NMR, per la propagazione in fibra ottica di fotoni. L'idea è di modificare la propagazione della radiazione in fibra con delle rotazioni periodiche che avvengono su tempi minori di quelli di occorrenza della decoerenza.

4) Progettazione e implementazione di protocolli di comunicazione quantistica

Sviluppi recenti fanno un doppio uso del canale quantistico al fine di trasmettere una chiave in maniera deterministica, ovvero predeterminata dall'utente e non legata al protocollo stesso. Il doppio utilizzo del canale quantistico può garantire un livello di sicurezza superiore rispetto ai tradizionali protocolli ad una via. L'unità di Camerino cercherà di stabilire tali livelli di rumore in relazione anche alle strategie di intercettazione di Eva. Inoltre, un'immediata applicazione della tecnica del doppio uso del canale quantistico conduce anche alla possibilità di effettuare comunicazione diretta dell'informazione. Questo schema di comunicazione cifrata e diretta a due vie quantistiche verrà realizzato sperimentalmente dall'unità di Camerino. Si sceglierà, come grado di libertà per la comunicazione, la polarizzazione di uno dei fotoni di una coppia *entangled* generata dalla sorgente nonlineare messa a punto. L'unità di Roma utilizzerà gli stati *hyper-entangled* realizzati per realizzare: i) discriminazione completa dell'intero set di stati di Bell con alta efficienza; ii) realizzazione di schemi sperimentali in cui un *beam splitter* polarizzatore (PBS) si comporta come un gate C-NOT.

Criteri di verificabilità

Criteri proposti per la verifica dei risultati raggiunti

- Realizzazione sperimentale delle sorgenti di coppie di fotoni *entangled* e di fasci gemelli
- Realizzazione di schemi di rivelazione efficienti in grado di ricostruire lo stato quantistico della radiazione generata
- Realizzazione di alcuni esempi di comunicazione quantistica
- Parere di revisori internazionali di riconosciuta autorità scientifica sulla base della relazione consuntiva di ciascuna fase e di quella finale del progetto.
- Numero complessivo delle relazioni su invito a congressi internazionali.
- Numero di pubblicazioni su riviste internazionali di alta qualità.

Elenco delle Unità di Ricerca

Sede dell'Unità	Università degli Studi di CAMERINO
Responsabile Scientifico	David VITALI
Finanziamento assegnato	Euro 61.000

Compito dell'Unità

Il programma di ricerca dell'unità di Camerino avrà carattere sia teorico che sperimentale. Più in dettaglio, il laboratorio sperimentale di ottica quantistica del gruppo, di recente istituzione, svolgerà i seguenti compiti di ricerca.

1) Ottimizzazione dell'accoppiamento in fibre ottiche a singolo-modo di coppie di fotoni entangled in polarizzazione. Si seguiranno due strategie: a) si useranno i "tradizionali" cristalli di borato di bario (BBO) e iodato di litio (LiIO₃) con nuove geometrie di generazione (ad esempio multi cristalli in cascata) e nuove configurazioni interferometriche.

b) Si considererà l'uso di nuovi tipi di cristalli quali i periodically-poled crystal. Ciò sarà svolto in collaborazione con le unità di Roma, Firenze e Napoli e in particolare considereremo varie opzioni per la polarizzazione periodica sia di cristalli di niobato di Litio che KTP (PPLN, PPKTP).

2) Studio e ottimizzazione della propagazione in fibra di qubit fotonici in polarizzazione. E' noto che ci sono vari effetti che rendono difficoltosa la trasmissione di qubit in polarizzazione in fibra. Utilizzando un sistema di misura per la ricostruzione tomografica si analizzeranno questi effetti, e successivamente si cercherà di eliminare o almeno ridurre la decoerenza dovuta a tali effetti. Una prima strategia è di codificare l'informazione in appropriati decoherence free subspaces (DFS): l'idea è di inviare stati di singoletto entro un'unica fibra in modo che i due qubit siano affetti da identiche fluttuazioni di polarizzazioni preservando quindi il singoletto. Si seguiranno due vie per generare i DFS: i) usare stati hyperentangled, cioè entangled non solo in polarizzazione ma anche in un altro grado di libertà (frequenza e momento), di una singola coppia di fotoni. Tale studio verrà fatto in collaborazione con l'Unità di Roma. ii) Usare due coppie di singoletti in polarizzazione e in tal caso lo studio sarà fatto in collaborazione con l'unità di Firenze che avrà messo a punto una sorgente con laser impulsato per la generazione di due e più coppie di fotoni entangled in polarizzazione. Una seconda strategia è quella di realizzare parity-kicks, cioè una versione del bang-bang decoupling, già sviluppata e ben collaudata in NMR, per la propagazione in fibra ottica di fotoni. L'idea è di modificare la propagazione della radiazione in fibra con delle rotazioni periodiche che avvengono su tempi minori di quelli di occorrenza della decoerenza.

3) Design teorico e dimostrazione sperimentale di comunicazione quantistica (con chiave o diretta) basata sul doppio (o multiplo) uso di un canale quantistico, al fine di trasmettere una chiave in maniera deterministica, ovvero predeterminata dall'utente e non legata al protocollo stesso. Il doppio utilizzo del canale quantistico può garantire un livello di sicurezza superiore rispetto ai tradizionali protocolli ad una via. Nella realizzazione sperimentale si sceglierà, come grado di libertà per la comunicazione, la polarizzazione di uno dei fotoni di una coppia entangled generata dalla sorgente nonlineare. Lo stato da inviare verrà determinato dalla misura della polarizzazione dell'altro fotone dello stato entangled in polarizzazione. Il fotone restante verrà quindi inviato attraverso una fibra ottica ad un secondo utente che procederà all'azione di encoding dell'informazione e lo rinverrà al primo utente per concludere il protocollo.

Infine, esclusivamente dal punto di vista teorico, si continuerà lo studio di protocolli di comunicazione quantistica basati sull'uso di canali tripartiti e più in generale multipartiti in variabile continua, specialmente nel caso di canali gaussiani. Insieme alle unità di Milano e Napoli, studieremo come tali canali possano essere impiegati per vari tipi di comunicazione.

Sede dell'Unità	Università degli Studi di MILANO
Responsabile Scientifico	Matteo PARIS
Finanziamento assegnato	Euro 40.000

Compito dell'Unità

Il programma dell'unità di Milano e' rivolto alla caratterizzazione delle sorgenti di entanglement, al disegno di nuovi schemi per la generazione di entanglement multipartito, e all'uso di stati entangled per trasmettere informazione in maniera sicura ed efficace. Il programma e' rivolto sia alle implementazioni con qubit sia con variabili continue. L'attività e' prevalentemente teorica, tuttavia l'unità include il laboratorio di ottica quantistica di INFN-CNR Como, dove parte degli schemi di questo programma verranno sviluppati sperimentalmente. Particolare attenzione sarà rivolta all'uso di entanglement in canali quantistici rumorosi. Questo e' necessario per due motivi: 1) il programma e' volto alla realizzazione di nuovi schemi di comunicazione basati sull'entanglement, ed e' quindi necessario studiare gli effetti del rumore sulle proprietà nonlocali dei segnali; 2) l'uso di entanglement può essere una risorsa efficace *specialmente* in presenza di rumore. Per questo motivo, intendiamo sviluppare strumenti efficaci per la caratterizzazione a livello quantistico dei canali rumorosi. Il metodo per variabili continue e' basato sulla tomografia omodina e sull'uso di radiazione entangled, e la sua realizzazione e' possibile nell'ambito di questo progetto. Il metodo per variabili discrete prevede la ricostruzione partendo da misure parziali.

Il programma di Milano può essere riassunto in quattro punti

1. Caratterizzazione omodina di sorgenti di entanglement: una strategia ottimizzata per la ricostruzione della matrice di covarianza degli stati entangled prodotti dalle unità di Napoli e Firenze.

2. Caratterizzazione quantistica di dispositivi e canali con luce entangled: sviluppo di un metodo assoluto ad alta precisione di caratterizzazione di dispositivi con sonde a bassissima intensità.
3. Entanglement multipartito in sistemi ottici e atomici con applicazioni a nuovi schemi di comunicazione quantistica.
4. Caratterizzazione di dispositivi quantistici con misure parziali, ovvero applicazione del principio di massima entropia di Kullback alla ricostruzione di Hamiltoniane deboli che agiscono su sistemi finito-dimensionali. Disegno di implementazioni ottimali per qubit, in vista di una realizzazione sperimentale dell'unità di Roma.

I primi due punti verranno sviluppati con le unità di Napoli e Firenze, e il punto 4 con l'unità di Roma, per una realizzazione sperimentale all'interno del programma. Il terzo punto sarà sviluppato teoricamente con Camerino e sperimentalmente all'interno dell'unità di Milano.

Sede dell'Unità	Università degli Studi di NAPOLI "Federico II"
Responsabile Scientifico	Salvatore SOLIMENO
Finanziamento assegnato	Euro 65.000

Compito dell'Unità

I compiti dell'unità di Napoli sono:

(A) realizzazione di una sorgente EPR a variabili continue;

(B) caratterizzazione omodina dei fasci entangled;

(C) caratterizzazione sperimentale di canali rumorosi.

(A) Verrà realizzato un amplificatore parametrico ottico non-degenere (DOPA) in continua con un cristallo di KTP "poled" (interazione di tipo-II). Il DOPA sarà iniettato con due fasci ortogonali in polarizzazione e degeneri in frequenza. La mutua correlazione tra le quadrature di segnale ed idler dipende dagli angoli di quadratura e dalle fasi relative dei fasci iniettati. Nel KTP, la condizione di degenerazione, con pompa @532 nm, si realizza a temperature estremamente basse perciò, utilizzeremo un cristallo poled (degenerazione @1064nm a 40°C). La sperimentazione sull'uso di cristalli poled si gioverà dell'interazione con i gruppi di Roma, Camerino e Firenze che pure intendono adoperare tali cristalli. I fasci emergenti dal DOPA sono in fase e si possono combinare ruotandone le polarizzazioni. La degenerazione verrà controllata agendo sulla temperatura del cristallo. Per ottenere una coppia EPR stabile è essenziale un controllo fine della differenza di fase tra pompa e semi (@1064nm).

(B) La caratterizzazione dell'entanglement è fondamentale per il suo impiego in protocolli QI. Le quadrature del campo si misurano con rivelatori omodina la cui qualità è determinata da visibilità, efficienza quantica e rumore elettronico. La caratterizzazione avverrà con: misure di Bell; matrice di covarianza e tomografia ottica omodina (QHT). I sistemi entangled violano le disuguaglianze di Bell (BI) che, nel sistema CV, riguardano coppie di quadrature. Sperimentalmente la violazione delle BI si verifica misurando le varianze delle quadrature. La matrice di covarianza definita sulle quadrature dei due fasci è utile strumento di analisi della correlazione. Un sua misura diretta, ad oggi, non risulta realizzata in quanto affetta da errori statistici molto elevati. Congiuntamente alle unità teoriche di Milano e Camerino si individuerà una strategia sperimentale che minimizzi tali errori. La QHT consiste nella ricostruzione della funzione di Wigner e della matrice densità del campo attraverso la manipolazione di un set, statisticamente rilevante, di dati omodina; essa può mettere in risalto eventuali piccole deviazioni dello stato atteso dovute all'influenza dei parametri sperimentali sull'entanglement.

La caratterizzazione mediante QHT sarà condotta in collaborazione con le unità di Milano e l'unità di Firenze. La collaborazione riguarderà l'ottimizzazione delle routine numeriche e l'implementazione di sistemi di misura QHT in tempo reale. Poiché una singola omodina non permetterà misure simultanee sui sottosistemi entangled, nel corso del progetto si studierà l'implementazione di un sistema a doppia omodina che richiederà stabilità di fase e valori di visibilità ancora più elevati unitamente ad un equilibrio pressoché perfetto delle catene elettroniche. A tal fine verranno studiate in collaborazione con l'unità di Firenze configurazioni e circuiti elettronici a basso rumore.

(C) L'unità di Napoli si propone di simulare la presenza di un canale rumoroso con un debole assorbimento e confrontare gli stati EPR in ingresso ed in uscita al dispositivo. L'unità farà da riferimento per le problematiche sperimentali che sorgeranno nell'ambito delle indagini teoriche che sia Milano che Camerino porteranno avanti su questo tema.

Sede dell'Unità	Università degli Studi di FIRENZE
Responsabile Scientifico	Fortunato Tito ARECCHI
Finanziamento assegnato	Euro 97.000

Compito dell'Unità

Il programma di ricerca dell'unità di Firenze si svilupperà lungo varie linee di indagine, essenzialmente divise in tre filoni: il primo, di carattere prevalentemente tecnologico e dedicato alla realizzazione di sorgenti pratiche ed efficienti di luce entangled e di schemi innovativi per la produzione, con tecniche di preparazione condizionale, di radiazione non classica; il secondo, di analisi della radiazione emessa dalle sorgenti stesse attraverso tecniche tomografiche risolte in tempo, con test volti ad evidenziare il carattere quantistico dei campi generati; infine il terzo, dedicato allo studio delle configurazioni ottimali per le applicazioni di più stretto interesse per il processamento dell'informazione e la comunicazione quantistica. Tutte le fasi del progetto verranno realizzate in stretta collaborazione con le unità già attive nel campo per ottimizzare l'impiego delle risorse e del know-how disponibile. La generazione di stati entangled avverrà secondo lo schema ampiamente sperimentato di down-conversion parametrica in cristalli non-lineari a partire da luce di pompa di tipo pulsato o continuo (in questa fase saranno fondamentali le interazioni con i gruppi sperimentali di Camerino, Roma e Napoli), mentre l'analisi approfondita degli stati prodotti e la verifica delle loro proprietà di correlazione quantistica avverrà essenzialmente attraverso misure di tipo omodina e tomografia quantistica (in collaborazione con Milano e Napoli). In una seconda fase, e attraverso la stretta collaborazione con i gruppi teorici coinvolti (Camerino, Milano), si procederà all'individuazione e all'implementazione di schemi per la comunicazione e la crittografia quantistica con le sorgenti sviluppate. In particolare si cercherà di ottimizzare il sistema già esistente per la generazione di stati entangled in tempo/frequenza adottando, ove possibile, sistemi di trasporto della informazione quantistica basati su fibre ottiche monomodo, per semplificare l'apparato e migliorare la qualità spaziale dei campi generati, con conseguente innalzamento dell'efficienza globale nelle successive operazioni di manipolazione e rivelazione degli stati. Contemporaneamente si studieranno le possibilità offerte dall'utilizzo di cristalli non lineari con polarizzazione periodica (PPLN e PPKTP principalmente) in combinazione con laser sia pulsati che continui per la realizzazione di nuove sorgenti compatte ed efficienti. La realizzazione di nuove sorgenti e l'ottimizzazione di quelle esistenti costituiranno la base di partenza per la generazione e la manipolazione, anche attraverso tecniche di preparazione condizionale e lo shaping non locale dei loro gradi di libertà, di stati di campo dall'evidente non-classicità, quali stati di Fock a numero di fotoni maggiore di uno o stati quantistici esotici, di interesse sia fondamentale che per le possibili applicazioni al campo della comunicazione. I nuovi stati di campo verranno analizzati in modo completo con la ricostruzione degli elementi della matrice densità e della funzione di Wigner attraverso un nuovo sistema per la rivelazione omodina risolta in tempo ad alta efficienza e altissima frequenza (>100 MHz) che consentirà di rendere il sistema scalabile verso stati a bassissima probabilità di generazione.

Sede dell'Unità	Università degli Studi di ROMA "La Sapienza"
Responsabile Scientifico	Paolo MATALONI
Finanziamento assegnato	Euro 120.000

Compito dell'Unità

L'attività di ricerca del gruppo di Roma in questo progetto di ricerca si basa principalmente sull'uso della sorgente ad alta brillantezza di fotoni entangled in polarizzazione recentemente sviluppata. In modo particolare si intende migliorare le prestazioni di questo device che verrà utilizzato per la generazione di nuovi stati quantistici. Verranno quindi studiate e realizzate altre due configurazioni della sorgente, l'una operante con pompaggio laser a femtosecondi, l'altra funzionante in regime continuo nella regione verde dello spettro visibile utilizzando un laser di pompa con lungo tempo di coerenza. Un altro schema sperimentale prevede l'uso della sorgente con cristalli di tipo II per la generazione di fasci gemelli lungo due distinte direzioni. Il programma di ricerca di Roma prevede inoltre l'utilizzo della sorgente ad alta brillantezza per la generazione di stati a due fotoni hyper-entangled nei gradi di libertà polarizzazione e momento lineare oppure polarizzazione ed energia-tempo. In questo modo è possibile lavorare con quattro qubit avendo a disposizione solo due fotoni, cioè in uno spazio di Hilbert a quattro dimensioni. Gli stati hyper-entangled permettono la realizzazione di alcuni interessanti esperimenti, che vanno da nuovi test di violazione del realismo locale, che presentano una maggiore deviazione dal limite classico, alla completa discriminazione dei quattro stati di Bell, allo sviluppo di schemi sperimentali per schemi C-NOT. Verranno anche generati stati a più dimensioni di tipo qudit ($d > 2$), combinando l'entanglement in polarizzazione con le possibilità di codificare l'informazione nel momento lineare. A questo scopo verranno generati stati puri arbitrari di tipo qutrit ($d = 3$) e ququad ($d = 4$) utilizzando un solo cristallo non lineare e semplici lamine a ritardo di fase. In questo caso il qudit è codificato nella polarizzazione dello stato a due fotoni e viene generato partendo da uno stato non massimamente entangled con semplici trasformazioni unitarie locali. Inoltre la possibilità di ricorrere all'hyper-entanglement permette di implementare sperimentalmente protocolli di distribuzione di chiavi crittografiche. Seguendo un'altra strada sperimentale, la sorgente sarà impiegata per la generazione di qudits ricorrendo alla codifica in polarizzazione e in time-bin. L'ultima parte del programma di ricerca prevede una collaborazione con l'unità di Milano per studiare la possibilità di ricostruire sperimentalmente l'Hamiltoniana agente su un sistema a dimensioni finite come qubits o qudits.