IL RADAR QUANTISTICO: ANALISI TECNOLOGIA ED APPLICAZIONI

Salvatore DE MATTIA

Introduzione

Il radar quantistico, in senso lato, si riferisce a diversi protocolli e prototipi che, in teoria o in una fase sperimentale preliminare, mirano a sfruttare l'entanglement quantistico e le proprietà di correlazioni quantistiche per il miglioramento della sensibilità di rilevamento del bersaglio. L'entanglement quantistico, o correlazione quantistica, è un fenomeno quantistico, non riducibile alla meccanica classica, per cui, in determinate condizioni, due o più sistemi fisici rappresentano sottosistemi di un sistema più ampio il cui stato quantico non è descrivibile singolarmente, ma solo come sovrapposizione di più stati. Pertanto, quando si parla di fotoni entangled ci si riferisce a una coppia di fotoni denominati "signal" (fotone che viene inviato per indagare la presenza di un potenziale target nella regione spaziale di interesse) e "idler" (fotone "gemello" che viene memorizzato all'interno del radar per effettuare la misurazione del fotone che viene riflesso e determinare la presenza o assenza di un target).

Sebbene il radar quantistico rappresenti un'area di ricerca promettente, la realizzazione di un prototipo di radar quantistico realistico e funzionale non è qualcosa di immediato. Di fatto, sussiste un evidente ed ampio divario tra le primarie aspettative teoriche ed una successiva comprensione dei risultati sperimentali, che potrebbe condurre ad una sorta di scetticismo sui reali vantaggi prestazionali di un radar quantistico rispetto ad un radar convenzionale, impiegato in situazioni pratiche. Bisogna innanzitutto focalizzarsi sui concetti insiti nell'illuminazione quantistica, poiché tale tecnica ha sollevato aspettative molto alte sulle sue possibili applicazioni nei radar a lungo raggio, aspettative che gradualmente sono state degradate da problematiche pratiche e sperimentali. In effetti, è notevole che nella letteratura scientifica, non vi è alcun riferimento a un vero e proprio radar quantistico o ad un progetto prototipale che si possa avvicinare ad un dispositivo a lungo raggio basato sull'illuminazione quantistica. Nonostante questa assunzione iniziale, bisogna rimarcare che i potenziali vantaggi offerti da una tecnologia basata sul radar quantistico rispetto alle tecnologie radar convenzionali costituiscono ancora una motivazione sufficiente per comprendere meglio il concetto, implicando la scoperta di applicazioni realistiche. Gli esperimenti dimostrano che il radar quantistico offre un miglioramento rispetto all'illuminazione classica ed inoltre si evince che, solo se si effettuano dei confronti con le prestazioni di sensibilità di un'illuminazione a luce coerente, tali vantaggi si riducono drasticamente o si annullano del tutto. Tuttavia, è anche vero che questi esperimenti funzionano in

ipotesi e condizioni molto diverse da quelle che coinvolgono ad esempio i radar a lungo raggio. Gli esperimenti in letteratura sembrano suggerire che non esiste un radar quantistico universale, ma il messaggio fondamentale è che l'illuminazione quantistica potrebbe essere potenzialmente utile esclusivamente per specifiche applicazioni: quelli in cui l'uso della luce coerente è precluso per diversi motivi. I protocolli quantistici possono potenzialmente avere dei vantaggi rispetto ai protocolli di illuminazione classica e funzionare in applicazioni specifiche, specialmente in ambiente rumoroso, nelle applicazioni non invasive e nel rilevamento di bersagli spaziali. In tale ambito, è stata condotta un'analisi partendo dalle principali sperimentazioni concernenti l'illuminazione quantistica nel regime ottico e delle microonde, al fine di redigere talune considerazioni nel settore della Guerra Elettronica in relazione all'impiego di un radar quantistico in operazioni militari. La costruzione pratica di un dispositivo reale di radar quantistico necessita di molteplici sfide tecnologiche sia da un punto di vista di dimensionamento dei dispositivi sia per quanto riguarda la reale applicabilità di tale sistema.

"Quantum Radar"

Al fine di effettuare una comparazione tra approccio classico e quantistico, per determinare in che misura sussiste un vantaggio prestazionale nell'implementazione di un apparato che sfrutta fenomeni quantistici, è necessario associare una specifica descrizione matematica a tali approcci. In particolare, allo stato coerente è associabile un campo elettromagnetico classico, in cui la funzione d'onda è una gaussiana che si muove nello spazio, con una forma invariata. Per tale ragione, il numero di fotoni medio in uno stato coerente è associato alla potenza di trasmissione e la distribuzione di probabilità dei fotoni è di tipo Poussoniano.
Mentre, quando ci si riferisce all'approccio cosiddetto quantistico, si associa uno stato particolare detto squeezed, che in particolari condizioni dà vita alla generazione di fotoni entangled.

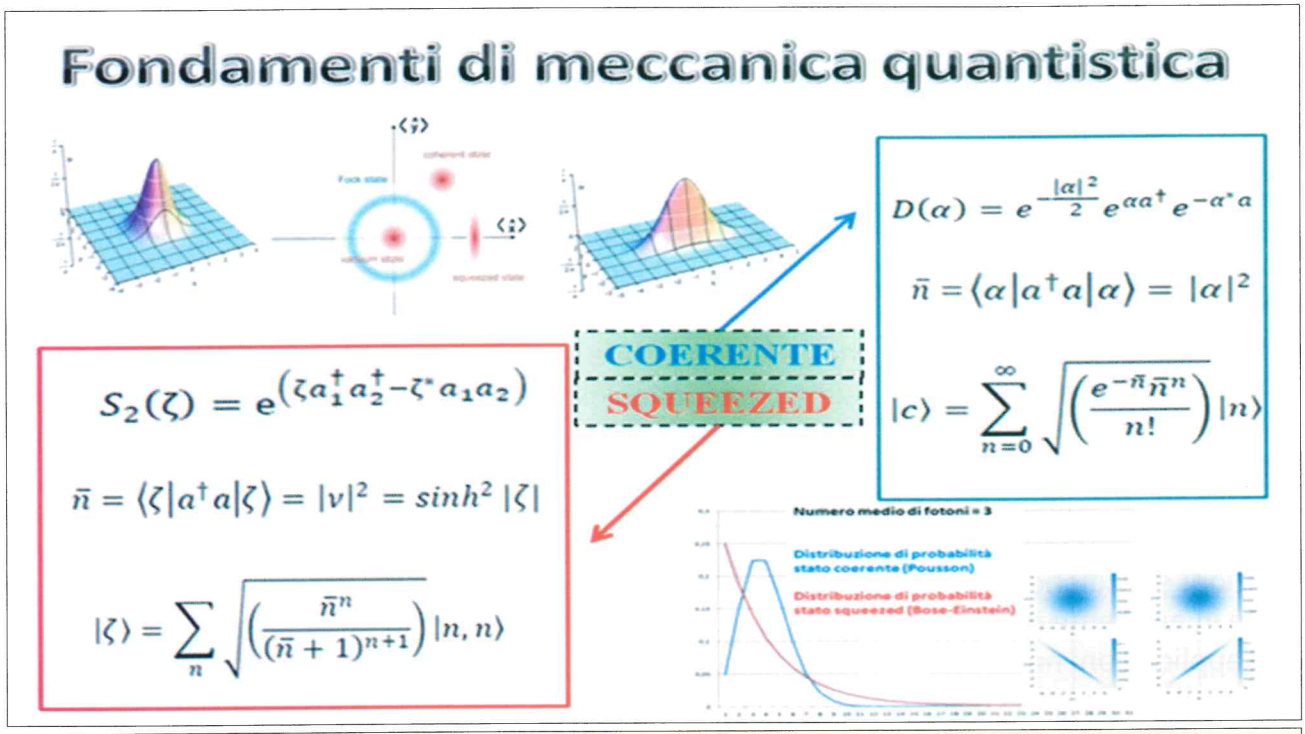
Caratteristica principale di tale stato è che la funzione d'onda è una gaussiana "schiacciata" rispetto agli operatori momento e posizione e il numero medio di fotoni è descritto da una funzione trigonometrica iperbolica. In tale caso, la distribuzione di probabilità dei fotoni è di tipo termico (Bose-Einstein), che determina una maggiore controllabilità del canale trasmissivo rispetto all'andamento Poussoniano di uno stato coerente.





Possibile animazione del funzionamento di un radar quantistico

Ciò premesso per rimarcare i principali aspetti del caso classico e quantistico, fornendo un framework matematico in cui contestualizzare i risultati e le considerazioni sul radar quantistico.
Tutti i protocolli dei radar quantistici sono costruiti sfruttando proprietà non classiche



Differenze tra stato fotonico coerente (classico) e stato fotonico squeezed (quantistico). Lo stato squeezed caratterizza un campo elettromagnetico entangled.

della radiazione elettromagnetica, vale a dire entanglement quantistico e correlazioni quantistiche.
Secondo le caratteristiche e l'uso di entanglement, i sensori quantistici possono essere raggruppati in Tipo 1, Tipo 2 o Tipo 3:

- Sensori quantistici di tipo 1: il sensore quantistico trasmette stati quantistici della luce non entangled e non coerenti. Ciò include radar quantistici a fotoni singoli e LIDAR classici. Un esempio di un sensore di tipo 1 potrebbe essere un LIDAR che impiega fotoni squeezed per effettuare il rilevamento;
- Sensori quantistici di tipo 2: il sensore quantistico trasmette luce coerente (stati di luce classici), ma si utilizzano fotosensori quantistici per aumentare le prestazioni di rilevamento;
- Sensori quantistici di tipo 3: i sensori quantistici trasmettono stati di luce che sono originariamente entangled, di solito con il ricevitore, ma il raggio del segnale non è in uno stato entangled con se stesso;
- Sensori quantistici di tipo 4: il fascio del segnale è composto da stati di luce che sono entangled tra di loro. Un esempio potrebbe prevedere l'impiego del protocollo di quantum illumination che usa stati quantistici con fotoni multipli entangled.

Per focalizzarsi in maniera significativa sull'impiego del entanglement per la costruzione di un radar quantistico,

saranno analizzati prevalentemente i sensori di tipo 3 e 4.
Un radar quantistico impiega protocolli di rilevamento quantistici basati sull'uso di sorgenti di fasci di fotoni entangled. In tali protocolli, si potrebbe avere una conservazione dell'entanglement fino alla ricezione del segnale riflesso e invece il caso in cui, sebbene l'entanglement non sia presente tra il fotone idler e signal riflesso, si ottiene un vantaggio prestazionale in termini di sensibilità grazie alla correlazione non classica ereditata dalle proprietà degli stati entangled in fase di generazione.
La scomparsa dell'entanglement è causata dall'attenuazione e dalla decoerenza dell'ambiente, la quale degrada totalmente la coerenza quantistica prima che il segnale arrivi al rivelatore.
L'entanglement quantistico è una proprietà fisica del concetto di superposizione lineare di stati relativamente ad un sistema complesso.
Siccome la massima conoscenza di uno stato quantistico puro è fornita dalla conoscenza della sua funzione d'onda, uno stato è entangled se la funzione d'onda del sistema totale non determina le funzioni d'onda delle componenti dello stesso.
La difficoltà peculiare nelle applicazioni che impiegano entanglement per migliorare la sensibilità nelle misurazioni quantistiche è che l'entanglement è una proprietà molto labile, facilmente corruttibile dall'ambiente circostante. La decoerenza quantistica è il processo tale per cui avviene la perdita di entanglement e, in generale, della superposizione quantistica (coerenza).
La quantum illumination conduce ad una formulazione delle probabilità di errore, tale che, nel caso di regime in pessime condizioni tra luce a singolo fotone ed illuminazione quantistica a singolo fotone sussisteva un incremento nell'esponente della funzione probabilità di errore pari a M, mentre nel caso di illuminazione quantistica gaussiana si assiste ad un incremento fisso massimo pari a 6 dB rispetto ad una sorgente con luce a stato coerente. Ciò ha condotto a rivalutare la previsione di Lloyd di un incremento in regime ottimo di 60 dB, poiché come si osserva nella comparazione tra CI e QI, l'incremento è definito, fisso ed indipendente da M.
Inoltre, l'incremento massimo di 6 dB è ottenibile solo tramite una strategia collettiva, ovvero allorquando tutti gli M modi possono essere misurati insieme; mentre usando una strategia locale (i modi sono misurati separatamente) il massimo vantaggio ottenibile nel rapporto segnale-rumore è 3 dB. D'altra parte è stato mostrato che l'impiego di una illuminazione quantistica gaussiana con due modi squeezed è la condizione ottimale, nel senso che fornisce il massimo vantaggio rispetto all'illuminazione quantistica con stati coerenti.
Un elemento cruciale nello studio di un quantum radar consiste nella realizzazione di un ricevitore in grado di sfruttare il vantaggio espresso nella teoria dell'illuminazione quantistica. Nella misurazione in ricezione deve essere considerato che la conoscenza dell'osservabile indicante la presenza di un target è complessa, a causa del principio di indeterminazione di Heisenberg che non consente la simultanea misura e conoscenza delle quattro componenti di quadratura in cui l'osservabile può essere espanso.
Da un punto di vista teorico, analizzando le espressioni delle probabilità di errore di rilevamento di un fotone, si ottiene che un ricevitore basato su un'architettura particolare, detta SFG (Sum Freqeuncy Generator), rappresenta il caso ottimale per sfruttare pienamente il vantaggio quantistico rispetto al caso classico. Ciò comparando i due approcci nelle medesime condizioni fisiche.
In particolare, il vantaggio quantistico si ottiene quando si considera un numero me-

dio di fotoni molto minore di 1,assumendo come ipotesi che la distanza del potenziale target sia nota a priori.
Le prime comparazioni nel rilevamento tra il caso classico e quantistico sono state condotte in dominio ottico, in cui il rumore di fondo è tendenzialmente basso. Nella costruzione di un radar quantistico si deve considerare il dominio delle microonde dove vi è una forte intensità del rumore di fondo, condizione in cui il vantaggio quantistico si evidenzia maggiormente rispetto a quanto ottenibile con un approccio classico.

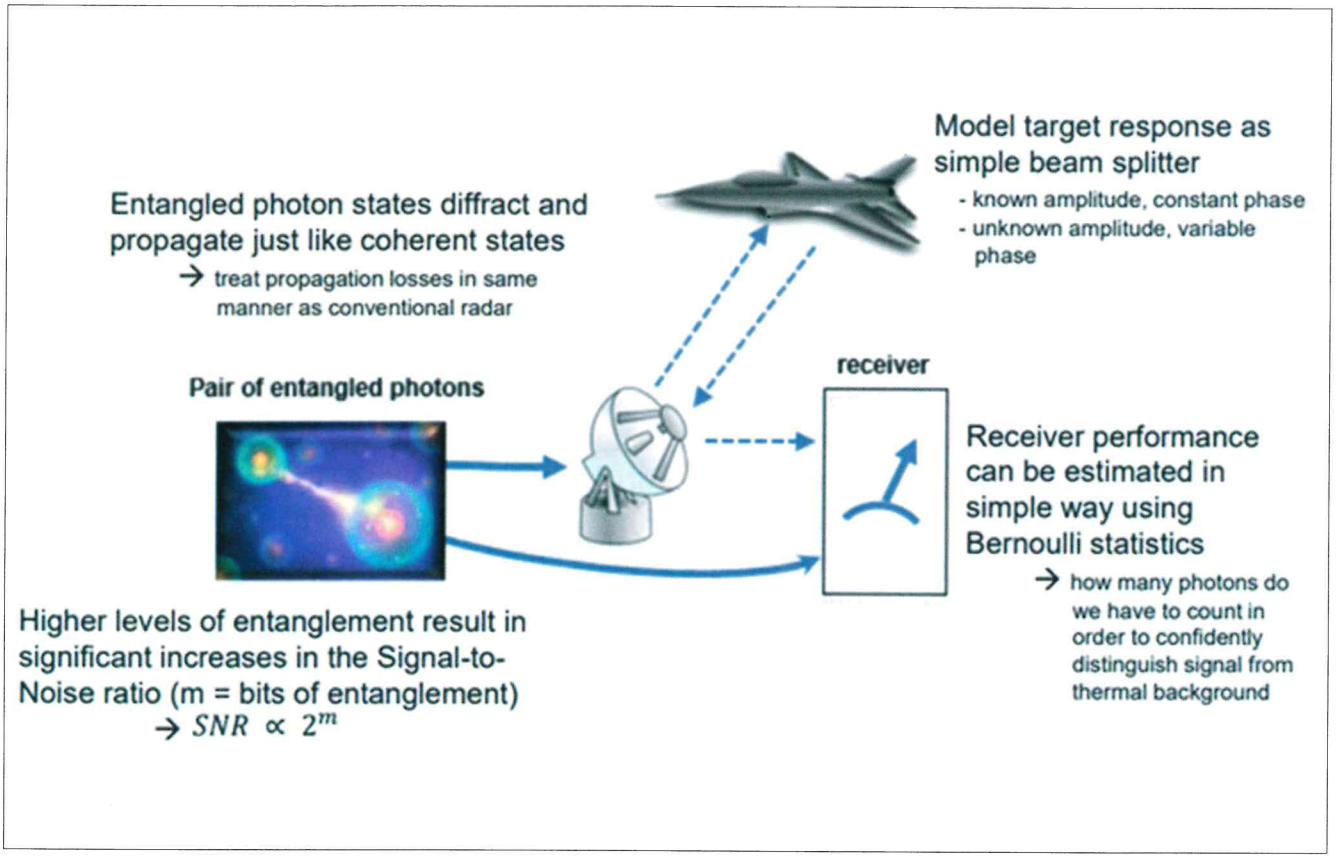
Principali nozioni del radar classico

Il funzionamento di un radar di tipo classico si basa sull'invio di un impulso a radio frequenza verso una certa area di interesse e nella successiva ricezione dello stesso a seguito della riflessione di un target presente nella zona di interesse. In funzione del tempo di arrivo dell'impulso riflesso, un dispositivo radar è in grado di calcolare la distanza del target e, tramite l'analisi delle componenti frequenziali, di ricavarne anche la velocità. Le prestazioni di un radar ovviamente sono correlate ad innumerevoli parametri dei componenti architetturali del sistema (e.g. potenza del trasmettitore, guadagno di antenna, ampiezza del fascio, ecc.).
Da un punto di vista di propagazione del segnale, per dimensionare i parametri principali di un apparato radar, si considera la cosiddetta equazione del radar, in cui si evince che la potenza del segnale ricevuto è inversamente proporzionale alla quarta potenza della distanza del target, poiché il segnale deve percorrere un percorso di andata e ritorno, prima di essere rilevato. L'equazione del radar viene spesso formulata per ricavare la massima distanza rilevabile da un radar, in funzione dei parametri caratteristici della sezione rice-trasmittente e dell'oggetto da identificare.

Architettura del radar quantistico

Per la realizzazione di un radar quantistico si identificano, da un punto di vista architetturale, gli elementi peculiari costituenti un dispositivo operante con tale tecnologia. In tale ambito, si riportano i seguenti elementi concernenti la realizzazione di un radar quantistico:

1. sorgente di fotoni entangled: questa sezione corrisponde alla parte trasmittente del sistema, i cui fotoni generati forniscono un elevato grado di correlazione;
2. propagazione: il fotone entangled generato deve essere irradiato verso una specifica direzione dello spazio, ove si sospetti sia presente un oggetto da identificate;
3. interazione con il target: il fotone entangled interagisce con il target, tramite un assorbimento o una riflessione del campo elettromagnetico incidente. La riflessione, inoltre, deve avvenire all'interno del fascio di radiazione dell'elemento ricevente, altrimenti il fotone riflesso non viene ricevuto, causando un evento di falso negativo;
4. memoria quantistica: per consentire di sfruttare il vantaggio offerto dalla tecnologia quantistica bisogna effettuare una misura congiunta tra il fotone riflesso e quello memorizzato. Per questo motivo uno dei due fotoni generati in uno stato entangled deve essere memorizzato all'interno del sistema per un tempo necessario atto a consentirne la misurazione;
5. ricevitore: bisogna implementare un'architettura ed una tecnica ricevente al fine di implementare e sfruttare realmente il vantaggio teorico offerto dall'approccio quantistico.



Elementi principali caratterizzanti un radar quantistico in cui si riportano le diversificate fasi connesse alla generazione, alla propagazione, all'interazione e alla ricezione dei fotoni in uno stato entangled.

Il radar quantistico viene spesso presentato come una tecnologia anti-stealth, in grado cioè di rilevare oggetti invisibili tramite un analogo dispositivo classico. A tal proposito bisogna sottolineare che, grazie al potenziale vantaggio ottenibile nell'esponente della probabilità di errore e quindi del rapporto segnale-rumore, un radar quantistico fornirebbe una migliore sensibilità. Questo miglioramento consentirebbe di rilevare oggetti stealth che assorbono una percentuale del segnale incidenza, tramite l'impiego di vernici assorbenti a microonde, ma non offrirebbe fattivi vantaggi nel caso in cui la geometria del target riflettesse il fotone incidente in una direzione differente da quella offerta dal fascio di rilevazione dell'antenna ricevente.

In generale, tenendo in considerazione i parametri espressi nell'equazione del radar, si riportano, sinteticamente, i potenziali vantaggi pratici offerti da questa tecnologia operante in un regime di basso rapporto segnale-rumore (tipicamente -5/-10 dB):

- maggiore probabilità di rilevamento del target;
- significativa probabilità di rilevamento anche con SNR unitario (0 dB);
- maggiore complessità di rilevare il segnale del radar quantistico da sistemi di guerra elettronica nemici;
- maggiore resilienza ad una condizione di jamming;
- miglior rilevamento del target attraverso il clutter;
- maggiore radar cross section dei target.

Principali limitazioni di un radar quantistico

Tra le problematiche concernenti la realizzazione di un radar quantistico si possono annoverare gli elementi di seguito riportati.

Perdita di intensità nel fascio del segnale. Tale aspetto è causato da processi di attenuazione e basso prodotto banda-tempo. Soprattutto nello spettro delle microonde si ottiene che la potenza utilizzata per rilevare un oggetto non è sufficiente, poiché il vantaggio quantistico si palesa nella condizione tale per cui Ns << 1 (Ns indica il numero medio di fotoni trasmessi per indagare una specifica regione spaziale). A ciò deve essere anche correlato il problema che nella banda delle microonde, impiegata per applicazioni a lungo raggio, a differenza delle frequenze ottiche è molto complesso raggiungere un elevato prodotto banda-tempo. Quest'ultimo è un ulteriore parametro fondamentale per sfruttare i vantaggi teorici del protocollo di illuminazione quantistica.

Memorizzazione del fotone idler. Per effettuare misure congiunte o in generale, per correlare il signal ricevuto con l'idler, le informazioni fornite dal fotone idler devono essere preservate. Tale processo potrebbe essere condotto con l'impiego di memorie quantistiche (molto costose) o con l'utilizzo di un protocollo di illuminazione quantistica ibrida, basata su metodologie digitali classiche e su approcci con mached filtering. Questa problematica attualmente è fonte di riduzione della distanza massima di un radar quantistico, oltre che ad un decremento prestazionale in termini di rapporto segnale-rumore (SNR).

Generazione di fasci entangled. La procedura più comune per la generazione di entanglement quantistico è la down-conversione parametrica spontanea (SPDC – Spontaneous Parametric Down Conversion). Sebbene questa sia una procedura abbastanza utile per le frequenze ottiche, nascono delle problematiche nella gamma delle frequenze delle microonde. Metodi diretti per la generazione di fotoni a microonde entangled vanno implementati in condizioni criogeniche, mentre la conversione frequenziale è attualmente altamente poco efficiente.

Il problema del fading del bersaglio. Esso si verifica quando non si ha piena conoscenza della riflettività del bersaglio e della fase, ed è un altro problema che influenza l'illuminazione quantistica, specialmente nel regime ottico.

Rilevamento. Per l'illuminazione quantistica, esiste un rilevatore ideale, con un guadagno massimo potenziale pari a 6 dB. Ma le attuali limitazioni tecnologiche e le inefficienze reali riducono drasticamente il vantaggio teorico potenziale di 6 dB.

La rilevazione fotonica diretta viene utilizzata in diversi esperimenti, sebbene la velocità di conteggio dei fotoni limita in modo significativo il raggio di rilevamento.

I punti summenzionati impediscono la realizzazione di un radar quantistico definitivo ed universale. Tuttavia, i protocolli quantistici possono potenzialmente avere dei vantaggi rispetto ai protocolli di illuminazione classica e funzionare in applicazioni specifiche, come in ambiente rumoroso, nelle applicazioni non invasive e nel rilevamento di bersagli spaziali.

Viste le problematiche sopra citate, è necessario incrementare la ricerca finalizzata ad applicare e sviluppare la tecnologia quantistica sul campo. La generazione di campi entangled e le difficoltà nel rilevamento del segnale riflesso costituiscono aree di ricerca che richiedono progressi e nuovi sviluppi per soddisfare le specifiche richieste da un radar quantistico, evidenziando che lo sviluppo di un apparato prototipale richiede una forte sinergia con sviluppi tecnologici quantistici paralleli.

Vantaggio quantistico: la funzione di correlazione

La funzione di correlazione dello stato entangled (squeezed) è sempre maggiore rispetto a quella di uno stato coerente, evidenziando che nella fase iniziale, ovvero per valori molti piccoli del valore medio del numero di fotoni (Ns), lo scostamento è molto maggiore, per poi tendere asintoticamente ad un valore doppio per valori di Ns molto maggiori di 1. Per tale motivazione si suole sfruttare il vantaggio quantistico nel regime di bassa intensità di trasmissione, con numero molto basso di fotoni medi, in quanto il differenziale rispetto al caso classico offre un margine significativamente più esteso.
Per quantificare il vantaggio prestazionale di un dispositivo radar quantistico rispetto ad uno classico si considerano le matrici di covarianza. Le matrici di covarianza esprimono matematicamente il livello di correlazione dei fotoni, relativamente a stati differenti, come per esempio quanto riportato precedente nell'analisi comparativa tra l'approccio classico e quantistico. Il termine di correlazione è associato ad un conteggio in coincidenza dei detector posti nella sezione ricevente, al fine di correlare statisticamente il fotone signal riflesso e quello idler memorizzato.
L'elemento di correlazione della matrice, utile per comprendere la presenza o meno di un possibile target, descrive una misurazione congiunta effettuata dai due detector della sezione ricevente, i quali assorbiranno rispettivamente il fotone signal riflesso e quello idler memorizzato, trasducendolo in segnale elettrico ed andando ad effettuare successivamente una coincidenza tra i conteggi ottenuti nei singoli detector. Il conteggio in coincidenza può essere modellato in maniera semplice con l'impiego di una logica AND tra le rispettive uscite dei rilevatori.

Aspetti connessi alla Guerra Elettronica

Il dominio elettromagnetico sta progressivamente assumendo sempre maggiore interesse da un punto di vista tattico, operativo e strategico. In tale ambito, la Guerra Elettronica, ovvero le azioni finalizzate al dominio dello spettro elettromagnetico per azioni di attacco, di difesa e per il miglioramento della situational awareness, sta divenendo un aspetto fondamentale per l'assolvimento delle missioni.
L'impiego di un dispositivo radar quantistico sul campo di battaglia comporterebbe un notevole impatto in molteplici aspetti connessi alla Guerra Elettronica, in particolare sia nella generazione di nuove contromisure, sia nell'individuazione di piattaforme aeree non rilevabili con un approccio classico.
Da un punto di vista tecnico-operativo, il beneficio ottenuto in termini di SNR, consentirebbe, a parità di dati parametrici, di:

- ridurre la potenza di trasmissione: tale aspetto è vincolante per ottenere un vantaggio quantistico. La riduzione della potenza di trasmissione del campo comporta di operare in maniera più efficiente sulla soglia di rumore, causando che i dispositivi elettronici atti alla ricezione dello spettro elettromagnetico, avrebbero maggiore difficoltà di individuazione della minaccia RF. Tra i dispositivi elettronici ad esempio si potrebbe impiegare un analizzatore di spettro per effettuare un'acquisizione dello spettro elettromagnetico in specifiche porzioni frequenziali, al fine di caratterizzare il dominio elettromagnetico durante un'operazione militare. In aggiunta a ciò, un dispositivo radar quantistico potrebbe ridurre l'efficacia di dispositivi progettati per la ricezione dei modi radar per la protezione di un velivolo o di un veicolo, per il successivo rilascio della contromisura (e.g. chaff o jamming). L'aspetto di trasmettere un basso livello di segnale ha molteplici impatti nel settore della Guerra Elettronica,

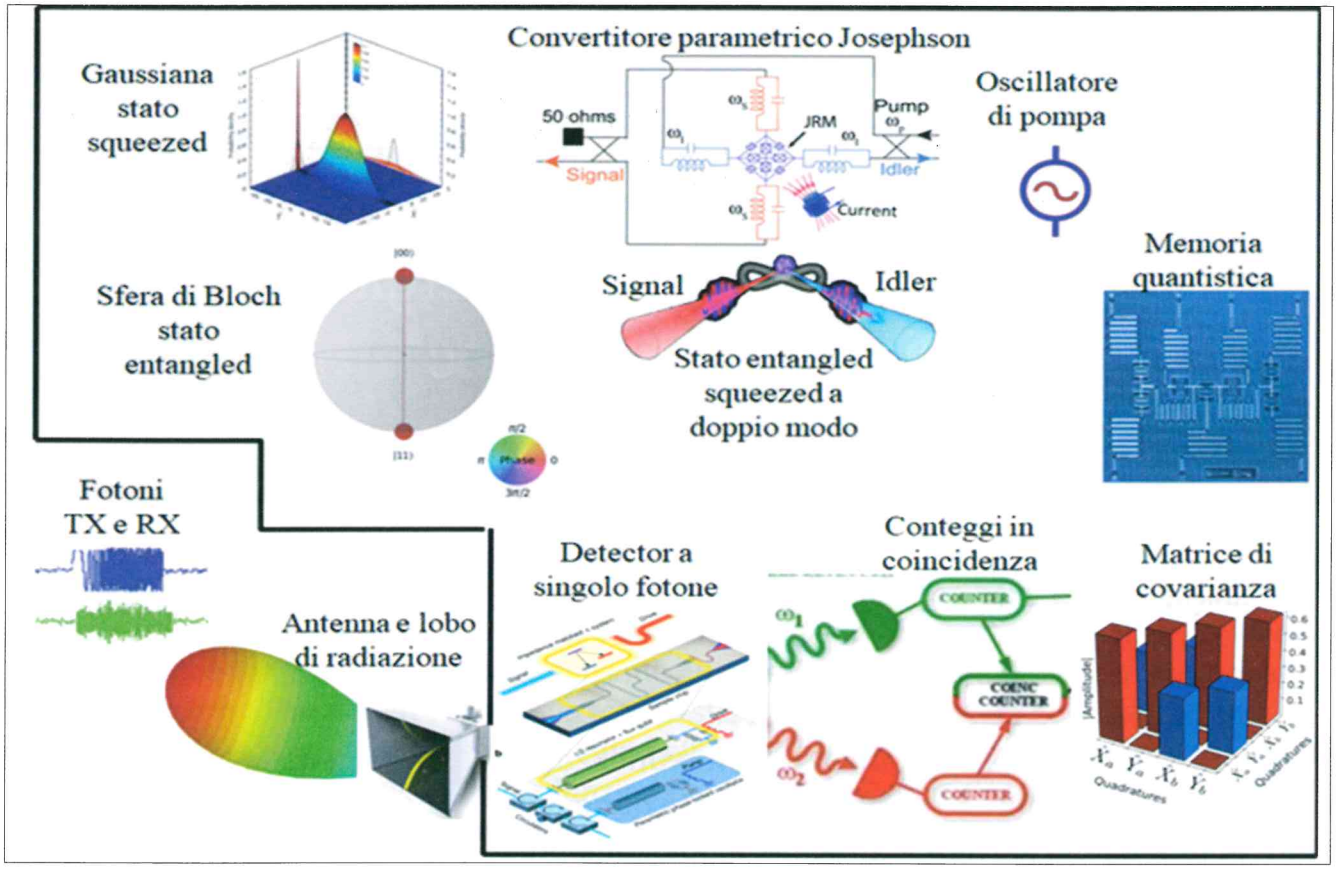
ove i moderni sistemi sono prevalentemente progettate su una logica di tipo reattivo, ovvero la tipologia di azione di jamming è asservita ad una preventiva analisi spettrale, poiché l'aumento sempre maggiore del numero e della tipologia di dispositivi da contrastare ha causato una saturazione delle risorse dei sistemi di contromisure;

- maggiore resilienza ad un'azione di disturbo: tra le contromisure elettroniche vengono annoverati i sistemi disturbatori di frequenza, detti jammer, costruiti per emettere un segnale elettromagnetico finalizzato al contrasto della minaccia RF. Tale resilienza va declinata comunque in termini di miglioramento prestazionale ottenuto sul SNR che si tramuta in un aumento del valore del rapporto jammer-segnale, calcolato nella condizione di inibizione. Ciò vuol significare che un jammer deve trasmettere maggiore potenza per ottenere del segnale RF minaccia;
- miglior rilevamento del target attraverso il clutter: oltre al mero aspetto connesso ad un beneficio nella geometria dello scenario di impiego del radar, quanto riportato potrebbe avere un impatto finanche da un punto di vista delle contromisure impiegate per l'inibizione di un radar nemico, ovvero il rilascio di chaff. Queste ultime interpongono un clutter tra il target ed il radar di puntamento, creando una sorta di occultamento nella regione di interesse. L'impiego di un radar quantistico consentirebbe di abbassare l'efficacia delle chaff, in quanto il sistema, come descritto, opera in maniera efficiente in ambiente elettromagnetico deteriorato, consentendo l'individuazione del bersaglio anche in porzioni spaziali in cui il bersaglio sia immerso all'interno di un elevato rumore di fondo.

Conclusioni e proposte future

Il radar quantistico, in ambito militare, consentirebbe di ridimensionare taluni dati parametrici dei sistemi di Guerra Elettronica, con un diretto impatto quindi sulla componente tattico / operativa nelle operazioni future. Attualmente, i limitati range di funzionamento di tali apparati, evidenziano potenziali applicazioni soprattutto in campo medico, per applicazioni a basso impatto ed elevata sensibilità. Per questa motivazione, bisogna investigare la problematica contestualizzandola ad elementi tecnici, operativi ed informativi, oltre che avere un approccio multi-disciplinare.

La tecnologia di un radar quantistico presenta indubbie potenzialità da un punto di vista strategico, seppur un'implementazione reale con le attuali tecnologie presenta diversificate problematiche tecnico-operative connesse sia all'impiego pratico sia all'ottenimento di un adeguato livello prestazionale. A tal proposito, molteplici argomentazioni devono essere studiate, approfondite e sperimentate per il raggiungimento di un potenziale miglioramento tecnologico finalizzato ad una maggiore versatilità di realizzazione ed utilizzo del radar quantistico in diversificati campi di sviluppo. La competenza multi-disciplinare richiesta dall'ingegnere militare nell'affrontare le sfide tecnologiche, rappresenta un punto cardine in vista di un futuro di rivoluzioni tecnologiche, in cui la capacità di fondere eterogenee argomentazione consentirà di ottenere risultati aderenti alle complesse condizioni dello scenario futuro. Ciò detto, la versatilità di sviluppo concettuale / capacitivo e la caratterizzazione analitica raggiungibile tramite il *Modelling and Simulation,* correlata all'induttività dei processi di intelligenza artificiale, interconnessa con rivoluzionarie applicazioni ottenibili con l'informazione quantistica, forniscono una straordinario e complesso framework tecnologico su cui affrontare le prossime sfide tecnologiche. In tale contesto, la sintesi di declinazioni tecnologiche univoche, costituisce l'approccio da adottare per ottenere risultati considerevoli e direzionare con efficacia l'andamento che caratterizzerà l'ambiente operativo futuro.



Rappresentazione tramite schema a blocchi di un apparato radar quantistico

curriculum vitae



Salvatore DE MATTIA

Il Capitano Salvatore De Mattia è un Ingegnere Elettronico dell'Esercito Italiano, con specializzazione in circuiti a radiofrequenza. Attualmente lavora presso il NATO Modeling & Simulation Center of Excellence dal 2020, nella branca Concept Development and Experimentation. Nel suo primo incarico è stato responsabile del settore Electronic Warfare (EW), in cui si è occupato principalmente della programmazione dei sistemi jammer, per la protezione del personale della Difesa contro la minaccia RCIED (Radio-Controlled Improvised Explosive Device). Durante questo periodo ha operato sia in Italia che all'Estero in differenti Teatri Operativi nell'ambito delle operazioni Resolute Support (RS) in Afghanistan, European Union Training Mission (EUTM) in Somalia, United Nations Interim Force in Libano (UNIFIL) e Prima Parthica in Iraq. Attualmente sta lavorando, in qualità di Subject Matter Expert, su progetti concernenti le EMSO (Electromagnetic Spectrum Operations) e i sistemi Robotics and Autonomous Systems (RAS).