

UN FUTURO QUANTISTICO PER LO SVILUPPO DI SISTEMI ANTI-STEALTH

di Salvatore De Mattia*

foto Aeronautica Militare, USAF, NATO Modelling & Simulation Centre of Excellence

Le nascenti tecnologie che sfruttano fenomeni quantistici sono in costante crescita e capaci di condurre a vere e proprie rivoluzioni rispetto ai fenomeni, cosiddetti, classici. In ambito militare, l'analisi,

lo studio, il perfezionamento e l'adozione delle tecnologie quantistiche aiuteranno a fronteggiare scenari progressivamente complessi e ad implementare la Protezione delle Forze schierate in differenti Teatri Operativi. Il radar quantistico,

infatti, rappresenta una tecnologia con un diretto e fondamentale impatto sulla compagine militare. Pertanto, lo studio e l'analisi delle peculiari modalità di funzionamento di tale dispositivo, contestualmente ad un potenziale e realistico



impiego nelle operazioni delle Forze Armate, assume una significativa valenza tecnico-operativa. Il radar quantistico consentirebbe di ottenere differenti vantaggi rispetto al paritetico sistema classico, in quanto esso è basato sulla propagazione

di fotoni in uno stato *entangled*, con un successivo incremento della correlazione del segnale riflesso da un *target* e quello di riferimento. In tale contesto, lo sfruttamento del fenomeno di *entanglement* per l'identificazione di un bersaglio rap-

presenta, di fatto, un miglioramento del rapporto segnale-rumore rispetto al caso classico. Ciò avrebbe un impatto significativo sulle operazioni militari, con particolare riferimento al campo dell'*intelligence*, ove i dispositivi ra-



In queste pagg., dalla seconda guerra mondiale in poi, i radar hanno rivoluzionato le operazioni militari. Gli sforzi per neutralizzarli hanno condotto a numerose tattiche di impiego e complessi sistemi di guerra elettronica, fino alle tecnologie stealth. Una delle concrete novità tecnologiche in questo settore è rappresentato, però, dall'evoluzione del radar. Il radar quantistico, in particolare, si basa sull'entanglement quantistico o correlazione quantistica, secondo il quale è possibile analizzare la relazione tra le caratteristiche di due particelle.

dar sono sempre più impiegati per ottenere la cosiddetta *situational awareness* e consentire di adottare decisioni maggiormente attagliate al reale contesto operativo dello scenario di impiego. La Guerra Elettronica, e in generale il dominio elettromagnetico, sono strumenti imprescindibili per la conduzione di un'operazione, con impatto trasversale sugli altri domini alla base delle operazioni militari (terrestre, navale, aereo e spaziale).

L'impiego della tecnologia quantistica per la costruzione di un radar consentirebbe un raggiungimento e consolidamento del controllo dello spettro elettromagnetico sul campo di battaglia, presentando benefici sia da un punto di vista operativo che informativo. La maggiore capacità del radar quantistico di rilevare anche oggetti di tipologia

stealth, consente di essere maggiormente aderenti alla progressiva evoluzione tecnologica degli assetti, in riferimento a conflitti convenzionali e non. Altro punto nodale, è rappresentato dalle tematiche connesse alla Guerra Elettronica, ovvero alla solidità di questo tipo di radar ad eventuali segnali di disturbo, in uno scenario in cui lo spettro elettromagnetico risulta sempre più denso ed in cui il raggiungimento di un'incrementale robustezza dei segnali elettronici rappresenta una condizione imprescindibile per il raggiungimento di un'efficienza spettrale.

L'ottenimento di una maggiore sensibilità, a fronte di una riduzione di emissione di potenza, potrebbe causare un potenziale *gap* all'interno dei sistemi ricevitori di auto-protezione installati sulle piatta-

forme militari per l'identificazione e l'analisi dei segnali elettromagnetici. Ci riferiamo all'adozione di specifiche contromisure finalizzate all'inibizione della minaccia, quali *chaff* e/o disturbi elettromagnetici direzionati sulla fonte di trasmissione tramite azione di *jamming*. La tecnologia e i fenomeni fisici all'interno di un radar quantistico potrebbero avere un forte impatto anche nell'ambito del *remote sensing*, attraverso lo sviluppo di sensori quantistici.

In particolar modo, attraverso un'analisi delle proprietà di penetrazione dei fotoni all'interno del terreno o della vegetazione, il dispositivo in parola potrebbe fornire risultati promettenti, in termini di rilevamento di eventuali oggetti sepolti sotto la superficie (e.g. IED – ordigni esplosivi improvvisati –



e/o mine), remotizzando tale controllo a sistemi *unmanned* in attività di ricognizione in una specifica zona di operazione, per mitigare la minaccia di attentati durante le attività di pattugliamento. In generale, l'analisi di un radar quantistico deve essere condotta in comparazione con un paritetico sistema di tipologia classica, al fine di concretizzare il reale impatto di impiego di tale dispositivo in ambito militare. Un'analisi sul suo utilizzo nel contesto operativo deve convergere ai potenziali impatti nel dominio elettromagnetico per la conduzione delle operazioni militari del Future Operating Environment, con l'obiettivo di comprenderne l'andamento evolutivo e consolidare uno sviluppo concettuale conforme all'impiego di tecnologie quantistiche nel settore della Guerra Elettronica. Generalmente, un radar quantistico consta di diversi protocolli e prototipi che, in teoria o in una fase sperimentale preliminare, mirano a sfruttare l'*entanglement* di fotoni e le proprietà di correlazione quantistica per il miglioramento della sensibilità di rilevamento del bersaglio. Sebbene tale tipologia di radar rappresenti un'area di ricerca promettente, la realizzazione di un prototipo 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 uno convenzionale, impiegato in reali situa-

zioni operative. 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, che gradualmente sono state degradate da problematiche sperimentali e pratiche. In effetti, è notevole che nella letteratura scienti-





fica, non vi sia alcun riferimento a un vero e proprio radar quantistico o a un progetto embrionale che si possa avvicinare a un dispositivo a lungo raggio basato sull'illuminazione quantistica.

Nonostante questa assunzione iniziale, bisogna rimarcare che i potenziali vantaggi offerti da una tecnologia basata su radar quantistico, rispetto alle tecnologie radar convenzionali, costituiscono ancora una motivazione sufficiente per indagare più a fondo il presupposto matematico-fisico sul quale l'apparato deve essere basato, al fine di giungere a pragmatiche applicazioni del citato dispositivo.

Gli esperimenti dimostrano che il radar quantistico offre un miglioramento rispetto all'illuminazione classica e, inoltre, si evince che, solo se si effettuano dei confronti con le prestazioni 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: quelle in cui l'uso della luce coerente è precluso per diversi motivi. Seppur molto promettente da un punto di vista teorico sussistono, però, alcune problematiche pratiche connesse alla realizzazione di una tale tipologia di dispositivo radar. Si annovera, innanzitutto, la necessità di conoscere a priori la distanza del *target*.

Tale problema, infatti, è alla base del protocollo di un radar quantistico. Inoltre, si assiste ad una perdita di intensità nel fascio del se-

gnale, a causa di 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 in cui si trasmette un numero medio di fotoni molto minore di uno.

A ciò deve essere anche correlato il problema che nella banda delle microonde, impiegata per applicazioni a lungo raggio, a differenza delle frequenze ottiche, risulta molto complesso raggiungere un elevato prodotto banda-tempo, parametro fondamentale per sfruttare i vantaggi teorici del protocollo di illuminazione quantistica.

A seguire, la memorizzazione del fotone riflesso ha diverse implicazioni tecnologiche. Per effettuare misure congiunte o, in generale, per correlare il fotone trasmesso con quello riflesso, le informazioni



contenute nel fotone 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 e contribuisce ad un decremento prestazionale in termini di SNR (Signal to Noise Ratio). Relativamente alla sezione trasmittente, è opportuno evidenziare la problematica connessa alla generazione di fasci elettromagnetici *entangled*. Tra i metodi diretti impiegati per la generazione di fotoni a microonde *entangled* è necessario ricercare condizioni criogeniche, alla luce di una poco efficiente conversione frequenziale dal dominio ottico. 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, specialmente in ambiente rumoroso, e in quelle non invasive, oltre che nel rilevamento di bersagli spaziali.

La costruzione pratica di un dispositivo reale di questa tipologia, 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.

In conclusione, le discussioni riportate evidenziano diversificate problematiche per realizzare un radar quantistico reale.

L'adattabilità al dominio delle microonde del protocollo di illuminazione quantistica consente di comprendere le principali limitazioni

connesse alla fattibilità tecnica.

Il radar quantistico, in ambito militare, implicherebbe un ridimensionamento parametrico dei principali algoritmi di funzionamento dei sistemi di auto protezione impiegati nel settore della Guerra Elettronica. Lo stato dell'arte della tecnologia attuale dimostra che il dispositivo presenta un ridotto *range* di funzionamento per applicazioni a basso impatto ed elevata sensibilità, evidenziando ulteriori potenziali impieghi in campo bio medicale. Negli ultimi anni, anche gli esperti del *Modelling and Simulation* stanno analizzando i vantaggi delle tecnologie emergenti, quali le applicazioni quantistiche in ambito militare, grazie alla versatilità tipica di un ambiente sintetico. ■

© Riproduzione riservata

*Cap. Ing. E.I., NATO Modelling & Simulation Centre of Excellence