

Ricerca Tecnologica e Innovazione

Stato dell'Arte 2021

MINISTERO DELLA DIFESA
SEGRETARIATO GENERALE
E DIREZIONE NAZIONALE DEGLI ARMAMENTI



Ricerca Tecnologica e Innovazione

Stato dell'Arte 2021

MINISTERO DELLA DIFESA

SEGRETARIATO GENERALE

E DIREZIONE NAZIONALE DEGLI ARMAMENTI

INDICE

Presentazione Segretario Generale della Difesa DNA 4

Prefazione Direttore V Reparto 6

Uno sguardo all'organizzazione 9

La Ricerca in ambito Nazionale 13

La Ricerca in ambito Europeo 77

Riassunto statistico - finanziario delle attività di ricerca tecnologica 91

Sigle e acronimi 95

PRESENTAZIONE

Introduttiva del Segretario Generale del Rapporto sulla "Ricerca Tecnologica e Innovazione - Stato dell'arte 2021"

Proseguendo una consolidata tradizione, ho il piacere di presentare l'edizione 2021 del Rapporto sulla ricerca tecnologica del Segretariato Generale della Difesa e Direzione Nazionale Armamenti.

Come noto, le attività concernenti la politica tecnologica, la ricerca e lo sviluppo rientrano tra le competenze attribuite *ex-lege* (ai sensi dell'art. 43 del D.Lgs. 66/2010 e dei discendenti artt. 103, 104 e 105 del DPR 90/2010) al Segretario Generale della Difesa e Direttore Nazionale Armamenti e si integrano in un processo simbiotico con le competenze del Segretariato nelle attività di politica industriale e coordinamento dei programmi d'armamento.



Negli ultimi anni, il mutato contesto globale ha riproposto il tema del "confronto tecnologico", che sottende alla sfida dell'innovazione tecnologica e della competitività globale, dai cui esiti dipende il mantenimento della superiorità militare ai fini della sicurezza e della tutela degli interessi nazionali e delle prospettive di autonomia strategica, sovranità tecnologica e sviluppo economico.

Questi cambiamenti radicali, sviluppati con progressiva gradualità, fanno seguito ad un trentennio di relativa distensione e vedono nell'erosione del vantaggio tecnologico occidentale un forte fattore di criticità, che la tragica evoluzione della recente situazione di conflitto nell'est del nostro continente sta mettendo in evidenza.

Nel suo ambito di applicazione, il settore tecnologico militare costituisce un assoluto amplificatore di posizionamento sulla scena internazionale, sia per quanto attiene ai tradizionali "domini" fisici, terrestre, navale ed aereo – quest'ultimo inclusivo dello spazio – sia per quello intrinsecamente interconnesso ed emergente, come quello *cyber* e al fine di concorrere, con efficacia, effetti strategici nel campo fisico, virtuale, e cognitivo.

Queste considerazioni, che risultano valide dal punto di vista militare, sono maggiormente significative sul piano socio-economico e della politica industriale in generale. Lo sviluppo e la diffusione di nuove tecnologie rappresentano, infatti, il motore principale dei processi di crescita delle economie avanzate, attivando, attraverso le interazioni con gli altri comparti del sistema produttivo, ingenti effetti di *spillover* di conoscenza nelle attività economiche nel suo complesso.

In questo quadro generale, l'ampio scopo che guida l'attività di ricerca tecnologica del Segretariato Generale può essere individuato nel mantenimento dell'autonomia tecnologica nel settore della Difesa e nel soddisfare le esigenze capacitive (*capability gap*) individuate dallo Stato Maggiore della Difesa in funzione dei futuri programmi di sviluppo capacitativo del Dicastero della Difesa.

Ciò risponde anche alla necessità di contribuire fattivamente alle *roadmap* individuate in ambito Alleanza Atlantica e Unione Europea per dominare efficacemente quelle tecnologie ritenute "*emerging*" and "*disruptive*". Quest'ultime, riprendendo il significato attribuito all'aggettivo nella pianificazione delle operazioni militari terrestri. Sono le

tecnologie in grado di scompaginare nel medio periodo gli assetti e le strategie dell'avversario, "*sconvolgendone la pianificazione in modo da sbilanciarlo e costringerlo a un'azione scoordinata*".

L'aspettativa nazionale è, ovviamente, di rivestire in ciascuna delle tecnologie emergenti e dirompenti il ruolo che il nostro Paese merita e che è chiamato ad esprimere anche in chiave geopolitica.

Risulta chiaro che, tutto ciò comporta la necessità di:

- risorse umane e finanziarie certe e idonee a livello di ambizione nazionale, tenuto conto dei connessi ritorni economici;
- strumenti organizzativi e procedurali che rivedano le tradizionali tempistiche per l'attuazione dei progetti.

Per affrontare queste future sfide il Segretariato Generale della Difesa/DNA ha elaborato un'approfondita riflessione che vede fondamentale il rafforzamento del network istituzionale per la Ricerca Tecnologica tra la Difesa, le Università ed i reparti di ricerca delle aziende di settore ed i distretti industriali.

L'obiettivo finale che si vuole perseguire è di trascendere i tradizionali modelli di sviluppo "*technology–driven*" – ovvero la messa a punto di programmi/sistemi sulla base della disponibilità tecnologica – e "*capability–driven*" – ovvero la messa a punto di programmi/sistemi in risposta a specifici requisiti/obiettivi d'origine operativa. Quanto precede dovrebbe realizzarsi implementando un modello aperto di innovazione, basato sulla continua interazione tra tutti gli attori coinvolti nel processo, e che vede nella citata rete istituzionale "Difesa-Industria-Università-Centri di Ricerca" l'elemento cardine per guidare le attività di ricerca ed innovazione.

L'impiego di questo paradigma si sta dimostrando particolarmente valido nella definizione degli interessi nazionali relativamente ai progetti di Ricerca Tecnologica avviati annualmente nell'ambito dello *European Defence Fund* (EDF) – dimensione Ricerca.

Tale approccio strutturato, declinato a livello nazionale potrà inoltre essere capitalizzato anche nell'ambito dell'iniziativa NATO *Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic* (DIANA), che consiste nella realizzazione di una rete federata di centri di sperimentazione e acceleratori d'innovazione con il compito di supportare la NATO e i Paesi Alleati nel proprio processo di innovazione, sostenendo le start-up a sviluppare le tecnologie necessarie a preservare la superiorità tecnologica dell'Alleanza e facilitando la cooperazione tra settore privato e ambiti militari.

Alla luce di quanto precede, appare chiaro che il dominio scientifico e tecnologico vedrà una sempre maggiore competizione, come già accaduto per lo spazio e la dimensione cibernetica. Il vantaggio nella ricerca, nello sviluppo e nella capacità di applicazione delle tecnologie emergenti e *disruptive* determinerà la capacità futura del nostro Paese di preservare la propria autonomia strategica e il proprio ruolo nella comunità internazionale delle Nazioni tecnologicamente evolute e in grado di influenzare gli equilibri politici e militari a tutela dei propri interessi di sicurezza ed economici.

L'ovvia conclusione è che l'innovazione scientifica e tecnologica raffigura una grande sfida di carattere politico, tecnologico e industriale. Essa rappresenta, insieme alla sostenibilità energetica e ambientale, la sfida futura per la Difesa e il suo afferente comparto industriale. Dalla concentrazione degli investimenti della Difesa in programmi capacitivi ad elevato contenuto di innovazione tecnologica continuerà a dipendere il futuro sviluppo del tessuto produttivo e il mantenimento di capacità militari avanzate.

Generale di Corpo d'Armata
Luciano Portolano

PREFAZIONE

a cura del Direttore del V Reparto "Innovazione Tecnologica"

Questa pubblicazione, incentrata sulle attività di Ricerca svolte dal Segretariato Generale della Difesa, si inquadra in un'ottica strategica e geopolitica assai più ampia.

Le recenti tensioni – che mettono in risalto le instabilità strutturali e contingenti di Paesi che gravitano, sia geograficamente che per la loro influenza diretta o indiretta, intorno al continente europeo – dimostrano la fondamentale importanza da un lato di una efficace strutturazione di una Politica Estera e di Sicurezza Comune UE, dall'altro della necessità di una più decisa spinta aggregatrice sui temi della Difesa, di un rafforzamento delle capacità operative e delle tecnologie abilitanti e quindi con esse anche del rafforzamento della base industriale dei Paesi dell'Unione.



Gli accadimenti dimostrano che l'Europa è divenuta un attore primario ed importante sulla scena politica internazionale ed è pronta ad assumere un ruolo ancora più centrale.

In tale contesto, è proprio la Ricerca Tecnologica a svolgere una essenziale funzione di raccordo e di spinta propulsiva verso una integrazione degli assetti tecnologici e delle competenze nazionali e a porli a disposizione in ambito europeo.

Al fine di soddisfare il giusto livello di ambizione nazionale ed europeo, infatti, le aree in cui è possibile giocare un ruolo chiave sono sicuramente quelle dell'individuazione di capacità comuni e dell'acquisizione di capacità critiche, razionalizzando ed armonizzando il frammentato tessuto della Difesa.

In un contesto tanto variegato, con sfide sempre maggiori e dinamiche geopolitiche di complessità crescente, lo *Strategic Compass*, recentemente approvato dal Consiglio europeo, vuole essere una guida nel settore della sicurezza e difesa, individuando gli strumenti, le tempistiche, le minacce e misurando i progressi verso il livello di ambizione fissato. In particolare, nel garantire sicurezza e protezione degli interessi dei cittadini, intende promuovere e stimolare gli investimenti per l'innovazione e la ricerca, per uno sviluppo congiunto delle tecnologie abilitanti.

In virtù del loro potenziale impatto sull'equilibrio internazionale e in quanto foriere di un possibile vantaggio strategico, proseguono le attività per l'identificazione e la promozione delle cosiddette "*Emerging and Disruptive Technologies*", ossia tutte quelle tecnologie dal potenziale impatto "dirompente". A tal riguardo, in sede europea è stato approntato un "piano d'azione", al quale siamo chiamati a contribuire insieme agli altri Paesi Membri dell'Unione, che mira alla individuazione dei *trend* tecnologici più promettenti in tal senso. Tali *trend* vengono poi filtrati sia in ottica capacitiva, che ponendo l'accento su quelle tecnologie civili che possono avere un'applicazione "*dual-use*", ossia estendibili anche all'ambito militare. Infine, in tale processo, la giusta attenzione va alle capacità industriali presenti a livello UE, affinché queste ultime siano stimolate a conseguire quella prontezza necessaria all'implementazione e alla integrazione delle nuove tecnologie.

Essenziali, a tal fine, i processi di *Technology Watch*, ossia un esame delle tecnologie già presenti e più promettenti, nonché di *Technology Foresight*, ossia dell'orizzonte tecnologico a scadenza più ampia, che l'Agenzia Europea per la Difesa (EDA) ha avviato già da tempo con il contributo di tutti i suoi Paesi Membri fra cui l'Italia ed i cui esiti confluiranno anche nello "*strand* B" del *Capability Development Plan* (CDP), ossia il capitolo del CDP dedicato alle tecnologie emergenti.

Altro tema importante è quello dell'Innovazione.

A livello europeo è in atto uno sforzo congiunto, che si riflette direttamente nei vari Paesi dell'Unione, per sinergizzare le attività, gli assetti e le iniziative che possano portare ad una innovazione di prodotto, di processo, di organizzazione e, per la componente industriale, anche di più efficace offerta sul mercato.

Innovazione è anche nelle forme in cui viene proposta l'attività di Ricerca nel suo complesso, e che comincia ad affiancare a profili più tradizionali di "competizione" e di "aggiudicazione" anche modalità quali ad esempio le "*Challenge*", già note ed affermate in realtà come la *Defence Advanced Research Projects Agency* (DARPA) americana e ancora relativamente poco diffuse in un contesto domestico. Una forma di competizione che porta i vari *team* che vi concorrono, espressione dei Consorzi europei, a misurarsi con la realizzazione fisica di un "prototipo da gara", in uno scenario di prova che abbia caratteristiche comuni per tutti i *competitors*.

Inizia a delinearsi il quadro delle attività e delle partecipazioni nazionali ai progetti di ricerca nei consessi europei quali lo *European Defence Fund*. Tali progetti sono strategicamente connessi e/o complementari a quelli lanciati nell'alveo nazionale, con una prospettiva multi annuale a più ampio raggio, volta, fra l'altro, a fornire alle entità italiane che si occupano di ricerca – appartenenti tanto al mondo governativo quanto a quello non governativo – un respiro transnazionale e più in linea con le spinte aggregatrici e modernizzatrici necessarie per tenere alta la loro "competitività" in un contesto concorrenziale e in un mercato che ha assunto caratteristiche differenti dal passato. La dinamicità, la partecipatività e le potenzialità di aggiudicazione, da parte dei nostri attori nazionali della ricerca, delle *Call* lanciate dalla Commissione Europea, rappresentano un elemento di spicco a livello europeo che ci fa ben sperare per tutti gli immaginabili benefici e ricadute positive per il nostro Sistema Paese in termini capacitivi, tecnologici, di sviluppo delle filiere produttive e di immagine nel consesso UE.

D'altra parte rimane sempre essenziale il rapporto con i Paesi *partner* ed il ruolo del nostro Paese in seno all'Alleanza Atlantica, la cui centralità permane ancor di più alla luce degli ultimi sviluppi geopolitici. Anche la NATO, così come l'Europa, sta focalizzando le sue attività tecnologiche lungo due direttrici principali. La prima è relativa all'esame dei *trend* tecnologici, effettuato con cadenza regolare e sintetizzato a beneficio dei Paesi Membri in un report specifico, sempre al fine di individuare tecnologie particolarmente promettenti e potenzialmente impattanti. Anche l'Alleanza, come la UE, ha avviato una *roadmap* specifica per la valorizzazione di questa tipologia di tecnologie, che prevede delle *policy* dei piani di implementazione specifici per ciascuna di esse. La seconda direttrice è quella del mantenimento del vantaggio tecnologico. Essa si sostanzia in due iniziative specifiche: da un lato quella di un "acceleratore" per l'innovazione della Difesa, denominato "*Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic*" (DIANA), ossia un meccanismo civile-militare per lo sviluppo di tecnologie emergenti e dirompenti; dall'altro lato, la creazione di un fondo per l'innovazione a partecipazione volontaria, il NATO *Innovation Fund*, che agisce con i meccanismi del "*venture capital*" ed è finalizzato a sostenere le *startup* dei Paesi alleati a forte connotazione tecnologica duale civile-militare e che presentano concrete potenzialità nei settori delle tecnologie per la sicurezza e la difesa.

Dal quadro evidenziato, pertanto, ben si comprende come l'insieme delle attività di Ricerca del Segretariato, sia nazionali che in cooperazione internazionale, svolgano una funzione essenziale, volta da un lato a costituire il volano per le attività di ricerca per la Difesa e *dual-use* in ambito nazionale, e dall'altro per la promozione ed il rafforzamento del ruolo che il nostro Paese ha sulla scena internazionale e che deve mantenere per sostenere la sua già forte e competitiva base industriale e per sviluppare capacità in grado di rispondere a minacce e sfide alla sicurezza, sia convenzionali che non convenzionali, quali attacchi informatici, crisi sanitarie e cambiamenti climatici.

Dirigente Generale
Dott.ssa Luisa Riccardi



UNO SGUARDO ALL'ORGANIZZAZIONE



OBIETTIVI STRATEGICI

I programmi di ricerca scientifica e tecnologica sono volti a consentire allo strumento militare di colmare i gap capacitivi e di calibrare le future capacità d'intervento, in relazione alle molteplici necessità operative, riducendo altresì i rischi rappresentati dall'impiego ostile di nuove tecnologie emergenti. Il Segretariato Generale della Difesa e Direzione Nazionale degli Armamenti, attraverso il V Reparto "Innovazione Tecnologica", provvede ad individuare e promuovere, in ambito nazionale e internazionale, i programmi di ricerca tecnologica per la Difesa, avvalendosi delle Direzioni Generali/Tecniche per lo svolgimento delle attività tecnico-amministrative connesse con la conduzione dei programmi.

L'attività comprende un'iniziativa nazionale (Piano Nazionale della Ricerca Militare – PNRM), i progetti di R&T svolti presso i Centri di *test* della Difesa, gli Accordi Quadro con Università ed Enti di Ricerca ed i programmi internazionali sviluppati in ambito UE, NATO e bilaterale.

La rinnovata competizione militare fra gli Stati si esprime con caratteristiche tecnologicamente sempre più evolute, anche in dimensioni emergenti quali il dominio cibernetico e quello spaziale. In considerazione di ciò, nell'ambito delle attività di ricerca, le tecnologie e gli studi ad esse relativi legate alla dimensione *cyber* e al dominio spaziale rappresentano difatti alcune delle aree tecnologiche di prioritario interesse per la Difesa sul quale il Segretariato Generale della Difesa/DNA incentra le attività di Ricerca Tecnologica Militare.

Un convinto e concreto investimento nelle attività di Ricerca e innovazione tecnologica costituisce uno dei principali acceleratori evolutivi del Comparto Difesa, necessario ad affrontare la velocità e la pervasività dei cambiamenti dello scenario globale. SEGREDIFESA e, nello specifico, il V Reparto, muovendosi tra approcci *capability-pull* e *technology-push*, ha e continua quindi a implementare varie azioni di coordinamento in diversi settori tecnici e tra diversificate organizzazioni allo scopo di indirizzare l'attività della ricerca tecnologica militare, in piena coerenza con le esigenze capacitive della Difesa e in particolare verso i settori:

- della protezione e del potenziamento delle capacità del soldato;
- dello sviluppo di tecnologie per sistemi aerotattici di sesta generazione e innovative piattaforme ad ala rotante di nuova generazione;
- delle tecnologie emergenti e disruptive, quali ad esempio la *quantum technology*, i *Big Data*, il 5G/IoT, specie se associati al potenziamento del settore ISR, *Terrestrial/Airborne/Maritime/Space/Cyber*, etc.;
- dei sistemi autonomi, dell'*artificial intelligence*, della *navigation safety and security* e dello sviluppo della relativa sensoristica d'avanguardia e nuove forme di comunicazione ottica e della robotica;
- delle capacità *core* satellitari (SATCOM, Osservazione della Terra, PNT e SSA) potenziando le prestazioni delle piattaforme/*payload* e dei sensori al fine di migliorare la qualità e l'efficacia dei servizi spaziali ed assicurare la protezione degli assetti in orbita;
- delle armi laser o in generale ad energia diretta (*Direct Energy Weapons* – DEW);
- cibernetico e del *data analysis and exploitation*, per incrementare la sicurezza *cyber* e la protezione delle infrastrutture critiche;
- delle tecnologie/capacità a duplice uso della Difesa come ad esempio l'accesso allo spazio (*space economy*), e l'*in-orbit servicing*, con specifico riferimento alle tecnologie abilitanti che permettono di perseguire un accesso allo spazio in forma autonoma e reattiva a livello nazionale (ad es. capacità di lancio di micro/mini-satelliti da piattaforme mobili alternative ai siti di lancio tradizionali) e la fruizione di servizi manutentivi in orbita;
- delle tecnologie volte all'implementazione di una reale ed efficace capacità di volo suborbitale ed ipersonico;
- delle tecnologie innovative riguardanti il settore

underwater, valorizzando l'attività di ricerca, sviluppo, sperimentazione e applicazione delle future tecnologie impiegabili tanto sulle piattaforme *manned*, quanto su quelle *unmanned*, operanti sotto la superficie, con il coinvolgimento a livello inter-dicasteriale e inter-agenzia;
- delle tecnologie per le piattaforme stratosferiche, capaci di assicurare il supporto all'attività operativa, con minori costi di esercizio e maggiore flessibilità rispetto a tradizionali piattaforme satellitari;
- dell'attività di R&D e *Testing&Evaluation* in ambiente spaziale, in concorso con altre Istituzioni interessate, come strumento per stimolare la crescita delle competenze industriali nazionali e promuovere il ruolo nazionale nell'ambito della *New Space Economy*;
- delle tecnologie per la sostenibilità, la sicurezza e la resilienza energetica, per la realizzazione di *Smart City* e di distretti militari energeticamente sostenibili, mediante materiali/tecnologie innovative per la costruzione e il supporto di strutture/piattaforme per la produzione centralizzata e distribuita e l'accumulo d'energia, soddisfacendo anche i requisiti per garantire un'adeguata protezione connessa alle minacce nel dominio combinato *energy security-cyber security*;
- dello sviluppo/acquisizione di nuove tecnologie e materiali volti a ridurre gli effetti negativi delle infermità, a sostegno dei veterani e delle vittime di menomazioni o traumi fisici connessi al servizio.

L'individuazione dei settori di prioritario interesse consente inoltre una programmazione e gestione più efficace ed efficiente delle risorse, indirizzando le attività di ricerca tecnologica al raggiungimento di obiettivi coerenti con le esigenze capacitive e le attuali priorità delle Forze Armate e minimizzando la frammentazione dei settori tecnologici e la dispersione delle risorse su molteplici e diversificate attività.



LA RICERCA IN AMBITO NAZIONALE



INTRODUZIONE

Nell'alveo dei programmi di ricerca condotti dal Segretariato Generale della Difesa e Direzione Nazionale degli Armamenti nel corso del 2021 sono di seguito presentati i risultati di alcuni progetti in quanto ritenuti esemplificativi delle attività tecnico-scientifiche, in corso di esecuzione o terminati, di rilevanza tecnologica per il comparto Difesa e sicurezza:

- risalita di emergenza di unità subacquee(EHBD);
- Integrazione di sensori diagnostici attivi/semiattivi/passivi in compositi avanzati"(COMPOSENSING);
- Materiali BIOmimetici Superidrofobici(BIOS);
- Sistema radar passivo per la rivelazione di oggetti in orbita terrestre bassa(SPIA);
- Cyber MONITORING (CYMON);
- Modelling and Simulation as a Service(MASTER);
- Piccolo Processore Quantistico(COPERNICO);
- Multi Mission Command and Control(MMCC);
- Accettabilità di Componenti Aeronautici Realizzati con Manifattura Additiva (ACARMA);
- Hunter Airborne Warfare Killer(HAWK);
- Caratterizzazione di un modello suino di perdita massiccia di tessuto muscolare scheletrico (RESUMO).

HEBD

Le attività inerenti il Piano Nazionale della Ricerca Militare (PNRM) "HEBD" in argomento, prevedono la definizione progettuale e la realizzazione di un sistema integrato per la risalita di emergenza di unità subacquee[1] , ovvero condotta in maniera rapida dalla quota operativa alla superficie, con il ricorso a tecnologie di derivazione aerospaziale. Il PNRM, basato su un sistema di generatori di gas a tecnologia ibrida, si propone altresì la verifica delle dinamiche di risalita e del comportamento del sistema in acqua sia in condizioni normobariche che sotto battente idrostatico, e la conseguente "marinizzazione" ed integrazione a bordo con potenziale focus sulla costruzione dei Near Future Submarine (NFS) e sul refitting dei sottomarini I e II Batch U212A. L'attuale sviluppo del progetto ha consentito l'ingegnerizzazione e la prototipazione di un generatore in scala ridotta, successivamente da ampliare in scala reale come base di partenza per la realizzazione finale del sistema completo marinizzato ed integrabile a bordo.

[1] EBD, Dispositivo di soffiaggio di emergenza

Introduzione

Gli attuali sistemi di risalita di emergenza si basano sull'invio di aria ad alta pressione alle casse zavorra[2] o sul rapido sviluppo di gas da appositi generatori con propellente solido di derivazione aerospaziale[3]. Il sistema ad aria compressa è particolarmente invasivo in termini di quantità di recipienti per lo stoccaggio dell'aria a bordo, mentre i generatori di gas sono caratterizzati da elevati costi di acquisizione e mantenimento oltre che da tempi di fornitura piuttosto lunghi e limitazioni di impiego operativo, tipo la non possibilità di arresto della generazione del gas quando innescata.

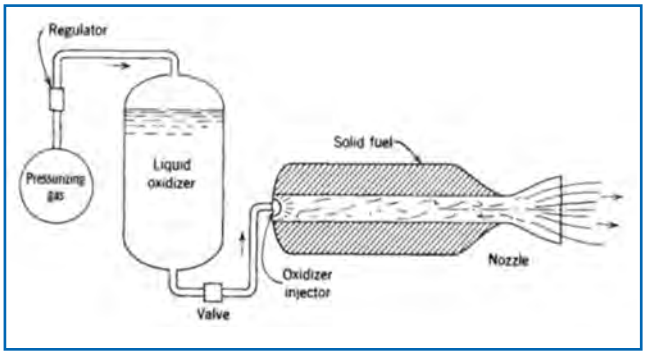


Figura 1 - Schema di funzionamento di un generatore ibrido.

Problema individuato e soluzioni tecnologiche

L'evoluzione dei sistemi già esistenti a bordo delle unità subacquee è la realizzazione di generatori con sistemi combustibile/comburente a basso costo, di facile impiego e reperimento, dall'azione rapida ed operativamente controllabile. L'idea del PNRM si basa pertanto sulla possibilità di impiegare un ossidante in forma liquida[4], e normali

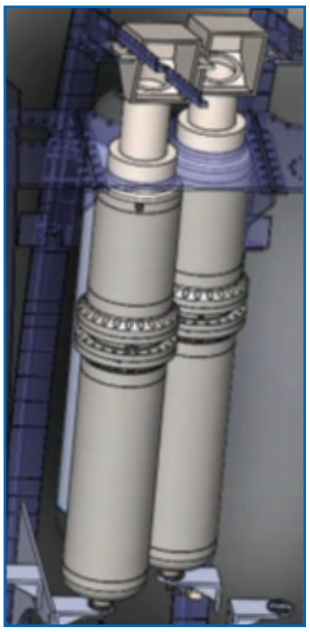


Figura 2
Rappresentazione di un HEBD.

[2] Per i Sommergibili Classe SAURO
[3] Per i Sommergibili U212A
[4] Acqua ossigenata ad alta concentrazione o protossido di azoto

materiali polimerici (plastici) come combustibile, in grado di essere attivati, disattivati e ricaricati con costi contenuti. Inoltre, in un gas generator ibrido, con eliminazione totale dell'esplosività del propellente solido, il comburente ed il combustibile sono separati ed inerti: vengono fatti interagire attraverso una valvola di attivazione che controlla ed arresta la portata massica dell'ossidante in ingresso alla camera di combustione.

Metodologia

Il primario obiettivo per la qualifica del sistema, è stato quello di sviluppare un simulatore della dinamica di risalita in emergenza del sottomarino U212A: in collaborazione con la ditta Cetena, partendo da un codice di calcolo (SIMOS) di un simulatore in 6 gradi di libertà, è stata effettuata innanzitutto un'attività di porting del vecchio codice, implementando la modellazione dei timoni a X, introducendo la fisica dei nuovi generatori. Particolare attenzione, rispetto a dinamiche aerospaziali di generazione dei gas potenzialmente già note, è stata riposta nell'analisi delle dinamiche della fisica dei fluidi in cassa nella fase di esaurimento.

Lo strumento di calcolo è stato validato grazie ad una campagna di prove, effettuata da Fincantieri presso il Simulatore di Piattaforma[5] della Scuola Sommergibili a Taranto: sono stati effettuati test per la risalita in emergenza in caso di falla, ricavando le relative curve di risalita con scenari opportunamente identificati.

Si è proceduto inoltre, alla progettazione di base del sistema HEBD, eseguendo innanzitutto l'analisi di configurazione dei nuovi Gas Generator all'interno delle casse zavorra (figg. 3 e 4), in collaborazione con la ditta T4i, a seguire alla risk analysis, in collaborazione con la ditta Cetena, ed infine allo studio di progettazione di base del sistema di comando e controllo, in collaborazione con la ditta Seastema.

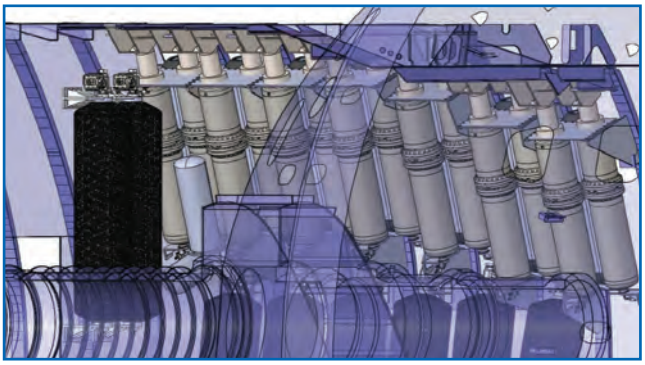


Figura 3 - Modello cassa zavorra 3 (vista longitudinale).

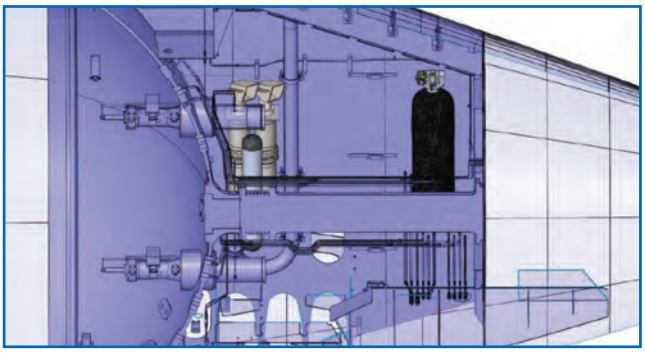


Figura 4 - Modello cassa zavorra 1 (vista longitudinale).

Da una prima comparazione dei pesi e dei volumi dei sistemi EBD classico ed ibrido, risulta un incremento minimo di peso[6], valutazione fondamentale per un sottomarino, a fronte di volumi incrementati a seguito della maggiore componentistica, ma comunque compatibili con la configurazione attuale delle casse zavorra U212A.

Potenziali utilizzi e ricadute applicative della tecnologia

Il percorso relativo al processo di Risk Based Design (RBD), ha dimostrato la possibilità di installazione della tecnologia innanzitutto sulla costruzione dei nuovi sottomarini NFS, anche in ottica refitting I e II Batch U212A. Altresì la medesima tecnologia garantisce un livello di sicurezza ed affidabilità compatibile con il campo di applicazione previsto ed una superiore possibilità di ge-

[5] Submarine Control Simulator - CSC

[6] Ca 20 Kg

stione operativa dell'impianto, in considerazione della maggiore possibilità di controllo ed arresto della generazione di gas. Il tutto a fronte di una notevole risparmio in termini di economia di industrializzazione e supporto del sistema, in considerazione dei materiali impiegati, in particolare per la reazione di generazione del gas[7]. La tecnologia utilizzata, di comprovata derivazione aerospaziale, ha trovato ulteriore approfondimento nella sua fisica dei fluidi interessati, in particolare nel suo impiego in acqua ed in pressione, con potenziali ricadute di impiego innanzitutto su tutti i sottomarini mondiali, sempre dotati di sistemi di risalita di emergenza, e financo per l'applicazione di una tecnologia aerospaziale in un dominio, quello underwater, di sempre maggiore interesse a livello mondiale.

Conclusioni

Il progetto abbraccia ed amplifica, approfondisce, "marinizza", aspetti di ingegneria aerospaziale assolutamente di elevato profilo, traendo origine da propulsori impiegati per sistemi di lancio. Ha raggiunto una notevole maturità di gestione della complessa fisica del fenomeno, in particolare all'interno della cassa zavorra di un sottomarino, e di maturità dei prototipi testati. Il sistema a generazione di gas ibrido presenta significativi vantaggi che hanno un impatto notevole su tutte le fasi di vita dell'intero prodotto e soprattutto di impiego operativo dello stesso.

Per quanto riguarda la sicurezza intrinseca, il sistema ibrido non utilizza materiali esplosivi ma inerti, e pertanto tutta la fase di gestione logistica dei componenti del sistema è esente dalla regolamentazione in uso relativa alla gestione di materiali esplosivi. Inoltre il sistema, consente la gestione dell'emersione del sottomarino mediante modulazione della reazione con fondamentale possibilità di arresto, fermo e reinnesto della reazione, con assoluto controllo da parte degli operatori. Sotto il profilo dei costi inoltre, sia l'ossidante sia il materiale plastico come combustibile, sono di gran lunga più economici rispetto ai corrispettivi attualmente in uso sui sommergibili U212A. Alla fine della Fase 1, la tecnologia della HEBD è stata convalidata in laboratorio portandola ad un livello di maturità tecnologica pari a TRL 4 e si prefigge l'obiettivo di arrivare a TRL 6 per l'adozione a bordo. Nella fase successiva, l'obiettivo sarà quello di definire la configurazione nel dettaglio, effettuando una analisi approfondita degli ingombri del sistema di comando e controllo, progettando i supporti necessari a ciascun Gas Generator all' interno delle casse zavorra e definendo le procedure di installazione e manutenzione del sistema. Il sistema infine, con potenziali ricadute sul mercato mondiale dei sistemi di sicurezza per i sottomarini, sta ingegnerizzando la fisica di interazione dei fluidi tra due domini all'attuale massima attenzione mondiale, quello spaziale e quello subacqueo.

[7] Acqua ossigenata e normali polimeri plastici

SIGLE, ACRONIMI, SIMBOLI ED ABBREVIAZIONI

GG	Gas Generator
HEBD	Hybrid Emergency Blowing Device
NFS	Near Future Submarine
RBD	Risk Based Desing
TRL	Technological Readiness Level

PAROLE CHIAVE

Ibrido, Aerospaziale, Sicuro, Emergenza, Sottomarino, Sommergibile, Underwater, Immersione, Spazio, Mare.

RECAPITI

Numero scheda PNRM: a2018.164
Amministrazione appaltante: Direzione degli Armamenti Navali (NAVARM)
Ente responsabile del progetto: FINCANTIERI Cantieri Navali Italiani S.p.A.
Città, Regione: Genova, Liguria
Titolo e nome del responsabile del progetto: Ing. Mariano Cicchetti
Fincantieri Divisione Navi Militari via Cipro, 11 16100 Genova
Recapito telefonico del responsabile del progetto: 010-5995954
E-mail del responsabile del progetto: mariano.cicchetti@fincantieri.it

Bibliografia

[1] Bystrom L., "SUBCOF – Program for Calculation of Hydrodynamic Maneuvering Coefficients for Submarine", Report 5030, SSPA Maritime Consulting, 1988.
[2] G. Cuomo, S. Ricco "SIMOS – Manuale sviluppatore", Report 7265, Agosto 2000, CETENA.
[3] Mazzarello, G. "Appunti formule calcolo coefficienti idrodinamici - SUBCOF".
[4] Feldman, J. "Revised standard submarine equations of motions", David W: Taylor Naval Ship Research and Development Center, 1979.
[5] Gertler, M. "Standard Equations of Motion for Submarine Simulation", 1967.
[6] Van Lammeren W.P.A., Van Manen J.D., Oosterveld M.W.C., "The Wageningen BScrew Series", SNAME Annual Meeting – New York, 1969.
[7] Dallinger, "Submarime – High – Pressure – Air System".
[8] "RISALITA DEL SOMMERGIBILE" in caso di falla non intercettabile, rapporto interno del CNI.
[9] Saphiro A.H., "The dynamics and Thermodynamics of compressible fluid flow".
[10] G. Camauli, D. Ruscelli, A. Traverso, "HEBD: Descrizione del sistema e formulazioni per l'implementazione del sistema in ambienti di simulazione", Report 14216, Luglio 2021, CETENA.
[11] M. Peverero, "Sviluppo di un modulo per il calcolo delle forze relative ai timoni a "X"", Report 14378, Dicembre 2021, CETENA.
[12] L. Bystrom, "Submarine project RPCN 2310 Captive Manoeuvring Tests" Rapporto SSPA 5030-2
[13] C. Cuomo, V. Poerio, E. Belli, A. Tufano, "Theroretical and experimental aspects of mathematical model to calculate the submarine manoeuvring behaviour", memory n.4 25th Anniversary symposium cetena 1-3 Ottobre 1987.
[14] A. Crisciani, A. Tufano, "Manovrabilità e controllo di quota di un sommergibile", Atena, Giugno 1974
[15] T.R.F. Nonweiler, "The stability and control of deeply submerged submarines", meeting of the Royal institution of naval architects on March 1961.
[16] J.J. Barlow, K. Nicholson, AMTE, Haslar (UK), "An introduction to submarine longitudinal static and dynamic stability concepts".
[17] Piano Nazionale di Ricerca Militare (PNRM) "HEBD – Hybrid Emergency Blowing Device".

[18] "Studio e prototipazione di un impianto di risalita di emergenza con generatori di gas ibridi HEBD (Hybrid Emergency Blowing Device) per Sottomarini", statement of Work (SoW) del Piano Ricerca e Innovazione 2018-2020 di Fincantieri.
[19] Sutton, G.P., Biblarz, O., "Rocket Propulsion Elements", John Wiley & Sons, 2016.
[20] Ruffin, A., Tridello, R., "D 2.1.2.: FULL SCALE PRELIMINARY DESIGN REPORT PARTE 1: PRELIMINARY DESIGN", Documento T4i N. TEC_000065, del 15/07/2020 (trasmesso da Fincantieri a Cetena via email il 10/2/2021).
[21] Ruffin, A., Tridello, R., "D 2.1.2.: FULL SCALE PRELIMINARY DESIGN REPORT PARTE 2: TESTING", Documento T4i N. TEC_000065, del 15/07/2020 (trasmesso da Fincantieri a Cetena via email il 10/2/2021).
[22] Presentazione T4i sullo stato di avanzamento del progetto trasmessa da Fincantieri a Cetena via email il 10/2/2021.
[23] Ruffin, A., "Modelli di generazione HEBD", Documento T4i N. TEC_000185, del 21/6/2021 (trasmesso da T4i a Fincantieri e Cetena via email il 21/6/2021).
[24] Mazzarello G., "Teoria e Manuale del Programma FLOOD91".
[25] David Taylor Model Basin, "Free-stream characteristics of a family of low aspect ratio, all movable control surfaces for application to ship design", Hydromaechanics Laboratory, Research and development report, December 1958.
[26] Technology for Propulsion and Innovation (T4i), «Control Narrative Sistema Comando e Controllo,» 2020.
[27] Gisma, Gisma Katalog-BR-22-Stand-44-2014, 2012.
[28] Ensign-Bickford Aerospace &Defence Company, Datasheet Pyrotechnic Valves, Simsbury, USA, 2019.
[29] T4i, «PPT 20201104 Status update HEBD,» 2020.
[30] ABB, AC500-S Safety Manual, Ladenburg, Germany, 2017.
[31] ABB Group, AC500 High Availability Presentation Advanced module, 2013.
[32] Fincantieri, «Sommergibili Classe U212 - Requisiti generali per gli impianti, le apparecchiature ed i componenti,» 1999.
[33] NATO STANDARD ANEP-77, July 2019.
[34] Department of Defense: MIL-STD-1629A: Military standard procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis,1980.
[35] Department of Defense: MIL-STD-882C: System Safety Program Requirements, 1993.
[36] Department of Defense: MIL-STD-882D: Standard Practice for System Safety, 2000.
[37] Department of Defense: MIL-STD-882E: Standard Practice, System Safety, 2012.
[38] Bureau Veritas: Rules for the Classification of Naval Submarines, 2016.
[39] DNV-GL: RULES FOR CLASSIFICATION – Naval vessels – Pt 4, Chapter 1 Submarines, 2015.

COMPOSENSING

Il progetto "COMPOSENSING" si prefigge l'obiettivo di studiare ed analizzare la possibilità di utilizzare/impiegare una vasta gamma di sensori all'interno di strutture in materiale composito. Nel corso della Fase 1 del programma di ricerca è stata effettuata una valutazione dello stato dell'arte dei sensori esistenti, sia in fibra ottica che a radiofrequenza, l'analisi dei requisiti per l'utilizzo dei sensori nel composito e lo studio dell'interfaccia e del livello di maturità tecnologica dei sistemi. In particolare sono state analizzate possibili soluzioni ottenibili attraverso la co-laminazione di sensori in fibra ottica di tipo *Fiber Bragg Grating* (FBG), sensori in fibra ottica basati su tecniche OFDR (*Optical Frequency Domain Reflectometry*) e sensori a radiofrequenza di tipo piezoelettrico. A questo riguardo sono stati altresì prodotti una serie di pannelli rappresentativi di materiale composito di dimensioni contenute, con integrati i sensori in fibra ottica e a radiofrequenza per dimostrare la realizzabilità del processo produttivo e, conseguentemente, porre le basi allo sviluppo dei *test bed* previsti le successive fasi del progetto.Tali soluzioni tecnologiche rappresentano una interessante alternativa all'utilizzo dei metalli e consentiranno di sviluppare strutture/apparati "intelligenti", ovvero capaci di fornire all'operatore informazioni *real-time* o *near real-time* relative all'ambiente circostante e/o allo stato di efficienza del sistema/dispositivo.

Introduzione

L'impiego di materiali compositi viene generalmente proposto come alternativa al metallo per motivi di riduzione di peso e per le proprietà meccaniche ed elettromagnetiche offerte. In combinazione con *array* di sensori di diverso tipo (attivi o semiattivi) laminati direttamente al proprio interno, il materiale composito può far acquisire delle capacità operative di grande rilevanza nel campo civile e militare, in particolar modo nelle applicazioni areonautiche e *underwater*.I compositi strumentati con sensori in fibra ottica, caratterizzati da assenza di segnali elettrici per la loro lettura e quindi da immunità a interferenze elettromagnetiche, bassa invasività e robustezza ad ambienti ostili, verranno realizzati secondo processi che saranno oggetto di studio nel progetto COMPOSENSING. Questi, una volta connessi all'applicativo per l'elaborazione del segnale e la gestione dell'interfaccia uomo-macchina, saranno successivamente testati al fine di verificarne la corretta comunicazione con il relativo *transponder* deputato alla ricezione dei dati e all'elaborazione dei segnali. Nel corso del progetto verrà altresì verificata l'integrazione di sensori a radiofrequenza (RF) passivi nel composito, direttamente nella fase di produzione dei laminati.

Problema individuato e soluzioni tecnologiche

I materiali compositi, in ragione della loro proprietà e caratteristiche, sono ormai largamente impiegati nel campo aerospaziale, *automotive* e navale. Tuttavia, i componenti per queste specifiche applicazioni possono essere soggetti a elevati carichi e a estreme condizioni di servizio che nel corso del tempo possono portare a delaminazioni tra gli strati interni del composito, non rilevabili a occhio nudo se non attraverso test ad ultrasuoni e radiografie, tecniche che richiedono strumentazioni costose e un intenso lavoro.

Tecniche di *Structural Health Monitoring* (SHM), che sfruttano l'integrazione di sensori nei mate-

riali, consentono invece di monitorare in tempo reale (misura puntuale o diffusa) l'insorgenza di problematiche a livello strutturale, ragion per cui consentono di effettuare in maniera accurata un'analisi predittiva o *real time* dello stato di conservazione di sistemi/componenti particolarmente sensibili per l'operatività e la sicurezza di un mezzo. I recenti progressi nel campo della sensorizzazione di materiali compositi stanno portando ad un crescente interesse nello sviluppo dell'*Integrated Vehicle Health Monitoring* (IVHM), ovvero mezzi/componenti in grado di fornire *real time* parametri operativi di interesse. In questo senso la fibra ottica costituisce il sensore che meglio si adatta per questo tipo di applicazioni. Tuttavia, nonostante il loro impiego sia più vantaggioso rispetto ai sensori elettronici tradizionali, esiste un *trade-off* tra costo e prestazioni fornite che vincola la scelta della tecnologia da utilizzare in base alla specifica applicazione finale. Nel progetto COMPOSENSING vengono considerati:

sensori a fibra ottica di tipo *Fiber Bragg Grating* (FBG) multiplati in lunghezza d'onda (*Wavelength Division Multiplexing* - WDM) per misure statiche e dinamiche di deformazione e temperatura;

sensori a fibra ottica distribuito basato su *Opticale Frequency Domain Reflectometry* (OFDR) per misura statica distribuita di deformazione con elevata risoluzione spaziale.

In entrambi i casi i sensori vengono integrati in materiali compositi monolitici e *sandwich* in fibra di carbonio e in fibra di vetro.

Metologia

La metodologia applicata nello svolgimento della prima fase del progetto si è basata sull'analisi iniziale dello stato dell'arte e del livello di maturità delle tecnologie esistenti, unitamente alla valutazione dei requisiti per l'impiego dei diversi tipi di sensori nelle strutture in composito. Una volta definite le tecnologie, sono stati realizzati una serie di pannelli rappresentativi per validare il processo produttivo di integrazione dei sensori in fibra ottica e a radiofrequenza all'interno del materiale composito monolitico e a *sandwich* di carbonio e di vetro.

Caratterizzazione dei sensori FBG e loro integrazione in materiali compositi.

I sensori a reticolo di Bragg per l'integrazione nei compositi oggetto del presente progetto sono realizzati presso i laboratori della Scuola Superiore Sant'Anna mediante tecnica di scrittura laser al femtosecondo**.**

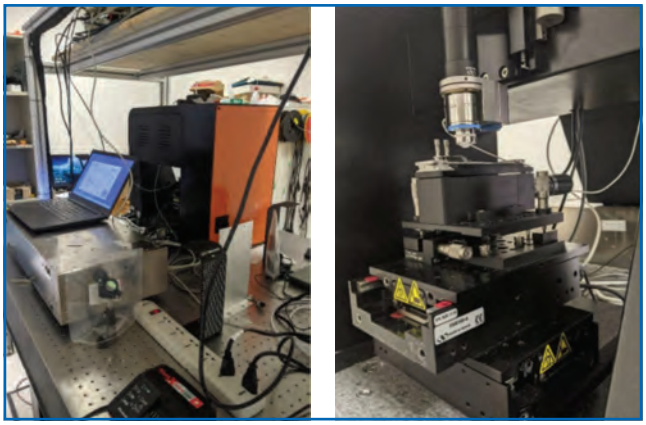


Fig.1 - laboratorio dedicato alla scrittura di sensori FBG presso la Scuola Superiore Sant'Anna.

Prima dell'integrazione, gli FBG scritti sono stati caratterizzati nel composito per verificare eventuali deformazioni successive alla polimerizzazione della resina. In considerazione del buon esito delle verifiche, gli FBG sono stati inseriti in fase di laminazione dei diversi provini che sono stati realizzati (a struttura monolitica e a sandwich) per i successivi test a flessione. In fase di laminazione sono stati registrati una serie di accorgimenti atti a preservare l'integrità delle fibre ottiche integrate durante le varie fasi del processo produttivo, mitigandone il rischio di rottura accidentale.

Durante i test a flessione, realizzati presso il laboratorio della Scuola Superiore Sant'Anna, è stata appurato come varia la risposta meccanica del ma-

nufatto in base all'orientazione del sensore FBG rispetto alle fibre di carbonio/vetro e alla distanza del sensore dall'asse neutro del campione. In generale, è stato osservato che:
le deformazioni misurate variano linearmente con le forze applicate;
il fattore di proporzionalità tra le deformazioni misurate e le forze applicate è costante.



Fig.2 - *Set-up* sperimentale per prove meccaniche.

È stata altresì eseguita la caratterizzazione dello spettro degli FBG prima e dopo il processo di integrazione nei diversi tipi di materiale composito, allo scopo di confrontare le diverse curve di risposta. A questo riguardo è stato osservato che:
nel caso di sensori FBG integrati in compositi in carbonio, i picchi di riflessione si spostano di circa 1 nm a lunghezze superiori in seguito al processo di integrazione in una struttura monolitica o a *sandwich*;

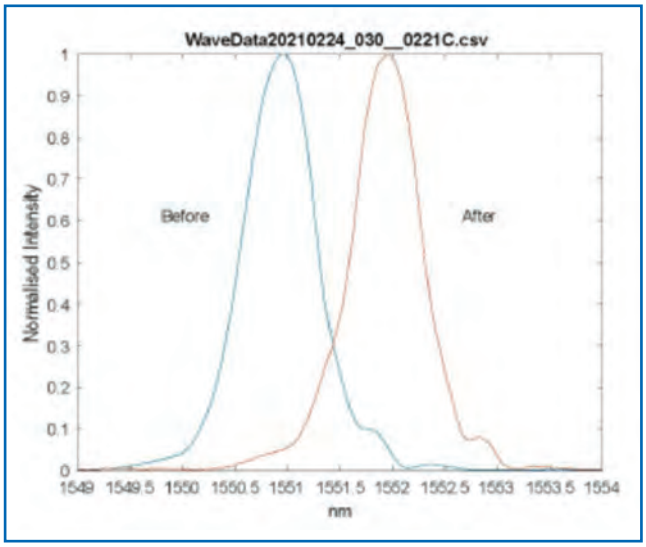


Fig.3 - Spettri del sensore FBG prima e dopo il processo di integrazione in composito sandwich di carbonio.

nel caso di integrazione in composito in fibra di vetro si nota invece una diminuzione della lunghezza d'onda di picco di circa 0,43 nm.

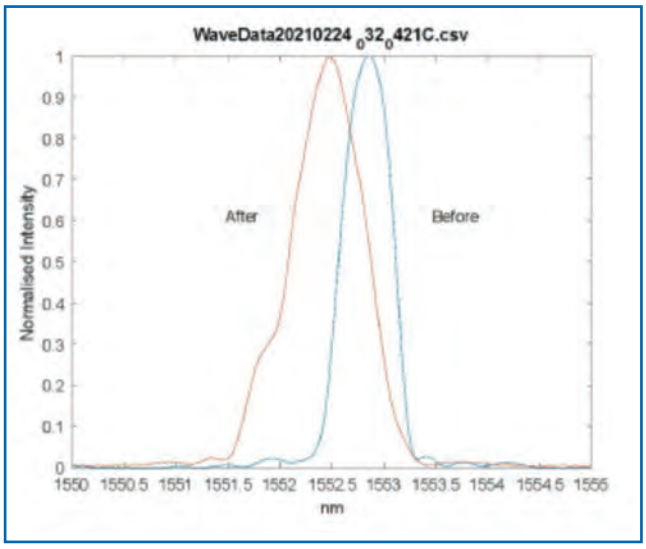


Fig.4 - Spettri del sensore FBG prima e dopo il processo di integrazione in composito sandwich di vetro.

Sono state inoltre effettuate caratterizzazioni termiche in camera climatica che hanno verificato proporzionalità tra gli *shift* in lunghezza d'onda dei reticoli di *Bragg* in funzione della temperatura, consentendo di ottenere i valori di *sensitivity* in pm/°C per i diversi materiali (fibra di carbonio e fibra di vetro). Tali parametri saranno di fondamentale importanza per le misurazioni di temperature e per la compensazione delle deformazioni indotte dall'espansione termica dei materiali.

Sensori di *strain* distribuiti basata su OFDR: studio preliminare di fattibilità.

Vista la complessità delle tecniche OFDR ad elevata risoluzione spaziale per misure statiche e dinamiche di *strain*, in considerazione della difficoltà nel reperire strumentazione commerciale in grado di soddisfare le specifiche richieste dal progetto in oggetto a costi ragionevoli, nella fase di sviluppo del progetto saranno considerati i rilievi sperimentali di laboratorio, rimandando a eventuali futuri sviluppi le validazioni in ambiente rilevante.

Le dimostrazioni in laboratorio potranno essere effettuate nell'arco temporale delle tre fasi di progetto, utilizzando *set-up* sperimentali che saranno sviluppati *ad hoc* nei laboratori della Scuola Superiore Sant'Anna o utilizzando prodotti commerciali, qualora reperibili a costi ragionevoli sul mercato.

Processo di integrazione dei sensori a radiofrequenza ad anello

I prototipi dell'intero sistema di misura a radiofrequenza (RF) sono stati realizzati tramite tecnologia *Printed Circuit Board* (PCB), normalmente utilizzata per la realizzazione di circuiti integrati. Le integrazioni dei sensori a RF sono state eseguite similarmente a quanto effettuato per in sensori FBG. In base alle risultanze di alcuni test preliminari è stato ritenuto opportuno riprogettare la forma delle induttanze per una migliore sensibilità e capacità di rilevare le deformazioni dei laminati in composito.

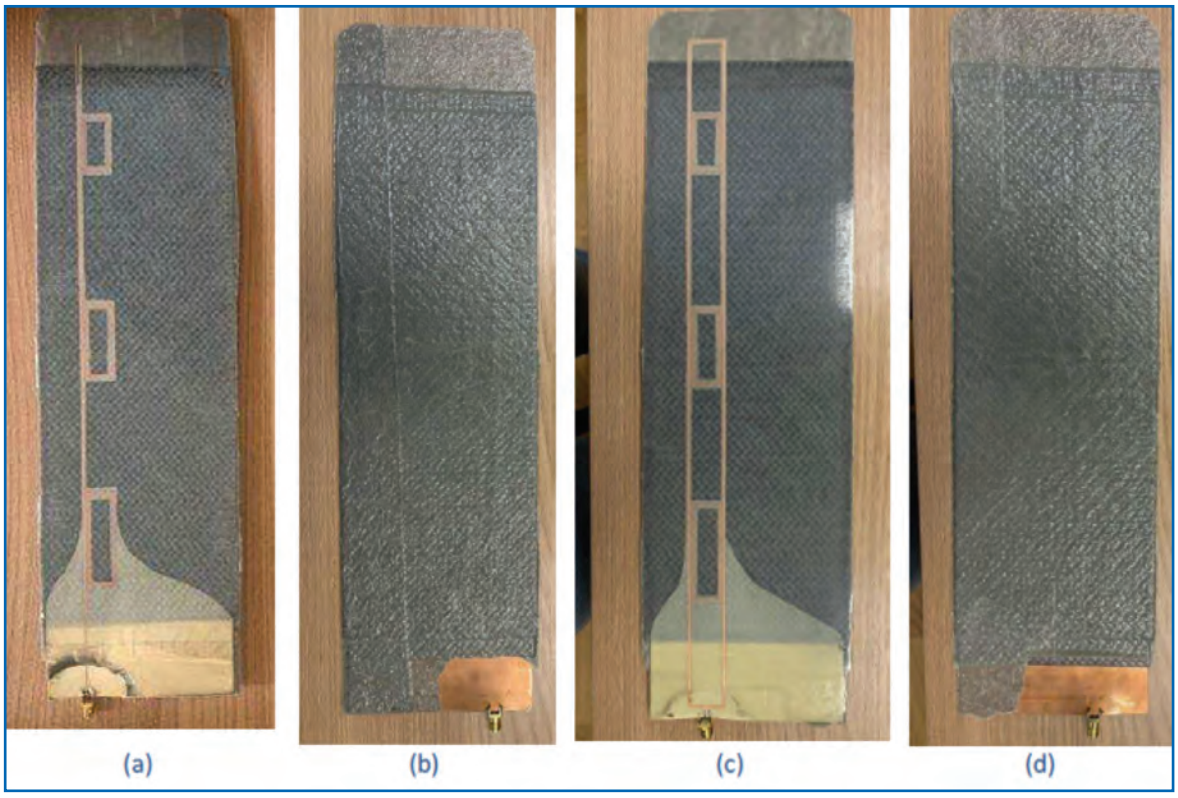


Fig.5 - Superficie anteriore e posteriore dei provini sensorizzati a singolo filo (a e b) e a doppio filo (c e d).

In seguito al processo di integrazione è stato osservato che la risposta in frequenza del sensore presenta lo stesso andamento di quella ottenuta prima dell'integrazione. Effettuando il confronto dei risultati, è stato possibile notare che i picchi di impedenza si spostano in seguito al processo di integrazione, restando tuttavia ben definiti e misurabili. Tuttavia, il processo di integrazione è causa di un aumento delle perdite ohmiche, visibile dalla diminuzione dell'ampiezza dei picchi di risonanza rispetto alle simulazioni numeriche.

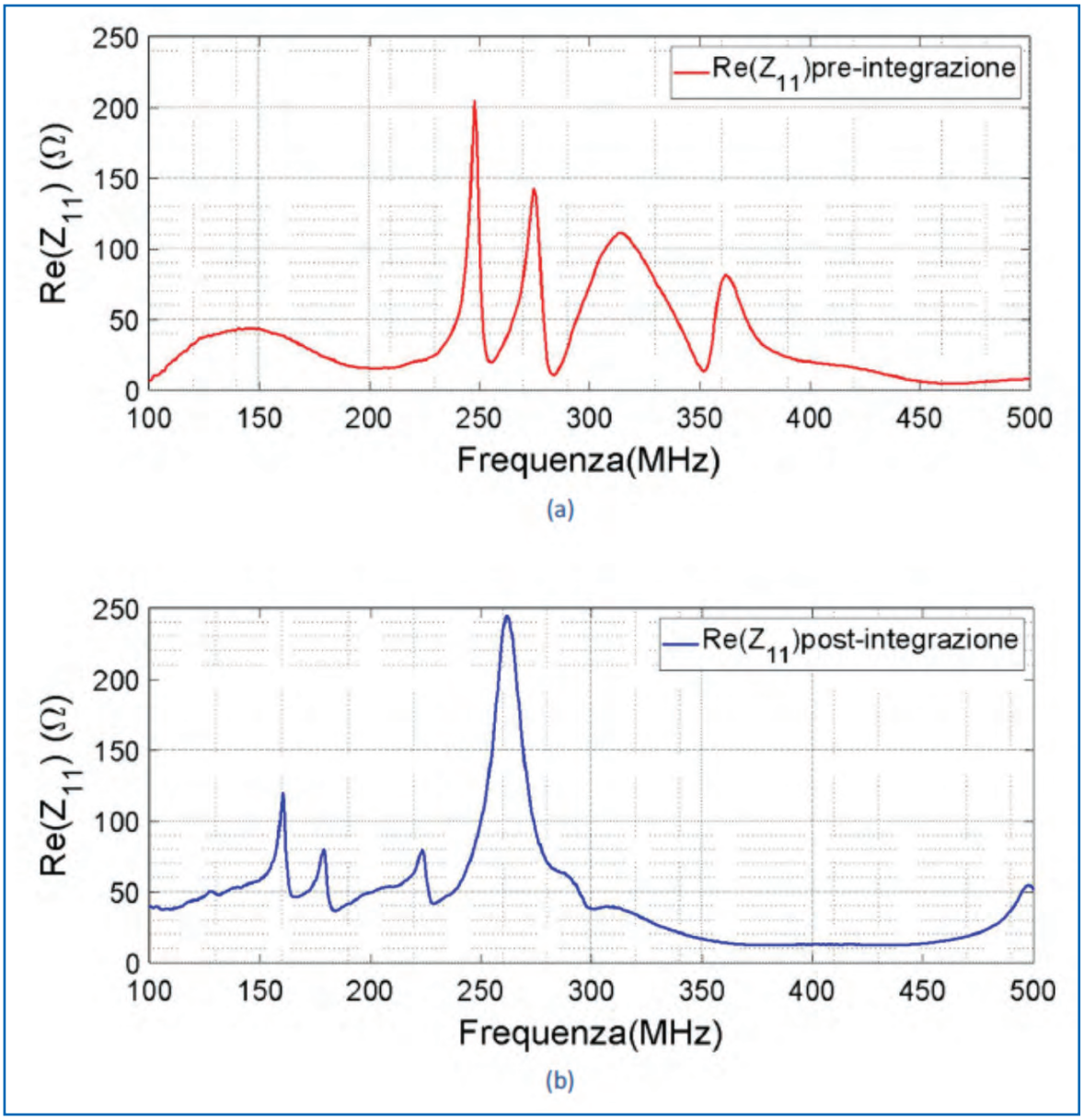


Fig.6 - Grafico della parte reale dell'impedenza vista in ingresso al sensore misurata sperimentalmente prima dell'integrazione (a) e quella misurata dopo il processo di integrazione (b).

Potenziali utilizzi e ricadute applicative della tecnologia

La prima fase del progetto ha confermato la fattibilità dell'integrazione delle famiglie di sensori considerate. In particolare, le fibre ottiche si sono rivelate da subito compatibili con il processo manufatturiero di realizzazione di particolari in composito in fibra di vetro e/o di carbonio (od altre fibre di rinforzo); i sensori a RF richiedono una specializzazione del processo di taglio del supporto alle piste in rame, allo scopo di consentire una migliore integrazione degli stessi in fase di laminazione. Più in generale con la fase 1 è stato possibile validare il processo produttivo di integrazione di sensori a fibra ottica e a RF nei materiali compositi.

Dal momento che la realizzazione di *test plate* con sensori integrati risulta già ampiamente sviluppata nella fase 1, la prossima fase si focalizzerà sull'integrazione di matrici di sensori e, principalmente, sulla progettazione e realizzazione del *test-bed* per la verifica di efficacia prevista per l'ultima fase.Tanto premesso, alla luce dei risultati e degli obbiettivi sinora conseguiti, si conferma la strategicità dello studio, potenzialmente in grado di sviluppare una competenza attualmente non disponibile nel settore *underwater*, in particolare nello sviluppo di sommergibili, mezzi *unmanned* subacquei e sistemi d'arma dotati di strutture/scafi intelligenti, in grado altresì di sfruttare al meglio gli ulteriori vantaggi operativi offerti dal materiale composito (leggerezza e la resistenza meccanica, con conseguente aumento dell'autonomia e/o delle distanze di percorrenza rispetto ad un analogo mezzo in acciaio).

Conclusioni

I risultati ottenuti dimostrano l'efficacia e la ripetibilità del processo di integrazione di sensori in fibra ottica in materiali compositi, come anche un'ottima linearità della loro risposta a sollecitazioni meccaniche e termiche. Le caratteristiche statiche dei sensori integrati nei compositi consentono quindi di ottenere risultati in linea con le previsioni del progetto ed in particolare di monitorare in tempo reale strutture complesse. A programma ultimato, pertanto, saranno disponibili chiare indicazioni sullo sviluppo delle metodologie progettuali e sulle evoluzioni tecnologiche da perseguire per i sistemi in essere e quelle sulle quali investire perché non ancora impiegate, ma dall'evidente potenziale.Gli obiettivi finali delle fasi successive del lavoro saranno il consolidamento, la ricerca e l'aggiornamento delle capacità progettuali nazionali nell'ambito subacqueo, unitamente all'individuazione e definizione delle direzioni tecnologiche nella costruzione di mezzi che operano nel dominio sottomarino. A questo riguardo l'istituzione del "Polo Nazionale della Subacquea" da parte della Commissione Difesa evidenzia l'importanza del settore dell'*Underwater* tra le potenze industriali e tecnologicamente più sviluppate a livello mondiale. Conseguentemente, il programma in parola è da considerarsi altamente innovativo e di primario interesse per l'A.D.

SIGLE, ACRONIMI, SIMBOLI ED ABBREVIAZIONI

FBG	Fiber Bragg Grating
OFDR	Opticale Frequency Domain Reflectometry
WDM	Wavelength Division Multiplexing
SHM	Structural Health Monitoring
IVHM	Integrated Vehicle Health Monitoring
RF	Radiofrequenza
PCB	Printed Circuit Board

PAROLE CHIAVE

Progettazione, Sottomarini, Sommergibili, Underwater, SSK, Concept Design, Materiali compositi.

RECAPITI

Numero scheda PNRM: a2019.109
Amministrazione appaltante: Direzione degli armamenti navali - NAVARM
Ente responsabile del progetto: NAVARM – 3^Divisione
Città, Regione: Roma
Titolo e nome del responsabile del progetto: CV (GN) Christian PERRONE
Recapiti del responsabile del progetto: NAVARM – 3^Divisione, Via di Centocelle 301, Roma
06 469132567
E-mail del responsabile del progetto: christian.perrone@marina.difesa.it

Bibliografia

Libri e altre monografieK. Tsuji, K. Shimizu, T. Horiguchi, and Y. Koyamada, "Coherent optical frequency domain reflectometry for a long single-mode optical fiber using a coherent lightwave source and an external phase modulator," IEEE Photonics Technol. Lett. 7(7), 804–806 (1995).

J. P. von der Weid, R. Passy, G. Mussi, and N. Gisin, "On the characterization of optical fiber network components with optical frequency domain reflectometry," J. Lightwave Technol. 15(7), 1131–1141 (1997).

K. Yuksel, M. Wuilpart, and P. Mégret, "Analysis and suppression of nonlinear frequency modulation in an optical frequency-domain reflectometer," Opt. Express 17(7), 5845–5851 (2009).

P. Oberson, B. Hutter, O. Guinnard, G. Ribordy and N. Gisin, "Optical frequency domain reflectometry with a narrow linewidth fiber laser", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 12, no. 7, pp. 867-869 (2000).

J. H. Geng, C. Spiegelberg, and S. B. Jiang, "Narrow linewidth fiber laser for 100-km optical frequency domain reflectometry," IEEE Photonics Technol. Lett. 17(9), 1827–1829 (2005).

B. Soller, D. Gifford, M. Wolfe, and M. Froggatt, "High resolution optical frequency domain reflectometry for characterization of components and assemblies," Opt. Express 13(2), 666–674 (2005).

X. Fan, Y. Koshikiya, and F. Ito, "Centimeter-level spatial resolution over 40 km realized by bandwidth-division phase-noise-compensated OFDR," Opt. Express 19(20), 19122–19128 (2011).

Z. Ding, X. S. Yao, T. Liu, Y. Du, K. Liu, Q. Han, Z. Meng, J. Jiang, and H. Chen, "Long measurement range OFDR beyond laser coherence length," IEEE Photonics Technol. Lett. 25(2), 202–205 (2013).

E. Leviatan and A. Eyal, "High resolution DAS via sinusoidal frequency scan OFDR (SFS-OFDR)," Opt. Express 23 (6), 33318-33334 (2015).

J. Li, J. Gan, Z.Zhang, X. Heng, C.Yang, Q. Qian, S. Xu, and Z.Yang, "High spatial resolution distributed fiber strain sensor based on phase-OFDR," Opt. Express 25(22), 27913-27922 (2017).

L. Shiloh and A. Eyal, "Sinusoidal frequency scan OFDR with fast processing algorithm for distributed acoustic sensing," Opt. Express 25(16), 19205-19215 (2017).

D. Chen, Q. Liu, and Z. He, "Phase-detection distributed fiber-optic vibration sensor without fading-

noise based on time-gated digital OFDR," Opt. Express 25 (7), 8315-8325 (2017).
D. Chen, Qi. Liu and Z. He, "Distributed Fiber-optic Acoustic Sensor with Long Sensing Range over 100 km and Sub-nano Strain Resolution," 2019 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2019, pp. 1-5.
Q. Liu, Xinyu Fan, and Z. He, "Time-gated digital optical frequency domain reflectometry with 1.6-m spatial resolution over entire 110-km range," Opt. Express 23(20), 25988-25995 (2015).
D. Chen, Q. Liu, and Z. He, "High-fidelity distributed fiber-optic acoustic sensor with fading noise suppressed and sub-meter spatial resolution," Opt. Express 26 (13), 16138-16146 (2018).

BIOS

Questo progetto si prefigge di migliorare le prestazioni idrodinamiche dei veicoli marini mediante deposizione sulla superficie esterna di rivestimenti nanostrutturati superidrofobici ad elevata durabilità. Per il conseguimento degli obbiettivi del progetto sono state utilizzate metodologie di finitura superficiale delle superfici con film sottili (*thin layers*), che rappresentano, attualmente, un'area di ricerca di estremo interesse e dalle grandi potenzialità applicative. L'obiettivo finale è rappresentato dalla definizione dei principali criteri di progettazione di superfici superidrofobiche (SH), secondo quanto indicato dall'esame del recente stato dell'arte in termini di caratteristiche chimico-fisiche e morfologiche dei rivestimenti. La fase 1 di 2, terminata nel mese di Luglio 2021, ha consentito di comprendere l'efficacia delle tecnologie di deposizione dei rivestimenti e la loro capacità antivegetativa in ambiente controllato con risultati soddisfacenti. Questi costituiscono il preludio ad un favorevole esito delle prove al vero da effettuarsi nella fase 2, sia per la verifica della capacità antivegetativa in mare aperto sia per la misura della resistenza idrodinamica e del rumore autoindotto.

Introduzione

La costante ricerca della riduzione dei consumi e della rumorosità in acqua per i mezzi navali è un requisito essenziale per avere uno strumento navale all'avanguardia. Il progetto si pone, quindi, come obbiettivo la ricerca di nuove tecnologie idonee a migliorare l'autonomia e la silenziosità delle carene delle navi. Per migliorare le *performance* delle unità navali in questi settori, le superfici con caratteristiche superidrofobiche, già sperimentate in altri campi, costituiscono un importante passo avanti che necessita di essere approfondito al fine di verificare la riduzione della resistenza idrodinamica, la capacità antivegetativa e la riduzione del rumore autoindotto, nonché la fattibilità di realizzazione su superfici reali. Per lo sviluppo della sperimentazione il progetto è articolato su due fasi come di seguito descritto:

- Fase 1: realizzazione dei provini con superfici superidrofobiche, effettuazione di test di proliferazione in ambiente controllato, predisposizione dei setup per le prove idrodinamiche in tunnel di cavitazione.
- Fase 2: effettuazione test di proliferazione in ambiente marino, prove per la misura del rumore autoindotto in tunnel di cavitazione, analisi dei dati e individuazione dei criteri di progettazione delle superfici.

Ogni fase è suddivisa in 2 working package (WP).

Problema individuato e soluzioni tecnologiche

La resistenza all'avanzamento e la propagazione del rumore sono intimamente legati, dato che gli stessi meccanismi all'origine della resistenza all'avanzamento sono anche responsabili della generazione di rumore autoindotto, associato al movimento delle superfici elastiche dello scafo da parte delle strutture fluidodinamiche presenti nello strato limite turbolento (SLT) e nella scia. Il progetto BIOS si prefigge di migliorare le prestazioni idrodinamiche degli scafi sia dal punto di vista della resistenza all'avanzamento (si traduce in maggiore velocità e/o maggiore autonomia) che del rumore, mediante deposizione sulla superficie esterna di rivestimenti nanostrutturati superidrofobici ad elevata durabilità, utilizzando metodologie di funzionalizzazione superficiale con film sottili (*thin layers)*. Il progetto si prefigge di condurre un percorso sperimentale il cui obiettivo

finale è rappresentato dalla definizione dei criteri di progettazione di superfici superidrofobiche, dalla classificazione delle loro prestazioni e dalla fattibilità di realizzazione su ampia scala.

La soluzione proposta per ridurre la resistenza idrodinamica, ed in particolare la componente di attrito, prevede di rivestire i provini con film sottili SH, di natura ibrida organico/inorganica, con rugosità superficiale inferiore a 50 nm, generati per approccio SLIPS (*Slippery Liquid–Infused Porous Surface*) con deposizione di strati inorganici nanostrutturati (Al_2O_3, TiO_2 o SiO_2) quale componente "ricettiva" per oli o lubrificanti depositati per infusione. Infatti, nonostante il flusso esterno di acqua possa potenzialmente causarne la rimozione pregiudicando quindi le performances dei materiali in condizioni operative, gli oli o i lubrificanti infusi rimangono intrappolati nelle nanostrutture in virtù dei valori elevati di tensione superficiale e affinità chimica. A livello macroscopico tali caratteristiche superficiali permettono allo strato d'acqua adiacente allo scafo di conservare una velocità relativa diversa da zero, consentendo di ridurre significativamente la resistenza di attrito unitamente ad una sensibile riduzione delle vibrazioni indotte.

Metodologia

Il progetto BIOS nel complesso prevede le seguenti attività suddivise, per Fase e WP:

Fase 1 WP1: Progettazione, sintesi e deposizione di rivestimenti superidrofobici, utilizzo di metodologie per la deposizione di rivestimenti SH su lastre di grandi dimensioni e morfologia variabile (*dip coating*, *automated spraying*), utilizzo di metodi fisico-chimici (tensiometria, osservazioni in microscopia elettronica a scansione, microscopia a forza atomica, rugosimetria *non-contact*) per la caratterizzazione delle superfici SH e correlazione con i parametri di progettazione.

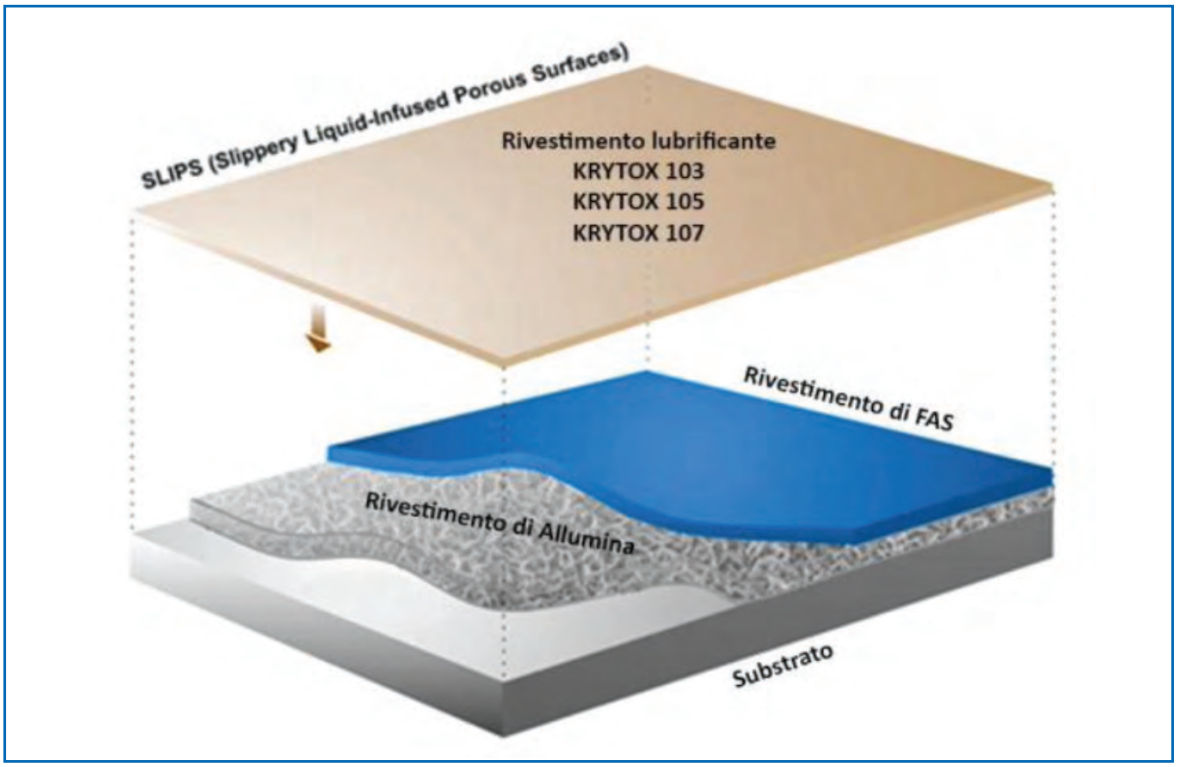


Figura 1 - Esempio di struttura dei rivestimenti con approccio SLIPS. Nello specifico rivestimento di Allumina funzionalizzato con FAS e successivamente infuso con olio lubrificante.

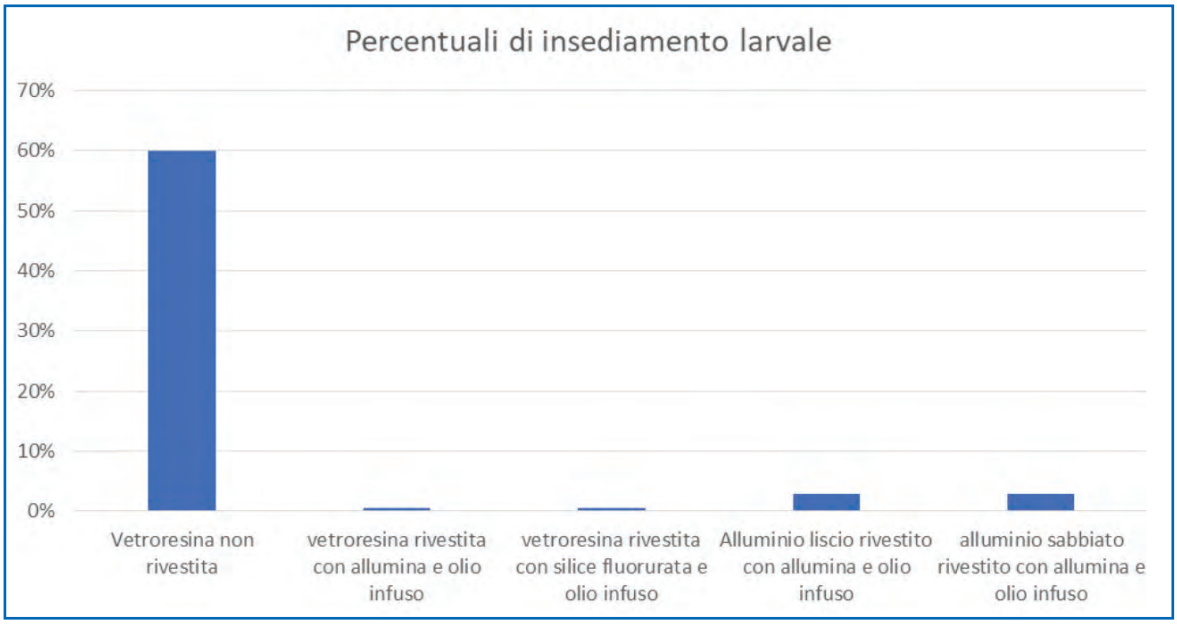


Figura 2 - risultati del test di proliferazione in ambiente controllato distinti per le varie tipologie di supporti.

Fase 1 WP2: Preparazione della campagna sperimentale di misura per la determinazione della resistenza all'avanzamento e della propagazione del rumore in tunnel idrodinamico, valutazione delle capacità di *fouling release* in ambiente controllato con consistente presenza di microorganismi.

Per la Fase 2:
Fase 2 WP1: misure di resistenza nel tunnel idrodinamico del CEIMM, valutazione della risposta vibrazionale dei rivestimenti superidrofobici (sulla base di misure puntuali di accelerazione e pressione nel tunnel idrodinamico), valutazione delle prestazioni di *anti-fouling* e *fouling release* di superfici a bagnabilità controllata in ambiente marino con la permanenza dei campioni da valutare presso la Stazione Marina Sperimentale di Genova del CNR.
Fase 2 WP2: Definizione delle caratteristiche delle superfici superidrofobiche, a bagnabilità controllata, con l'obbiettivo di individuare e progettare le condizioni applicative di superfici di componenti e materiali in uso nel settore navale, sulla base dei risultati ottenuti nel WP1 della fase 2.

Potenziali utilizzi e ricadute applicative della tecnologia

Oltre alla possibilità di ridurre la resistenza all'avanzamento e di attenuare vibrazioni e rumore fluidodinamico, i rivestimenti superidrofobici offrono una serie di proprietà che li rendono particolarmente attrattivi per applicazioni militari. La proprietà di superidrofobicità comporta, se applicata su altre tipologie di strutture come quelle aeronautiche, la riduzione della possibilità di formazione di cristalli di ghiaccio (elevata proprietà di antigelo). Le caratteristiche idrorepellenti dei rivestimenti SH permettono anche di rallentare la corrosione delle superfici metalliche su cui sono depositati poiché riducono l'area di contatto fra la superficie solida e il mezzo corrosivo adiacente.
Nel campo civile, oltre che nel settore aeronautico, le capacità antigelo-antighiaccio possono essere anche applicate, ad esempio, a campate di linee elettriche, così come la capacità di protezione dalla corrosione può trovare applicazione in strutture metalliche come ponti, tubazioni o altri elementi metallici di strutture civili.

Conclusioni

Il progetto BIOS, allo stato di avanzamento attuale relativo alla conclusione della fase 1, ha fornito dei risultati molto interessanti, tra cui:
efficacia della composizione dei rivestimenti, la cui posa in opera dovrà poi subire il processo di ingegnerizzazione per poterne disporre su scala industriale (da svilupparsi nella seconda fase);
forte capacità *antifouling* dei rivestimenti ibridi nanostrutturati evidenziata nelle prove di proliferazione larvale in ambiente controllato.
Per poter comprendere in maniera completa l'efficacia di questa tecnologia, bisognerà attendere i test di proliferazione in mare aperto per la verifica dell'efficacia *antifouling* e i test per la resistenza all'avanzamento e per la riduzione della propagazione del rumore in tunnel idrodinamico.
I risultati della fase 1 evidenziano già come è possibile migliorare le performance di materiali puntando al controllo del dettaglio nanometrico e sfruttando le micro/nano strutture dei materiali per migliorare le loro proprietà. Le implicazioni future di questa tecnologia nel settore navale potrebbero essere la riduzione della frequenza delle soste manutentive e l'abbassamento dei consumi ed emissioni inquinanti delle navi. Lo studio di materiali nanostruttrati in campo militare, implica una serie di benefici sia legati al miglioramento prestazionale dei sistemi d'arma che alla salvaguardia ambientale.

SIGLE, ACRONIMI, SIMBOLI ED ABBREVIAZIONI

BIOS	Materiali BIOmimetici Superidrofobici
SH	Superidrofobico
WP	working package
SLT	Strato limite turbolento
SLIPS	Slippery Liquid–Infused Porous Surface

PAROLE CHIAVE

Superidrofobicità, rivestimenti nanostrutturati, resistenza idrodinamica.

RECAPITI

Numero scheda PNRM: a.2018.186
Amministrazione appaltante: Direzione degli armamenti navali - NAVARM
Ente responsabile del progetto: CNR Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici (ISTEC)
Città, Regione: Faenza, Emilia Romagna.
Titolo e nome del responsabile del progetto: Dott.ssa Mariarosa Raimondo
Recapiti del responsabile del progetto: Via Granarolo, 64, 48018 Faenza (RA)
Recapito telefonico del responsabile del progetto: 0546/699711
E-mail del responsabile del progetto: istec@istec.cnr.it

Bibliografia

Articoli di rivista:

Li, Y. & Ning, C. – Latest research progress of marine microbiological corrosion and bio-fouling, and new approaches of marine anti-corrosion and anti-fouling - Bioact. Mater. 4, 189–195 (2019);

Ferrari M., Benedetti A. - Biofouling control by superhydrophobic surfaces in shallow euphotic seawater - Colloids Surfaces a Physicochem - Eng. Asp. 480, 369–375 (2015).

SPIE

Negli ultimi decenni l'interesse per le tecnologie satellitari ha subito un notevole incremento. Tuttavia, per la crescente complessità dell'ambiente orbitale, le risorse spaziali sono sempre più a rischio di collisione con altri veicoli spaziali o detriti. Per mitigare questi rischi, è nata la necessità di monitorare tali oggetti. Il progetto SPIA (Sistema radar passivo per la rivelazione di oggetti in orbita terrestre bassa) studia la fattibilità e lo sviluppo di un sistema radar passivo basato su un'antenna array che sfrutta i segnali trasmessi dai satelliti geostazionari dedicati al broadcasting dei servizi TV, per la rivelazione di oggetti in orbita terrestre bassa. L'impiego di un radar passivo consente un valido tradeoff costo-prestazioni rispetto ai radar attivi e ai sistemi ottici. Il progetto prevede due fasi: la prima relativa alla definizione dei requisiti di sistema, allo studio e alla definizione del sistema antenna ad array e alle tecniche di elaborazione; la seconda fase relativa alla definizione dei requisiti del dimostratore tecnologico, alla sua realizzazione e validazione in ambiente rilevante. I risultati ottenuti durante la prima fase, evidenziano livelli di rapporto segnale rumore tali da garantire la rivelazione della International Space Station in orbita in condizioni realistiche di distanza e velocità.

Introduzione

Il notevole incremento di oggetti orbitanti nello spazio comporta un aumento della probabilità di collisione tra risorse spaziali e altri veicoli spaziali o detriti. Da qui la necessità di sviluppare sistemi e tecnologie di monitoraggio di oggetti in orbita bassa. I radar rappresentano una valida soluzione in quanto *all days/all weather* e in grado di fornire misure accurate della distanza e della velocità radiale. L'impiego di radar passivi *ad-hoc* consentirebbe una sorveglianza continua, senza l'utilizzo di trasmettitori propri, riducendo così al minimo costi e consumo energetico. Il progetto SPIA indaga la fattibilità e lo sviluppo di un sistema radar passivo nell'ambito della sorveglianza spaziale. Rispetto al panorama scientifico internazionale di riferimento, i vantaggi della soluzione proposta sono:

- Abbattimento dei costi, del consumo e delle emissioni elettromagnetiche;
- Elevata disponibilità di segnali a banda larga garantita dall'impiego di satelliti geostazionari dedicati al broadcasting video;
- Flessibilità nella formazione del fascio, risoluzione angolare fine e elevato guadagno in ricezione garantiti dall'impiego di tecnologia *sparse array.*

Tale sistema potrà essere parte integrante di una rete nazionale o europea, per la costruzione di un catalogo indipendente o integrato con quello esistente, per scopi di *safety*, *security* e mantenimento dei servizi relativi all'*asset* spaziale.

Problema individuato e soluzioni tecnologiche

Negli ultimi decenni si è assistito ad un drastico aumento degli oggetti presenti in orbita (Figura 1) e ad un più alto rischio per i satelliti operativi di entrare in collisione tra di loro e con altri detriti presenti in orbita. Da qui, la necessità di monitorare tali oggetti. Alcuni dei sensori utilizzati in Europa sono il TIRA, il GRAVES in Francia, l'osservatorio ottico di Teide presso le Canarie ed il Matera Laser Ranging in Italia [2],[3]. In Italia, sono stati effettuati diversi esperimenti per valutare l'utilizzo di radiotelescopi nell'ambito dello Space Surveillance and Tracking (SST). In questo progetto, la soluzione tecnologica proposta si basa sull'impiego di un radar passivo basato su una antenna ad array che sfrutta segnali trasmessi da piat-

taforme satellitari (e.g.: DVB-S/DVB-S2) come illuminatori di opportunità. L'impiego di radar passivi in ambito SST è un tema fino ad oggi poco approfondito. In letteratura si ha evidenza di un solo lavoro di ricerca applicata in cui si fa uso di una antenna ad array di un radio osservatorio astronomico australiano utilizzando come IO (Illuminatore di Opportunità) le trasmissioni radio FM provenienti da antenne a terra [4]. La possibilità di poter utilizzare segnali relativi a trasmissioni TV provenienti da satelliti geostazionari è stata invece recentemente proposta dal Lab RaSS in [5]. L'approccio qui proposto, rappresenta una opportunità di particolare interesse per il rilevamento di detriti spaziali grazie alla copertura molto ampia che i trasmettitori in orbita geostazionaria riescono a garantire e alla sorveglianza continua, senza l'utilizzo di trasmettitori propri, riducendo al minimo i costi e il consumo energetico. Le prestazioni di rivelazione sono raggiunte attraverso una antenna ad array, tecniche di digital beamforming abilitanti una scansione elettronica del fascio e ricevitori flessibili a banda larga capaci di sfruttare la gran parte dell'energia irradiata dal satellite, distribuita sui vari transponder.

Metodologia

Il focus del progetto è lo studio e la realizzazione di un sistema radar passivo per la rivelazione di oggetti in orbita terrestre. Il sistema farà uso di una antenna *array* planare ricevente a scansione elettronica del fascio e di ricevitori flessibili a larga banda, al fine di innalzare il rapporto segnale-rumore (SNR) sfruttando più transponder satellitari. Lo sviluppo del progetto avviene in due fasi da 12 mesi ciascuna:

- Sviluppo di un sistema radar passivo per la rivelazione di oggetti in orbita terrestre bassa basato su IO satellitari geostazionari televisivi:
- Definizione dei requisiti di sistema;
- Studio e definizione di: architettura del sistema e dell'antenna ricevente di tipo ad array, tecniche di digital beamforming e di elaborazione del segnale.
- Progettazione, realizzazione e test del dimostratore tecnologico:
- Definizione dei requisiti del dimostratore tecnologico;
- Realizzazione del dimostratore basato su dispositivi COTS con algoritmi di elaborazione implementati ad hoc;
- Validazione e verifica delle prestazioni in ambiente rilevante.

A partire dalla geometria di Figura 2 e prendendo come IO il satellite Eutelsat HOTBIRD 13C [7]-[8], il cui *footprint* è riportato in Figura 3, la mappa di SNR di Figura 4, ottenuta per un bersaglio con RCS di 20 dBsm, evidenzia livelli di SNR>9 dB tali per cui si riesce a ottenere una probabilità di detection cumulativa , con una probabilità di falso allarme cumulativa sfruttando 5 canali da 90 MHz di banda ciascuno sui quali applicare la tecnica nota come *cumulative detection*. La Figura 5 rappresenta lo spettro in banda base del segnale DVB-S2 generato sinteticamente e utilizzato come segnale di riferimento nello scenario di Figura 6 relativo a un reale passaggio della ISS sullo spazio aereo italiano. In Figura 7 è mostrata la relativa mappa range-Doppler. Nonostante si abbia un allargamento in Doppler, il SNR è tale da consentire la detection della ISS che transita ad elevata velocità.

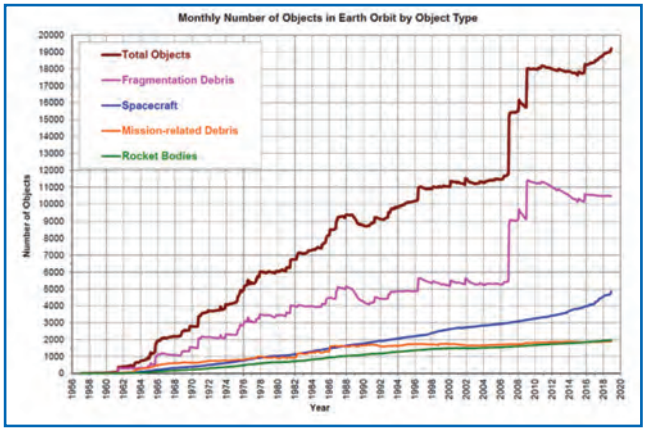


Figura 1 - Numero mensile di oggetti catalogati nell'orbita terrestre rispetto al tipo di oggetti [1].

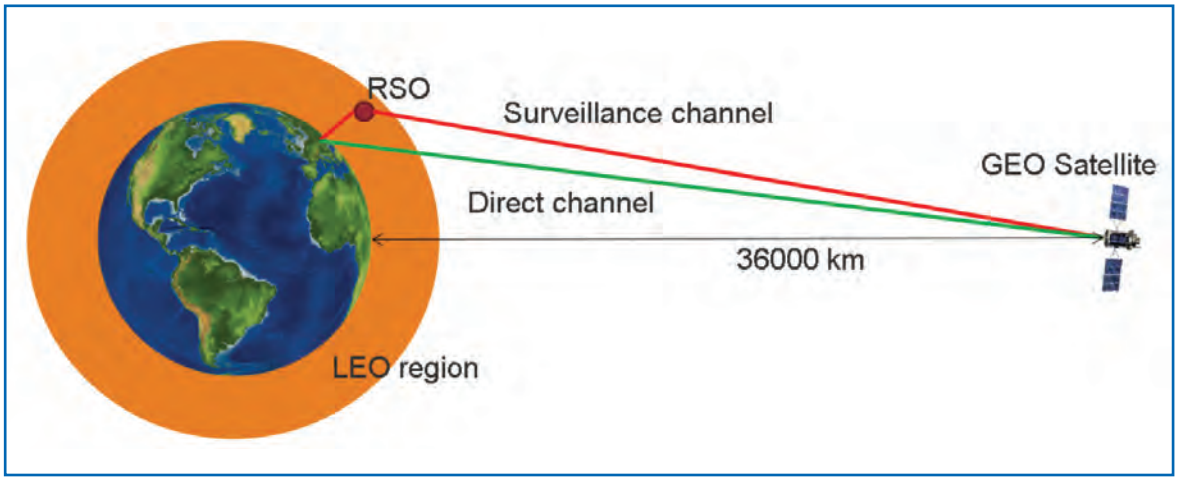


Figura 2 - Geometria di un radar bistatico passivo basato su satellite.

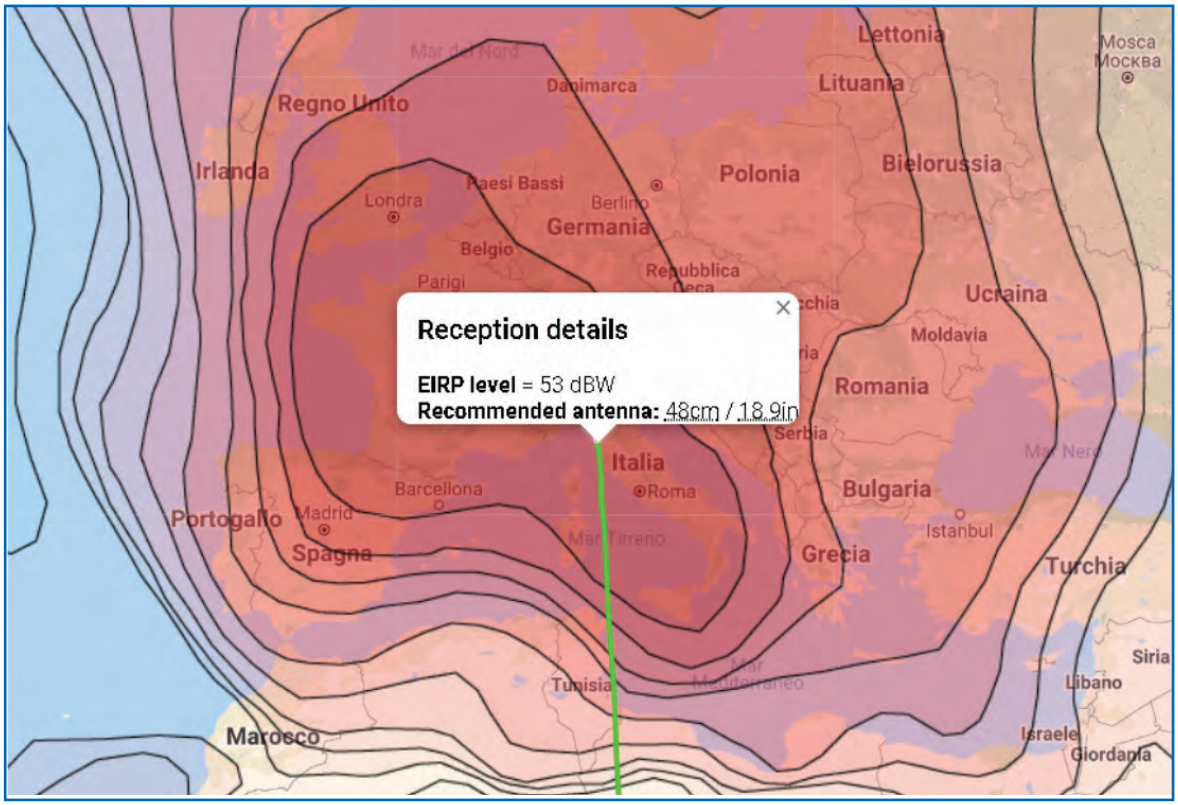


Figura 3 - Footprint del satellite Eutelsat HOTBIRD 13C.

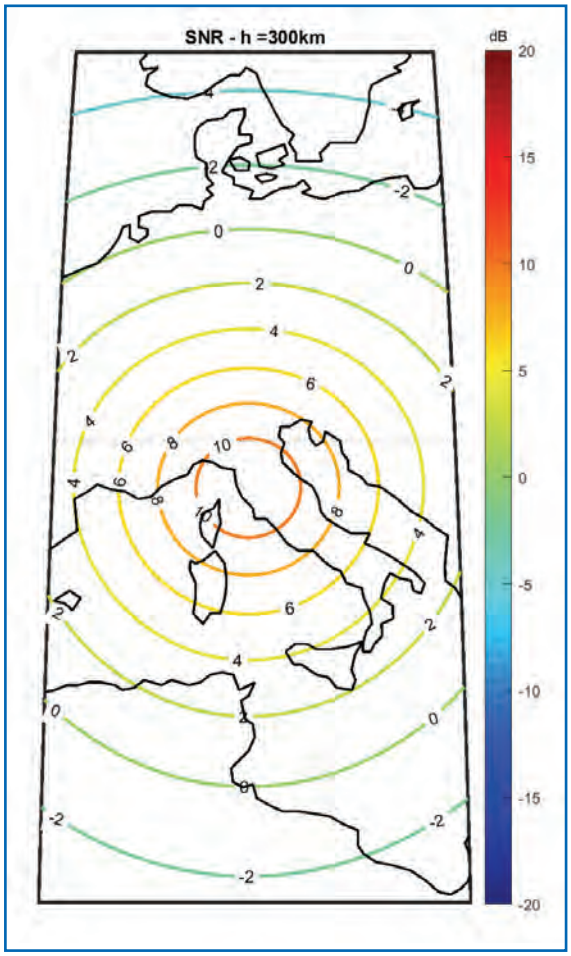


Figura 4 - Mappa di SNR ottenuta per un target con RCS=20 dBsm ad una quota di 300 km.

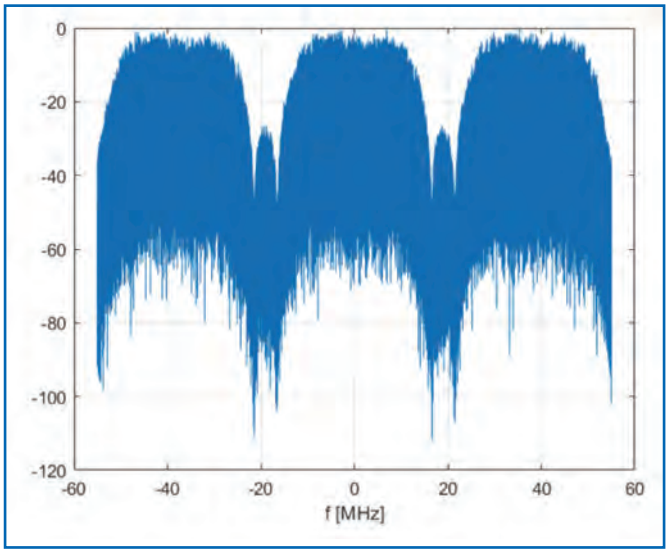


Figura 5 - Spettro del segnale DVB-S generato su tre canali.

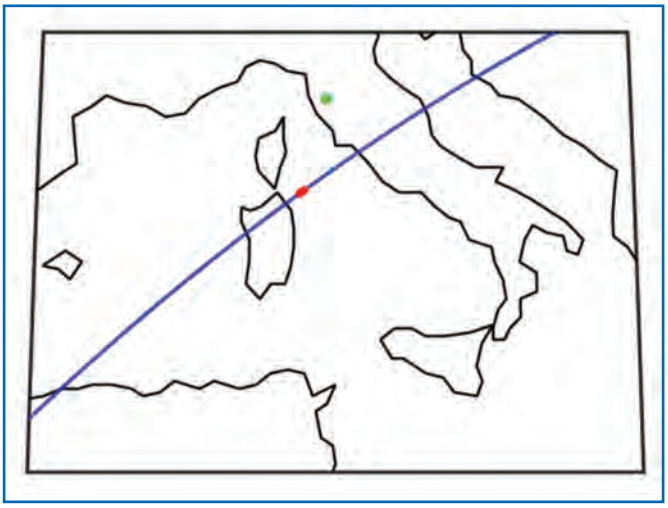


Figura 6 - Transito della ISS la mattina del 30/10/2019 – UTC 03:10:00.

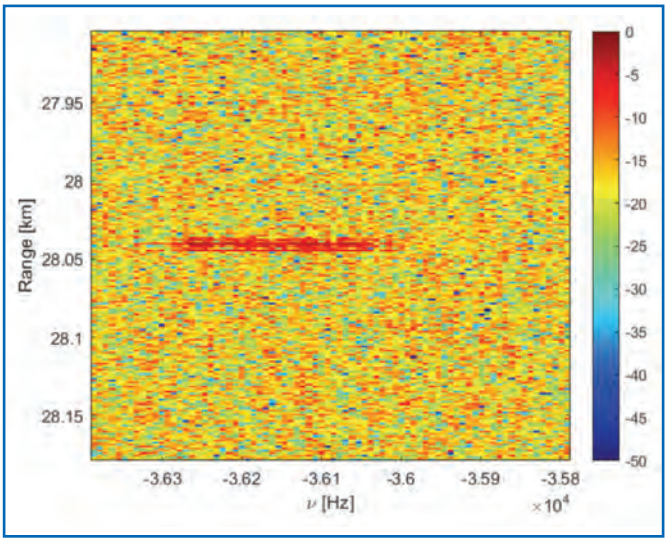


Figura 7 - Mappa Range-Doppler simulata sfruttando 3 canali DVB/S2 relativa al passaggio della ISS sull'Italia.

Potenziali utilizzi e ricadute applicative della tecnologia

La soluzione tecnologica proposta adotta un'architettura modulare e scalabile basata su tecnologie innovative e a basso impatto, in grado di monitorare l'orbita dei satelliti per scopi di diagnostica e prevenzione, consentendo al contempo la possibilità di pianificare contromisure ai disservizi causati da eventuali malfunzionamenti naturali o intenzionali. Questa funzionalità è strategica per garantire continuità nel mantenimento di tutti quei servizi resi possibili dai sistemi spaziali e definiti essenziali per la gestione delle Infrastrutture Critiche (e.g. agenzie governative, Regioni ed enti locali, sicurezza, telecomunicazioni, trasporti, sistema elettrico ed energetico, sanità, banche e servizi finanziari).

La sinergia tra ECHOES e CNIT-RaSS dettata da strategia e obiettivi comuni, assicura la messa in campo di competenze complementari necessarie per la progettazione e lo sviluppo delle soluzioni tecnologiche proposte per il progetto. Per quanto riguarda il sistema, ECHOES ha le capacità progettuali e produttive per lo sviluppo di una mini serie. ECHOES può avvalersi inoltre del supporto del CNIT-RaSS in termini di strumentazione e consulenze. Il CNIT-RaSS proviene da esperienze consolidate in ambito difesa e ha già affrontato in precedenti progetti lo studio e la realizzazione di dimostratori radar passivi.

Conclusioni

L'interesse verso i radar passivi per applicazioni SST è in forte crescita. Il progetto SPIA è focalizzato sullo studio e la realizzazione di un sistema radar passivo per la rivelazione di oggetti in orbita terrestre bassa, basato su illuminatori di opportunità satellitari geostazionari dedicati al *broadcasting video* e utilizzanti lo standard DVB-S/DVB-S2. Tale architettura garantisce il giusto *trade-off* efficacia/costo. A partire dai requisiti in termini di rivelazione definite nei programmi EU-SST ed ESA-SSA, sono state dapprima analizzate strategie di decisione (e.g. *cumulative detection* su sottobande) per migliorare le prestazioni di sistema. Sono state valutate le potenziali coperture nell'ipotesi di ottenere il livello di SNR utile alla rivelazione. Successivamente, sono stati definiti i principali requisiti tecnico/funzionali di ciascun sottosistema e proposte soluzioni tecnologiche commerciali per la realizzazione di un dimostratore. Il lavoro è proseguito con lo studio delle possibili configurazioni dell'antenna ricevente ad array e delle tecniche di *beamforming* digitale e di elaborazione del segnale. Tali tecniche sono state verificate su un reale passaggio della ISS sullo spazio aereo italiano avvenuto la mattina del 30 ottobre 2019. I risultati ottenuti a valle della fase I, evidenziano livelli di SNR tali da garantire la rivelazione di un oggetto in orbita che si muove ad un'elevata velocità.

SIGLE, ACRONIMI, SIMBOLI ED ABBREVIAZIONI

COTS	Commercial Off-The-Shelf
DVB-S	Digital Video Broadcasting Satellite
EIRP	Potenza Isotropica Irradiata Equivalente
ESA	Agenzia Spaziale Europea
EU	Unione Europea
FM	Modulazione di Frequenza
GEO	Orbita Geostazionaria
IO	Illuminatore di Opportunità
ISS	Stazione Spaziale Internazionale
LEO	Low Earth Orbit (Orbita Terrestre Bassa)
RaSS	Radar e Sistemi di Sorveglianza
RCS	Radar Cross Section (Sezione Radar Equivalente)
RSO	Resident Space Orbit
SNR	Rapporto Segnale Rumore
SSA	Space Situational Awareness
SST	Space Surveillance and Tracking

PAROLE CHIAVE

Radar passivi, SST, *digital beamforming*, *sparse array*, DVB-S2, ISS, scalabilità, larga banda, alta risoluzione

RECAPITI

Numero scheda PNRM: a2019.435
Amministrazione appaltante: Telematica e Tecnologie Avanzate(22)
Ente responsabile del progetto: CNIT – Consorzio nazionale Interuniversitario per le Telecomunicazioni
Città, Regione: Parma, Emilia Romagna
Titolo e nome del responsabile del progetto: Ing. Amerigo CAPRIA
Recapiti del responsabile del progetto: Galleria Giovanni Battista Gerace, 18, 56124 Pisa (PI)
Recapito telefonico del responsabile del progetto: +39 3494705195
E-mail del responsabile del progetto: amerigo.capria@cnit.it

Bibliografia

NASA, Orbital Debris Quarterly News, May, 2019, [Online], available at: https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/quarterly-news/pdfs/odqnv23i1.pdf.

G. Pupillo, E. Salerno, S. Pluchino, M. Bartolini, S. Montebugnoli, M. Di Martino, S. Righini, F. Schillir`o, F. Berizzi, E. Dalle Mese, F. Laghezza, A. Konovalenko, and A. Nabatov, "A potential italian radar network for neo and space debris observation", Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplementi, 16:59, 2011.

F. Laghezza, F. Berizzi, A. Capria, E. D. Mese, G. Pupillo, S. Montebugnoli, E. Salerno, and M. Di Martino. Italian bistatic radar system for surveillance of space debris in low earth orbit. In 2010 IEEE Radar Conference, pages 220–224, May 2010.

J. E. Palmer et al., "Surveillance of Space using passive radar and the Murchison Widefield Array," 2017 IEEE Radar Conference (RadarConf), Seattle, WA, 2017, pp. 1715-1720.

L. Gentile, A. Capria, M. Conti, C. Moscardini and M. Martorella, "Resident Space Object Passive Bistatic Radar Detection Using DVB-S2 Signals," 2018 19th International Radar Symposium (IRS), Bonn, 2018, pp. 1-7.

www.satbeams.com.

"Earth station verification and assistance", Eutelsat, https://www.eutelsat.com/files/contributed/satellites/pdf/esog130.pdf.

"Eutelsat Hotbird 13C – Frequency Plan", http://frequencyplansatellites.altervista.org/Eutelsat/Eutelsat_Hot_Bird_13C.pdf.

CYMON

Il progetto "Cyber MONITORING (CYMON)" si propone di dotare l'Aeronautica Militare della capacità di "*Cyber Security Monitoring*", mediante la progettazione di un nuovo equipaggiamento di bordo, in grado di identificare e segnalare in "*real time*" tentativi di alterazione del normale funzionamento del Sistema Avionico.
Il progetto è stato organizzato in due fasi. La Fase 1, completata nel Settembre 2020, ha comportato la realizzazione di un Simulatore rappresentativo di componenti significative di un Sistema Avionico reale, in cui sperimentare dinamicamente gli effetti di una minaccia cibernetica.
A tale Simulatore è stato connesso un Sistema di Monitoraggio, sviluppato in modo da registrare i dati scambiati sulla dorsale di comunicazione (Bus MIL-STD-1553) ed effettuarne un'analisi di correlazione, correttezza ed integrità, mediante algoritmi innovativi di Intelligenza Artificiale.
I risultati di tale fase hanno dimostrato la bontà delle soluzioni proposte, in grado di modellare il comportamento dinamico di un sistema computazionale complesso, consentendo l'avvio della successiva Fase 2 del progetto, nella quale sono attualmente in fase avanzata di studio algoritmi complessi di Machine Learning Supervisionati e non Supervisionati, al fine di identificare e segnalare minacce cibernetiche, analizzando iterativamente i dati acquisiti in maniera passiva dal Bus di comunicazione.

Introduzione

L'evoluzione della minaccia cibernetica non investe solo le infrastrutture di elaborazione e *networking* utilizzate per il supporto di servizi informatici, ma mette a repentaglio l'integrità delle piattaforme aeree e dei relativi sistemi avionici di Missione e Navigazione complessi e *software-intensive*.
Il progetto CYMON prevede lo studio e la sperimentazione di tecniche di rilevamento e riconoscimento di "*malware*" residenti nel Sistema Avionico di bordo, basate su algoritmi innovativi di Intelligenza Artificiale. Una volta identificata l'esistenza di una minaccia, essa verrebbe segnalata all'operatore di bordo solo se il grado di attendibilità fosse superiore ad una soglia di confidenza preimpostata, suggerendo eventuali azioni di "*recovery*" in grado di mitigarne gli effetti.
Lo scopo finale è la realizzazione di un equipaggiamento in grado di acquisire passivamente dati in "real time" provenienti da "sonde" logiche installate in punti nevralgici del Sistema Avionico, analizzarli ed inviare al pilota segnalazioni nel caso di rilevamento di intrusioni malevole.
La valenza del progetto è per sua natura duale, in quanto le capacità acquisite sono applicabili sia in contesti civili che militari. In quest'ultimo caso, l'effetto di un "*malware*" potrebbe avere serie conseguenze sulla sicurezza nazionale, qualora utilizzato per intercettare/alterare comunicazioni classificate o dati di missione.

Problema individuato e soluzioni tecnologiche

Il problema individuato è la vulnerabilità delle piattaforme avioniche di calcolo di IV Generazione, concepite in anni in cui la sicurezza cibernetica era demandata esclusivamente alla robustezza del processo e non supportata dalle tecnologie. Analisi di vulnerabilità (Rif. R.Patel) rivelano l'esistenza di punti di "debolezza" dei Si-

stemi Avionici di Missione, origini di possibili attacchi, in grado produrre effetti particolarmente critici sui sistemi di bordo, quali l'inserimento di errori nei sensori (GPS, Radar Altimetri..), false indicazioni e simbologie, alterazioni dei dati IFF etc.

Nasce quindi l'esigenza di effettuare un monitoraggio passivo dei sistemi di bordo, al fine di rilevare ed identificare anomalie di funzionamento in "*real time*", senza alterarne le prestazioni. Sono stati sperimentati dall'AMI apparati con questo scopo, i quali non hanno soddisfatto le prestazioni attese, in quanto limitati nella configurabilità e nell'adattabilità ai diversi contesti operativi.

Il progetto CYMON, concepito in stretta collaborazione con il Reparto Sperimentale Volo/Gruppo Gestione Software (RSV/GGS) di Pratica di Mare ha lo scopo di colmare tale lacuna. Si è proceduto allo sviluppo di un ambiente di Simulazione di Sistema Avionico "*general purpose*", il quale fornisce i meccanismi di controllo e di esportazione dei dati di missione, utilizzando comandi e *"script"*, in grado di alterare dinamicamente il contenuto dei dati e/o inserire transazioni "*fake*", emulando attacchi cibernetici attivati su eventi ("*Spoofing*"). Altra componente complementare al sistema è l'ambiente per la Creazione della Base della Conoscenza, in grado di modellare il comportamento dinamico del Sistema Avionico, correlando i dati prodotti dal Simulatore. Tale attività è da ritenersi propedeutica per l'addestramento "off line" degli algoritmi di identificazione e riconoscimento delle minacce basati su tecniche avanzate di Intelligenza Artificiale ("*Machine Learning*" e Reti Neurali). Naturalmente nel caso reale saranno utilizzati i dati effettivi generati dal RIG di Missione o dati di Telemetria.

Metodologia

Il Sistema risultante dal progetto CYMON è caratterizzato da 2 componenti principali (vedi Figura 1).

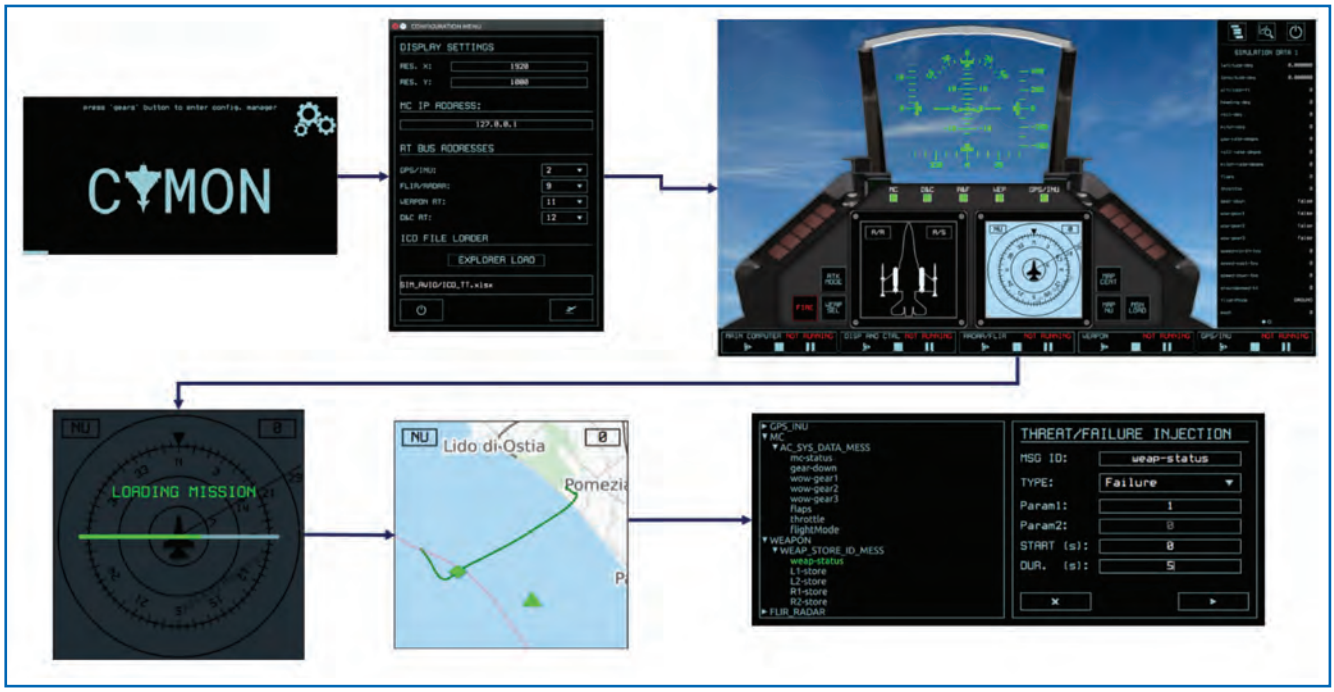


Figura 1 - Simulatore Avionico.

La componente "*OFF LINE*", denominata Ambiente per la Creazione della Conoscenza – KCE, è utilizzata per acquisire dati caratteristici prodotti dal Sistema Avionico da monitorare e modellarne sia il comportamento nominale che quello in presenza di "*malware*", creati appositamente mediante gli strumenti di "*scripting editor*". Tale componente risulta fondamentale per l'addestramento degli algoritmi di rilevamento e identificazione della minaccia cibernetica basati su tecniche avanzate di Intelligenza Artificiale.

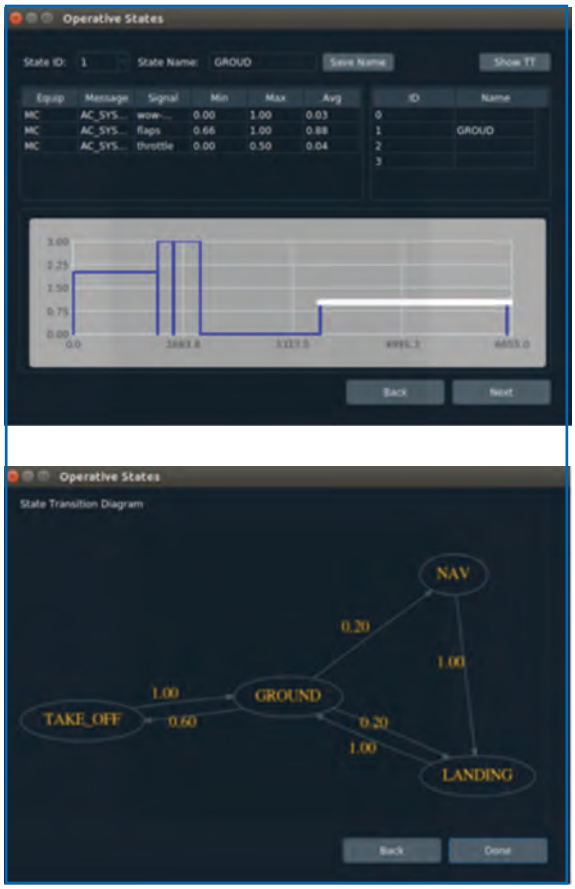


Figura 2 - Ambiente di Creazione della Conoscenza - KCE (CYMON Fase 1).

La componente "ON LINE" per il Monitoraggio dinamico del Sistema avionico fornisce 3 funzioni principali iterative e cooperanti: rilevamento, identificazione e gestione della minaccia cibernetica. Tali funzioni sfruttano la base di conoscenza creata durante la fase di apprendimento per le verifiche comportamentali del sistema "run time". In particolare la funzione di rilevamento effettuerà un'analisi dei dati acquisiti in "real time", al fne di scoprire eventuali anomalie. Dopo una fase di filtraggio preliminare, le potenziali anomalie verranno quindi passate alla funzione di identificazione, per verificarne l'attendibilità e la gravità dell'impatto sull'integrità della piattaforma aerea, inviando al pilota un messaggio di allerta corredato dalla probabilità dell'evento e dalle procedure di "recovery" consigliate.

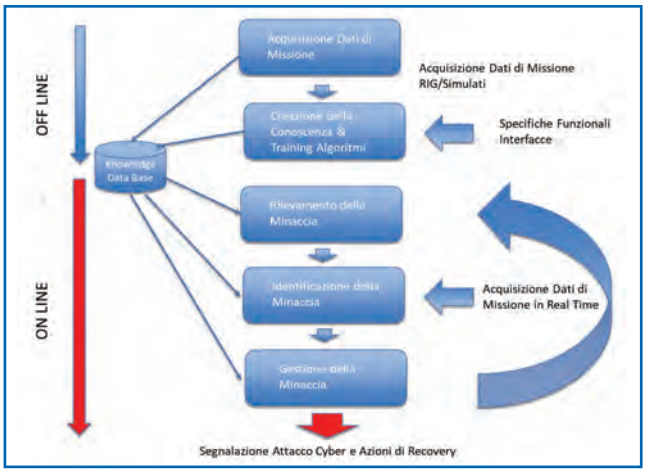


Figura 3 - Processo di Monitoraggio Continuo.

Le componenti "OFF LINE" sono state oggetto di sviluppo e sperimentazione nella Fase 1 del progetto.
In tale contesto è stato allestito uno scenario di missione simulato, caratterizzato dall'illuminazione di un target da parte di un Aeromobile di IV° generazione, con relativo sgancio di carichi, emulazione dei dati generati dai Sensori di Navigazione e rappresentazione grafica sui display.
L'ambiente di "Scripting" ha permesso l'acquisizione del traffico su Bus 1553 per missioni nominali e in presenza di minaccia cibernetica inserita per scopi di test, consentendo al KCE di dimostrare la bontà degli algoritmi di registrazione, interpretazione e correlazione dei dati, propedeutici per la conseguente Fase 2, dove verrà sviluppata e sperimentata la componente "ON LINE".

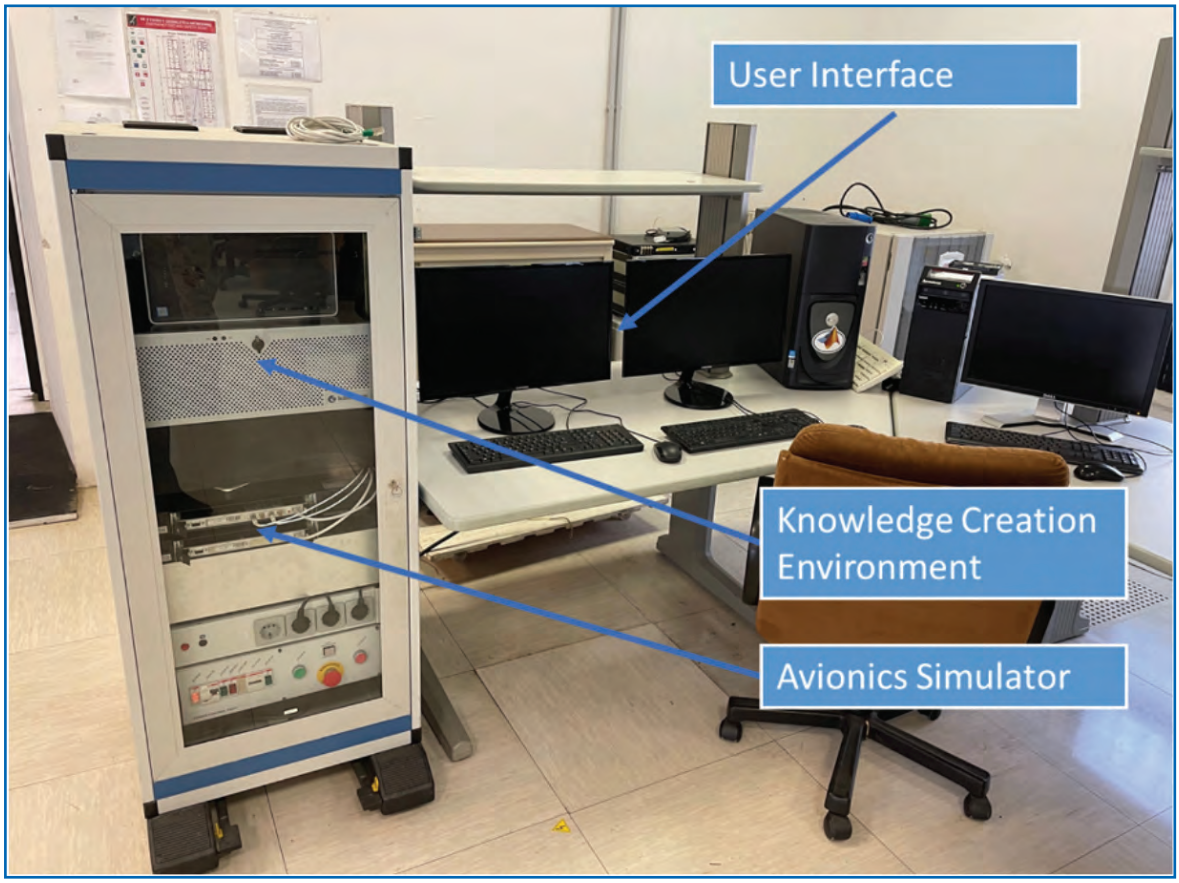


Figura 4 - CYMON – Sistema Prototipale.

Potenziali utilizzi e ricadute applicative della tecnologia

I concetti, i processi e gli studi relativi al progetto CYMON trovano applicazione in tutti i contesti applicativi "critici" caratterizzati da architetture di elaborazione ad alte prestazioni e complessità, siano essi sistemi avionici o di comando e controllo terrestri e navali.

In contesti applicativi particolarmente soggetti ad attacchi cibernetici, il rilevamento tempestivo di situazioni anomale in "*real time*" e le conseguenti azioni di gestione e "*recovery*", sono fondamentali per la salvaguardia delle vite umane, la conservazione della capacità operativa, nonché per la protezione della sicurezza nazionale tesa ad evitare sottrazione di informazioni sensibili. Ne consegue che l'installazione di unità di monitoraggio "passivo", a basso impatto architetturale e prestazionale, rappresenti una valida soluzione in grado di dotare di innovativi strumenti di protezione, in primo luogo le piattaforme aeree attualmente in esercizio, minimizzando i costi di retrofit e di eventuale riqualifica dei sistemi esistenti. Infine le tecniche di rilevamento, analisi ed il trattamento di attacchi *cyber* in "*real time*", verrebbero esaltate in quei contesti dove l'attacco fosse generato durante l'uso operativo, principalmente dall'ambiente esterno, quali ad esempio aeromobili pilotati da remoto, apparati per la segnalazione ferroviaria o autoveicoli con guida automatica.

Conclusioni

Gli obiettivi pianificati in Fase 1 sono stati ampiamente raggiunti, la versatilità del Simulatore Avionico, esteso con le capacità di editare ed attivare dinamicamente *script* eseguibili rappresenta di fatto una sorta "*Cyber Avionic Test Bed*" di laboratorio dove poter verificare l'effetto di attacchi cibernetici sul comportamento dinamico di Sistemi Avionici.

Lo stesso dicasi per la componente di gestione e creazione della base di conoscenza - KCE, in grado di analizzare traffico reale proveniente dai Bus Avionici, ed applicare algoritmi di correlazione e di ricostruzione transazionale, fornendo strumenti di modellazione comportamentale utilizzabili nello sviluppo degli algoritmi di Analisi, Riconoscimento e Gestione della minaccia cibernetica oggetto della Fase 2 attualmente in evoluzione. In tale fase dovrà essere sperimentata e validata l'efficacia degli algoritmi selezionati ai fini di una valutazione delle performance, in termini di tempi di reazione ed affidabilità dei risultati, con l'obiettivo di ridurre al minimo la percentuale di falsi allarmi. Gli studi e le sperimentazioni porranno di fatto le basi tecnologiche per lo sviluppo di un equipaggiamento di bordo "*General Purpose*", con capacità di protezione cibernetica, potenzialmente interfacciabile con differenti dorsali di comunicazione standard (MIL-STD 1553, AFDX, CAN Bus), quindi integrabile su diverse tipologie di piattaforma aerea a costi contenuti.

SIGLE, ACRONIMI, SIMBOLI ED ABBREVIAZIONI

AFDX	Avionics Full-Duplex Switched Ethernet o anche ARINC 664
AMI	Aeronautica Militare Italiana
CYMON	Cyber Monitoring
GGS/RSV	Gruppo di Gestione Software / Reparto Sperimentale di Volo
GPS	Global Position System
ICT	Information & Communication Technology
IFF	Identification Friend or Foe
KCE	Knowledge Creation Environment
PNRM	Piano Nazionale per la Ricerca Militare

PAROLE CHIAVE

Cyber Security, Cyber Avionics, Intelligenza Artificiale, Machine Learning, Reti Neurali, Sistema Avionico

RECAPITI

Numero scheda PNRM: a2017.028
Amministrazione appaltante: Direzione Informatica, Telematica e Tecnologie Avanzate (TELEDIFE)
Ente responsabile del progetto: GYALA S.R.L.
Città, Regione: Roma , Lazio
Titolo e nome del responsabile del progetto: Sig. Nicola Mugnato
Recapiti del responsabile del progetto: Via Adriano Olivetti, 24 00131 Roma
Recapito telefonico del responsabile del progetto: +39 345 2223405
E-mail del responsabile del progetto: nicola.mugnato@gyala.it

Bibliografia

Orly Stan, Yuval Elovici, Asaf Shabtai, Gaby Shugol, Raz Tikochinski, Shachar Kur - Protecting Military. Avionics Platforms from Attacks on MIL-STD-1553 Communication Bus.

R. Patel Cyber Security in Avionics Article Published in May 23, 2017 by Stacey Geiger 88th Air Base WIng Public Affair.

MASTER

Il *Modelling and Simulation as a Service* è uno dei principali argomenti di ricerca affrontati in ambito NATO Modelling and Simulation Group e uno dei pilastri del nuovo concetto che il Comando Alleato per la Trasformazione sta sviluppando sul *next generation simulation*. La metodologia applicata per lo sviluppo dei primi due lotti del progetto MASTER si basa sullo studio per la definizione degli obiettivi di ricerca, sullo sviluppo, integrazione, sperimentazione, test e validazione di un dimostratore tecnologico, e su una fase di implementazione.
Il dimostratore, include una soluzione prototipale basata sul *cloud computing* (OCEAN), in grado di erogare servizi di simulazione a supporto dell'addestramento, esercitazioni e sperimentazione, rendendoli fruibili mediante l'impiego di interfacce software innovative (ADONE), in un'architettura orientata ai servizi. MASTER implementa un caso d'uso per il training manutentivo ed operativo anche in ambienti immersivi di realtà virtuale (MORPHEUS) e un caso d'uso in ambito *Cyber Defence*.
La soluzione resa disponibile presso il NATO *Modelling and Simulation Centre of Excellence*, sarà utilizzabile dall'Amministrazione Difesa, con il lotto 3, per sperimentare possibili implementazioni del concetto di Modellazione e Simulazione a Servizi anche per il supporto ad attività operative in un ambiente di rete NATO *Federated Mission Networking*.

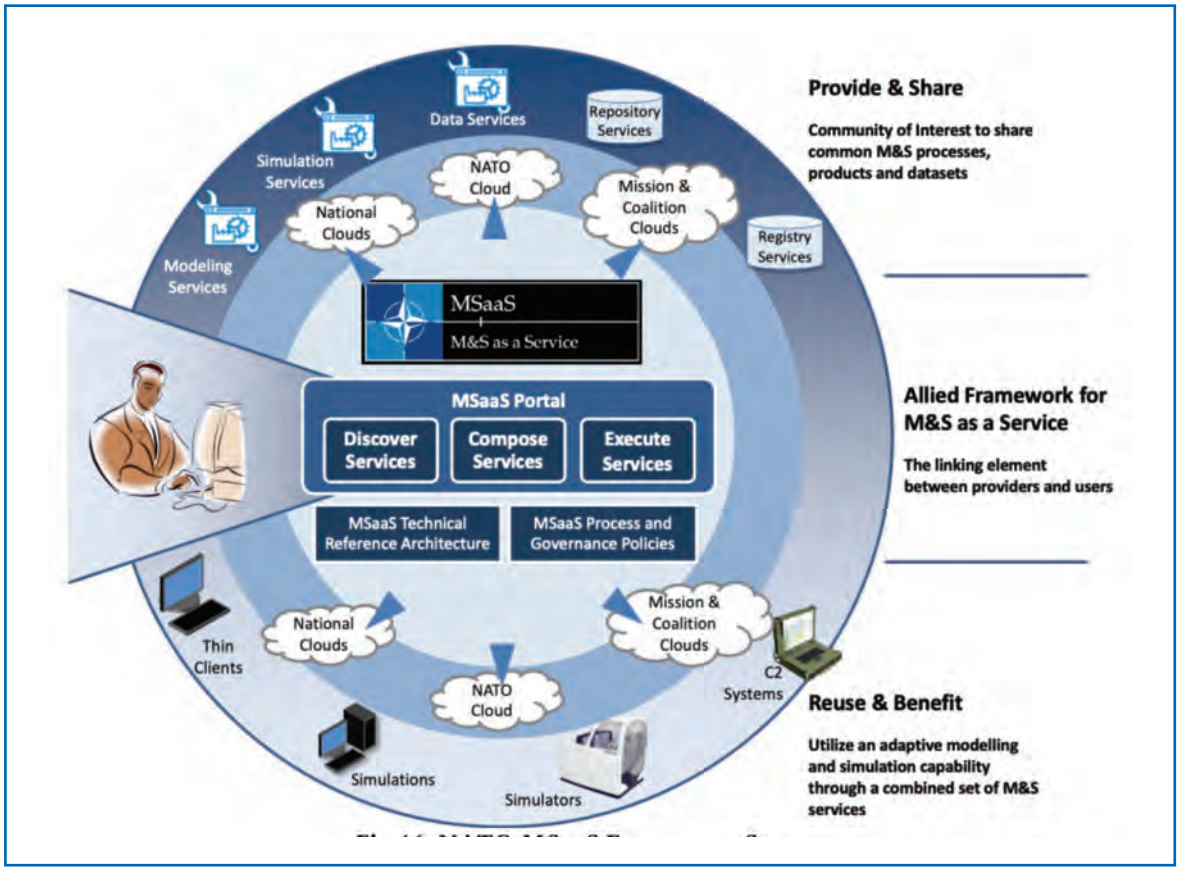


Figura 1 - NATO MSaaS Ecosystem. Source: https://nmsg.sto.nato.int/user/pages/03.themes/07.msaas/03._callout/msaas.png.

Introduzione

L'utilizzo di strumenti di modellazione e simulazione sta assumendo un ruolo sempre più determinante in contesti militari internazionali e interforze, in cui tali strumenti giocano un ruolo fondamentale nella pianificazione, gestione ed esecuzione di attività addestrative, esercitative e di sperimentazione, di supporto all'analisi e all'attività decisionale e più in generale alle operazioni. Il Comando NATO per la Trasformazione e il NATO *Modelling and Simulation Group*, hanno avviato attività di studio, ricerca e sviluppo concetti su possibili implementazioni in ambito difesa di tecnologie M&S di prossima generazione orientate ai servizi e nel 2018 la NATO *Scientific Technology Organization* ha riconosciuto al gruppo di ricerca sull'MSaaS lo *Scientific Award*. MASTER punta a realizzare una piattaforma di *Modelling and Simulation as a Service* che implementi soluzioni innovative (ADONE) basate su tecnologie di *cloud computing* di tipo governativo (OCEAN), integrando tecnologie emergenti e *disruptive* su un *core* architetturale a servizi potenzialmente interoperabile in ambito NATO FMN.

Principale obiettivo di MASTER è dimostrare le potenzialità della soluzione attraverso due casi di studio, che offrono l'opportunità di creare e rendere fruibili applicazioni e servizi di M&S in un ambiente distribuito permanentemente disponibile, in modalità costo-efficacie e di facile utilizzo per gli utenti finali, riducendo il personale tecnico per la gestione e amministrazione dei sistemi, ottimizzando le risorse hardware e software.

Problema individuato e soluzioni tecnologiche

L'impiego di modelli e simulatori in ambito Difesa richiede personale qualificato, sistemi sempre aggiornati, capacità di riconfigurazione di HW, SW e reti dedicati, risorse finanziarie adeguate. L'MSaaS riduce e ottimizza le risorse necessarie aumentando l'efficienza, la fruibilità e la riproducibilità di applicativi, introducendo l'approccio a servizi di simulazione in un ambiente altamente scalabile. Lo sviluppo del progetto MASTER si basa su soluzioni tecnologiche allo stato dell'arte (openstack, bare metal, VMWare NSX, SW automation deployment, 3D graphic streaming, NVIDIA Grid) per l'orchestrazione e il provisioning (Discovery, Composition, Execution) di applicativi e servizi di simulazione utilizzando macchine virtuali e fisiche, containers, reti virtuali e fisiche con lo scopo di integrare applicativi e servizi di si-

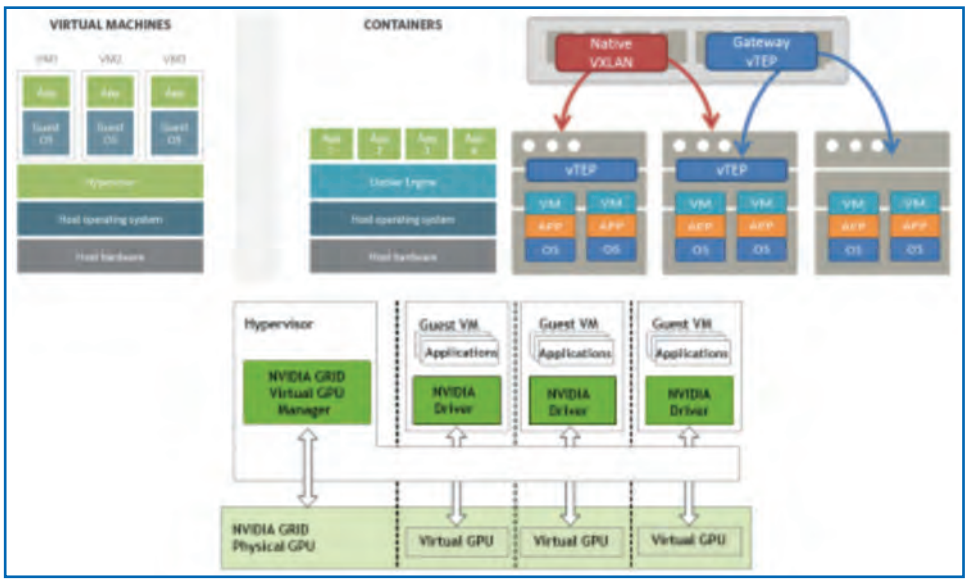


Figura 2
Tecnologie abilitanti MASTER.

mulazione con sistemi reali in uso presso l'A.D. L'ambiente è stato sviluppato tenendo in considerazione specifici requisiti prestazionali e di sicurezza e le specifiche *Federated Mission Networking* (FMN), implementati anche in ambito Difesa.
In tale contesto, l'ambiente è stato sviluppato per:

- dimostrarsi applicabile e certificabile per l'impiego in ambito militare, con particolare riguardo agli aspetti di security;
- essere fruibile e facilmente utilizzabile anche da parte di personale non specializzato per la gestione di ambienti *cloud*, reti, installazione e configurazione software. In particolare, il sistema dovrà guidare l'utente attraverso le fasi di scoperta, composizione ed esecuzione di applicativi e/o servizi a partire da un insieme di assetti disponibili con possibilità di ricomporli in combinazioni differenti in funzione delle attività (es. esercitazioni) da supportare e degli obiettivi (es. addestrativi) da conseguire;
- essere conforme alle esistenti linee guida in ambito internazionale (NATO) sulle tecniche impiegate, allo scopo di candidarsi come un futuro standard di riferimento nella progettazione delle infrastrutture a servizi (MSaaS), auspicabilmente anche in ambito FMN;
- implementare tecnologie emergenti di grafica 3D per applicazioni cloud di Realtà Virtuale (*Virtual Reality* - VR) e immersiva.



Figura 3 - scenario VR per addestramento operatori Radio e Sistemi C2.

Metodologia

Il progetto è stato suddiviso in tre lotti. La metodologia applicata allo sviluppo delle prime due si è basata sullo studio per la definizione degli obiettivi di ricerca (lotto 1), sullo sviluppo, integrazione, sperimentazione, test e validazione di un dimostratore tecnologico (lotto 2), e sulla sua finalizzazione (prevista con il lotto 3).
Gli ottimi risultati conseguiti con le attività di ricerca e studio, con il supporto dell'università di Tor Vergata, hanno permesso l'attivazione e la conclusione, con successo, del secondo lotto che prevedeva la realizzazione di un dimostratore tecnologico (TRL 6). L'attività cruciale è consistita nella progettazione e sviluppo di innovative componenti software (ADONE) e la consegna, installazione, configurazione ed esercizio dell'hardware e dei software previsti, forniti nelle versioni allo stato dell'arte, grazie ad una variante contrattuale.
Sono stati quindi sviluppati due casi di studio ovvero:
MORPHEUS: ambiente immersivo virtuale per l'addestramento e il supporto operativo nella manutenzione di apparati elettronici (*Immersive Maintenance*).



Figura 4 - Immagine Immersive Maintenance (Leonardo).

Cyber Synthetic Environment: servizi per il supporto all'addestramento ed esercitazioni in un ambiente di minaccia cibernetica per Comandanti e staff operanti in posti comando (CPX/CAX) e per personale operante in *security operation centers* e cellule per le operazioni cibernetiche per l'arricchimento della *Recognized Cyber Picture* e della *Cyber Situational Awareness* in ambiente operativo.

Quest'ultimo caso di studio è stato sperimentato con ottimi risultati partecipando ad esercitazioni NATO e internazionali quali CWIX, NATO *Cooperative Demonstration of MSaaS Technology* (CAX FORUM), CETATEA e *Locked Shields*, allo scopo di dimostrare le capacità dei paradigmi del MSaaS e del *Training and Exercise as a Services* e di supporto operativo in ambito *Cyber Defence* e FMN.

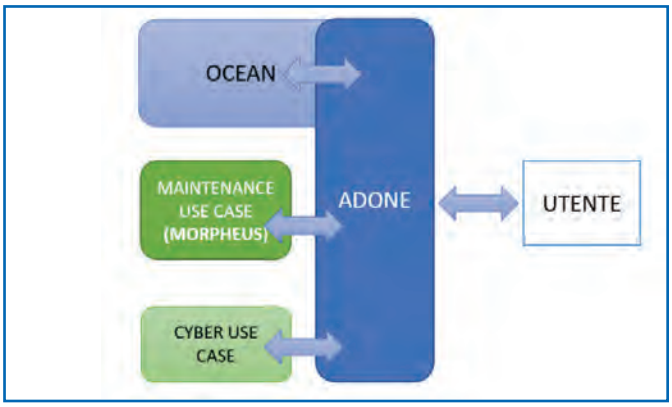


Figura 5 - Immagine Immersive Maintenance (Leonardo).

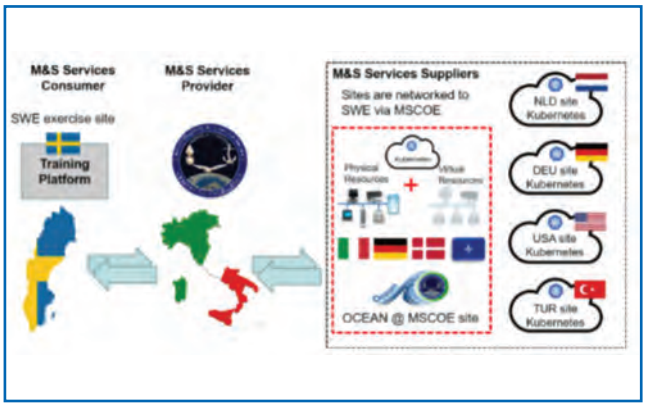


Figura 6 - Architettura MASTER.

Il terzo lotto prevede l'ulteriore sviluppo del dimostratore tecnologico apportando elementi di innovazione ai casi d'uso, e l'addestramento all'impiego dei sistemi per il personale della Difesa. In particolare, proseguiranno le attività di ricerca e studio in ambito NATO che serviranno anche come input per la documentazione finale di progetto con conclusioni e proposte di sviluppi futuri e possibili implementazioni in ambito Difesa di MASTER.

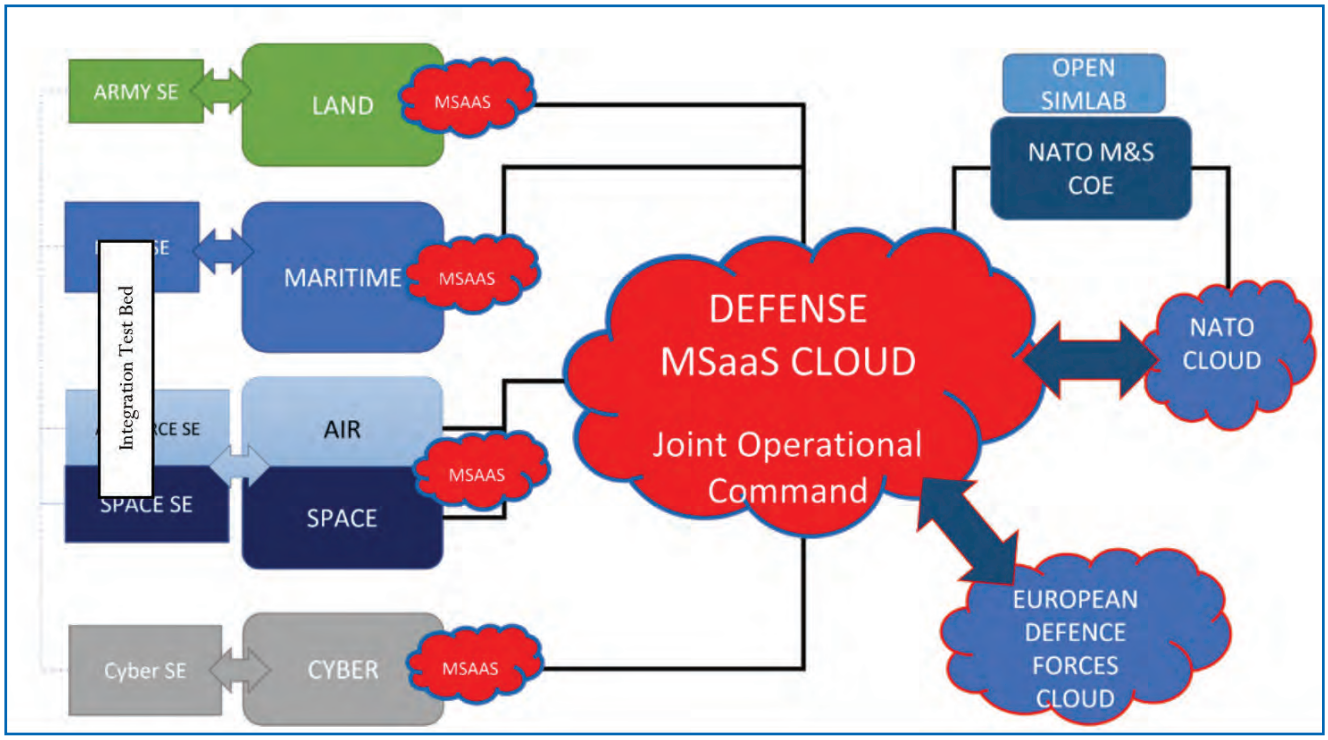


Figura 7 - Concept per un ambiente sintetico multidominio della Difesa.

Potenziali utilizzi e ricadute applicative della tecnologia

L'attività di sperimentazione condotta durante la CWIX in collaborazione con NCIA ha dimostrato la possibilità di implementazione di MASTER, e in particolare della piattaforma OCEAN, per un ambiente sintetico *Federated Mission Networking* per il supporto addestrativo, esercitativo e alle operazioni e con specifiche applicazioni in ambito cibernetico. La stessa NCIA ha riconosciuto la valenza operativa dell'architettura realizzata per i *proof of concept* di una *Cyber Joint Vignette* e per le attività di *rapid deployment* automatico di nodi FMN permettendo una facile integrazione delle *Functional Area Services* NATO con sistemi di C2 nazionali ed esteri, in un ambiente *cross domain*, evidenziando i prodromi per possibili ulteriori sviluppi e verticalizzazioni della soluzione a favore della Difesa.
Le soluzioni tecnologiche implementate con il PNRM MASTER rientrano nella strategia azien-

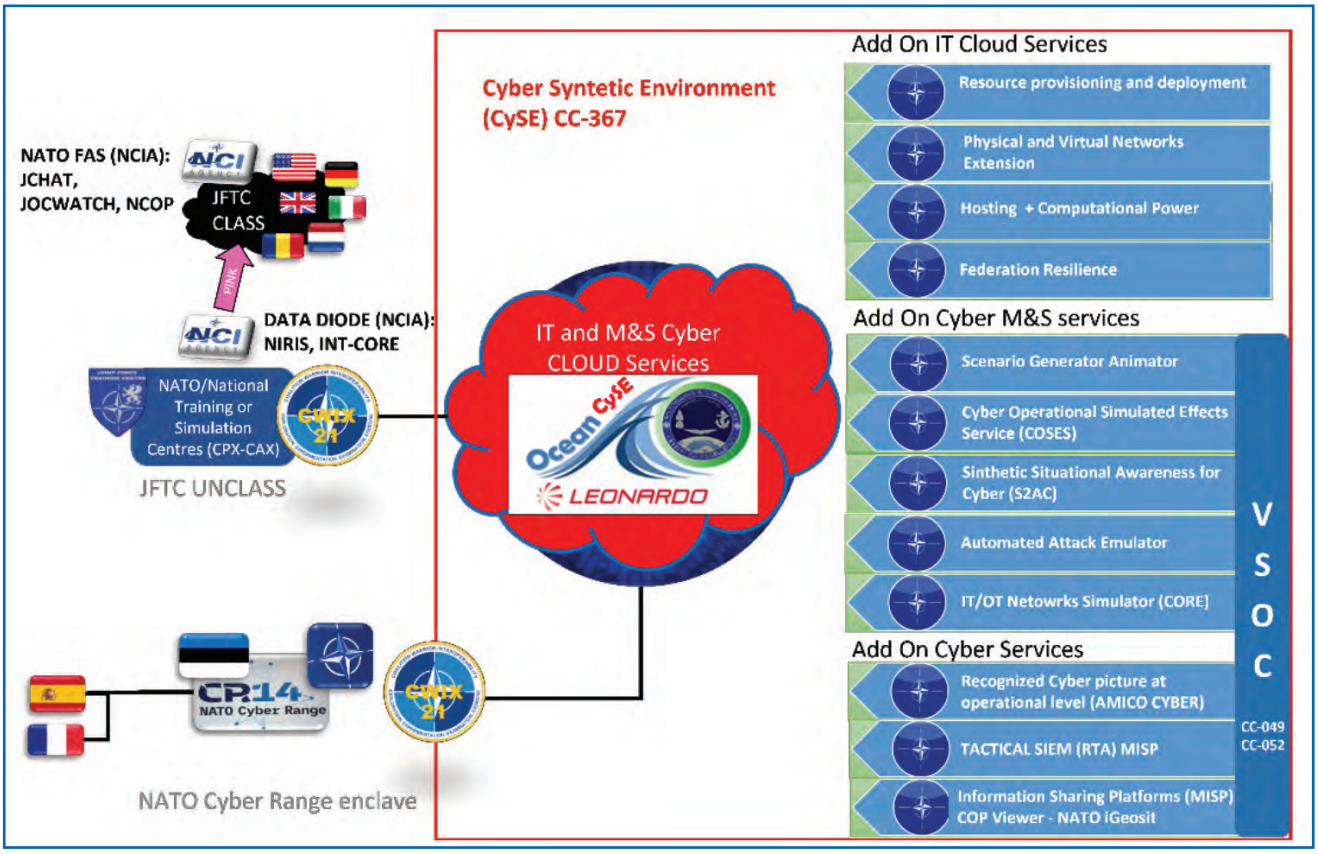


Figura 8 - CWIX 21, OCEAN Cyber Synthetic Environment.

dale di Leonardo che prevede, nel medio-lungo periodo, lo sviluppo di nuovi soluzioni basate sul paradigma Training, Exercise and Experimentation as a service anche in ambito High Performance Computing, Quantum Computing e Intelligenza artificiale, per l'utilizzo della Modellazione e Simulazione a servizi per il supporto decisionale e Operativo. Grazie agli spin-off di MASTER, Leonardo potrà proporsi come fornitore di sistemi complessi e di servizi avanzati, utilizzando tecnologie e business model innovativi, estendendo l'offerta di soluzioni as a service con un migliore posizionamento competitivo sia nazionale che internazionale.

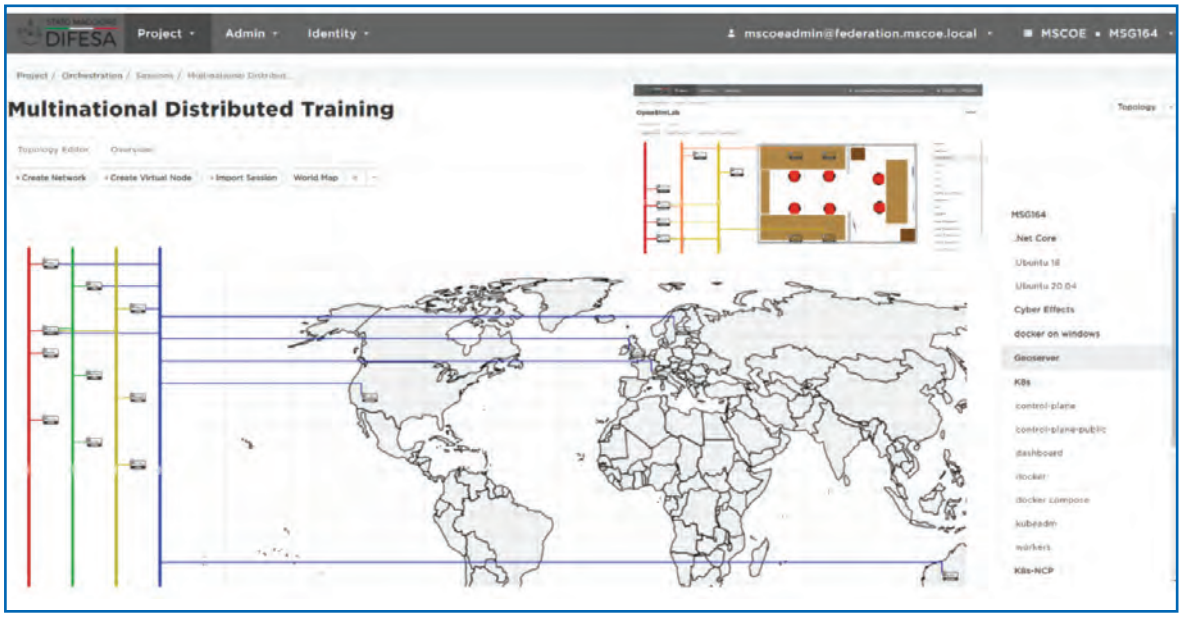


Figura 9 - Architettura MSaaS per applicazioni Distributed Synthetic Training.

Conclusioni

Il programma ha dato risultati molto positivi sotto il profilo tecnico, meritevoli di serio interesse da parte dell'A.D.. La tematica affrontata rientra tra quelle di rilevanza strategica come più volte ricordato nei vari consessi internazionali sia NATO che europei. Inoltre, il programma si è svolto finora con la piena soddisfazione del NATO M&S CoE di Roma, Ente che ha più volte rimarcato i risultati estremamente positivi e promettenti delle sperimentazioni e test effettuati a livello internazionale e NATO, tanto da auspicarne l'attivazione del terzo lotto. A conclusione del secondo lotto si ritiene che i risultati ottenuti dal programma di ricerca siano eccellenti ed in particolare che lo sviluppo del dimostratore, che ha raggiunto complessivamente un livello di maturità equiparabile a TRL 6, abbia soddisfatto tutte le aspettative dell'A.D., stimolando anche l'interesse di partner internazionali nei consessi NATO ed europei. Parallelamente, l'ulteriore sviluppo ad investimento industriale ha consentito all'azienda di attribuire alla sola componente OCEAN, quale *spin-off* del PNRM, la qualifica di prodotto. Presumibilmente, un successivo accreditamento di sicurezza della piattaforma, permetterebbe all'A.D. di acquisire una soluzione *cloud* governativa di simulazione, impiegabile in altri importanti progetti della Difesa.

SIGLE, ACRONIMI, SIMBOLI ED ABBREVIAZIONI

A.D.	Amministrazione Difesa
CAX	Computer Assisted Exercise
CoE	Center of Excellence
CPX	Command Post Exercise
FMN	Federated Mission Networking
M&S	Modelling and Simulation
MSaaS	Modelling and Simulation as a Service
OCEAN	Open Cloud Environment ApplicatioN
PNRM	Programma Nazionale Ricerca Militare
TRL	Technology Readiness Level

PAROLE CHIAVE

Modelling and Simulation, Cloud Computing, Service Oriented Architecture, Cyber, Virtual Maintenance, Maintenance, Training, Exercise, Experimentation, Service Oriented Architecture

RECAPITI

Numero scheda PNRM: a2017.013
Amministrazione appaltante: TELEDIFE
Direttore Esecuzione Contrattuale: Ten. Col. Marco Biagini
Ente responsabile del progetto: LEONARDO S.p.A.
Città, Regione: Piazza Monte Grappa, 4 - 00195 Roma, Lazio
Titolo e nome del responsabile del progetto: Ing. Giovanni TONELLI
Recapiti del responsabile del progetto: Via Tiburtina km 12,4 - 00131 Roma
Recapito telefonico del responsabile del progetto: +39 366 6392373
E-mail del responsabile del progetto: giovanni.tonelli@leonardo.com

Bibliografia

Articoli di rivista:
Picollo M, Faillace C, Bruzzi D, Baglieri R, Bini M, Manfredi L, D'Onofrio S, Biagini M. OCEAN – Simulation & Training as a Service. Polaris Innovation Journal, n. 38 – 2019 (maggio), p. 102-107, Leonardo S.p.A., Roma;
Libri e altre monografie;
Bocciarelli P, D'Ambrogio A. Progetto PNRM MASTER, NATO Modelling and Simulation Group MSG-164, Report Tecnico. Università di Tor Vergata. Maggio 2021;
Biagini M, Picollo M. A Modelling and Simulation as a Service (MSaaS) towards a government solution. Proceeding of ITEC 2019, Stoccolma. Maggio 2019;
Biagini M, Pizzi M, Bruzzi D, Picollo M, Faillace C. Cyber Focus Area Support – Ocean Infrastructure. NATO M&S CoE 2018 Annual Report. Settembre. ISBN 978-88-942906-2-2;
Biagini M, Jones J, La Grotta M, Scaccianoce A, Corona F, Procházka D, Mursia A, Picollo M, Faillace C. Modelling And Simulation As A Service From End User Perspective. NATO M&S CoE 2018 Annual Report Vol. 2. Settembre. ISBN 978-88-942906-2-2, pp. 3-17;
Biagini M, La Grotta M, Corona F, Forconi S, Picollo M, Faillace C. NATO Modelling and Simulation as a Service (MSaaS) – A Comprehensive Approach for Military Operational Requirements Development; NATO M&S CoE 2017 Annual Report, Settembre. ISBN 978-88-942906-0-8, Chapter 4 pp.31-53;
Biagini M, Procházka D, Scaccianoce A. Modelling and Simulation as a Service from End User Perspective. Proceeding of ITEC 2017, Rotterdam, Maggio;
Materiale elettronico:
NATO M&S as a Service, Allied Framework for Modelling and Simulation as a Service (MSaaS); https://nmsg.sto.nato.int/themes/msaas. NATO Science & Technology Organization.

COPERNICO

L'obiettivo del progetto è stato quello di progettare e realizzare una nuova classe di "building block", basata su una piattaforma fotonica integrata in Fosfuro di Indio, in grado di garantire le funzionalità di un "piccolo processore quantistico". Sebbene nel progetto siano stati sviluppati modelli di elaborazione quantistica implementatati su sistemi fotonici integrati, la ricerca punta alla realizzazione di un hardware computazionale parallelo, veloce ed efficiente, che possa essere sfruttato nelle applicazioni di intelligenza artificiale.

Introduzione

La tecnologia quantistica è un modo fondamentalmente nuovo di sfruttare la natura e ha il potenziale per un'innovazione davvero rivoluzionaria. La prossima generazione di prodotti, basati su questa tecnologia, avrà una grande influenza nei settori della difesa, dell'aerospazio, dell'energia e delle telecomunicazioni. Se questo processo continuerà in futuro, la nuova tecnologia quantistica potrà sostituire o almeno integrare quella classica. In particolare, la tecnologia dell'informazione quantistica può supportare modalità completamente nuove di elaborazione delle informazioni basate sui cosiddetti quantum bit o qubit. Il suo impatto finale potrebbe essere pari o superiore a quello del suo predecessore classico.

C'è progresso quasi quotidiano nello sviluppo di tecnologie promettenti per realizzare l'elaborazione dell'informazione quantistica con vari vantaggi rispetto alla sua controparte classica. I Gate logici e le connessioni stanno diventando più piccoli e presto saranno costituiti di pochi atomi.
I fotoni sono insuperabili come qubit in termini di tempi di decoerenza, mobilità e realizzabilità di operazioni a qubit singolo ad alta fedeltà. Oggigiorno, gli esperimenti di entanglement in ottica quantistica hanno raggiunto un'elevata purezza e un processore quantistico ottico avrebbe il vantaggio di connettersi a una "quantum network" senza la necessità di conversione tra qubit di processing e qubit di comunicazione.

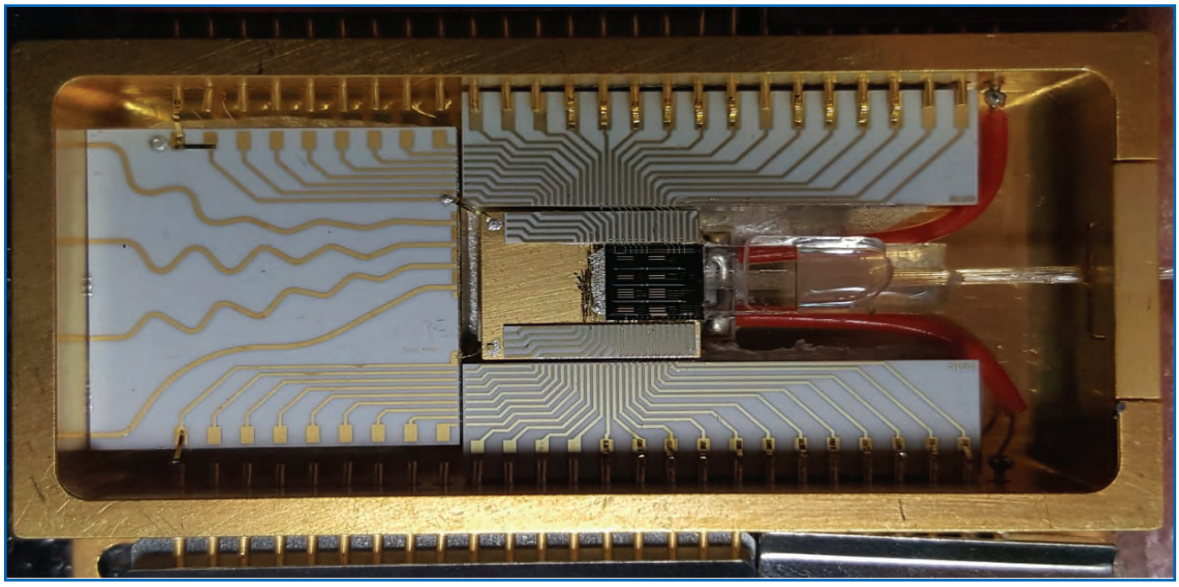


Figura 1 - Entangled State Generator integrato su chip fotonico.

Problema individuato e soluzioni tecnologiche

La Cina afferma di aver realizzato con il processore Zuchongzhi il più potente computer quantistico esistente. Il processore si basa sulla tecnologia dei superconduttori e richiede una temperatura di esercizio prossima allo zero assoluto. Esistono diverse architetture su cui è possibile costruire un computer quantistico, ognuna delle quali si basa su un diverso sistema fisico: il calcolo quantistico può essere effettuato utilizzando trappole ioniche o atomiche, risonanza magnetica, giunzioni di Jopheson, punti quantici, spin nucleare o circuiti fotonici. Ognuna di queste implementazioni fisiche ha le sue peculiarità e limitazioni.

Una prospettiva interessante è relativa alla computazione quantistica che utilizza circuiti fotonici lineari: ha il vantaggio che la più piccola unità di informazione quantistica, il qubit, è potenzialmente esente da decoerenza, ovvero l'informazione immagazzinata in un fotone tende a rimanere invariata. Lo svantaggio è legato al fatto che i fotoni non interagiscono in modo naturale tra loro, quando invece è necessario che ci sia tale interazione per costruire porte logiche a due qubit.

Un modo alternativo per ottenere un'interazione efficace tra i fotoni consiste nell'effettuare una misurazione proiettiva con fotorivelatori. Anche in questo caso c'è una difficoltà legata al fatto che in questo modo le porte logiche diventano probabilistiche.La necessità di scalabilità rende indispensabile la ricerca di sistemi "on chip nanoscale ". I sistemi "on chip nanoscale" basati sulla luce mantengono la promessa di scalabilità per le applicazioni di informazioni quantistiche attraverso l'integrazione e la parallelizzazione di componenti ad alta densità. Il nuovo dispositivo fotonico on chip, sviluppato nell'ambito di COPERNICO PNRM, riduce l'overhead dovuto a più sorgenti di fotoni singoli con un altissimo grado di coerenza reciproca e sfrutta la possibilità di codificare l'intero spazio degli stati in un complesso circuito ottico basato sull'architettura MultiRail : un particolare stato in ingresso è codificato nella sovrapposizione quantistica di un fascio di luce coerente attraverso le diverse guide d'onda, in modo che sia possibile riprodurre gli aspetti matematici e fisici dell'entanglement quantistico.

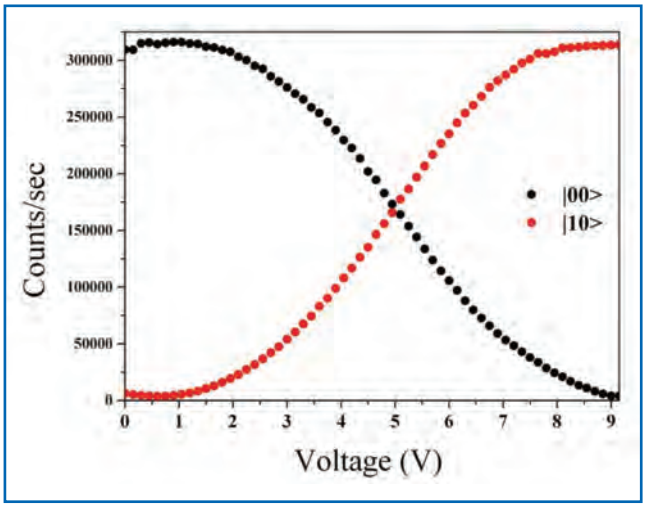


Figura 2 - Discriminazione di stati entangled mediante misura di Bell. Applicando un'opportuna tensione ad un phase-shifter lo stato F^+ viene trasformato nello stato the state F^-. Il chip fotonico permette una misura degli stati di Bell senza ambiguità con una efficienza superiore al 99%. La barra di errore è più piccola delle dimensioni dei punti.

Metodologia

L'utilizzo di una Architettura MultiRail ha permesso di generare il cosiddetto Intra-System Entanglement. In questo modo è stato possibile realizzare dispositivi quantistici che mostrano comportamenti deterministici e non probabilistici, come entangler quantistici e misure di Bell e schemi di teletrasporto (Fig.1-2).

Le misurazioni di Bell, che proiettano congiuntamente due qubit sulla cosiddetta base di Bell, costituiscono un passaggio cruciale in molti protocolli di comunicazione e calcolo quantistico, tra cui la codifica densa, i ripetitori quantistici e il calcolo quantistico basato sul teletrasporto [1-2]. L'architettura Multirail ha fornito una nuova classe di processori quantistici di piccola o media scala (NISQ). Questi processori quantistici, anche se

rumorosi, di piccola o media scala, e non fault-tolerant tolleranti ai guasti, supportano l'esecuzione di algoritmi quantistici euristici, che permettono di ottenere un vantaggio quantistico, ad esempio, se applicati a problemi di ottimizzazione combinatoria. In particolare nel progetto è stato implementato un algoritmo di Quantum Approximate Optimization (vedi Fig.3).

Il Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA) è progettato per funzionare su un computer quantistico basato su gate logici e ha una profondità ridotta. Prende come input un problema di ottimizzazione combinatoria e restituisce una stringa che soddisfa una frazione elevata del numero massimo di vincoli che possono essere soddisfatti. Per alcuni problemi, la versione con la profondità più bassa del QAOA ha garanzie prestazionali dimostrabili sebbene esistano algoritmi classici che hanno garanzie migliori.

Al di là del suo possibile valore computazionale, il QAOA può esibire una forma di "supremazia quantistica" in quanto, sulla base di ipotesi teoriche ragionaevoli, la distribuzione dell'output anche della versione con profondità più bassa non può essere simulata in modo efficiente su nessun dispositivo classico.

Inoltre, sul prototipo di processore implementato nel progetto, sono stati eseguiti diversi esperimenti, ad esempio la dimostrazione sperimentale del Cognitive Bias (Fig. 4).

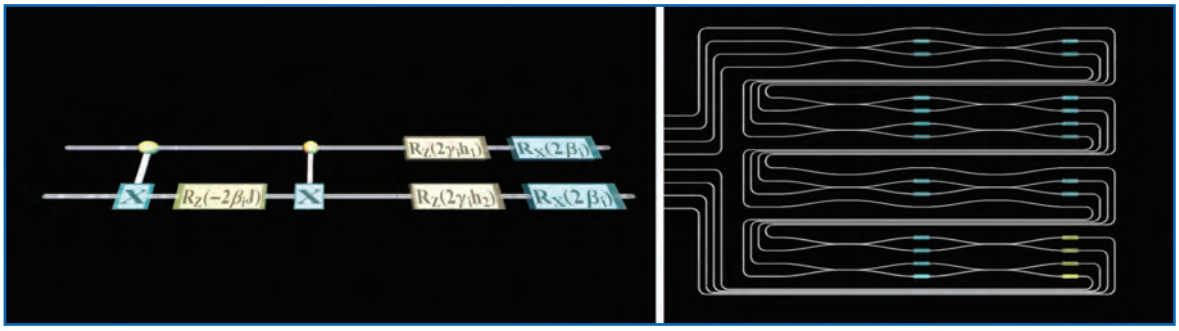


Figura 3 - Entangled State Generator integrato su chip fotonico.

Potenziali utilizzi e ricadute applicative della tecnologia

Le applicazioni a breve termine saranno l'utilizzo del processore come building block per Quantum Key Distribution, come nodo in Quantum Internet, come Trasmettitore/Ricevitore per il collegamento ottico tra velivoli con equipaggio/senza pilota. In particolare si potranno realizzare:

- Processori quantistico di piccole dimensioni per l'indagine accademica sull'intelligenza artificiale basata su Quantum, ma sarà necessario utilizzare una pittaforma diversa dall'InP.
- Un nuovo prodotto di cifratura quantistica per l'implementazione di comunicazione quantistica e protocollo di crittografia e per risolvere il problema della crittografia quantistica wireless (non solo QKD).
- Un generatore di numeri casuali quantistici
- Un Personal Computer Quantistico, un nuovo Programma Olivetti 101: l'architettura superconduttrice non può garantire la diffusione capillare delle tecnologie quantistiche. Solo una tecnologia pratica, che funzioni a temperatura ambiente, embedded in un sistema classico, può vincere la gara quantistica.

La "visione a lungo termine" consiste nel creare "un light-brain riconfigurabile" in grado di apprendere e prendere decisioni autonome. Sebbene ci si sia concentrati sull'elaborazione quantistica, la ricerca dovrà portare ad un hardware basato sui circuiti fotonici integrati, veloce ed efficiente, in grado di supportare i modelli di intelligenza artificiale, ed applicazioni, come guida autonoma, ela-

borazione video live e servizi di cloud computing di nuova generazione.
Dati i recenti progressi nelle guide d'onda in silicio a bassissima perdita e nei rivelatori e modulatori su chip ad alta velocità, l'uso di questa piattaforma tecnologica alternativa potrà garantire altissima densità dei componenti ed una integrazione tra elementi fotonici ed elettronici.

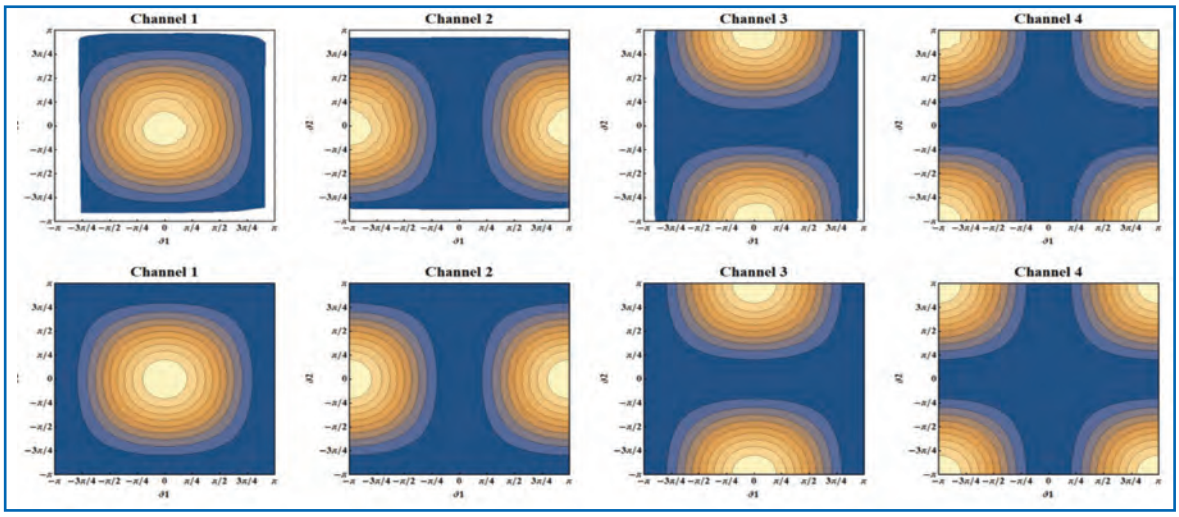


Figura 4 - Dimostrazione sperimentale su chip fotonico Cognitive Bias. In alto) risultati sperimentali; in basso) predizioni teoriche.

Conclusioni

Nel progetto si è dimostrato il funzionamento di sintetizzatori di stati di Bell su chip basato sulla tecnologia InP. Con lo stesso chip è stata eseguita una misurazione Bell non ambigua con visibilità molto elevata. Gli esperimenti di alto livello e i risultati mostrano che si possono progettare e costruire circuiti più complessi con la stessa architettura e tecnologia per eseguire operazioni logiche più complicate. Infine, l'introduzione dell'architettura a MultiRail potrebbe trasformare in realtà un computer quantistico pratico. La ricerca è partita dalla progettazione dei building block, per poi proseguire con la loro ingegnerizzazione e integrazione finale in un primo pototipo di processore quantistico riconfigurabile in grado di eseguire operazioni complesse.
L'architettura è efficiente e può essere estesa a un numero elevato di qubit. L'importante differenza con altri schemi di calcolo quantistico è che non abbiamo bisogno di ripetere il calcolo molte volte con "stati di fotoni singoli", ma è possibile eseguire il processamento in single shot utilizzando un impulso con molti fotoni. Infatti, con questa architettura ogni fotone dell'impulso interagirà solo con se stesso, e contribuirà al risultato totale del calcolo in un unico passaggio. Ad esempio, per completare un'elaborazione con un computer quantistico ottico "convenzionale" è necessario ripetere il calcolo per 1 sec con un clock di 1GHz; con questa nuova architettura possiamo eseguire un calcolo per ciclo di clock: possiamo eseguire 1 Giga di funzionamento al secondo. Un'altra sorprendente proprietà di questa architettura è la possibilità di riconfigurazione del gate: realizza una sorta di FPGA quantistico. Ciò dimostra che, in linea di principio, lo stesso dispositivo può essere utilizzato per implementare diversi algoritmi. Questa caratteristica prevede l'uso di sistemi laser integrati e rivelatori, e l'ingegnerizzazione e la realizzazione di circuiti in grado di eseguire calcoli molto complessi è già possibile con la tecnologia attuale.

SIGLE, ACRONIMI, SIMBOLI ED ABBREVIAZIONI

QKD	Quantum Key Distribution
PIC	Photonic Integrated Circuit
InP	Indium Phosphide
A.I.	Artificial Intelligence
FPGA.	Field Programmable Gate Array
QAOA.	Quantum Approximate Optimization Algorithm

PAROLE CHIAVE

Quantum Information Processing; Quantum Computing; Quantum Entanglement; Quantum Communication; Quantum Materials.

RECAPITI

PNRM number**:** N.168 di Rep. del 18-03-2016 - Repubblica Italiana - Ministero della Difesa
Organization**:** Direzione Informatica, Telematica e Tecnologie Avanzate (TELEDIFE)
Responsible entity**:** Dept.di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria – SAPIENZA University of Rome
Project lead**:** Prof. Fabio Antonio Bovino, Prof. Concita Sibilia
Address: Via Antonio Scarpa, 15-16, 00161 Roma (RM)
Telephone**:** +39 3926339576
E-mail: fabioantonio.bovino@uniroma1.it concita.sibilia@uniroma1.it

Bibliografia

Journal articles:

Fabio Antonio Bovino - Intrasystem Entanglement Generator and Unambiguos Bell States Discriminator on Chip - ICASSP 2019 - 2019 IEEE International Conference on Acoustics,Speech and Signal Processing (ICASSP) - IEEE DOI: 10.1109/ICASSP.2019.8683820(INVITED TALK);

Fabio Antonio Bovino - On chip intrasystem quantum entangled states generator - 2017Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference(CLEO/Europe-EQEC) - IEEE - DOI: 10.1109/CLEOE-EQEC.2017.8086532 (INVITED TALK);

Fabio Antonio Bovino - Practical Quantum Communication and Processing - 2021 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC) IEEE DOI: 10.1109/CLEO/Europe-EQEC52157.2021.9542352 (KEYNOTESPEAKER).

Patents:

Fabio Antonio Bovino EP2543957 - Interferometer and method for controlling the coalescence of a pair of photons (granted);

Fabio Antonio BovinoEP16175834 – "STRUCTURE AND METHOD FOR PROCESSING QUANTUM INFORMATION" (GRANTED).

MMCC

Le Forze Speciali, in tempi recenti, si sono trovate ad affrontare un nuovo tipo di minaccia (diverso rispetto al passato): il requisito operativo è contrattaccare le nuove forze irregolari con la conduzione di missioni particolarmente sensibili e con un uso proporzionato, selettivo e responsabile della forza.
I comandi militari quindi hanno sempre più spesso la necessità di organizzare missioni *ad-hoc* con il minimo preavviso. Conseguentemente diventa fondamentale garantire la disponibilità del miglior assetto nel minor tempo possibile e quindi un sistema modulare a rapida configurabilità, pronto da essere imbarcato sulla piattaforma area, può essere la risposta idonea.
Pertanto, la ricerca delle suddette peculiari capacità risultano essere le fondamenta su cui si basa questa ricerca, con esclusive capacità nazionali, la quale ha previsto ed incluso tutte le fasi, dalla progettazione alla realizzazione di un prototipo in grado di garantire alle truppe infiltrate sul terreno un collegamento continuo con i comandi arretrati, diffondendo dentro l'ombrello dedicato, tutte le informazioni riportate dai sensori, accessibili a tutti gli operatori sul terreno.

Introduzione

Il programma di ricerca ha per oggetto lo sviluppo di capacità organizzative per la conduzione di missioni militari *ad-hoc* con uso proporzionato e selettivo della forza, garantendo la disponibilità del miglior assetto nel minor tempo possibile.
L'obiettivo è stato quello di giungere ad una soluzione di un assetto *multi-mission* altamente modulare, facilmente rispiegabile e destinata all'impiego su velivoli cargo in grado di:

- erogare un sufficiente livello di capacità C&C; aumentare le capacità di «*Situational awareness*» e «*Decision Superiority*»;
- fornire un sistema di supporto alle comunicazioni per la distribuzione delle informazioni tra le forze sul campo.

Il velivolo equipaggiato con il sistema MMCC, orbitando in *holding point*, potrà assicurare una cornice di sicurezza continua, garantendo la sorveglianza elettro ottica ed elettromagnetica di interesse attraverso i sensori EO/IR a bordo del velivolo stesso e coprendo con un ombrello radio, LTE e V/UHF, l'intera area di operazioni.

Problema indivuato e soluzioni tecnologiche

L'obbiettivo del Progetto è stato quello di identificare una soluzione in grado di operare a supporto delle operazioni speciali (SOF), sia nell'ambito di contesti operativi complessi di tipo *Joint & Combined*, sia in modalità di tipo *stand alone* di *Single Service*, condotte autonomamente per ragioni di riservatezza e tempestività; sviluppare e realizzare un prototipo capace di erogare un sufficiente livello di capacità C4ISTAR, permettendo di disporre di un assetto dedicato a supporto dell'operazione, mirato ad aumentare capacità di «*Situational awareness*» e «*Decision Superiority*» sia a livello Tattico che Strategico.

Metodologia

Il sistema sviluppato è composto da 2 differenti sottosistemi: Sistema *Software* di Comando e Controllo: basato su specifico *Framework* Vitrociset ed integrato con la soluzione *Safe Strike*, questa soluzione integra tutte le caratteristiche di una console operativa di C2 per la rappresentazione, delle in-

formazioni sia per il sistema di bordo che per le FS dislocate a terra. La soluzione è stata predisposta ad integrare tutti i sistemi nazionali ed internazionali di *Blue*, *Green* e *Red Force Tracking* e soluzioni di sistemi d'arma come il GUNSHIP;

Infrastruttura elettro-meccanica configurabile, modulare e multi-missione, fissata su *pallet* a *standard* NATO (463L System Pallet - HCU-6/E), realizzato con struttura irrobustita al fine di ottenere un'ottimale efficienza nel fissaggio degli apparati e di evitare perdita di planarità, nel tempo, del *pallet* stesso.

Potenziali utilizzi e ricadute applicative della tecnologia

Il progetto ha raggiunto l'obbiettivo prefissato, in quanto il dimostratore tecnologico realizzato ha previsto l'integrazione, per la maggior parte, di componenti COTS già esistenti sul mercato e/o sperimentate dalle società costituendi il RTI, permettendo quindi una verifica tecnico-funzionale in un contesto operativo simulato "innovativo" e ad elevato valore aggiunto. Infatti è stata dimostrata la totale integrazione e quindi il corretto interfacciamento dei sottosistemi di elaborazione, comunicazione locale e remota, presentazione dei dati all'operatore, dando evidenza che dal punto di vista tecnico il sistema possa rispondere alle esigenze operative prese in carico dal progetto di sviluppo fin dalla prima fase.

Conclusioni

La valutazione finale del risultato conseguito è stata effettuata su un *set* di verifiche indirizzate a validare tutte le componenti del sistema in modalità indipendente e quindi integrata, con particolare attenzione alla fruibilità delle funzionalità previste. Inoltre si vuole qui sottolineare la raggiunta modularità del sistema che, mantenendo ferma la componente "*core*", garantisce un'elevata flessibilità in termini di tipologie di apparati installabili e "*upgrade*" tecnologico, anche nell'ottica di rendere disponibile un potenziale prodotto con un prolungato ciclo di vita a minimo impatto relativamente alle problematiche di obsolescenza.

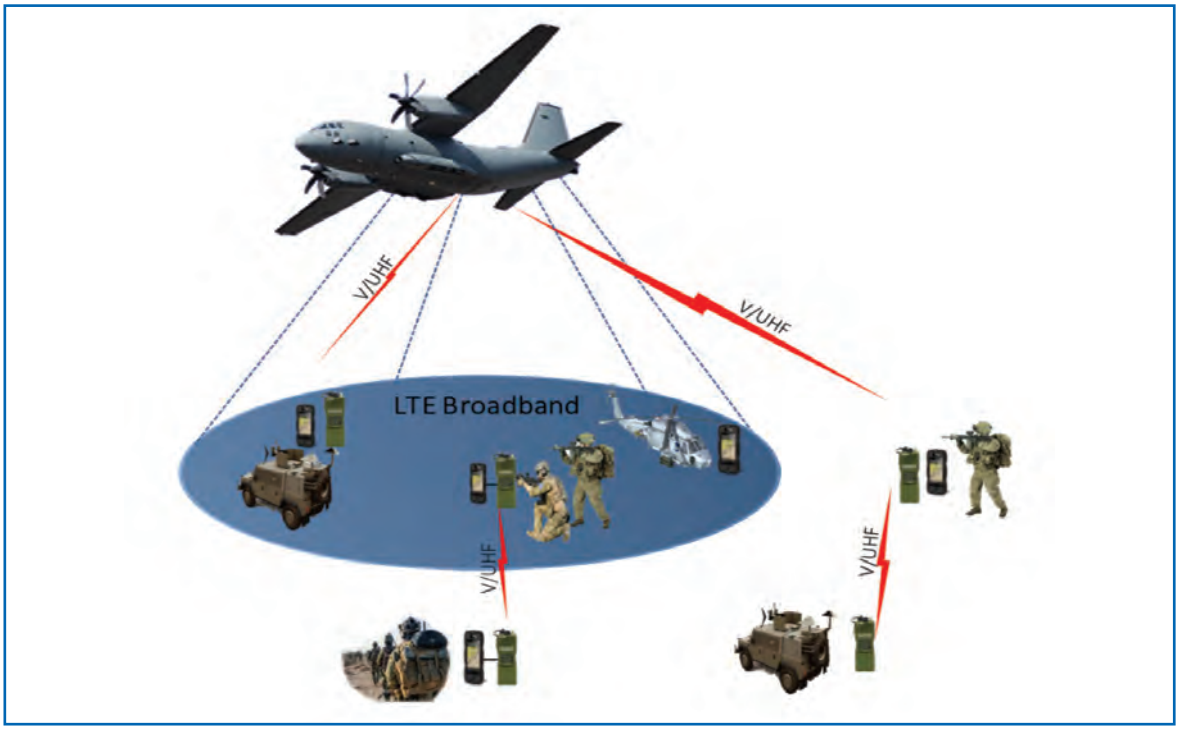


Figura 1 - Scenario operativo di riferimento.

SIGLE, ACRONIMI, SIMBOLI ED ABBREVIAZIONI

MMCC	Multi Mission Command and Control
EO/IR	Eleptro optical/Infra Red
C&C	Comando e Controllo
LTE	Long Term Evolution
V/UHF	Very/Ultra high frequency
SOF	Special Operations Forces
C4ISTAR	Command, control, communications, computers Intelligence, survelliance, target acquisition, reconnaissance
C2	Command, control
FS	Forze Speciali
NATO	North Atlantic Treaty Organization
COTS	Commercial Off-the-Shelf
RTI	Raggruppamento Temporaneo di Imprese

PAROLE CHIAVE

MMCC, Multi Mission Command and Control.

RECAPITI

Numero scheda PNRM: a2017.049
Amministrazione appaltante: Direzione degli Armamenti Aeronautici e per l'Aeronavigabilità (ARMAEREO)
Ente responsabile del progetto: Raggruppamento Temporaneo di Imprese (R.T.I.) costituito da Ditta Vitrociset S.p.A. (mandataria), Ditta ELE.SI.A. S.p.A. (mandante), Ditta REBEL Alliance S.r.l. (mandante).
Città, Regione: Roma, Lazio
Titolo e nome del responsabile del progetto: Sig. Alessio MANIERI
Recapiti del responsabile del progetto: Via Tiburtina, 1020 – 00156 Roma - Italia
Recapito telefonico del responsabile del progetto: +39 0688203140
Email: A.Manieri@vitrociset.it

ACARMA

La manifattura additiva è una tecnologia che nel prossimo decennio avrà un impatto dirompente sul settore aeronautico civile e militare. Al momento, uno dei principali ostacoli per il conseguimento di una certificazione aeronautica accelerata dei componenti così realizzati è dato dall'eccessiva numerosità di prove richieste per tenere in conto l'effetto di tutti i possibili parametri di influenza legati al processo/prodotto. Il progetto ACARMA ha come obiettivo lo sviluppo di una metodologia basata sull'uso della simulazione numerica al fine di disporre di strumenti di previsione in grado di anticipare le condizioni di rottura nei più diversi scenari operativi validati su una base di dati sperimentali contenuta. Nella prima fase del progetto sono state consolidate le conoscenze sul comportamento di due leghe, AlSi10Mg e Ti6Al4V con riferimento ai possibili meccanismi di rottura (cedimento quasistatico, in condizioni dinamiche, a diversi regimi di temperatura, in presenza di difetti e a fatica). Sulla base di queste conoscenze, è stato sviluppato un modello di simulazione processo/prodotto in grado di prevedere il comportamento del generico componente in condizioni di esercizio. Tale modello, infine, è stato validato su prove d'impatto balistico che realizzano condizioni di sforzo diverse da quelli dei test utilizzati per la calibrazione dei parametri.

Introduzione

Nel prossimo decennio l'*Additive Layer Manufacturing* (ALM) sostituirà o affiancherà i metodi più tradizionali di produzione consentendo una riduzione dei tempi, dei costi, e dell'energia necessaria per la produzione di nuovi componenti o per la sostituzione di quelli già in esercizio. Il settore aeronautico, civile e militare, è tra quelli che più beneficerà di tale tecnologia attraverso una produzione *on-demand*, una semplificazione costruttiva dei componenti, l'eliminazione di depositi per lo stoccaggio di materiali e delle parti di ricambio. I componenti realizzati in ALM possono ottenere la certificazione aeronautica purché si dimostri l'uso di valori limiti di progetto appropriati che tengano conto delle variabilità associate ai materiali, alle geometrie e al processo di manifattura (FAA,2015). L'approccio attualmente disponibile, messo a punto per materiali non convenzionali come i compositi, è quello "building-block". Esso consiste nell'acquisire informazioni sugli sforzi ammissibili partendo dalla risposta a livello di provino fino ad arrivare a quella del componente in piena scala. Con il progetto ACARMA è stata sviluppata una metodologia per la definizione di un approccio *building-block semplificato* (BBS) per l'identificazione degli sforzi ammissibili sulla base di una sperimentazione ridotta al fine di accelerare e contenere tempi e costi per il conseguimento della certificazione aeronautica.

Problema individuato e soluzioni tecnologiche

In generale, le proprietà e gli ammissibili sono correlati con la microstruttura la quale, nel caso di materiali stampati, è determinata dal processo di manifattura additiva, dalla geometria del componente e dalla natura delle polveri impiegate. Pertanto, l'elevata numerosità dei parametri che possono influenzare le proprietà risultanti implica che, per una implementazione rigorosa dell'approccio building block, si effettuino un numero proibitivo di test sperimentali con conseguenti

tempi di realizzazione lunghi e costi molto elevati. La soluzione proposta consiste nell'impiego di strumenti di simulazione numerica (per la simulazione di processo) integrati con modelli computazionali per la descrizione del comportamento del materiale (per la previsione degli stati critici e degli ammissibili) opportunamente verificati e validati su una base di dati sperimentali contenuta. In questo modo è possibile realizzare uno strumento per prevedere la risposta del materiale e quindi del componente, nei più diversi scenari operativi, attraverso la stima degli "ammissibili virtuali", ovvero valori limite desunti esclusivamente da simulazione e non da specifica sperimentazione. Con questo approccio si mira ad un cambio di paradigma: sostituire l'approccio building-block, totalmente sperimentale, con un approccio integrato di simulazione multiscala e sperimentazione dedicata. L'approccio proposto è organizzato in tre livelli: il primo, a livello di campione di laboratorio, per la definizione della modellistica del processo/microstruttura/proprietà; il secondo, a livello di componente, per la verifica delle interazioni tra le parti; il terzo, a livello di struttura, per la definizione del lay-out definitivo della parte, (Figura 1).

Metodoligia

Il progetto ACARMA è stato realizzato dall'Università di Cassino e del Lazio Meridionale in ATS con BEAMIT S.p.A., Techdyn Engineering S.r.l. e con il contributo del RTMAS della DASAS. Il progetto è organizzato in due fasi della durata di 12 mesi: la prima è focalizzata sul materiale, ovvero livello 1 dello schema BBS, mentre la seconda a livello di componente, (livello 2 dello schema BBS). Le attività svolte nella fase 1 possono essere riassunte come segue.

Pianificazione e realizzazione di una campagna di prove. Sulla base delle indicazioni fornite dalla DASAS, sono state selezionate due leghe di interesse aeronautico: una lega di alluminio-silicio (AlSi10Mg) ed una lega di titanio (Ti6Al4V). Per ogni materiale sono state effettuate circa 200 prove con l'obiettivo di ottenere le informazioni necessarie all'identificazione del modello costitutivo e dei modelli di rottura per: cedimento quasistatico (stato di sforzo semplice e complesso), cedimento in condizioni dinamiche (anche in considerazione dei diversi regimi di temperatura), cedimento in presenza di difetti, fatica.

Sviluppo di un modello per l'interazione processo-proprietà attraverso l'integrazione di un codice numerico agli elementi finiti (MSC.MARC) per la simulazione del processo di stampa e un codice analitico (JMATPRO) per la determinazione della microstruttura e delle proprietà del materiale ad essa correlate.

Sviluppo di un modello costitutivo per il comportamento meccanico a grandi deformazioni considerando gli effetti di velocità di deformazione (Figura 2), temperatura (Figura 3) e anisotropia (Figura 4) e per la previsione delle condizioni di cedimento (vds. modello di danno Figura 5).

Validazione del modello su prove di impatto balistico con la finalità di verificarne la trasferibilità in condizioni di sforzo diverse da quelli dei test utilizzati per la calibrazione dei parametri (Figura 6).

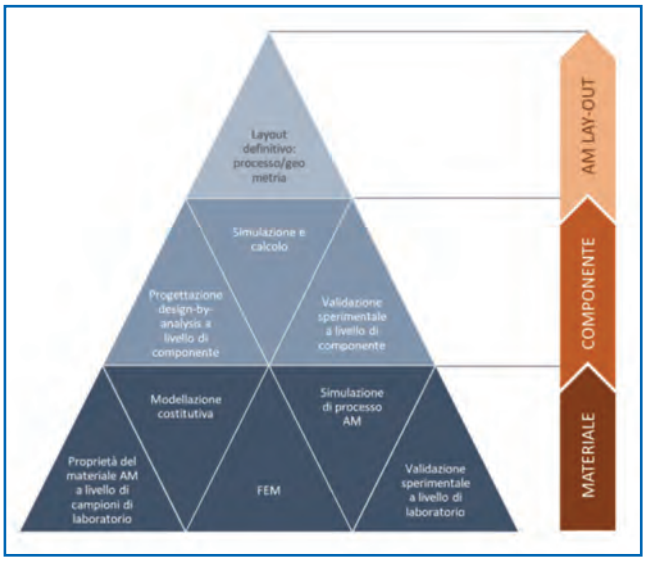


Figura 1 - Approccio BBS per lo sviluppo di una metodologia di progettazione di componenti in ALM.

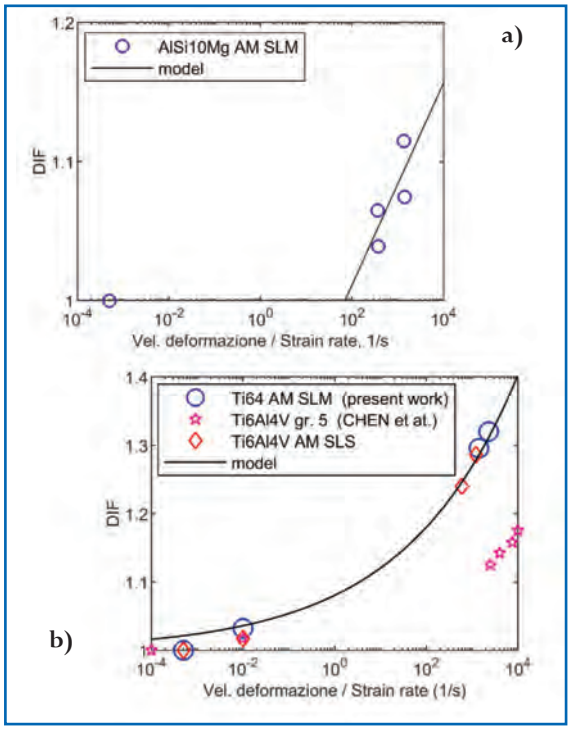


Figura 2 - Effetto della velocità di deformazione: a) AlSi10Mg; b) Ti6Al4V (Il Dynamic Increase Factor (DIF) è lo sforzo adimensionalizzato rispetto al valore quasistatico.

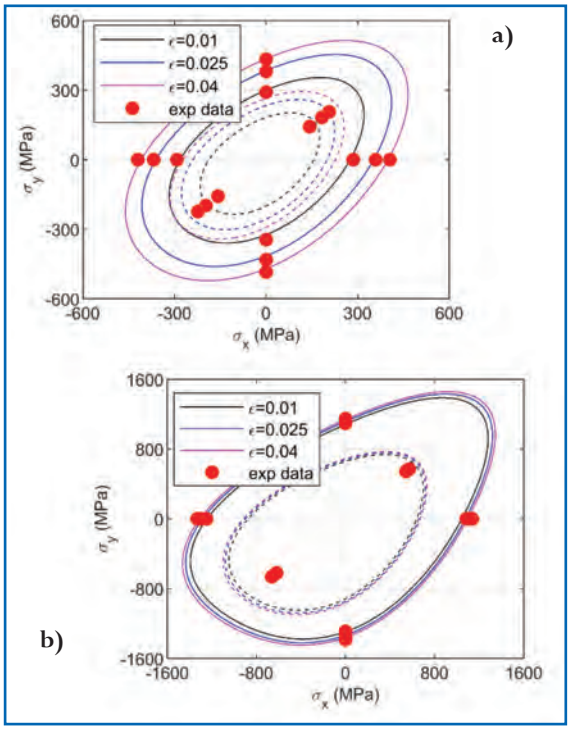


Figura 4 - Superficie di snervamento asimmetriche e anisotrope: a) AlSi10Mg; b) Ti6Al4V.

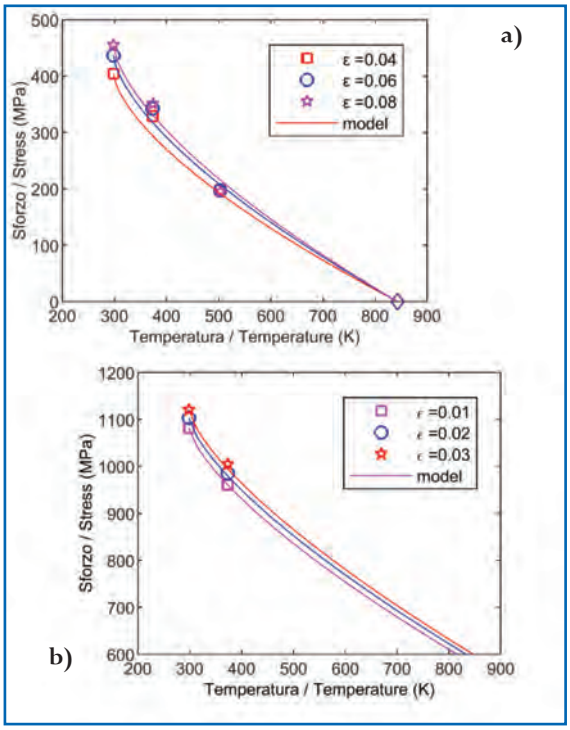


Figura 3 - Valori dello sforzo, a diversi livelli di deformazione, in funzione della temperatura: a) AlSi10Mg; b) Ti6Al4V.

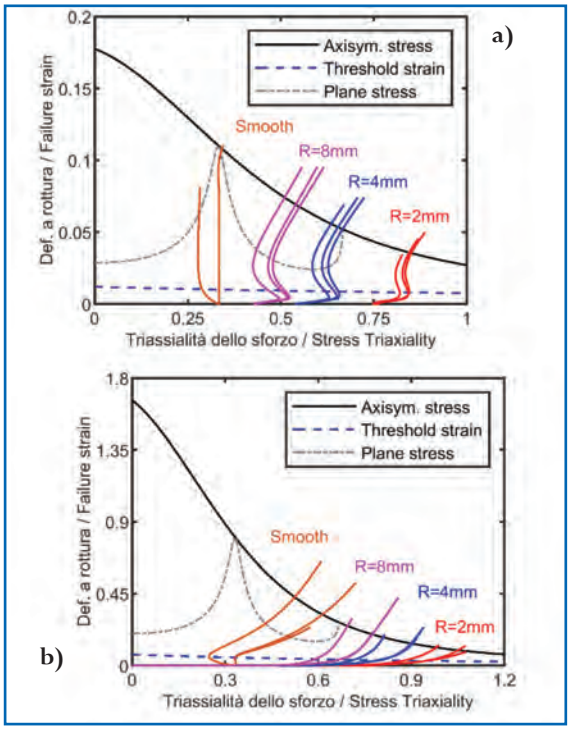


Figura 5 - Failure loci per differenti stati di sforzo: a) AlSi10Mg; b) Ti6Al4V.

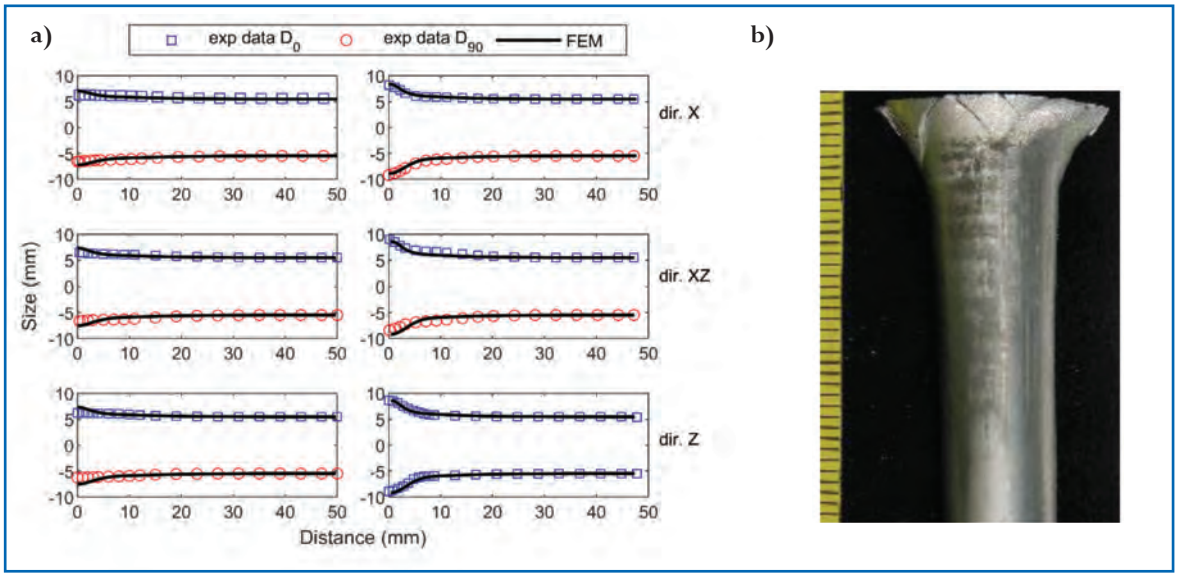


Figura 6 - Taylor Cylinder Impact test (AlSi10Mg): a) confronto tra i profili sperimentali e i profili FEM per differenti velocità d'impatto (~190 m/s a sinistra; ~245 m/s a destra) e build direction; b) innesco di cricche per banda di taglio nella regione d'impatto per provino testato alla velocità di 264 m/s .

Potenziali utilizzi e ricadute applicative della tecnologia

Gli strumenti messi a punto nell'ambito del progetto ACARMA rappresentano un concreto contributo allo sviluppo della capacità di qualificare e certificare rapidamente componenti in ALM. In particolare, il lavoro sviluppato nella fase 1 ha consentito di definire i criteri per la selezione delle tipologie di prove di caratterizzazione effettivamente necessarie per la determinazione degli ammissibili, mentre lo sviluppo di una modellistica verificata e validata ha dimostrato come sia possibile estrarre un ampio numero di informazioni relative al comportamento del materiale a partire da una bassa numerosità di prove sperimentali. Le conoscenze maturate nell'ambito del progetto potranno essere utilizzate per la costruzione di un processo di certificazione accelerato per ulteriori classi di materiali.

Conclusioni

Lo scopo del progetto ACARMA è lo sviluppo e l'implementazione di una metodologia per la caratterizzazione e l'analisi predittiva del comportamento e della resistenza di componenti realizzati in manifattura additiva, finalizzata alla loro certificazione aeronautica. Nella fase 1 del progetto sono state consolidate le conoscenze sul comportamento meccanico di due materiali stampati (AlSi10Mg e Ti6Al4V) con riferimento ai possibili meccanismi di rottura riconducibili sia al processo di stampa sia alle diverse condizioni di stato di sforzo. È stato sviluppato un modello di simulazione processo/prodotto in grado di prevedere il comportamento meccanico, in condizioni di esercizio, del generico componente realizzato in ALM. Uno dei risultati più rilevanti è che, nei componenti a spessore non sottile, le storie di temperatura, che definiscono la microstruttura finale - con

la sola eccezione dei punti prossimi alle superfici libere - non mostrano variazioni significative da punto a punto. Questo risultato, confermato dalle osservazioni sperimentali, smentisce l'affermazione che le proprietà puntuali debbano variare in funzione della posizione. Questa evidenza consente, nel caso di un processo di stampa a parametri congelati, di ridurre la numerosità dei parametri di influenza da prendere in considerazione nella costruzione di un approccio building block, riducendo significativamente il numero delle prove necessarie. Al contrario, la direzione di stampa si conferma essere un parametro essenziale nella variabilità delle proprietà risultanti che, pertanto, deve essere considerato nella (ri)progettazione dei componenti in ottica additive.

SIGLE, ACRONIMI, SIMBOLI ED ABBREVIAZIONI

ALM	Additive Layer Manufacturing
ATS	Associazione Temporanea di Scopo
BBS	Building-Block Semplificato
DASAS	Divisione Aerea di Sperimentazione Aeronautica e Spaziale
RTMAS	Reparto Tecnologie Materiali Aeronautici Spaziali

PAROLE CHIAVE

Manifattura Additiva, Certificazione Aeronautica, Caratterizzazione Meccanica, Modellazione Costitutiva, Modelli di Cedimento, Anisotropia, Alte velocità di Deformazione, Fatica, Simulazione Numerica.

RECAPITI

Numero scheda PNRM: a2017.079
Amministrazione appaltante: Direzione degli Armamenti Aeronautici e per l'Aeronavigabilità (Direzione degli Armamenti Aeronautici e per l'Aeronavigabilità (ARMAEREO),
Ente responsabile del progetto: Università di Cassino e del Lazio Meridionale
Città, Regione: Cassino, Lazio
Titolo e nome del responsabile del progetto: Prof. Nicola BONORA
Recapiti del responsabile del progetto: Via G. Di Biasio, 43, 03043 Cassino (FR)
Recapito telefonico del responsabile del progetto: +39 0776 299 3693
E-mail del responsabile del progetto: bonora@unicas.it

Bibliografia

Cazacu O, Barlat F. A criterion for description of anisotropy and yield differential effects in pressure-insensitive metals. Int. J. Plast. 2004;20(11):2027–45.

Bonora N, Testa G, Ruggiero A, Iannitti G, Gentile D. Modification of the Bonora Damage Model for shear failure. Frattura ed Integrità Strutturale. 2018;12(44):140-50.

Bonora N, Testa G, Ruggiero A, Iannitti G, Gentile D. Continuum damage mechanics modelling incorporating stress triaxiality effect on ductile damage initiation. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures. 2020;43(8):1755-68.

Chen G, Ren C, Qin X, Li J. Temperature dependent work hardening in Ti-6Al-4V alloy over large temperature and strain rate ranges: Experiments and constitutive modeling. Mater. Des. 2015;83:598–610.

Iannitti G, Bonora N, Testa G, Ruggiero A. High-rate characterization of additively manufactured Ti-6Al-4V using Taylor cylinder impact test: Experiments". Material Design & Processing Communications. 2021;3(5):e192.

Summary Report. Joint Federal Aviation Administration-Air Force Workshop on Qualification/Certification of Additively Manufactured Parts. 2016-01-01. Report Number: DOT/FAA/TC-16/15.

Testa G, Bonora N, Ruggiero A, Iannitti G. Flow stress of bcc metals over a wide range of temperature and strain rates. Metals. 2020;10(1):120.

Testa G, Bonora N, Ruggiero A, Iannitti G; Gentile D. Stress triaxiality effect on void nucleation in ductile metals. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures. 2020;43(7):1473-86.

HAWK

Il progetto ha l'obiettivo di sviluppare, realizzare e testare un *jammer* avionico (per installazione su UAV o aerei ultraleggeri) in grado di rendere non operativo il Sistema di navigazione di un UAV tramite *jamming* del suo sistema GPS.
Il progetto si propone di superare alcune limitazioni esistenti nei sistemi e nelle tecniche attualmente in uso per il disturbo del GPS, eseguite attraverso la messa in opera di sistemi terrestri di disturbo del GPS "di area" (cioè che creano una "cupola" di difesa attorno all'area sensibile), oppure con soluzioni tecniche in grado di direzionare il segnale di disturbo verso il mezzo nemico, consistenti in postazioni di *jamming* "fisse" o "fucili *jammer*". Queste tecniche tuttavia non garantiscono *range* operativi superiori a 300m-1Km. Questa limitazione di *range* operativo impedisce che questi sistemi siano efficaci in ottica di prevenzione, cioè in scenari operativi in cui si richiede di intercettare il mezzo ostile prima che esso si avvicini alla zona sensibile, o meglio ancora prima che si avvicini ad una zona abitata, come esemplificato in Figura 1.

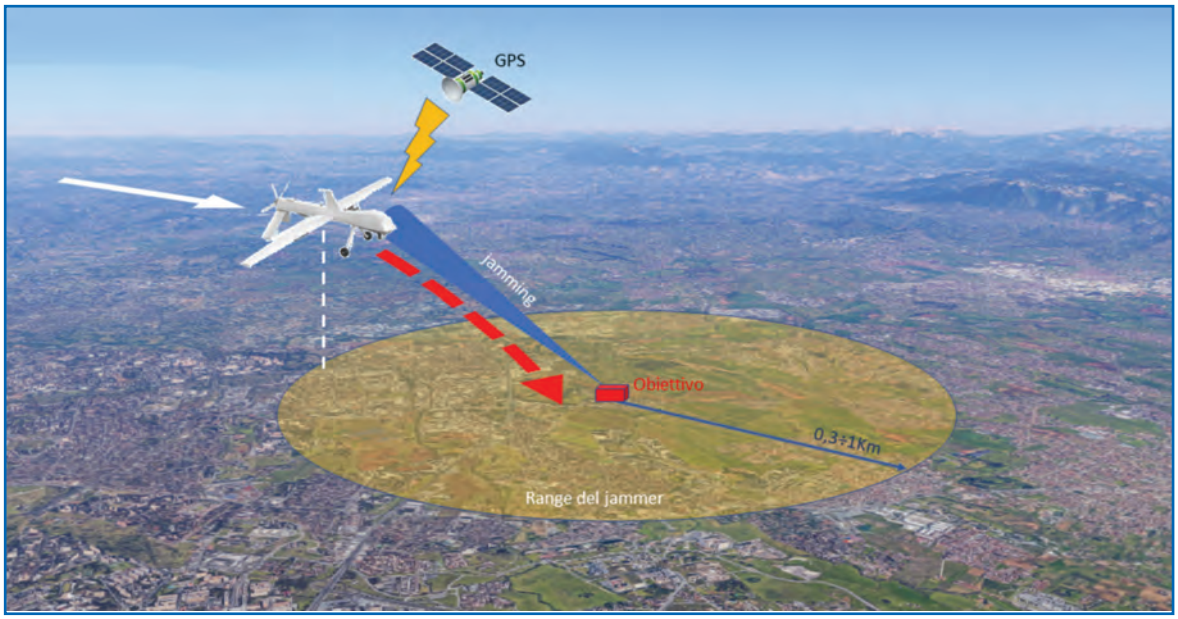


Figura 1 - Scenario tipico di jamming da punto fisso e possibili problemi di efficacia. In questo caso, l'UAV nemico può raggiungere l'obiettivo.

La soluzione proposta in questo progetto, e specificata in questo capitolato, mira a superare queste limitazioni promuovendo lo sviluppo di un jammer installabile su piattaforme aeree (UAV o ultraleggeri), permettendo quindi l'intercettazione del mezzo ostile sin dal suo primo avvistamento e comunque lontano dall'area sensibile, come indicato in Figura 2.

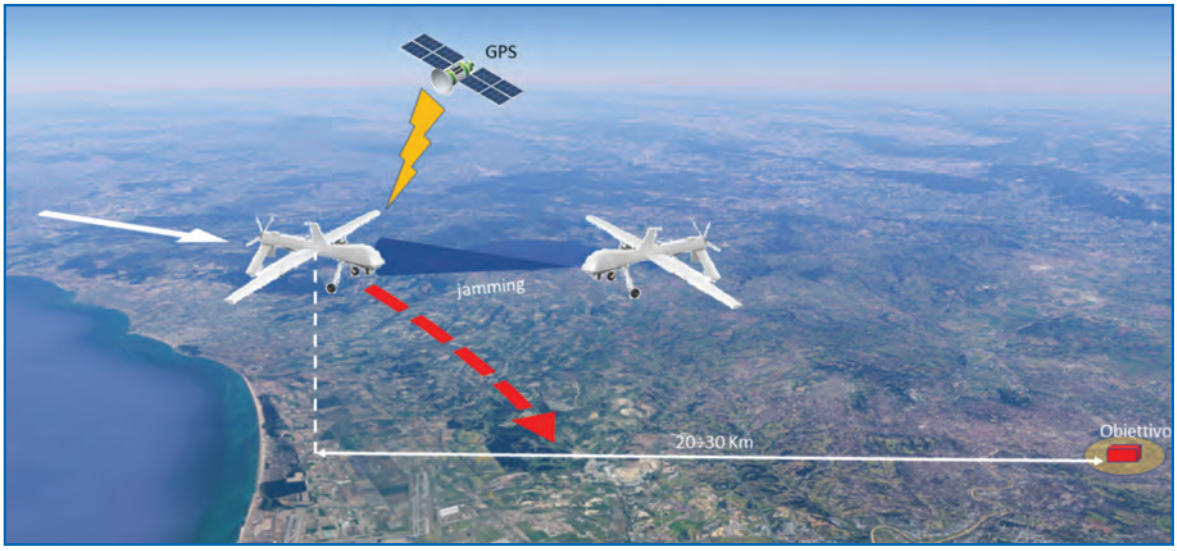


Figura 2 - Soluzione proposta in questo progetto: jamming operato da uno o più UAV jammers e maggiore efficacia operativa perchè effettuato a distanza di sicurezza dall'obiettivo da difendere.

L'innovazione della proposta consiste quindi nello spostare a bordo di UAV o ultraleggeri una capacità che oggi è già sviluppata a livello di prodotto ma operata da punto fisso, cambiandone radicalmente il concetto operativo, basato attualmente sulla difesa di punto. Con questa soluzione, la ricerca e il *jamming* dell'UAV nemico verrebbe condotta lontano dal sito da difendere.

Introduzione

Lo scenario di riferimento identificato per questo progetto è la difesa di aree sensibili da attacchi di UAV ostili, quali, ad esempio, droni lanciati da gruppi terroristici verso bersagli sensibili in ambiente urbano. Il disturbo (*jamming*) del sistema GPS dell'UAV è una risposta efficace in questo ambito, perché può causare, in funzione della complessità del sistema di pilotaggio del velivolo ostile, la sua caduta o il suo *homing*, ovvero il ritorno presso base di partenza, eliminando, in entrambi i casi, la minaccia.

Una delle modalità con cui si può attuare il disturbo, consiste nella messa in opera di sistemi terrestri di disturbo del GPS "di area"; viene cioè creata una "cupola" di difesa attorno all'area sensibile. Questa soluzione ha molte controindicazioni se l'area sensibile rientra in un ambito cittadino; in questo caso, infatti, il disturbo prodotto inficerebbe anche la funzionalità, su una vasta area urbana, dei navigatori satellitari.

Una soluzione alternativa, già attuata, consiste nel direzionare il segnale di disturbo verso il mezzo nemico da postazioni di *jamming* "fisse" o "fucili *jammer*"; in questo caso un operatore, puntando verso il bersaglio da "disorientare" tramite un mirino, può "sparare" un segnale di disturbo del GPS. Al netto della loro validità ed efficacia, gli anzidetti sistemi di disturbo non garantiscono, tuttavia, un *range* operativo superiore a 300m-1Km.

Problema individuato e soluzioni tecnologiche

Alla luce di quanto sopra descritto il sistema proposto, da realizzare nell'ambito del progetto, sarà composto da due unità: un'antenna ed un trasmettitore.

Antenna

Nello studio, allo scopo di valorizzare le caratteristiche di antenna da utilizzare in azioni di volo "*unmanned*", sarà studiata, realizzata e misurata una configurazione che punti a caratteristiche competitive sia in termini di prestazioni elettriche che di ingombro complessivo, facilmente collocabile su di un UAV o veicolo ultraleggero.

Aumento della direttività e riduzione delle dimensioni. Metamateriale (MM)

Un filone particolarmente produttivo dal punto di vista scientifico, che ha generato grande interesse per applicazioni sia in ambito Radar che per telecomunicazioni in generale, è dato dall'utilizzo di configurazioni a metamateriale (MM). Le possibilità rappresentate dai MM spaziano dalla realizzazione di componentistica ad alta frequenza fino alle antenne, con proprietà abbastanza diverse da quelle dei componenti e dei sistemi d'antenna tradizionali, sia nell'ingombro totale che nelle prestazioni.

Le due principali proprietà delle antenne a MM riguardano la possibilità di ridurre drasticamente le dimensioni e di orientare il fascio ed aumentarne la direttività, quindi il guadagno d'antenna. Le antenne che presentino proprietà a MM sono state studiate mediante numerose altre tipologie di elemento base, contemplando sia i già citati risuonatori ad anello, e le varianti derivate dalla stessa geometria, sia strutture periodiche con forme estremamente diverse. Le strutture possono essere anelli sovrapposti in geometria 2D e 3D o schiere di elementi quasi-circolari o ancora strutture multistrato che prevedono geometrie diverse, sovrapposte su più piani.

Le geometrie planari, o realizzazioni che prevedano l'utilizzo di multistrati, sono naturalmente caratterizzate da una maggiore facilità di integrazione. D'altra parte, la combinazione di un elemento che soddisfi per definizione le richieste di potenza, come è il caso dell'antenna *horn*, e di una struttura ispirata al design MM, può garantire migliori prestazioni elettriche, soprattutto nella potenza emessa, a svantaggio dell'integrazione.

Scelta delle configurazioni

Le geometrie degli elementi delle strutture periodiche saranno scelte in funzione delle performance e delle dimensioni dell'antenna da realizzare, e potranno prevedere diverse tipologie dell'elemento di base, oltre all'integrazione fra soluzioni convenzionali e innovative. Ad esempio, oltre alle configurazioni introdotte nelle figure precedenti, una caratteristica da verificare come possibilità realizzativa sarà data dal caso delle strutture planari con la presenza di configurazioni a MM sovrapposte a patch ordinari; questa disposizione può fornire come risultato una lente che migliori le proprietà di focalizzazione del fascio.

Trasmettitore

Il trasmettitore sarà l'unità responsabile di generare il segnale di *jamming* trasmesso attraverso l'antenna. Esso sarà composto da componenti *Commercial off-the-shelf* (COTS), a radiofrequenza e digitali fra cui:

Schede digitali (*digital board*), che comprendano i seguenti componenti principali:

CPU su cui implementare il *software* di controllo del sistema e di gestione delle interfacce;

FPGA su cui implementare il *Firmware* di generazione della forma d'onda di *jamming*.

Componenti radiofrequenza, in particolare un amplificatore di potenza (*High Power Amplifier*) che permette di amplificare la forma d'onda di *jamming* alla potenza di trasmissione desiderata

Metodologia

Il progetto HAWK si propone di superare le limitazioni di cui al punto precedente, promuovendo lo sviluppo di un *jammer* installabile su piattaforme avioniche, permettendo quindi l'intercettazione del mezzo ostile sin dal suo primo avvistamento e, comunque, ben lontano dall'area sensibile.

Potenziali utilizzi e ricadute applicative della tecnologia

L'indiscutibile crescita dell'utilizzo dei sistemi UAS, sia in campo civile che militare, rende interessante l'approccio del presente progetto che, tuttavia, considerato lo stato dell'arte, risulta innovativo soprattutto nella parte riguardante la miniaturizzazione dell'antenna ottenuta per mezzo dei meta materiali. Non si ravvisa invece una notevole innovazione dal punto di vista del *jammer* GPS stand alone così come descritto; molto più incisivo, e meno simile a quanto già esistente, sarebbe un sistema integrato, tale da consentire il tracciamento, l'inseguimento e il disturbo di un UAV ostile (*Hunter Killer*). Il programma consente di acquisire le tecnologie autonomamente volte a realizzare un apparato di *jamming* per UAV.

SIGLE, ACRONIMI, SIMBOLI ED ABBREVIAZIONI

ADC	Analog to Digital Converter
CPU	Central Processing Unit
COTS	Commercial off-the-shelf
DAC	Digital to Analog Converter
EMI	Electromagnetic Interference
FPGA	Field Programmable Gate Array
GPS	Global Positioning System
J/S	Jamming to Signal ratio
MM	Metamaterial
TRL	Test Readiness Level
SoM	System-on-Module
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UCAV	Unmanned Combat Aerial Vehicle

RECAPITI

Numero scheda PNRM: a2017.026
Amministrazione appaltante: Direzione degli Armamenti Aeronautici e per l'Aeronavigabilità (ARMAEREO)
Ente responsabile del progetto: Associazione Temporaneo a Scopo formata dalla Ditta ITS (*Information Technologies Services*) s.r.l. con sede a Roma e dall'IMM (Istituto di Microsistemi e Micromateriali del CNR) con sede a Catania
Titolo e nome del responsabile del progetto: Ing. Mario FRANCESI
Recapiti del responsabile del progetto: Via Monte Santo, 2, 00195 Roma
Recapito telefonico del responsabile del progetto: +39 06 3215001

RESUMO

La perdita massiccia di tessuto muscolare, conseguente a gravi traumi o ad ablazione chirurgica, è una condizione patologica che impedisce la rigenerazione del muscolo scheletrico, il quale possiede notevoli capacità di riparare danni tissutali ma solo quando limitati nelle dimensioni. Le attuali terapie chirurgiche utilizzate nel trattamento di questa patologia, che riguarda in particolar modo il personale militare, non forniscono ancora risultati soddisfacenti. Proponendo l'approccio dell'ingegneria tissutale, già dimostratosi efficace nella ricostruzione di danni muscolari estesi nei modelli murini, lo scopo di questo lavoro è la validazione di un modello suino di perdita muscolare massiccia da utilizzare nello sviluppo di una terapia ricostruttiva basata sulla Bio-stampa 3D di cellule staminali autologhe. A questo scopo, è stato chirurgicamente asportato parte del muscolo *peroneo terzo* nel modello suino *Sus scrofas domesticus*, e il processo riparativo è stato monitorato nei seguenti 6 mesi tramite analisi ecografiche, istologiche e in fluorescenza. Il modello messo a punto in questo studio ha dimostrato di essere valido nella riproduzione della perdita massiccia di tessuto muscolare, in quanto mostra l'incapacità del muscolo di rigenerare in seguito a danni estesi e la formazione di un tessuto di granulazione, cicatriziale a sostituzione del sito di danno.

Introduzione

Nei vertebrati esistono tre distinti tipi di tessuto muscolare: cardiaco, liscio e scheletrico; quest'ultimo, in particolare, permette di svolgere attività fondamentali per il normale svolgimento della vita quotidiana, come camminare, mantenere una postura corretta e parlare. A causa del suo uso intenso, nonché della sua ampia estensione all'interno del corpo, l'integrità del tessuto muscolare scheletrico è, purtroppo, soggetta a continue sollecitazioni[1]. Danni importanti come lesioni traumatiche, malattie degenerative o ablazioni chirurgiche possono portare a una massiccia perdita di tessuto muscolare (VML, Volumetric Muscle Loss). Ciò potrebbe comportare una perdita permanente di massa muscolare che riduce o, nei casi peggiori, compromette totalmente la funzione muscolare impattando in maniera importante sulla vita delle persone colpite. La VML è una condizione patologica comune che colpisce in particolare il personale militare, dove rappresenta una delle principali tipologie di lesioni invalidanti riportate sul campo di battaglia. Il progetto RESUMO mira a caratterizzare il processo di autoriparo del danno da VML nel modello animale Sus scrofas domesticus: lo sviluppo di un modello valido di VML è la prima fase fondamentale di un progetto più ampio che si prefigge lo scopo di sviluppare una tecnologia terapeutica per la ricostruzione muscolare tramite l'utilizzo della bio-stampa 3D.

Problema individuato e soluzioni tecnologiche

Le terapie attualmente disponibili per la VML si basano su interventi chirurgici volti a ridurre al minimo le ferite piuttosto che l'amputazione quando non è possibile salvare l'arto. La procedura consiste principalmente nel trapianto di lembi muscolari trapiantati da un'area donatrice a una ricevente. Purtroppo i risultati ottenuti con queste metodiche in termini di ripristino della massa e della funzionalità muscolare sono ancora del tutto insoddisfacenti. Per questo motivo è

sempre più necessario lo sviluppo di terapie ricostruttive alternative. Pertanto, il lavoro presentato, si è concentrato su un nuovo approccio terapeutico che sfrutta tecnologie innovative, come l'ingegneria tissutale, volte a sviluppare costrutti in grado di guidare la rigenerazione di tessuti e/o organi danneggiati. I costrutti, composti da cellule staminali e biomateriali, sono fabbricati utilizzando una tecnica all'avanguardia, la bio-stampa 3D, la cui efficacia è già stata dimostrata in esperimenti condotti su modelli murini.
Tuttavia, l'applicazione di questo approccio nell'uomo comporta notevoli complicazioni associate all'importante aumento delle dimensioni del tessuto da sostituire (scalabilità). Grazie alla fisiologia muscolare e alle dimensioni comparabili tra uomo e maiale, l'attenzione si è quindi focalizzata sullo sviluppo di un modello suino di VML al fine di testare questa strategia ricostruttiva muscolare su un modello più simile all'uomo in termini di dimensioni muscolari. Il lavoro descritto nel seguente articolo si inserisce in questo contesto e mira a dimostrare la validità di un modello suino che ha subito l'ablazione chirurgica di un'ampia area muscolare, come modello di VML da utilizzare nel progetto di ingegneria tissutale (Figura 1). A tale scopo sono state effettuate analisi morfologiche, istologiche e di fluorescenza sul tessuto cicatriziale formatosi in seguito all'ablazione chirurgica del muscolo *peroneo terzo* suino.

Metodologia

In questo studio, parte del muscolo *peroneo terzo* è stato asportato in sala operatoria, a 4 mini-pig, sotto la supervisione di anestesisti veterinari (Figura 2). Un animale non è stato operato in modo da essere considerato il controllo sano. Le dimensioni del danno muscolare sono state monitorate mediante esami ecografici a 30, 60, 90 e 150 giorni dalla rimozione del muscolo. Gli esiti degli esami effettuati ha evidenziato la sostituzione della sede lesa con un tessuto autologo che appare disorganizzato e granulare rispetto alle fibre muscolari circostanti (Figura 3). Tale tes-

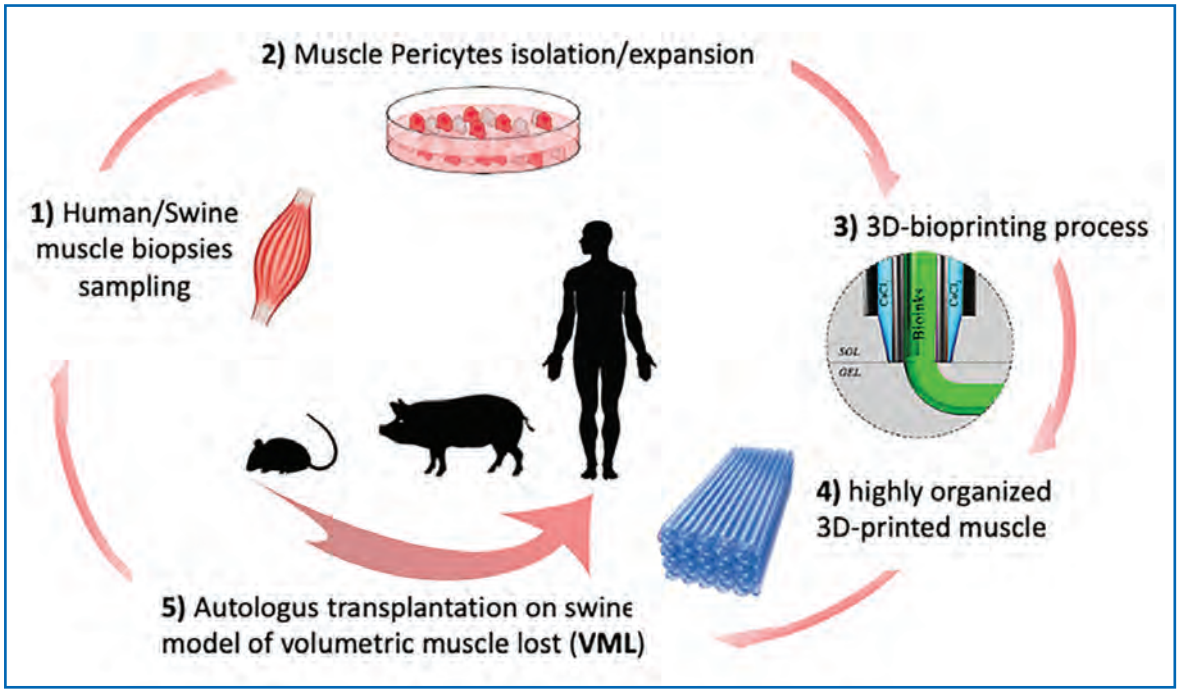


Figura 1 - Rappresentazione grafica dell'Idea progettuale di RESUMO per lo sviluppo di una biotecnologia ricostruttiva utilizzando la bio-stampa 3D.

suto è stato periodicamente analizzato mediante biopsia ecoguidata, di cui sono state ottenute colorazioni istologiche per una rapida diagnosi che ha evidenziato tessuto cicatriziale (Figura 3). Per valutare il livello di infiammazione nel sito del danno, i campioni ottenuti dalle biopsie sono stati analizzati mediante immunofluorescenza marcando l'infiltrato macrofagico, che è stato valutato e quantificato come riportato nel grafico in Figura 4, mostrando un'elevata infiltrazione di macrofagi a tempi precoci e una progressiva diminuzione a tempi tardivi, fino al ritorno a livelli basali a 150 giorni dopo il danno (Figura 4). Infine, per valutare se il processo riparativo in seguito a VML fosse in grado di rigenerare nuovo tessuto muscolare, le sezioni ottenute dalle biopsie a diversi tempi sperimentali sono state analizzate mediante colorazione istologica, mostrando esclusivamente formazione di tessuto cicatriziale inseguito a danno da VML. Il muscolo *peroneo terzo* non è quindi in grado di rigenerare, mostrando nel sito del danno esclusivamente tessuto di granulazione.

Potenziali utilizzi e ricadute applicative della tecnologia

La validazione del modello suino VML rappresenta il punto di partenza nello sviluppo di una terapia biotecnologica basata sulla combinazione di cellule staminali autologhe e bio-stampa 3D per la ricostruzione muscolare nell'uomo. Le analisi morfologiche condotte mediante colorazione istologica hanno evidenziato la formazione di tessuto cicatriziale ben distinto dal tessuto muscolare di controllo e quindi l'assoluta mancanza di rigenerazione muscolare autologa. Dopo questo primo passaggio, i risultati preliminari che abbiamo ottenuto sfruttando i periciti murini e umani - cellule staminali perivascolari che mostrano robuste capacità proliferative e miogeniche - indicano che queste cellule possiedono un potenziale ottimale per gli scopi che si prefigge l'ingegneria tissutale. In particolare, in virtù della staminalità, rappresentano un'ottima popolazione cellulare per lo sviluppo di costrutti biostampati per l'ingegneria tissutale del muscolo scheletrico. Inoltre, è già stato dimostrato che la tecnica della bio-stampa è una strategia di deposizione ottimale per replicare l'architettura del muscolo scheletrico. Quindi, presi insieme tutti questi dati, dimostrano che l'uso dell'ingegneria tissutale per il recupero del muscolo scheletrico potrebbe presto rappresentare una valida strategia per rimediare all'esito drammatico e irreversibile dovuto a traumi da VML nell'uomo.

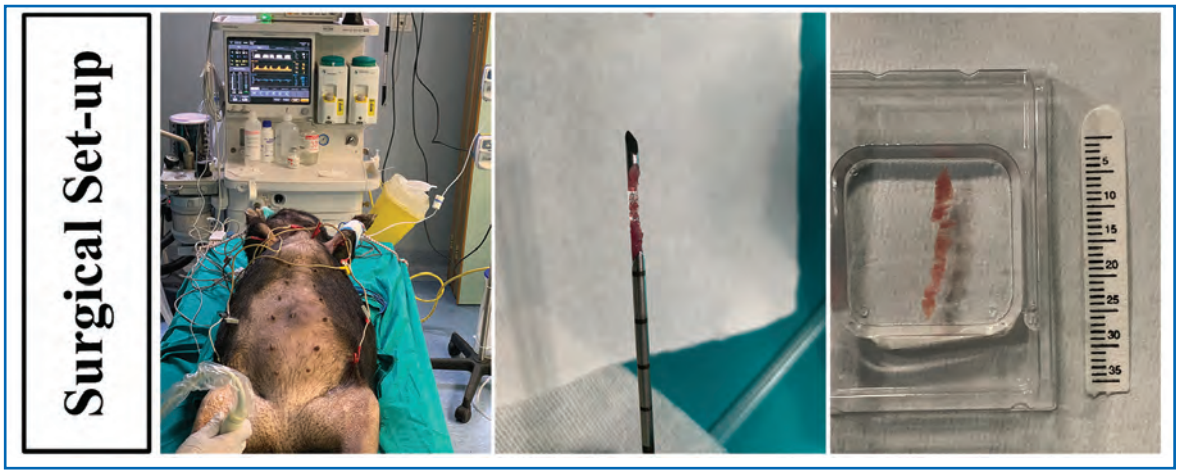


Figura 2 - Set-up chirurgico, ago bioptico e inclusione di una biopsia in OCT.

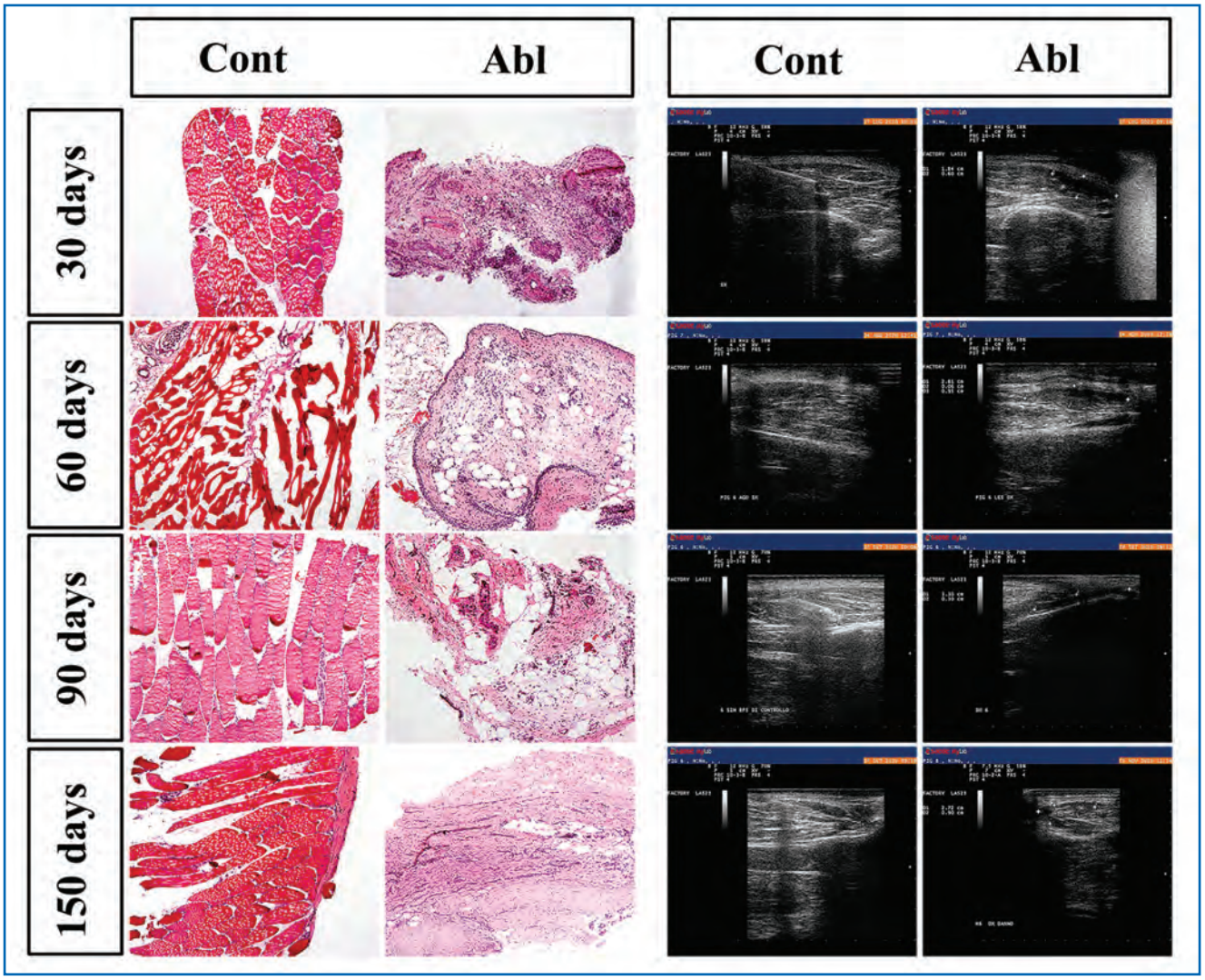


Figura 3 - Pannello di sinistra: sezioni di controllo e di biopsie di muscolo ablato colorate con H&E a 30, 60, 90 e 150 giorni dopo la lesione muscolare, i nuclei sono colorati in viola. Pannello di destra: esami ecografici dopo l'asportazione chirurgica del peroneo terzo (3X2x1 cm). L'area di ablazione è nera perché vuota a 30 giorni, a differenza delle fibre muscolari bianche e ordinate nel controllo. A 60, 90 e 150 giorni dopo l'ablazione, la lesione si riempie di tessuto disorganizzato e granulare.

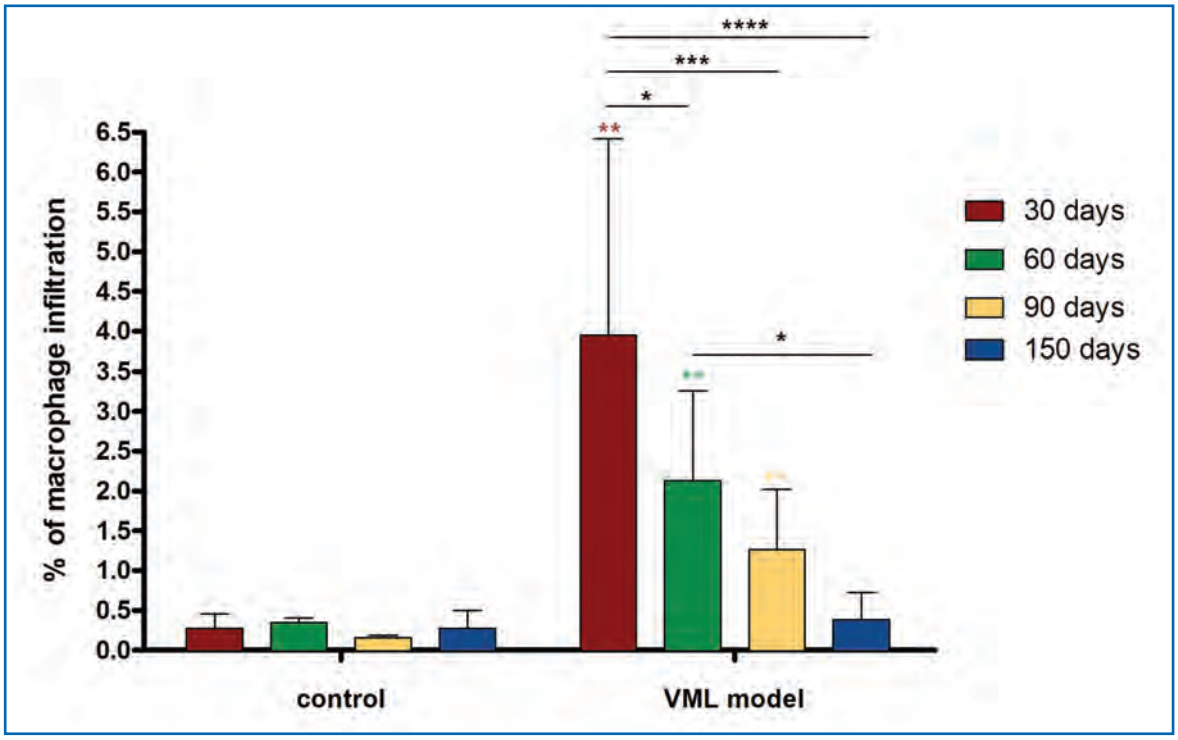


Figura 4 - Valutazione della percentuale d'infiltrato macrofagico a differenti tempi sperimentali dopo immunomarcatura con F4/80.

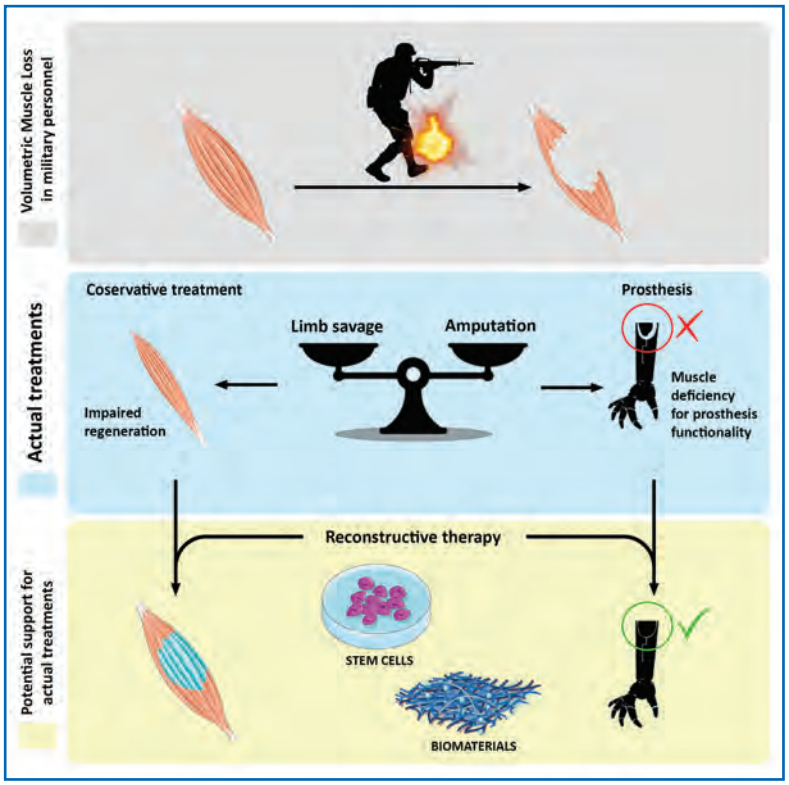


Figura 5 - Rappresentazione schematica dell'applicazione dell'approccio ricostruttivo proposto da RESUMO. (Immagine da Testa et al., 2021 Biomedicines. 2021 May 18;9(5):564)

Conclusioni

Sebbene siano stati compiuti grandi progressi nella scienza medica militare riguardo la *VML* negli ultimi 20 anni, esistono ancora diversi problemi che complicano il trattamento di questa grave patologia: come la morbidità del sito donatore dei lembi muscolari o la riduzione del tessuto muscolare funzionale nella presa protesica (Figura 5). Nel tentativo di compiere un passo in avanti in questo ambito, in questo lavoro viene dimostrato come, inseguito all'ablazione di una porzione del *peroneo terzo* delle dimensioni di 3x2x1 cm nel modello suino di *mini-pig*, avviene la formazione di un tessuto cicatriziale, granuloso e privo di fibre muscolari rigeneranti, che sostituisce progressivamente l'area danneggiata. I risultati ottenuti, che riproducono quanto accade nel muscolo scheletrico a seguito di una perdita tissutale massiccia, dimostrano che quello messo a punto in questo studio è un modello di *VML* valido, costituendo così un passo in avanti verso la traslazione dei metodi dell'ingegneria tissutale dai piccoli roditori all'uomo.

SIGLE, ACRONIMI, SIMBOLI ED ABBREVIAZIONI

VML	Volumetric Muscle Loss
H&E	Colorazione Ematossilina Eosina
F4/80	Anticorpo contro Recettore del Mannosio

PAROLE CHIAVE

Ingegneria tissutale, muscolo scheletrico, *Volumetric Muscle Loss*, terapia ricostruttiva, *mini-pig*, rigenerazione muscolare, Bio-stampa 3D.

RECAPITI AMMINISTRATIVI DEL PROGETTO

PNRM project number: a 2018.019
Amministrazione appaltante: Ministero delle Difesa
Ente responsabile del progetto: Dipartimento di Biologia, Università di Tor Vergata
Città, Regione: Roma, Lazio
Titolo e nome del responsabile del progetto: Dr. Cesare Gargioli
Recapiti del responsabile del progetto: Via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Roma
Recapito telefonico del responsabile del progetto: +39 0672594815
E-mail del responsabile del progetto: cesare.gargioli@uniroma2.it
Responsabile scientifico del progetto per il Ministero Difesa: Ten. col. sa. (me) Tommaso Sciarra
Ruolo ed Ente di appartenenza: Capo sezione medicina traslazionale, Centro Veterani della Difesa, Dipartimento scientifico, Policlinico militare di Roma.
Recapiti del responsabile del progetto: Via di S.Stefano Rotondo 4, 00184 Roma
Recapito telefonico del responsabile del progetto: +39 06701961
E-mail del responsabile del progetto: tommaso.sciarra@esercito.difesa.it

Bibliografia

Ceafalan, L.C., Popescu, B.O., and Hinescu, M.E. Cellular players in skeletal muscle regeneration. Biomed Res Int. 2014;2014:957014.

Testa S, Fornetti E, Fuoco C, Sanchez-Riera C, Rizzo F, Ciccotti M, Cannata S, Sciarra T, Gargioli C. The War after War: Volumetric Muscle Loss Incidence, Implication, Current Therapies and Emerging Reconstructive Strategies, a Comprehensive Review. Biomedicines. 2021 May 18;9(5):564.

Garg K, Ward CL, Hurtgen BJ, Wilken JM, Stinner DJ, Wenke JC, Owens JG, Corona BT. Volumetric muscle loss: persistent functional deficits beyond frank loss of tissue. J Orthop Res. 2015 Jan;33(1):40-6.

Fuoco C, Sangalli E, Vono R, Testa S, Sacchetti B, Latronico MV, Bernardini S, Madeddu P, Cesareni G, Seliktar D, Rizzi R, Bearzi C, Cannata SM, Spinetti G, Gargioli C. 3D hydrogel environment rejuvenates aged pericytes for skeletal muscle tissue engineering. Front Physiol. 2014 May 30;5:203.

Fuoco C, Rizzi R, Biondo A, Longa E, Mascaro A, Shapira-Schweitzer K, Kossovar O, Benedetti S, Salvatori ML, Santoleri S, Testa S, Bernardini S, Bottinelli R, Bearzi C, Cannata SM, Seliktar D, Cossu G, Gargioli C. In vivo generation of a mature and functional artificial skeletal muscle. EMBO Mol Med. 2015 Apr;7(4):411-22.

Costantini M, Testa S, Mozetic P, Barbetta A, Fuoco C, Fornetti E, Tamiro F, Bernardini S, Jaroszewicz J, Święszkowski W, Trombetta M, Castagnoli L, Seliktar D, Garstecki P, Cesareni G, Cannata S, Rainer A, Gargioli C. Microfluidic-enhanced 3D bioprinting of aligned myoblast-laden hydrogels leads to functionally organized myofibers in vitro and in vivo. Biomaterials. 2017 Jul;131:98-110.

Costantini M, Testa S, Fornetti E, Fuoco C, Sanchez Riera C, Nie M, Bernardini S, Rainer A, Baldi J, Zoccali C, Biagini R, Castagnoli L, Vitiello L, Blaauw B, Seliktar D, Święszkowski W, Garstecki P, Takeuchi S, Cesareni G, Cannata S, Gargioli C. Biofabricating murine and human myo-substitutes for rapid volumetric muscle loss restoration. EMBO Mol Med. 2021 Mar 5;13(3):e12778.



LA RICERCA IN AMBITO EUROPEO



RING

Il progetto RING (3D *Radar Imaging for Non-Cooperative Target Recognition*) è un progetto di ricerca e sviluppo tecnologico finanziato in ambito EDA. Esso mira a realizzare nuovi sistemi che facciano uso di immagini radar 3D per il riconoscimento di un bersaglio non cooperativo (NCTR).
Il progetto nasce dall'esigenza operativa militare di consentire, oltre alla detezione dei bersagli, anche la loro identificazione. I sistemi di riconoscimento dei bersagli denominati *Identification Friend or Foe* (IFF) rispondono solo a una singola domanda: il bersaglio rilevato è amico o no? Non forniscono altre informazioni sul tipo, la dimensione e la minaccia del target. L'immagine 3D di un bersaglio può essere utilizzata invece per l'identificazione del bersaglio e la definizione delle priorità per scopi operativi e tattici. Ad esempio, la tecnologia sviluppata sarà in grado di fornire informazioni per decidere se un bersaglio rilevato può essere trattato come un aereo attaccante, se si tratta di un caccia o di un bombardiere, se è armato e così via.
Allo stato attuale, il progetto ha previsto lo sviluppo degli algoritmi di classificazione delle immagini e la realizzazione di tre dimostratori: un radar di tipo terrestre, uno di tipo navale e un radar imbarcato su drone.

Introduzione

L'*imaging radar* di bersagli non cooperativi utilizza una tecnica specifica per formare immagini, denominata *Inverse Synthetic Aperture Radar* (ISAR). Questa tecnica è stata introdotta in letteratura diversi decenni fa e consente di formare immagini elettromagnetiche 2D di bersagli non cooperativi [1][2]. Tali immagini sono un'efficace fonte di informazioni per i NCTR.
Con il progredire della ricerca sui *radar imaging*, è stato recentemente proposto [3] l'impiego di sistemi radar interferometrici per ricostruire un'immagine 3D di bersagli in movimento. Sono stati infatti pubblicati alcuni articoli che mostrano il valore di tali sistemi [4][5][6][7]. Il *proof of concept* ha fornito risultati incoraggianti per quanto riguarda l'accuratezza della ricostruzione 3D e la robustezza del sistema rispetto a diversi tipi di target e scenari.
L'algoritmo 3D InISAR rappresenta un'opportunità per costruire un sistema di *imaging radar* in grado di migliorare significativamente le prestazioni NCTR in termini di efficacia e robustezza rispetto agli algoritmi NCTR che utilizzano immagini di attuale concezione ISAR 2D, in quanto le informazioni contenute in una rappresentazione 3D sono chiaramente in grado di distinguere e classificare meglio i diversi *target*.
Utilizzando questo background tecnico, il progetto RING propone l'uso di radar interferometrici su diverse piattaforme, nonché lo sviluppo di tecniche di riconoscimento del bersaglio che si avvalgono dei risultati dell'elaborazione dei dati radar da essi acquisiti. In particolare il progetto RING si prefigge lo scopo di:
Sviluppare algoritmi di immagini 3D ISAR robusti e precisi;
Sviluppare una classificazione 3D-ISAR *image-based*;
Sviluppare tre dimostratori di tipo terrestre, navale e imbarcato su droni;
Testare e Validare la tecnologia con le tre piattaforme in vari scenari, con diversi target aerei, navali e terrestri.

Problema individuato e soluzioni tecnologiche

I metodi NCTR che usano immagini ISAR 2D sono tecniche consolidate. Molti articoli hanno dimostrato che le immagini ISAR 2D sono un valido supporto per NCTR poiché, a differenza dei profili in *range*, forniscono informazioni sul bersaglio in un dominio bidimensionale. Tuttavia, il 2D ISAR implica una proiezione da un dominio 3D a un dominio 2D, denominato *Image Projection Plane* (IPP). Sebbene siamo abituati a rappresentare oggetti 3D in un dominio 2D (es. immagini ottiche), nel caso di un sistema ISAR questa proiezione non è nota a priori e non può essere controllata, poiché dipende dai movimenti del bersaglio. Questa incognita è spesso la causa dei problemi di interpretazione dell'immagine ISAR, che possono complicare significativamente e influenzare negativamente il processo di classificazione del bersaglio.

Pertanto, l'NCTR che utilizza immagini ISAR 2D richiede un database di dati reali o dati simulati molto capienti in termini di proiezioni IPP.

Un algoritmo NCTR basato su ricostruzioni 3D può utilizzare direttamente modelli CAD dei target che non dipendono da angoli di aspetto del bersaglio o dall'orientamento del IPP. Questo fattore semplifica il problema riducendo notevolmente le dimensioni del database e i costi associati.

Il progetto RING ha quindi i seguenti obiettivi scientifici e tecnologici:

Sviluppo di algoritmi ISAR per la formazione di immagini 3D e di algoritmi NCTR, inclusi metodi che utilizzano approcci basati sul *deep learning* (DL), recentemente proposti nella letteratura scientifica.

Progettazione e sviluppo di tre dimostratori radar:

Un radar 3D a bordo della nave per l'identificazione di bersagli navali e aerei;

Un sistema di *imaging* 3D a terra per l'identificazione di bersagli terrestri e aerei;

Un sistema di *imaging* radar 3D imbarcato su droni per l'identificazione di bersagli navali, terrestri e aerei.

Test e validazione degli algoritmi sviluppati utilizzando i dati raccolti con i dimostratori.

Metodologia

Il progetto RING dura 45 mesi e si articola in tre fasi ciascuna dedicata agli obiettivi scientifici e tecnologici esposti precedentemente.

Ad oggi sia gli algoritmi 3D InISAR che gli algoritmi NCTR sono stati progettati, implementati e testati utilizzando dati simulati. I tre dimostratori sono stati già realizzati e sono stati avviati i test hardware in laboratorio.

Più in dettaglio, lo studio dello stato dell'arte ha orientato verso l'implementazione di metodi interferometrici quale buon compromesso tra complessità hardware e accuratezza dei risultati [5][6][7]. Un sistema InISAR può essere costituito da un solo trasmettitore e 3 ricevitori disposti in modo da formare 2 linee di base ortogonali, come mostrato nella Figura 1.

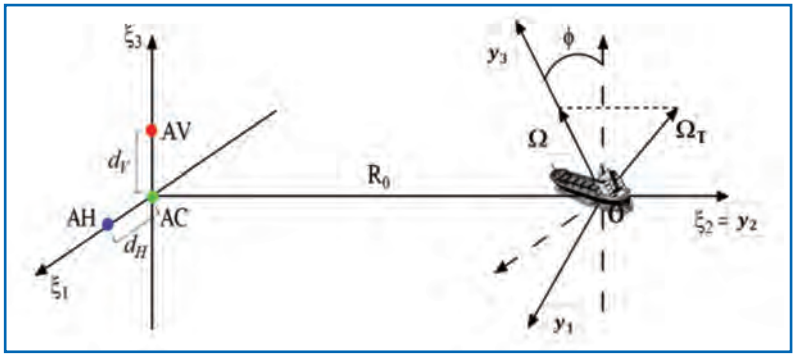


Figura 1 - Geometria del sistema radar interferometrico. *AC* è un elemento sia trasmittente che ricevente, mentre *AV* e *AH* sono solo ricevitori. Le tre antenne riceventi siano disposte in modo tale da formare due baseline, d_V e d_H ortogonali tra di loro e rispetto alla *Line of Sight*. Ω e ϕ rappresentano il modulo e l'orientamento del vettore di rotazione del target .

Un diagramma a blocchi di alto livello dell'algoritmo 3D InISAR proposto è illustrato nella Figura 2 ed è costituito da 4 sezioni fondamentali.

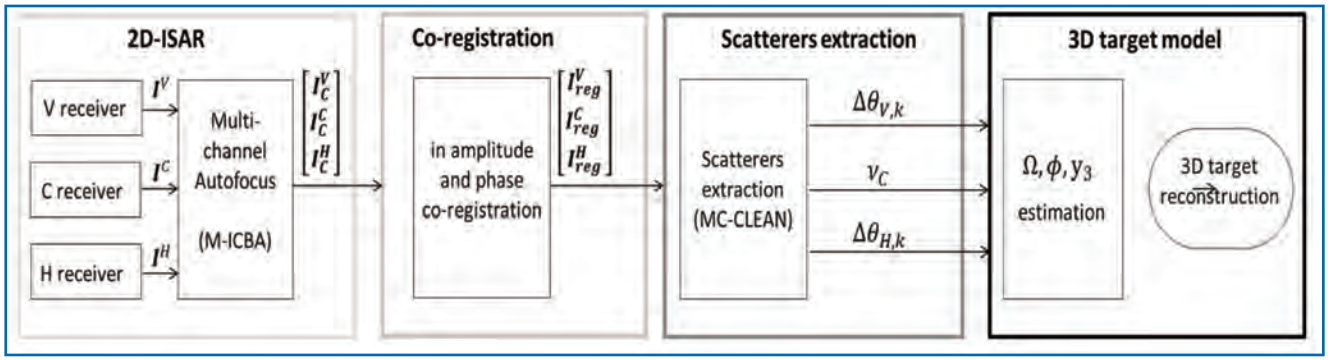


Figura 2 - Schema a blocchi dell'algoritmo 3D InISAR proposto. Ω e ϕ sono definiti in Figura 1, mentre $\Delta\phi_{V,k}$ e $\Delta\theta_{H,k}$ indicano le fasi interferometriche dello scatteratore k.

La Figura 3 mostra un esempio di risultati simulati. In particolare, si suppone che il sistema radar interferometrico sia installato a bordo di una nave e le tre antenne siano posizionate nei punti indicati con le lettere A, B e D. Il target è un aereo MIG35. La Figura 3 mostra le immagini ISAR 2D per ciascuno dei tre ricevitori dopo la fase di co-registrazione. Successivamente, dalle tre immagini ISAR, vengono estratti gli *scatterer* più luminosi e le loro informazioni in termini di coordinata Doppler e fase interferometrica, utilizzate per ricostruire il modello 3D del target.

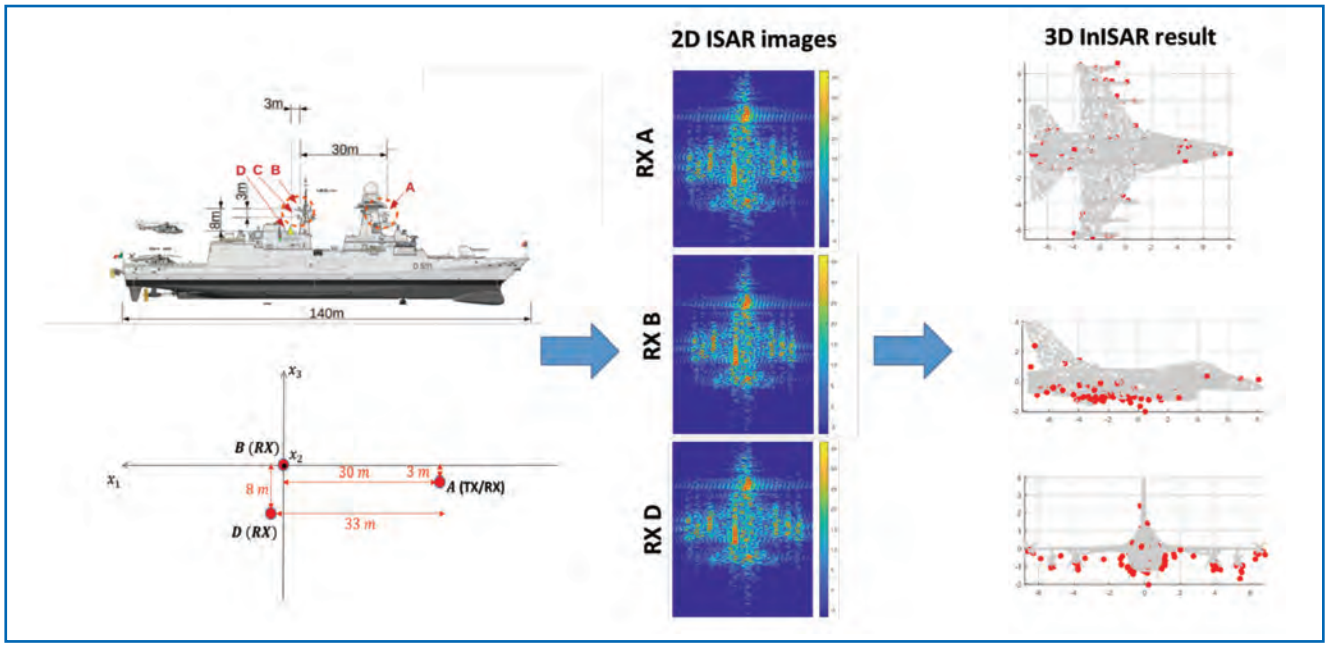


Figura 3 - Uno dei risultati del progetto. L'antenna in A trasmette e riceve, mentre le antenne nelle posizioni B e D sono solo riceventi. Le figure centrali mostrano le immagini ISAR relative ai tre canali riceventi. Le figure a destra mostrano i risultati della ricostruzione 3D. La ricostruzione 3D del target (punti rossi) è stata allineata al modello CAD target.

Uno studio approfondito della letteratura sui metodi NCTR che impiegano immagini 3D, ha permesso di proporre quattro diversi algoritmi, che sono stati implementati e validati utilizzando dati simulati: due metodi sono basati su modelli, il primo dei quali confronta la ricostruzione 3D con il modello CAD dei target presenti nel database, mentre il secondo confronta la ricostruzione 3D con l'immagine ISAR 3D di ciascun target nel database (generato utilizzando un simulatore basato su *ray-tracing*). Il terzo metodo usa un algoritmo basato su tecnologia DL; il quarto metodo non impiega database ma confronta le forme della ricostruzione 3D con le caratteristiche dei target noti. Le figure 4,5 e 6 mostrano le immagini dei tre dimostratori.



Figura 4 - Sistema radar basato su droni. In particolare sono previsti 4 droni, uno che trasporta il trasmettitore e gli altri tre che trasportano i tre ricevitori. Il drone selezionato è un octocopter chiamato Horus. Le immagini mostrano anche il radiocomando Futaba T10J, il radar integrato nel cabinet del drone e il software di controllo del volo.

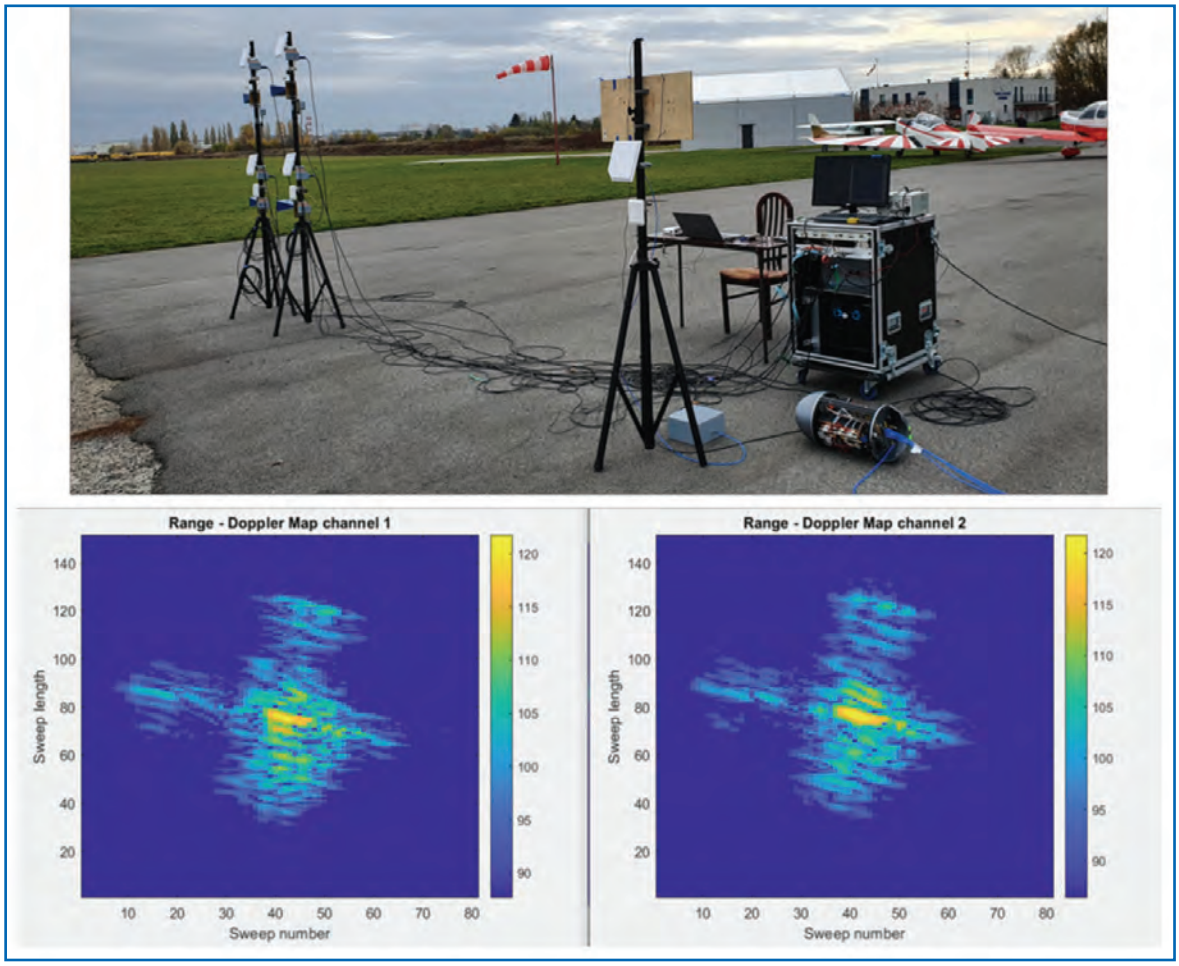


Figura 5 - Le figure illustrano Il sistema radar a terra e un primo test che mostra i risultati preliminari in termini di immagini ISAR 2D.



Figura 6 - I tre radome che formano il sistema navale.

Potenziali utilizzi e ricadute applicative della tecnologia

Le tecniche 3D InISAR possono costituire un valido supporto per NCTR. Questa tecnica può diventare strategica per supportare le operazioni Joint Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (JISR), di notevole importanza per tutte le operazioni militari, come ad esempio l'identificazione e l'assegnazione di priorità ai bersagli per scopi operativi e tattici. Inoltre, è evidente che il progetto RING ha una doppia valenza poiché gli algoritmi sviluppati possono essere applicati in scenari civili dove è necessario rafforzare la sorveglianza marittima e di frontiera e riconoscere e classificare i target rilevati.

Conclusioni

Il progetto RING, sebbene non ancora concluso, ha già prodotto risultati notevoli, con la realizzazione di algoritmi accurati e robusti per la ricostruzione di immagini 3D di target non cooperativi. Tali algoritmi sono stati perfezionati e ottimizzati per essere implementati su sistemi che utilizzano diversi tipi di piattaforme: terrestre, marittima e basata su droni. Il lavoro svolto finora ha portato anche allo sviluppo di algoritmi NCTR basati sull'utilizzo di immagini ISAR 3D. Gli algoritmi di classificazione che sono stati sviluppati sono di natura diversa con l'obiettivo di esplorare molteplici strade e quindi massimizzare la probabilità di ottenere algoritmi efficaci e robusti che possono essere impiegati in scenari operativi. Tutti gli algoritmi sono stati testati in modo intensivo e con successo, utilizzando dati simulati. Inoltre, sono stati realizzati tre dimostratori tecnologici, uno terrestre, uno navale e uno imbarcato su drone. Tali sistemi sono stati completati e saranno testati nelle prossime fasi del progetto, compresa la pianificazione e l'esecuzione di prove volte a raccogliere dati reali sufficienti per validare gli algoritmi sviluppati e, di conseguenza, la tecnologia proposta.

Il successo di questo progetto potrebbe portare, nel prossimo futuro, all'adozione di questa tecnologia con un impatto positivo sulle capacità di difesa europea.

SIGLE, ACRONIMI, SIMBOLI ED ABBREVIAZIONI

CAD	Computer Aided Design
CNN	Convolutional Neural network
IFF	Identification Friend of Foe
InISAR	Interferometric ISAR
IPP	Image Projection Plane
ISAR	Light Detection and Ranging
LIDAR	Concept of Operations
NCTR	Non Cooperative target Recognition

PAROLE CHIAVE

Radar imaging, NCTR, ATR, CNN, 3D ISAR.

RECAPITI

Amministrazione appaltante: EDA
Ente responsabile del progetto: CNIT
Città, Regione: Parma, Emilia-Romagna
Titolo e nome del responsabile del progetto: Prof. Marco Martorella
Recapiti del responsabile del progetto: Galleria Gerace 18, 56124 Pisa
Recapito telefonico del responsabile del progetto: +39 0503820818
E-mail del responsabile del progetto: m.martorella@iet.unipi.it

Bibliografia

Articoli di rivista:

V. C. Chen, M. Martorella, “Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging: Principles, Algorithms and Applications”, IET/Scitech Publishing, 2014;

. M. Martorella, “Introduction to Inverse Synthetic Aperture Radar”, Elsevier Academic Press Library in Signal Processing: Communication and Radar Signal Processing (Vol. 2), 1st Ed., Sept. 2013;

M. Martorella, D. Stagliano’, F. Salvetti, N. Battisti, “3D Interferometric ISAR Imaging of Non-Cooperative Targets”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems to be issued in October 2014

D. Staglianò, E. Giusti, S. Lischi and M. Martorella, "3D InISAR-based target reconstruction algorithm by using a Multi-Channel ground-based radar demonstrator," 2014 International Radar Conference, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/RADAR.2014.7060257;

E. Giusti, F. Salvetti, D. Stagliano and M. Martorella, "3D InISAR Imaging By Using Multi-temporal Data," Proceedings of EUSAR 2016: 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar, 2016, pp. 1-5;

F. Salvetti, M. Martorella, E. Giusti and D. Staglianò, "Multiview Three-Dimensional Interferometric Inverse Synthetic Aperture Radar," in IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 55, no. 2, pp. 718-733, April 2019, doi: 10.1109/TAES.2018.2864469;

A. Fontana, P. Berens, D. Stagliano and M. Martorella, "3D InISAR target reconstruction using airborne PAMIR data," Proceedings of EUSAR 2016: 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar, 2016, pp. 1-5;

3D RADAR Imaging for Non-Cooperative Target Recognit.

CERERE

Il futuro dell'Offensive Cyber Operation (OCO) si sta sempre più focalizzando sulle kill chain di tipo CEMA (Cyber Electro-Magnetic Activities), in grado di unire le possibilità offerte da uno strato di comunicazione condiviso sullo spettro elettromagnetico, con quelle Cyber date dal processo di softwarizzazione dovuta alla trasformazione digitale in ambito militare. Purtroppo le metodologie standard di test della sicurezza informatica non possono affrontare la complessità di un approccio combinato Cyber/EW, soprattutto se entrano in gioco vulnerabilità sconosciute.
La soluzione CERERE vuole superare il limite delle attuali metodologie spostando la valutazione sulla resilienza informatica, ovvero la capacità di un sistema complesso di mantenere le prestazioni desiderate durante un'operazione, fornendo un framework automatizzato in grado di sintetizzare caoticamente kill-chain CEMA sconosciute, e.g. una sequenza di azioni in grado di generare un impatto su un sottosistema target, e valutarlo all'interno di un ambiente sintetico riconfigurato algoritmicamente con tutte le contromisure di cyber security modellate e coordinate anche in termini di procedure di risposta, e valutando l'effettiva capacità di sopravvivenza dell'intero asset.
CERERE introduce quindi un approccio innovativo basato sulla "virtualizzazione della kill-chain", emulando la sequenza attesa di effetti sui sottosistemi violati, e su un ambiente ibrido semplificato riconfigurabile in cui sarà possibile eseguire il processo di valutazione, misurando la resilienza in una modalità più semplice.

Introduzione

Gli attacchi CEMA sono complesse kill-chain che combinano più tecniche di exploiting utilizzando connessioni wireless come punto di partenza per raggiungere un obiettivo critico. Sebbene la loro minaccia stia sempre più diffondendosi, i metodi come l'emulazione automatica dell'avversario, i penetration test o i test range non riescono a valutare il loro impatto sui sistemi reali, e non forniscono un risultato misurabile e spiegabile sulla resilienza informatica dei sistemi, che è una caratteristica essenziale, soprattutto se si considerano le operazioni e gli assetti militari.
Il progetto CERERE mira a fornire un ambiente di test automatizzato che simuli processi di attacchi, rilevamento, risposta e ripristino su un ambiente sintetico utilizzando un approccio incrementale che supporti le attività cibernetiche ed elettromagnetiche. Questo approccio consentirà:
Il rilevamento di minacce sconosciute e la possibilità di valutare il rischio introdotto dalle nuove tecnologie consentendo una valutazione aggiornata dell'ambiente essenziale nelle tattiche militari;
Una metodologia misurabile per valutare l'efficienza delle contromisure esistenti e la loro capacità di rendere il sistema in grado di resistere ad attacchi complessi gestendo gli effetti domino creati da complesse kill chain aiutando a valutare il livello di affidabilità del sistema sottostante a supporto di un'operazione;
L'identificazione dei miglioramenti futuri e delle migliori strategie di riparazione a supporto del processo decisionale.

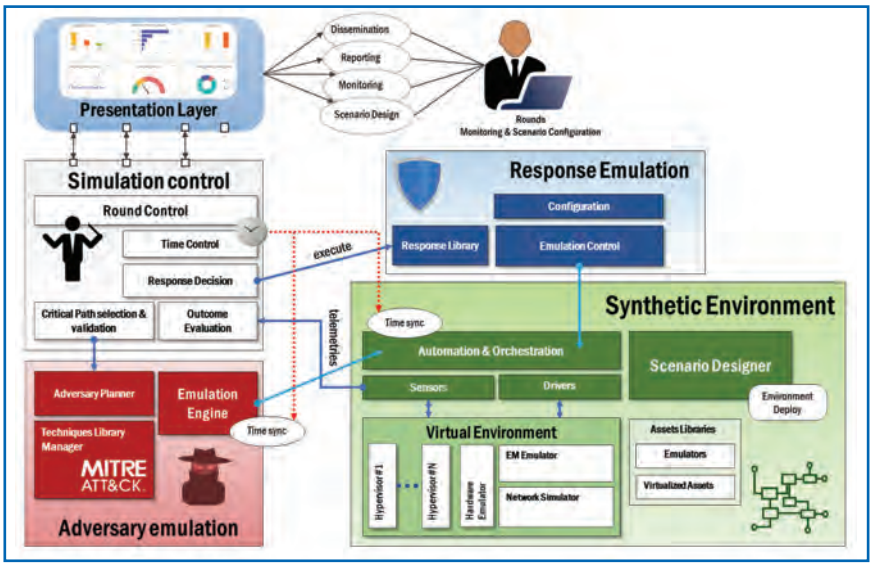
Problema individuato e soluzioni tecnologiche

Il concetto di CERERE si basa su una combinazione di tecnologie e tecniche per una soluzione che sia in grado di simulare il comportamento di

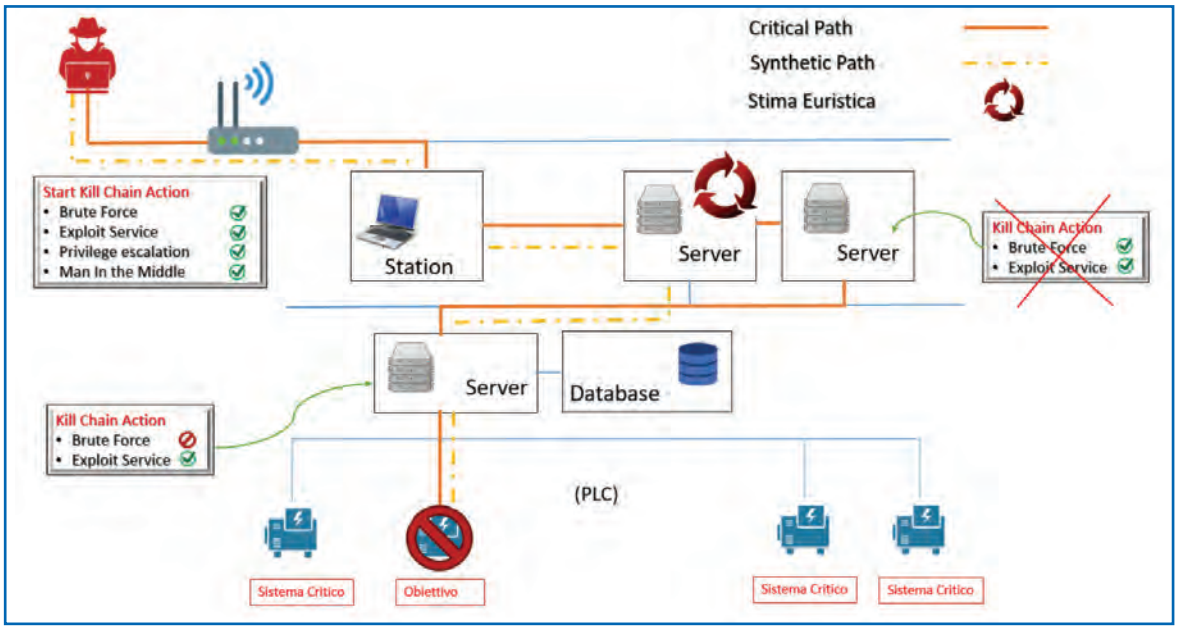
un sistema complesso sottoposto ad attacchi cyber sconosciuti e/o a kill-chain sullo spettro elettromagnetica per misurare la resilienza informatica del sistema stesso.
Le tecnologie di Modeling&Simulation saranno la base concettuale principale di CERERE. Gli ambienti di simulazione tradizionali, come i cyber test range, replicano infatti accuratamente lo scenario reale sfruttando hardware e software reali o una combinazione di componenti reali e virtuali, rendendo l'architettura rigida e dispendiosa in termini di tempo nella configurazione.
CERERE mira invece a generare un ambiente sintetico astratto basato sulla parametrizzazione di emulatori, simulatori di componenti e sistemi virtualizzati, ove possibile, descrivendo i corrispondenti comportamenti dei vincoli fisici e logici in modo flessibile e modulare. Queste funzionalità semplificano l'esecuzione di convalide incrementali di sistemi complessi aumentati euristicamente, garantendo una migliore qualità dei risultati rispetto alle simulazioni single-shot.
Per quanto riguarda l'automazione offensiva, CERERE vuole dimostrare che è sufficiente emulare gli effetti della kill-chain di un attacco e non il processo reale nell'eseguirli, riducendo il tempo necessario per eseguire l'analisi e la complessità della costruzione di kill-chain. La costruzione di kill chain utilizzerà un approccio basato sul Chaos Engineering, combinato con il Situation Calculus applicato alla matrice MITRE ATT&CK per generare kill chain fattibili senza utilizzare una sequenza di attacchi già stabilita e, quindi, scoprire procedure di attacco sconosciute.
Infine, l'emulazione del processo di risposta sfrutterà le attività di ripristino e risposta derivate dalla specifica NIST SP-800-160 v2, che classificano e definiscono i possibili approcci di resilienza informatica che possono essere scelti e automatizzati per rispondere a un incidente una volta che è stato rilevato da uno delle contromisure di sicurezza modellate all'interno dell'ambiente.

Metodologia

La fase iniziale del progetto durerà due anni e fornirà un prototipo che affronterà le principali attività di ricerca e le capacità di base (librerie di software, modelli, algoritmi, ecc.) per porre le basi per un ulteriore sviluppo.
L'architettura concettuale di CERERE è strutturata come un exercise iterativo di Cyber Warfare, in cui l'interazione di più sottosistemi, uno dedicato all'attacco, uno all'emulazione dell'ambiente e uno alla gestione delle procedure di response, è in grado di fornire un risultato efficace ad ogni round di simulazione.



Il modulo di controllo della simulazione è l'orchestratore del framework che inizializza lo scenario, ovvero l'insieme degli asset distribuiti, delle infrastrutture ed altri elementi parametrizzati, utilizzati in ogni round, monitora lo stato di esecuzione e l'orologio della simulazione, seleziona caoticamente il percorso critico da sfruttare e valuta il piano di attacco, raccoglie le telemetrie e attiva la difesa, infine fornisce l'esito della simulazione tramite un'interfaccia grafica utente (White Team).
B) L'ambiente sintetico implementa e configura lo scenario Cyber/EW, lo resetta ad ogni round di simulazione, fornisce le telemetrie prodotte durante l'esecuzione per la misurazione della resilienza e l'API per eseguire effetti offensivi e difensivi sull'ambiente (Green Team).
L'Adversary Emulation Tool, ossia uno strumento in grado di emulare un attaccante individuando euristicamente un piano di attacco adeguato (ossia una sequenza di kill-chain) per un determinato percorso critico, partendo dallo spettro elettromagnetico e sfruttando le procedure e tecniche della matrice MITRE ATT&CK per generare un impatto significativo sull'ambiente (Red Team).



Infine, il Response Emulator emula il difensore che esegue le strategie di risposta definite sulla base di strategie di resilienza di un framework standard come NIST (Blue Team).
La resilienza informatica viene calcolata misurando i seguenti parametri:
Tempo di esecuzione: tempo necessario per ottenere l'esecuzione desiderata dall'attacco emulato;
Tempo di sopravvivenza: tempo necessario per generare un "effetto domino" in grado di far fallire l'operazione;
Tempo di rilevamento: capacità del sistema di rilevare e valutare l'attacco e il tempo necessario alle contromisure per comprendere la situazione.
I parametri vengono calcolati ad ogni round e tutti insieme suggeriscono il livello di resilienza del sistema.

Potenziali utilizzi e ricadute applicative della tecnologia

Gli scenari militari moderni devono affrontare la sincronizzazione e il coordinamento delle attività

cibernetiche ed elettromagnetiche sia dal lato offensivo che difensivo per ottenere e garantire il successo operativo. Il concetto di Cyber Resilience è strettamente connesso al successo della missione. Si concentra sulla progettazione del sistema per raggiungere l'obiettivo desiderato indipendentemente dai danni generati da un attacco informatico invece di progettarlo per non essere mai attaccato. Questo approccio è particolarmente vero nelle missioni militari dove è impensabile supporre il contrario. La resilienza agli attacchi CEMA diventa una capacità fondamentale per garantire il successo di uno scenario militare.



Da un punto di vista difensivo, la soluzione CERERE offre la possibilità di valutare l'attuale efficienza delle contromisure in atto nel sistema contro attacchi CEMA sconosciuti calcolando l'attuale livello di resilienza. L'utilizzo dell'approccio di convalida incrementale consente di scoprire la migliore configurazione del sistema da utilizzare in un determinato contesto operativo militare offrendo un vantaggio operativo significativo.
Dal punto di vista dell'azienda, la soluzione può essere utilizzata come valida validatrice futura per piattaforme di monitoraggio e risposta sviluppate sia in ambito militare che civile, aumentando l'affidabilità delle soluzioni proposte.

Conclusioni

CERERE mira a fornire un framework in grado di valutare automaticamente la cyber resilienza di un sistema complesso contro gli attacchi CEMA, colmando il gap delle tecnologie più avanzate che non considerano lo spettro elettromagnetico un punto di partenza per gli attacchi Cyber. La forza della soluzione si basa sull'intuizione che un sistema è cyber resiliente se è stato progettato per impedire l'esecuzione di azioni specifiche (es. effetti) su uno o più sottosistemi critici necessari a garantire la continuità del funzionamento, può comprendere in anticipo le intenzioni dell'attaccante osservando l'impatto che genera e può reagire in modo efficiente e recuperare prima che l'obiettivo della kill chain sia compiuto.
CERERE rende questi concetti misurabili e spiegabili, sfruttando una complessa emulazione degli effetti di attacco a catena e valutando le efficaci capacità di rilevamento offerte dalle contromisure di sicurezza esistenti e l'efficacia della procedura di risposta scelta per recuperare le prestazioni del sistema. L'implementazione si basa su tecnologie all'avanguardia di ingegneria del caos, calcolo delle situazioni e parametrizzazione di sistemi complessi e migliora la base di conoscenze sull'impatto degli attacchi Cyber/EW.
Questa tecnologia può contribuire a valutare l'efficienza delle attuali contromisure e procedure di risposta in atto nell'ambiente militare, supportare la pianificazione delle operazioni future identificando la migliore posizione di resilienza degli scenari ed essere la tecnologia validatrice di sistemi di monitoraggio e strategie di risposta innovativi.

SIGLE, ACRONIMI, SIMBOLI ED ABBREVIAZIONI

CEMA Cyber Electro-Magnetic Activities
EW Electro-Magnetic Warfare

PAROLE CHIAVE

CEMA, Cyber Resilience, Simulation and Modelling, Adversary and Defence Emulation

RECAPITI

Amministrazione appaltante: European Defence Agency (EDA)
Ente responsabile del progetto: Direzione degli Armamenti Navali – NAVARM
Titolo e nome del responsabile del progetto: Project Arrangement Management Group CF Gianluca Marcilli
Recapito telefonico del responsabile del progetto: +39.06.46913.2596
E-mail del responsabile del progetto: gianlucam.marcilli@marina.difesa.it

Bibliografia

"Cyber and Electromagnetic Activities". JDN 1/18 UK Ministry of Defence, February 2018. Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/682859/doctrine_uk_cyber_and_electromagnetic_activities_jdn_1_18.pdf.

"Developing Cyber Resilient Systems: A System Security Engineering Approach". NIST Special Publication 800-160 v2, 2019. Available at: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-160v2r1.pdf;

Infection Monkey". Available at: https://www.guardicore.com/infectionmonkey/;

"MITRE ATT&CK™: Design and Philosophy". MITRE Product 180360, July 2018. Available at: https://www.mitre.org/sites/default/files/publications/pr-18-0944-11-mitre-attack-design-and-philosophy.pdf

"Understanding Cyber Ranges: From Hype to Reality". European Cyber Security Organization (ECSO), Brussel, Belgium, 2020. Available at: https://www.ecs-org.eu/documents/uploads/understanding-cyber-ranges-from-hype-to-reality.pdf.



STATISTICHE



Ripartizione dei finanziamenti tra PNRM e programmi internazionali

La ripartizione tra progetti del Piano Nazionale della Ricerca Militare (PNRM), progetti in ambito *European Defence Agency* (EDA), progetti derivanti da Accordi Quadro con il settore accademico, attività di ricerca tecnologica dei Centri di Test della Difesa e programmi internazionali (multilaterali e bilaterali) riferita all'anno 2021 è riportata in tabella 1.

Tabella 1- Ripartizione dei mandati effettuati nel 2021.

TIPOLOGIA	N. FASI SUCCESSIVE DI PROGETTI IN CORSO	N. NUOVI PROGETTI
PNRM	15	21
EDA	2	5
Accordi Quadro	/	3
Centri di Test	2	5
BI-MULTILATERALI	1	/

Ripartizione dei finanziamenti nazionali per aree capacitive/tecnologiche

La ripartizione annuale dei finanziamenti nazionali per aree capacitive/tecnologiche può variare sulla base delle priorità operative espresse in ambito Difesa.

I progetti nazionali per l'anno 2021 sono stati selezionati in base ai criteri stabiliti nell'atto di indirizzo del Ministro della Difesa ed aggiornati dal Capo di Stato Maggiore della Difesa, privilegiando le proposte di progetto attinenti ai seguenti cluster applicativi/tecnologici:

- *cluster* 1: tecnologie innovative di *Intelligence Surveillance Reconnaissance* (ISR) e distribuzione informazioni, per mezzo di innovativi sistemi di Comando e Controllo;
- *cluster* 2: sistemi autonomi, *artificial intelligence*, *navigation safety and security* e relativa sensoristica, sistemi autonomi di armamento;
- *cluster* 3: tecnologie satellitari;
- *cluster* 4: *cyber security*, crittografia e *Big Data analysis*;
- *cluster* 5: potenziamento capacità e protezione del soldato/supporto al veterano;
- *cluster* 6: tecnologia per la Difesa – sensori, dispositivi, sistemi d'arma, munizionamento e materiali innovativi;
- *cluster* 7: tecnologie per la sostenibilità, la resilienza energetica e le infrastrutture.

L'individuazione dei *cluster* prioritari ha consentito una programmazione e gestione più efficace ed efficiente delle risorse, indirizzando le attività di ricerca tecnologica al raggiungimento di obiettivi coerenti con le esigenze capacitive e le attuali priorità delle Forze Armate e minimizzando la frammentazione dei settori tecnologici e la dispersione delle risorse su molteplici e diversificate attività, non tutte specificamente indirizzate a colmare i *gap* capacitivi individuati a livello operativo.

Tabella 2- Ripartizione dei nuovi progetti nazionali avviati nel 2021 rispetto ai cluster capacitivi/ tecnologici prioritari indicati dal Capo di Stato Maggiore della Difesa.

AREA TECNOLOGICA (CLUSTER	% FINANZIAMENTO	NUMERO PROGETTI
Tecnologie innovative di Intelligence Surveillance Recomnaissance (ISR) e distribuzione informazioni, per mezzo di innovativi sistemi di Comando e Controllo	25,6%	6
Sistemi autonomi, artificial intelligence, navigation safety and security e relativa sensoristica, sistemi autonomi e armamento	28,6%	6
Tecnologie satellitari	14,3%	3
Cyber security, Crittografia e Big Data Analysis	9,5%	2
Potenziamento capacità e protezione del soldato/supporto al veterano	9,5&	2
Tecnologia per la Difesa - Sensori, dispositivi, sistemi d'arma, munizionamento e materiali innovativi	9,5%	2
Tecnologie per la sostenibilità, la resilienza energetica e le infrastrutture	0%	0
TOTALE	**100%**	**21**

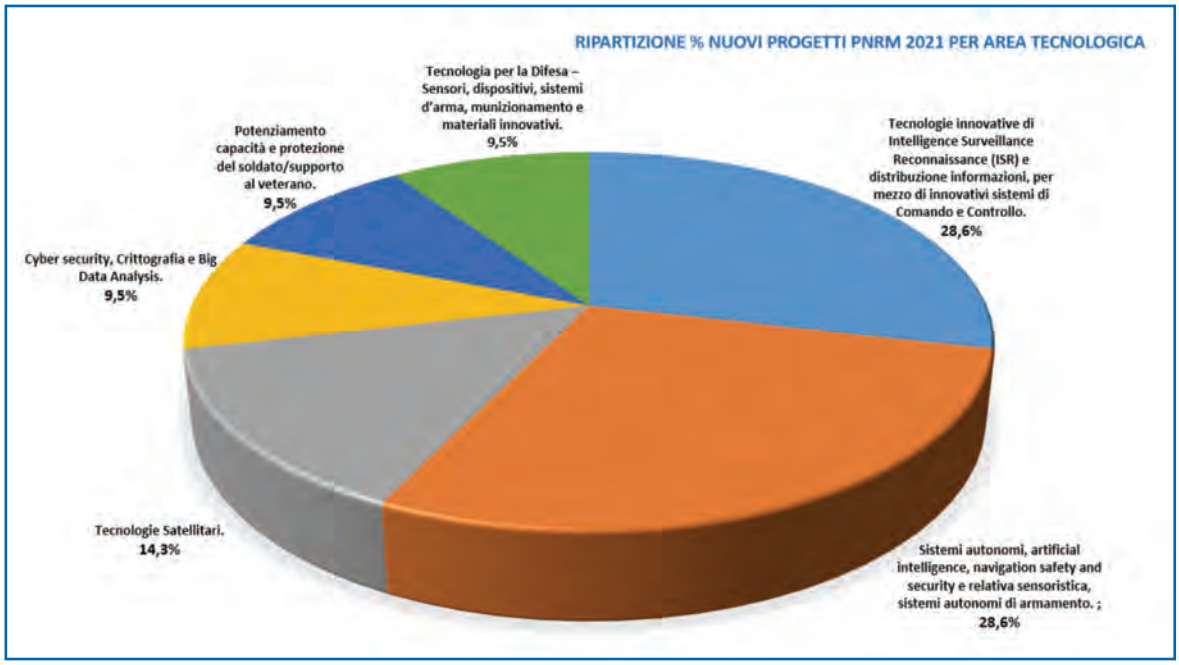


Figura 1 - Ripartizione dei nuovi progetti nazionali avviati nel 2021 rispetto ai *cluster* capacitivi/ tecnologici prioritari indicati dal Capo di Stato Maggiore della Difesa.

SIGLE E ACRONIMI

2-MF	Multi-Functional Modular Frame
AD	Amministrazione Difesa
AES	Advanced Encryption Standard
ALW	Airborne platform effects on laser systems and warning sensors
AODV	Ad Hoc On-Demand Distance Vector
AU	Actuation Unit
BEE DDS	Implementazione Leonardo dello standard DDS
BER	Bit Error Rate
BFN	Beam-Forming Network
BLOS	Behind Line Of Sight
C2	Comando & Controllo
CDMA	Code Division Multiple Access
C4ISTAR	Command, Control, Communications, ,Targeting Acquisition and Reconnaissance
CIRA	Centro Italiano Ricerche Aerospaziali
CPA	Sistema Cooperativo basato su Percezione Aptica
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CMC	Materiale Composito a Matrice Ceramica
C/SiC	Composito con matrice di SiC rinforzato con fibre di Carbonio
COTS	Commercial Off-the-Shelf
CSM	Communication Spectrum Monitoring
CU	Control Unit
DIRCM	Directed Infrared Countermeasure
DDS	Data Distribution Service
DF	Direction Finding
DM	Directional Modulation (Modulazione Direzionale)
DT	Dimostratore Tecnologico
DVB-T	Digital Video Broadcasting-Terrestrial
EMI	ElectroMagnetic Interference
ESM	Electronic Support Measures
EFT	Electronic Functional Tray
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
ELINT	Electronic INTelligence
EM	Engineering Model
E2E	End-to-End
EGSE	Electrical Ground Support Equipment
EDA	European Defence Agency
ENIVD	(European Network for Diagnostics of "Imported" Viral Diseases)
EOT	Energy on Target
FM	Flywheel motor
GHIBLI	Galleria la plasma da due MW presso il CIRA
GUI	Graphical User Interface
GFT	Geometric Functional Tray

SIGLE E ACRONIMI

GIM	Gimbal motor
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
GPU	Graphical Processing Unit
GEOINT	GEOspatial INTelligence
HfB_2	Diboruro di Afnio
IDS	Intrusion Detection System
INS	Inertial Navigation System
ISR	Intelligence Surveillance and Reconnaissance
It-MoD	Italian Ministry of Defense
IMINT	Image INTelligence
ISL	Inter Satellite Link
IR	Infrarosso
J/S	Jammer-to-Signal ratio
LEO	Low Earth Orbit
LC	Load Case
LT CES	Communication Electronic Support Measures
LICOLA	Low Interceptable Communication Link Antennas
MCMG	Mini Control Momentum Gyroscope Assembly
MAC	Medium Access Control
MALE	Medium Altitude Long Endurance
MANET	Mobile Ad-hoc Networks
MCS	Mission Control System
MS-DEP	Multi-Sensor Data Exploitation Platform
MWS	Missile Warning System
NEC	Network Enabled Capability
NCS	Network Control System
OBL	Optical Break Lock
OMG	Object Management Group
OTW	Other Than War
OBP	On-Board Processing
PCR	(Polymerase Chain Reaction)
POC	Posto Operatore Centralizzato
P/F	Piattaforma
P/L	Payload
POI	Point Of Interest
RMSE	Root Mean Square Error
RIFON	Rete Interforze in Fibra Ottica Nazionale
RPAS	Remotely Piloted Air System
RSV	Reparto Sperimentale di Volo
SATCOM	Satellite Communication
S/C	Spacecraft

SIMP	Solid Isotropic Material with Penalisation
SHF	Super High Frequency
SIC	Carburo di Silicio
SICRAL	Sistema Italiano per Comunicazioni Riservate ed ALlarmi
SiC/SiC	Composito con matrice di SIC rinforzato con fibre di SIC
SOTA	State Of The Art
TA	Technical Arrangement
TAPR	Aeromobile a Pilotaggio Remoto
TAS-I	Thales Alenia Space Italia
TAKS	Topology Authenticated Key Scheme
TRL	Technology Readiness LevelDMA
TRM	Traffic Resource Manager
TRM-DB	TRM Data Base
UV	Ultra Violetto
UHF	Ultra High Frequency
VANET	Vehicular Ad-Hoc Networks
VFT	Volumetric Functional Tray
VHF	Very High Frequency
WP	Work Package
WIFI	Wireless Fidelity
WIDS	WPM-based Intrusion Detection System
WSN	Wireless Sensor Network
WHO	(World Health Organization-Organizzazione Mondiale della Sanità)
ZrB_2	Diborure di Zirconio

RECAPITI EDITORIALI
COORDINAMENTO EDITORIALE
Ufficio Generale del Segretario Generale e Direttore Nazionale degli Armamenti
Servizio Pubblica Informazione
Email : spi@sgd.difesa.it

PROGETTO E COORDINAMENTO GENERALE
V Reparto - Innovazione Tecnologica
Email : r5segreteria@sgd.difesa.it

SUPERVISIONE E COORDINAMENTO TECNICO-SCIENTIFICO
Ten.Col. GArn Giuliano CIOCCOLO
Ten.Col. Marco Armando IANNUZZI
Magg.ing.Emiliano CAPPELLO

COMITATO SCIENTIFICO DI REDAZIONE
C.V. [AN] Francesco A. MARCHETTI
Ten.Col. ing. Giuseppe NIFOSI
Ten.Col. Riccardo CETTA
Magg.ing.Emiliano CAPPELLO
Ten.Col. Marco Armando IANNUZZI
C.F. Andrea BERTAGNA
Ten.Col. GArn Giuliano CIOCCOLO

SEGRETERIA DI REDAZIONE
Magg.ing. Francesco CORSO
1°LGT Francesco RICCIARDI
1°LGT Marco BONANNI
Serg.Mag. Salvatore TORRE
Ass.Amm. Rosanna AGRESTI
Ass.Amm.Alessandra SCOTTI

STAMPA
STI Stampa Tipolitografica Italiana


SGD DNA