

Radar, fotoni e terahertz

AI, Come il progetto Leonardo-Rome Technopole ridefinisce i confini dell'elettronica per la difesa e le telecomunicazioni del futuro

di Valerio Carlucci



Schermata di un sistema radar AESA in esercizio: la capacità di rilevare la firma micro-Doppler delle eliche di un drone consente di classificarne il tipo senza trasmissione né cooperazione, aprendo scenari di sorveglianza urbana a basso costo. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)

Il 17 maggio 2024, a Parigi, un ricercatore ha presentato all'European Radar Conference un algoritmo capace di stimare la velocità di rotazione delle eliche di un drone a partire dalla riflessione radar, senza trasmissione né cooperazione. FP5, coordinato da Filippo De Stefani di Leonardo, costruisce questa capacità dentro un'alleanza tra Leonardo, università laziali, CNR, Airbus Italia e MBDA.



Droni, sensori e controllo remoto nelle applicazioni dual-use: FP5 sviluppa architetture MIMO per classificare UAV dalla riflessione radar. Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole.

Quattro filoni – radar AESA, crittografia quantistica, AI per immagini e banda terahertz – per costruire autonomia tecnologica italiana in settori ad alta criticità.

RADAR AESA - DRONI, MIMO E LA SFIDA COMPUTAZIONALE

Il radar AESA – Active Electronically Scanned Array – è la piattaforma principale di FP5 che ha già prodotto il maggior numero di risultati. De Stefani spiega il perché dalla parte dell'industria: "Il sensore radar è estremamente complesso e oggi è necessario far fronte ai requisiti che vengono da nuovi scenari operativi, quali i droni che tra un po' invaderanno le nostre città. Ci stiamo occupando della detezione della microdoppler, che è un segnale tipico del drone, quello introdotto dalle eliche". L'obiettivo è sviluppare architetture MIMO – Multiple Input Multiple Output – per questi nuovi scenari, usando tecnologie digitali che consentono di campionare direttamente la radiofrequenza ed elaborare quantità di dati inimmaginabili fino a poco tempo fa. Il gruppo della Sapienza (Lombardo, Colone e collaboratori) lavora sull'aspetto computazionale: "L'antenna AESA digitale significa avere una schiera di tanti elementi che irradiano e ricevono, ciascuno digitalizzato indipendentemente. Il risultato è un costo computazionale estremamente alto, che stiamo affrontando per ridurlo e renderlo compatibile con hardware commerciale". Il valore aggiunto è rappresentato da fasci multipli contemporanei, sorveglianza di interi settori, spostamento elettronico rapidissimo, senza parti mobili. Una ricercatrice del laboratorio di radiotecnica aggiunge: "Certamente il cielo delle nostre città nei prossimi anni sarà pieno di droni. Riuscire ad avere elaborazione digitale

rapida con hardware di basso costo ci permetterà di sviluppare sensori che svolgano insieme funzioni di sorveglianza e di comunicazione".

I risultati seguono una progressione coerente: stima velocità singola elica (EuRAD 2024), bicottero controrotante (IRC 2024), simulatore radar (IJMWT, in revisione), validazione quadricottero (IEEE 2025). La scheda FP5 aggiunge una stima monopulse con tre antenne non uniformi, MIMO e validazione FPGA (accettata all'International Radar Symposium – IRS – 2025 di Amburgo). Il gruppo di Tor Vergata apporta una dimensione ulteriore: nano e microelettronica per apparati di nuova generazione, con applicazioni anche in campo medico. Un dottorando racconta: "Grazie al Technopole posso entrare in contatto con le aziende, vedere le loro necessità e costruire insieme quello che sarà il futuro".

CRITTOGRAFIA QUANTISTICA – FOTONI, BB84 E L'ALGORITMO OLIVIER

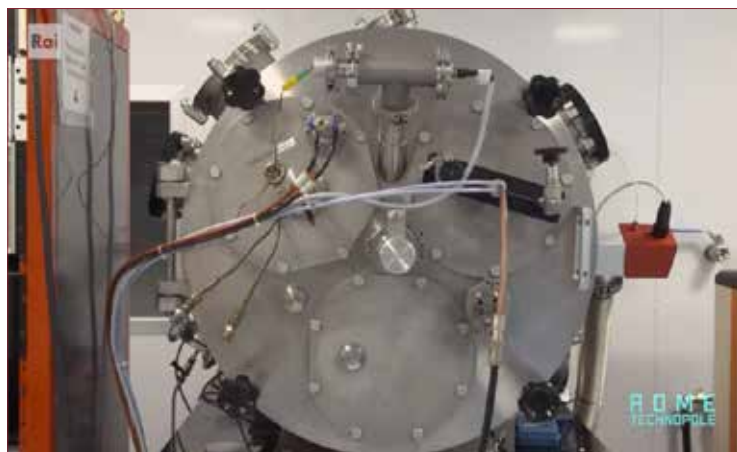
Il filone quantistico di FP5 opera su due livelli distinti:

- la QKD (Quantum Key Distribution), che usa le leggi della fisica per distribuire chiavi inviolabili;
- la crittografia post-quantum, che usa la matematica per resistere ai futuri computer quantistici.

Sono risposte diverse alla stessa minaccia: la violazione, da parte dei computer quantistici che arriveranno, di RSA e ECDSA. FP5 lavora su entrambi i fronti.

Nel quantum lab della Sapienza, guidato dal prof. Sciarrino, si usano singoli fotoni per protocolli di comunicazione sicura tra due utenti, convenzionalmente chiamati Alice e Bob. Una ricercatrice del laboratorio afferma: "Sfruttiamo le proprietà dei fotoni che vanno dalla polarizzazione al momento angolare orbitale per migliorare diversi protocolli, dalla comunicazione quantistica alla crittografia. Nel medio termine vogliamo sfruttare nuovi approcci e sviluppare nuova componentistica. Nel lungo termine dobbiamo avere un impatto fuori dai laboratori, nell'ambito di reti urbane ed esturbane". La collaborazione con aziende del territorio laziale è già attiva: ricerca accademica e sviluppo industriale procedono in parallelo.

All'Università di Cassino, il gruppo di Corbo lavora con un approccio diretto sulla crittografia multivariata post-quantum, con un approccio diretto: "I metodi di crittografia attuali sono vulnerabili all'algoritmo di Shor, che non ha ancora trovato attuazione perché necessita di quantum computer. Questi quantum computer stanno arrivando. Stiamo cercando di sviluppare un nuovo algoritmo che abbiamo battezzato Olivier, con la filosofia di



Il laboratorio di nano e microelettronica di Tor Vergata: componenti di nuova generazione per apparati sperimentali avanzati, sviluppati in collaborazione con Leonardo e Airbus Italia per comunicazioni quantistiche, tecnologie fotoniche radar e sistemi medicali: la sicurezza del dato passa anche dall'hardware (camera anecoica).

(Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)

minimizzare la probabilità che sorgano nuovi attacchi. Abbiamo controllato che tutti gli attacchi esistenti non funzionassero". L'algoritmo Olivier è stato già presentato alla comunità scientifica e la sua validità verrà testata nel tempo. Il settore è considerato un'urgenza dall'industria: "Da parte delle aziende c'è molta sensibilità verso la sicurezza delle comunicazioni, perché è un tema percepito come attuale".

AI PER IMMAGINI – DALLE NAVI AL SATELLITE, DALL'INFRAROSSO AL VISIBILE

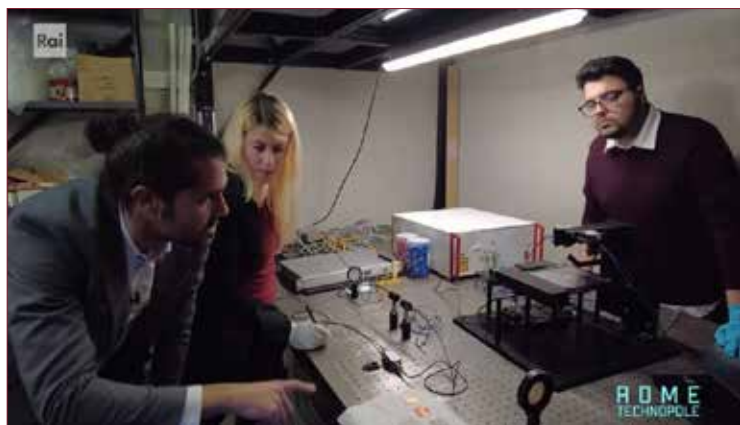
Il filone AI è doppio: da una parte, super-risoluzione e traduzione multimodale di immagini satellitari e marittime; dall'altra, AI per cybersecurity (in particolare riguardo il rilevamento delle minacce, l'orchestrazione degli allarmi e la risposta agli incidenti).

I modelli già sviluppati sono quattro:

1. StableShip-SR per la super-risoluzione di immagini di navi da satellite: ricostruisce dettagli morfologici che consentono di classificare il tipo di nave, stimarne il carico e identificarne il numero IMO.
2. MWT-Diff e ResQu per la super-risoluzione satellitare e la rappresentazione multimodale.

PUBBLICAZIONI RADAR FP5 (DOCUMENTATE AL MAGGIO 2025)

- Stima velocità singola elica - EuRAD 2024, Parigi (pubblicato)
- Stima eliche controrotanti bicottero - IRC 2024, Rennes (in pubblicazione)
- Simulatore radar per classificazione droni - IJMWT (in revisione)
- Validazione quadricottero - IEEE Radar Conference 2025, Cracovia
- Strategia DoA tre antenne non uniformi + MIMO + monopulse su FPGA - Sensors 2023/2025; IRS 2025, Amburgo (accettato)



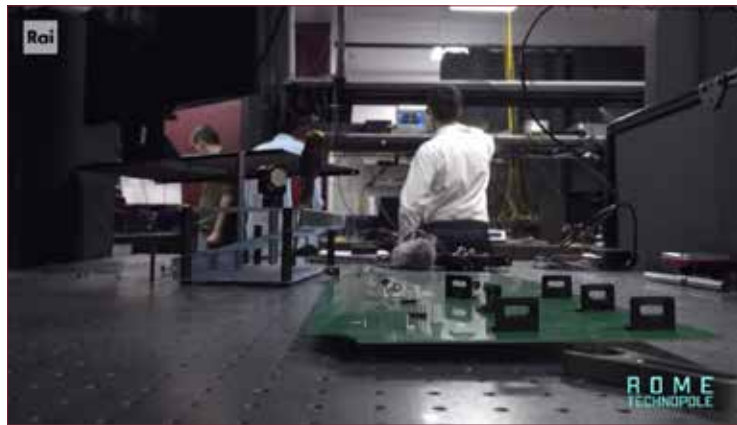
Il laboratorio AI per immagini della Sapienza: i modelli StableShip-SR e MWT-Diff per la super-risoluzione di immagini satellitari e marittime sono già trasferiti a Leonardo per applicazioni di sorveglianza aerea. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)

3. StawGAN per la traduzione infrarosso.
4. RGB per la conversione di immagini da sensori termici in rappresentazioni visivamente analoghe alle fotografie nel visibile, abilitando la fusione di dati da sensori diversi e la generazione di training data sintetici.

Una ricercatrice del laboratorio AI della Sapienza spiega l'orizzonte più ampio: "Sviluppiamo algoritmi di intelligenza artificiale generativa soprattutto per dati multimediali – immagini, video, audio. Spesso generiamo un tipo di dato a partire da altri, come nel caso di tradurre le immagini da un dominio all'altro. In futuro mi aspetto di sviluppare algoritmi che abbiano un impatto positivo sulla società e che siano disponibili al pubblico". Il trasferimento tecnologico verso Leonardo – che ha capacità di sorveglianza aerea e satellitare – è già strutturato con collaborazioni e internship.

LA BANDA TERAHERTZ – GRAFENE, METASUPERFICI E IL FUTURO A 10 ANNI

Il THz occupa lo spazio dello spettro tra microon-



Il laboratorio di dispositivi terahertz del CNR-IMM: materiali a base di grafene per modulare dinamicamente le caratteristiche elettromagnetiche dei dispositivi, abilitando nuove tecnologie per il 6G e l'imaging medico non ionizzante. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)

de e infrarosso: la "regione proibita" dell'elettronica per decenni, oggi al centro della corsa tecnologica per 6G, imaging medico non ionizzante e sicurezza non invasiva.

Al CNR-IMM (Istituto di Microelettronica e Microsistemi) un gruppo interdisciplinare, composto da fisici, ingegneri delle telecomunicazioni e chimici, lavora sui materiali e sui componenti chiave. Il punto di partenza è il grafene, "un materiale che può permettere di cambiare le caratteristiche dei dispositivi dinamicamente tramite l'applicazione di uno stimolo esterno. Questa è una proprietà unica che può permettere lo sviluppo di nuove tecnologie per le comunicazioni del futuro", dice un ricercatore del CNR-IMM. Un collega aggiunge sulla timeline industriale: "Il terahertz è una tecnologia che ragiona molto avanti nel tempo, in un arco di dieci anni e anche di più, per poter essere sviluppata su base commerciale. È per questo che speriamo che l'impulso delle aziende possa crescere nel tempo". A Roma Tre, Filiberto Bilotti lavora sulle metasuperfici riconfigurabili: "Siamo stati i primi a offrire corsi sui metamateriali a livello magistrale e dotto-

IL TERAHERTZ IN NUMERI: PERCHÉ CONTA PER IL 6G

Lo spettro THz (100 GHz-10 THz) offre larghezze di banda ordini di grandezza superiori al 5G: capacità trasmissive nell'ordine dei terabit/s, necessarie per le applicazioni 6G (deployment previsto 2030-2035).

Limiti attuali: forte attenuazione atmosferica (vapore acqueo), antenne microscopiche che richiedono beamforming avanzato, componentistica ancora costosa per mancanza di filiera industriale. Applicazioni immediate: link wireless indoor ad alta densità (data center, ospedali), imaging medico non ionizzante, controllo di sicurezza non invasivo.

Vantaggio italiano: il CNR-IMM e Roma Tre costruiscono competenze in un segmento - metasuperfici e dispositivi THz a grafene - ancora poco presidiato dai grandi competitor asiatici e americani.



Attività in ambiente controllato per la caratterizzazione di dispositivi e materiali avanzati nel dominio THz. ricercatrice al monitor
Una ricercatrice di spalle davanti a schermi multipli con interfacce di analisi dati; ambiente di laboratorio di elaborazione segnali o imaging AI; logo RT.

rale. Sono particolarmente richiesti oggi laureati in ingegneria elettronica che sappiano progettare metasuperfici le cui proprietà elettromagnetiche possono essere controllate in tempo reale. Per l'industria rappresentano una tecnologia estremamente importante che guiderà l'innovazione negli anni a venire". Il modulo FP5 documenta setup per spettroscopia e imaging THz, prototipi di metasuperfici fishnet, antenne leaky-wave, modulatori a cristalli liquidi e tecniche di caratterizzazione a banda larga: la produzione scientifica è già più ricca di quanto lasci intendere una lettura rapida del sito RT.

IL CONTESTO: AUTONOMIA STRATEGICA, DUAL-USE E LA DOMANDA APERTA

FP5 ha il profilo più chiaramente dual-use di tutto RT: radar AESA, comunicazioni sicure e AI per immagini satellitari sono utili sia per la difesa, sia per le applicazioni civili. "Le tecnologie stanno evolvendo con una rapidità (?) enorme. Quello che la nostra azienda sta cercando di fare è introdurre la tecnologia digitale nello sviluppo di questi sensori, che permette di elaborare quantità di dati fino a poco tempo fa inimmaginabile". E sul perché di RT: "È necessario avvicinare il mondo delle aziende a quello delle università. Per fare prodotti che stiano sul mercato e sono avanzati tecnologicamente è necessario utilizzare tutta la ricerca universitaria, che un'azienda da sola non avrebbe modo di fare". Il PNRR non finanzia armamenti diretti: FP5 ha finalità civili dichiarate, tra cui la gestione del traffico aereo, il monitoraggio del meteo, comunicazioni civili sicure. Il progetto si inserisce nel quadro EDIS e nel Fondo Europeo per la Difesa, ovvero ridurre la dipendenza da fornitori extra-UE in radar, QKD ed elettronica avanzata. Il contributo specifico non è nella massa critica, ma nella specializzazione: micro-Doppler per droni, QKD su reti ibride, metasuperfici THz, con Leonardo e CNR come cerniere tra ricerca e industria.

La domanda rimane aperta: poiché le tecnologie



Le tecnologie radar, quantistiche e terahertz richiedono competenze specialistiche capaci di collegare ricerca, sicurezza e applicazioni industriali. Il prof. Pierfrancesco Lombardo, ordinario di Telecomunicazioni alla Sapienza, guida il gruppo di ricerca sui radar AESA digitali e le architetture MIMO per la classificazione di droni. (Fonte: RAI)

sviluppate con fondi PNRR avranno applicazioni sia civili sia militari, chi decide quale uso prevarrà? La risposta istituzionale è formalmente corretta, ma non risponde alla domanda sostanziale: la conoscenza prodotta non ha confini. Il lettore di GEOmedia, che lavora con dati geospaziali e immagini satellitari, la riconosce come propria condizione strutturale.

PROGETTO

FP5 · TRANSIZIONE DIGITALE · CAPOFILA: LEONARDO · COORDINATORE: FILIPPO DE STEFANI · PARTNER: SAPIENZA, TOR VERGATA, TUSCIA, ROMA TRE, CNR, CASSINO · INDUSTRIA: AIRBUS ITALIA, MBDA ITALIA

ABSTRACT

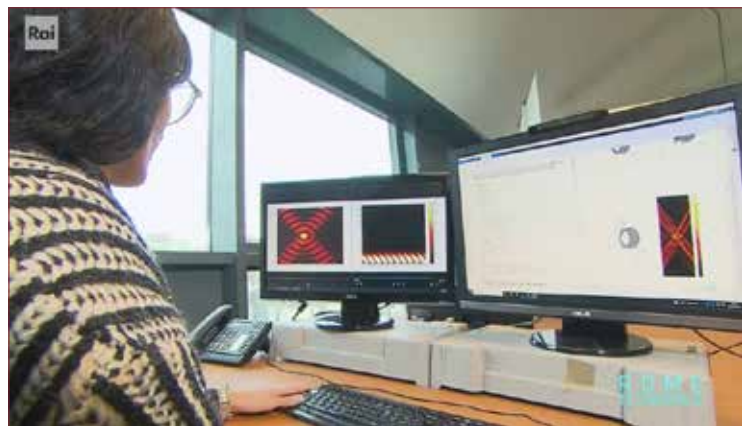
Flagship Project 5 of the Rome Technopole ecosystem, led by Leonardo (coordinator: Filippo De Stefani) with partners Sapienza, Tor Vergata, Tuscia, Roma Tre, Cassino, CNR and Airbus Italia, MBDA Italia, addresses digital transition through four research lines at different technology readiness levels: (1) AESA radar - micro-Doppler drone classification, MIMO architectures, monopulse DoA estimation and FPGA validation (EuRAD 2024, IRC 2024, IRS 2025); (2) quantum cryptography - QKD with BB84 and free-space optical channels at Sapienza (Sciarrino group), and the Olivier post-quantum algorithm based on multivariate cryptography (Cassino, Corbo group); (3) AI for satellite and maritime imagery - super-resolution (StableShip-SR, MWT-Diff, ResQu) and multimodal translation (StawGAN, IR to RGB); (4) terahertz devices - graphene-based reconfigurable metasurfaces and components at CNR-IMM, reconfigurable metasurfaces at Roma Tre (Bilotti group). The article includes direct quotes from key researchers from the RAI Play video (Ep. 9) and discusses the dual-use governance challenge in PNRR-funded research with defence industry partners.

KEYWORDS:

AESA RADAR, MICRO-DOPPLER, DRONE CLASSIFICATION, QKD, POST-QUANTUM CRYPTOGRAPHY, OLIVIER ALGORITHM, THZ METASURFACES, AI IMAGERY, SUPER-RESOLUTION, DUAL-USE, STRATEGIC AUTONOMY

AUTORE

VALERIO CARLUCCI
REDAZIONE@MEDIAGEO.IT



Analisi digitale e visualizzazione dei segnali: l'AI entra nella lettura di immagini, pattern e anomalie rilevate dai sensori. ricercatrice al monitor
Una ricercatrice del laboratorio AI della Sapienza al lavoro su algoritmi di intelligenza artificiale generativa per la traduzione multimodale di immagini da sensori termici a rappresentazioni nel visibile. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)