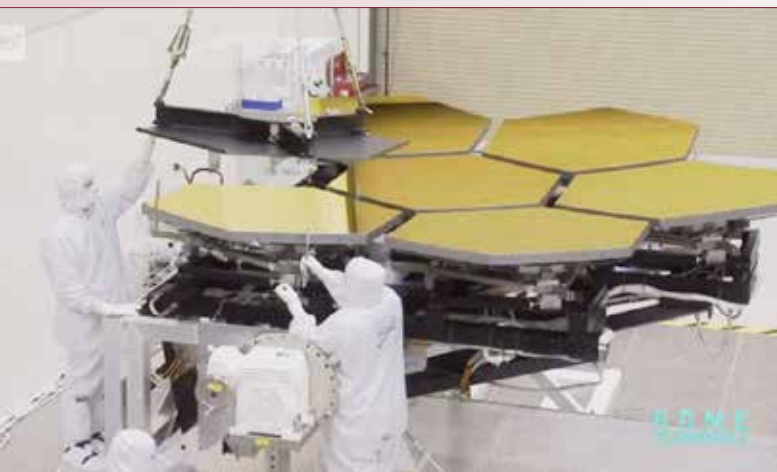


Il satellite nasce due volte

Prima nel gemello digitale, poi nell'officina: AI, realtà virtuale e robotica reinventano la manifattura spaziale italiana

di Valentina Ricca

10 Working Group, 15 entità tra università e industria, un obiettivo: trasformare in proof-of-concept le tecnologie digitali più avanzate per l'ingegneria aerospaziale.



Un satellite Thales Alenia Space durante le fasi di assemblaggio: costruire un satellite richiede migliaia di componenti con tolleranze nell'ordine dei micron e zero possibilità di manutenzione una volta in orbita. FP6 usa AI e realtà aumentata per ridurre gli errori prima del lancio. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)

Thales Alenia Space produce satelliti da quarant'anni: telecomunicazioni, osservazione della Terra, navigazione, la Stazione Spaziale Internazionale. Costruire un satellite è una delle operazioni manifatturiere più complesse che l'umanità sia in grado di compiere: migliaia di componenti, tolleranze nell'ordine dei micron, zero possibilità di manutenzione in orbita. Ogni errore che passa inosservato in officina diventa un satellite inutilizzabile a 36.000 chilometri dalla Terra. Il Flagship Project 6 di Rome Technopole parte da qui: come usare l'intelligenza artificiale, la realtà virtuale e la robotica per ridurre quegli errori, accelerare la produzione e rendere più capace un'industria che oggi deve competere con SpaceX, Planet e una nuova

generazione di operatori che hanno cambiato le regole del gioco. Tutti seduti attorno agli stessi problemi concreti.

IL PROGETTO: DIECI WORKING GROUP, UN FILO COMUNE

FP6 è strutturato attorno a un Joint Lab che riunisce Thales Alenia Space, le università e gli altri partner industriali (Airbus Italia, Al maviva, BV-Tech) attorno a un principio dichiarato: sviluppare e implementare algoritmi di intelligenza artificiale a supporto dell'industria, che dialogano con gli utilizzatori per mezzo di sistemi di realtà aumentata e virtuale. Uno spazio dove i problemi reali di TAS – come si assembla un satellite in modo corretto, come si ottimizza una fabbrica, come si gestisce il lancio – incontrano le competenze scientifiche degli atenei al di là della ricerca puramente teorica.

"La nostra azienda è impegnata in quattro linee di ricerca, due principalmente incentrate su realtà virtuale e robotica, legate da una linea comune che è l'intelligenza artificiale", spiega Gianluca Graglia di Thales Alenia Space, coordinatore del progetto.

Realtà virtuale e tracciamento dei gesti: il gemello digitale guida e verifica le operazioni di montaggio in tempo reale. mano robotica con guanto esoscheletrico Il WG4 di FP6 sviluppa robot collaborativi guidati da AI per l'assemblaggio autonomo di unità di volo nei sottosistemi satellite: non per sostituire l'operatore, ma per liberare i tecnici specializzati per le fasi più critiche. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)



Il risultato atteso è misurabile: proof-of-concept funzionanti su problemi concreti, non simulazioni accademiche.

CLUSTER A: LA FABBRICA DEL SATELLITE SI FA DIGITALE (WG 1-4)

"Immaginate di dover montare un armadio: invece di istruzioni complesse da interpretare, indossate un visore di realtà aumentata e un algoritmo vi dice quale vite prendere, quale strumento usare, dove posizionarla, e poi controlla la corretta installazione", illustra Graglia. È esattamente questo che il WG1 sviluppa per l'assemblaggio dei satelliti: un assistente virtuale in linea di produzione che guida l'operatore passo per passo, riducendo gli errori in un processo dove la tolleranza zero diventa un requisito.

Il WG2 scala il concetto all'intero processo di assemblaggio: algoritmi di Object Detection e Anomaly Detection monitorano in tempo reale ogni operazione, confrontando lo stato reale con il modello digitale del satellite. Un bullone mancante, un connettore nel jack sbagliato, un cavo con raggio di curvatura errato: tutto viene segnalato prima che il satellite lasci l'officina.

Il WG3 crea il gemello digitale dello stabilimento, ottimizza layout, competenze e sequenza delle attività. Graglia porta un esempio concreto: "Avendo un modello digitale di fabbrica completo sarebbe possibile fare previsioni su cosa succederebbe se non avessi più le forniture dai miei fornitori abituali – come è successo con il Covid e con la guerra in Ucraina". Resilienza produttiva come output diretto del digital twin.

Il WG4 porta robot collaborativi guidati da AI per l'assemblaggio autonomo. Non sostituiscono l'operatore nel breve termine, ma eseguono operazioni standardizzate con precisione costante, liberando i tecnici specializzati per le fasi più critiche e ad alto valore aggiunto.

CLUSTER B: METAMATERIALI, NANOPOROSI E IL PROBLEMA DELLE VIBRAZIONI AL LANCIO (WG 5)

Il momento più violento per un satellite è il lancio. Le vibrazioni trasmesse dai motori del vettore possono danneggiare irrimediabilmente componenti elettronici sensibili. Il WG5 affronta questo problema con due approcci complementari che nascono dai laboratori della Sapienza.

"I nostri sistemi di protezione ottimizzati con algoritmi di AI servono a schermare i satelliti dagli eccessi di accelerazioni e vibrazioni durante le fasi di lancio", spiega il prof. Walter La Carbonara. La sua linea lavora sui metamateriali: strutture artificiali progettate con tecniche di manifattura addi-



Osservazione satellitare e dati orbitali: FP6 collega la manifattura spaziale alle applicazioni di monitoraggio e analisi del territorio.

tiva che mostrano la proprietà di essere totalmente schermate dalle vibrazioni in certi campi di frequenza. L'idea di fondo è scalare le masse vibranti a dimensioni nanoscopiche, introducendole nella struttura cellulare del materiale stesso.

Il gruppo di Alfredo Giacomello lavora, invece, su materiali nanoporosi, all'interno dei quali l'acqua entra ed esce dissipando energia: "Vogliamo progettare atomo per atomo questi materiali e, con l'aiuto dell'intelligenza artificiale, prevederne il comportamento su scale molto più grandi. Un

I DIECI WORKING GROUP DI FP6

WG1 Machine Aided Design - AI + VR immersiva per progettazione interattiva di sottosistemi satellite senza simulazioni tradizionali.

WG2 Digital Assembly & Inspection - Object Detection e Anomaly Detection per assistere l'operatore nell'assemblaggio e verificare la corretta esecuzione.

WG3 Factory Digital Twin - ottimizzazione layout stabilimento, gestione skills, rescheduling automatico in caso di deviazioni.

WG4 Robotic Assembly - robot guidati da AI che integrano autonomamente unità di volo nei sottosistemi satellite.

WG5 Advanced Materials - metamateriali e materiali nanostrutturati per smorzamento vibrazioni; materiali per calcolo neuromorfico; spintronici; additive manufacturing.

WG6 AI4SbA - ML/DL per analisi spettrale da missioni spaziali; ottimizzazione traffico da dati satellitari; sorveglianza orbita GEO.

WG7 Energy Efficiency with AI - gestione consumo energetico edifici; illuminazione pubblica intelligente.

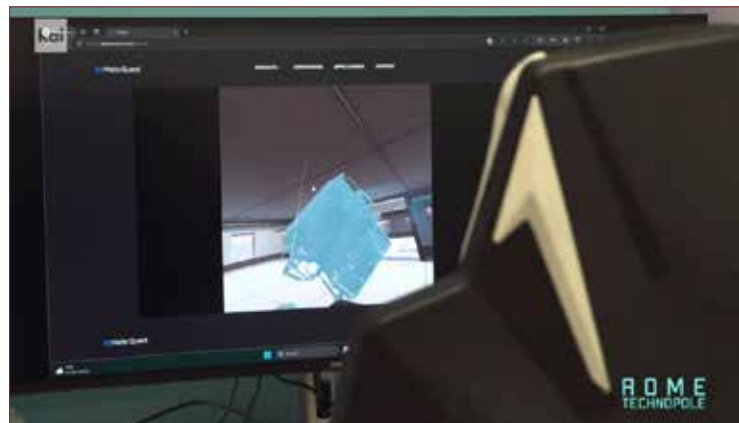
WG8 Complex Networks - ML per reti complesse su larga scala in diversi domini applicativi.

WG9 Neural Network Engine - coprocessore FPGA per inferenza di reti neurali in applicazioni aerospaziali (AeneasHDC, IEEE WCCI 2024).

WG10 Detection of Pollutants - rilevamento inquinanti in aria e acqua con IoT a basso costo e ML (paper ICPR 2024, Springer).



Test di un drone autonomo: le tecnologie di AI per immagini e rilevamento degli inquinanti sviluppate nei WG6 e WG10 trovano applicazione sia in ambito aerospaziale che nel monitoraggio ambientale distribuito. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)



Visualizzazione della risposta in frequenza (FRF) di un metamateriale: il gruppo di La Carbonara alla Sapienza progetta strutture in manifattura additiva che schermano completamente le vibrazioni in certi campi di frequenza, proteggendo i componenti elettronici sensibili durante il lancio. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)

giorno mi piacerebbe vedere a bordo di un satellite i dispositivi da noi progettati". I due approcci – metamateriali di La Carbonara e nanoporosi di Giacomello – sono complementari e sinergici: sfruttano l'isolamento passivo dalle vibrazioni attraverso la struttura del materiale stesso, invece di sistemi meccanici aggiuntivi che pesano e consumano.

CLUSTER C E D: AI PER LO SPAZIO, FPGA E IL RILEVAMENTO DEGLI INQUINANTI (WG 6-10)

Il WG6 porta l'AI nelle applicazioni satellitari concrete: analisi spettrale di dati di missioni spaziali, ottimizzazione del traffico automobilistico da dati GNSS, e sorveglianza dell'orbita geostazionaria con osservazioni ottiche. Due paper al 75° Congresso Astronautico Internazionale di Milano 2024 documentano i risultati: determinazione orbitale LEO e reti neurali per il rilevamento di oggetti su immagini astronomiche.

- Cirelli, Cellupica, Valentini et al. - Impulse dynamics and augmented reality for real-time interactive digital twin. Int J Interact Des Manuf 18 (2024). DOI: 10.1007/s12008-023-01704-y
- Cellupica, Cirelli, Valentini et al. - Digital Twin Model for VR Environments to Train in Use of Sensorized Upper-Limb Prosthesis. Algorithms 2024, 17, 35.
- Lanzino et al. - Faster Than Lies: Real-time Deepfake Detection using Binary Neural Networks. IEEE/CVF CVPR 2024.
- Di Gregorio, Lacarbonara - On bandgap sensitivity to internal resonances in metamaterials. Submitted Nonlinear Dynamics.
- Canese et al. - Onboard FPGA AI/ML Processing on Landsat-8 for Wildfires Detection. ApplePies 2024, Torino.
- Varanese, Bucciarelli et al. - Neural Networks in Object Detection on Astronomical Images. IAC 2024, Milan.
- Mustafa, Molinara et al. - Deep learning for water pollutant detection with SENSIPLUS. ICPR 2024, Springer.

Il WG9 risolve un problema pratico: i modelli di deep learning più performanti consumano troppa energia per i sistemi a bordo. La risposta è un coprocessore FPGA (Field-Programmable Gate Array) per l'inferenza di reti neurali progettato specificamente per applicazioni aerospaziali. Il paper AeneasHDC (IEEE WCCI 2024) presenta il framework per il deploy automatico di modelli Hyperdimensional Computing su FPGA. "Il nostro obiettivo è rendere questi sistemi autonomi, indipendenti, in grado di prendere decisioni il più rapidamente possibile", sintetizza l'ingegnere Olivieri di BV-Tech.

Il WG10 chiude il ciclo con una applicazione di impatto immediato sulla vita quotidiana: il rilevamento di inquinanti illegali in aria e acqua tramite sensori IoT a basso costo. Il paper "A deep learning system for water pollutant detection based on the SENSIPLUS microsensor" (accettato a ICPR 2024, Springer) documenta risultati concreti. La



Infrastruttura di test per sistemi di rilevamento a basso costo: i sensori IoT del WG10, originariamente sviluppati per il monitoraggio dell'inquinamento idrico e atmosferico, condividono requisiti tecnici analoghi ai sistemi embedded a bordo di piattaforme orbitali. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)

connessione con l'aerospazio non è immediata ma esiste: i sensori a basso consumo sviluppati per il monitoraggio ambientale distribuito hanno requisiti tecnici analoghi a quelli dei sistemi sensoristici embedded a bordo di piattaforme orbitali.

IL CONTESTO: NEW SPACE, IRIDE E LA PRESSIONE DELLA COMPETIZIONE GLOBALE

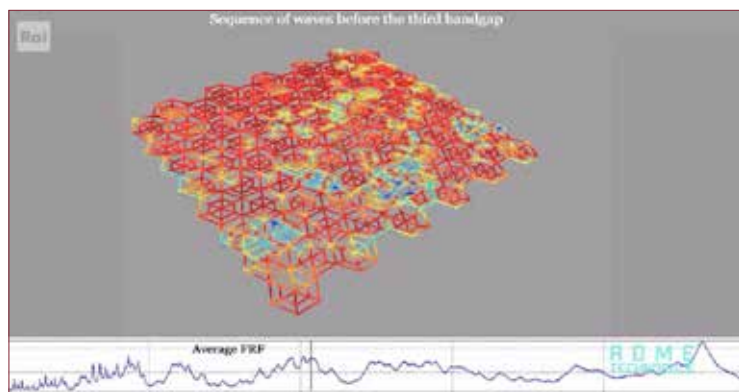
FP6 si inserisce nella trasformazione del settore spaziale: SpaceX ha dimostrato la riutilizzabilità dei razzi, Planet e Starlink le costellazioni di mini-satelliti a basso costo. La competizione è ora su velocità, costo unitario e produzione in serie.

TAS risponde con FP6 per la produzione digitale e con le costellazioni LEO: IRIDE (1,5 mld PNRR, ~60 satelliti LEO) e IRIS² (290 satelliti UE). Le tecnologie WG1-4 si applicano direttamente. Le tecnologie dei WG1-4 trovano applicazione diretta nei satelliti IRIDE che TAS produrrà: assemblaggio digitale, controllo qualità AI, gemello digitale dello stabilimento.

"Siamo secondi a livello europeo nell'ingegneria aerospaziale secondo il Global Rankings of Academic Subjects 2023 - e siamo una delle poche scuole al mondo in grado di occuparsi di piccoli satelliti", ricorda il responsabile della formazione aerospaziale della Sapienza, sottolineando come RT abbia arricchito l'offerta con nuovi dottorati e corsi. Valentini di Tor Vergata aggiunge tre novità concrete:

- lauree magistrali aperte a VR/AR/AI/digital twin;
- borse di dottorato specifiche su queste tematiche;
- corsi di aggiornamento per professionisti delle aziende partner.

"Le aziende ci dicono che tipo di formazione vogliono dai nostri ragazzi per andare a lavorare da loro", conferma la ricercatrice CNR Neda Ghofraniha dell'Istituto dei Sistemi Complessi.



Modellazione tridimensionale e riconoscimento automatico: l'AI permette di leggere superfici, anomalie e strutture complesse. Mappa di analisi territoriale prodotta dal WG6: l'integrazione di dati da missioni spaziali con modelli ML consente di ottimizzare il traffico automobilistico e sorvegliare l'orbita geostazionaria con osservazioni ottiche. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)



Laboratori e prototipi per l'ingegneria aerospaziale: la ricerca passa dal modello digitale alla verifica su apparati reali.

LE DOMANDE APERTE: IP, SCALABILITÀ E IL POST-PNRR

La scheda FP6 ora documenta oltre venti pubblicazioni, tuttavia rimane aperta la proprietà intellettuale. Il framework RT prevede licenza non esclusiva per i partner contributori, ma la tensione tra pubblicazione e brevettazione va negoziata WG per WG.

Questa è la scommessa: se i proof-of-concept dimostrano valore, TAS e i partner industriali finanzieranno la fase successiva. Eppure il modello di collaborazione costruito in tre anni non si replica per decreto: richiede tempo, fiducia e risultati concreti "L'obiettivo finale è portare la ricerca dal nostro laboratorio a un'applicazione reale nell'aerospazio", sintetizza Olivieri. La misura vera non sono le pubblicazioni, bensì i componenti progettati a Roma che finiscono su un satellite.

PROGETTO

FP6 · TRANSIZIONE DIGITALE - INGEGNERIA AVANZATA E AEROSPAZIO
· CAPOFILA: THALES ALENIA SPACE · PARTNER: SAPIENZA, TOR VERGATA, ROMA TRE, CASSINO, TUSCIA, LUISS, UCBM, CNR, INFN, ENEA · INDUSTRIA: AIRBUS ITALIA, ALMAVIVA, BV-TECH

ABSTRACT

Flagship Project 6 of the Rome Technopole ecosystem, led by Thales Alenia Space with partners Sapienza, Tor Vergata, Roma Tre, Cassino, Tuscia, LUISS, UCBM, CNR, INFN, ENEA (academic) and Airbus Italia, Almazov, BV-Tech (industrial), develops AI, virtual/augmented reality, digital twin and robotics for advanced engineering and aerospace manufacturing. Ten Working Groups address: AI-guided satellite assembly with AR headsets (WG1), real-time anomaly detection in manufacturing (WG2), factory digital twin for supply chain resilience (WG3), robotic autonomous assembly (WG4), metamaterials and nanoporous materials for vibration isolation at launch (WG5, La Carbonara and Giacomello groups, Sapienza), AI for satellite data analysis and GEO orbit surveillance (WG6), FPGA-based neural network accelerators for space-embedded AI (WG9, AeneasHDC IEEE WCCI 2024), and IoT-based water/air pollutant detection (WG10, ICPR 2024). Scientific output includes 20+ publications in 2024. The article contextualises FP6 within the New Space competitive landscape, IRIDE and IRIS² programmes, and addresses open questions on IP governance and post-PNRR sustainability.

KEYWORDS:

DIGITAL MANUFACTURING, SATELLITE ASSEMBLY, DIGITAL TWIN, AUGMENTED REALITY, ROBOTICS, METAMATERIALS, FPGA, AI FOR SPACE, NEW SPACE, IRIDE, ROME TECHNOPOLE

AUTORE

VALENTINA RICCA,
REDAZIONE@MEDIAGEO.IT