

IL FATTORE UMANO NELLO SPAZIO: DALLA TECNOLOGIA SPAZIALE ALL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE AI

dal Workshop del 23 Settembre 2020

Autori: Nicola Mirotta, Giovanni Nicolai
con la collaborazione di

Stefano Gallucci, William Carbone, Gustavo Scotti di Uccio, Gianluigi Baldesi, Paolo Benanti,
Matteo Vicinanza

1. INTRODUZIONE

Il workshop del 23 Settembre 2020 è stato dedicato all'importanza del fattore umano nella tecnologia aerospaziale e ha fornito un quadro d'insieme di come l'Intelligenza Artificiale AI e il Machine Learning contribuiscano in modo fondamentale all'evoluzione dell'Industria e dell'Esplorazione Spaziale. Sono intervenuti Associazione Arma Aeronautica AAA, ELV, ESA, IBM, Istituto Italiano di Navigazione IIN e Università Gregoriana che hanno fornito un quadro di insieme dello sviluppo della AI nei diversi settori industriali e operativi. Questo articolo fornisce una sintesi dei vari aspetti affrontati nel convegno sull'importanza del fattore umano e sullo sviluppo di tecniche di Intelligenza Artificiale che cooperano significativamente alla progettazione, simulazione, prototipazione e produzione di sistemi per l'Esplorazione Spaziale.



2. MACHINE LEARNING E INTELLIGENZA ARTIFICIALE (AI) NELL'INDUSTRIA AEROSPAZIALE

L'intelligenza artificiale gioca un ruolo significativo nel taglio dei costi, riducendo i tempi del ciclo di progettazione, simulazione, prototipazione, ottimizzazione, manutenzione, produzione e aggiornamento dei prodotti ed è pronta a guidare molti sviluppi nel settore aerospaziale nei prossimi 15 anni.

Tuttavia, l'adozione di tecniche machine learning nell'industria aerospaziale ed aeronautica è limitata e la ragione principale di ciò è la mancanza di accesso a dati di alta qualità, una maggiore affidabilità su modelli semplici rispetto a modelli complessi e una mancanza di risorse umane qualificate per implementarlo in modo efficace. Asserisce, ad esempio, l'Ing. Gallucci di ELV che l'automazione è ancora principalmente focalizzata a sollevare ingegneri da calcoli onerosi e operazioni ripetitive; man mano che la potenza computazionale aumenta, un ampio database, costruito dalle misure di volo e dai risultati delle simulazioni, può essere già elaborato autonomamente per rivelare anomalie. Gli strumenti di verifica hanno già una certa capacità di auto-esecuzione e di esame dei risultati; la produzione robotica sta diventando comune nell'industria spaziale ma si deve espandere la capacità attraverso cui le macchine agiscono come una squadra. Ad esempio, i sistemi di lancio commerciale stanno diminuendo la complessità per rendere lo spazio più vicino all'attività quotidiana. Allo stesso tempo, il mercato richiede all'industria una risposta rapida ed economica per soddisfare le sue esigenze, rilasciando un nuovo veicolo nel momento giusto al giusto prezzo. L'AI può ridurre i rischi di fallimento dei programmi decennali e multimiliardari per le missioni esplorative, scientifiche e coloniali; ci si può spingere addirittura con una visione a lungo termine a realizzare una macchina fatta di macchine. L'integrazione del machine learning, aggiunge l'Ing. Carbone di IBM, nell'industria aerospaziale garantisce efficacia in termini di costi e sicurezza.

Esempi di aree in cui l'apprendimento automatico è applicato in modo efficace nell'industria aerospaziale oggi:

- Gestione intelligente delle concessioni
- Gestione intelligente delle riparazioni
- Posizione geografica automatica delle parti
- Identificazione di una catena di montaggio
- Dispositivo di documentazione NC
- Ingegneria basata sulla conoscenza
- Selezione alternativa di elementi di fissaggio
- Manutenzione predittiva dei componenti degli aeromobili
- Dimensionamento dei componenti dell'aeromobile
- Reverse Engineering

- Previsione dei danni in servizio agli aeromobili in base alla regione di operazione.
- Costruzione di fabbriche intelligenti
- Qualsiasi attività ripetitiva non ingegneristica ecc...

3. PROGETTAZIONE DEI SISTEMI DI LANCIO CON INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Oggi l'automazione industriale è ancora principalmente focalizzata a sollevare ingegneri da calcoli onerosi e operazioni ripetitive.

Attualmente database di parecchi Gbyte di memoria costruiti da test di volo e risultati di simulazioni possono essere prontamente elaborati in modo autonomo per rivelare anomalie svelate durante la vita operativa tipica di un prodotto qualificato per lo spazio.

Gli strumenti di verifica hanno già un certo livello di auto-esecuzione e capacità di esame dei risultati che aiutano i progettisti nelle operazioni ripetitive normalmente svolte nel quadro di una campagna di qualificazione del sistema spaziale e/o in preparazione di voli ricorsivi.

La produzione robotica normalmente percepita come una pratica standard per l'industria manifatturiera (ad esempio l'industria automotive) non è ancora comune nell'industria aerospaziale a causa dei livelli di produzione tipicamente bassi, l'alto tasso di personalizzazione richiesto da ogni prodotto anche appartenente allo stesso progetto di famiglia.

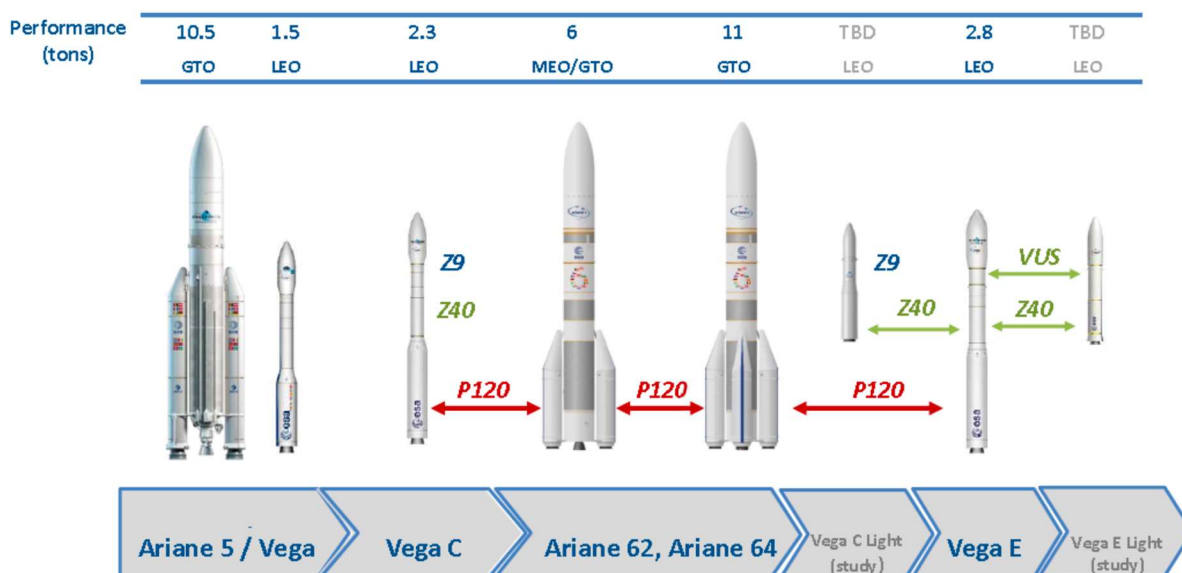


Figura 1: Roadmap per il futuro

In effetti, le cose cambieranno a causa del sorgere di grandi costellazioni di migliaia di veicoli spaziali identici che richiedono un enorme aumento della capacità di lancio, che a sua volta significa più lanciatori da costruire. Questo aumento della domanda guida l'automatizzazione delle linee di

produzione delle industrie spaziali e la rapida introduzione di ALM (Application Lifecycle Management) che è stata stimolata dalla rapida crescita del mercato dei mini-lanciatori a propulsione liquida. Tuttavia, il processo di progettazione è ancora saldamente completamente di proprietà del cervello degli ingegneri.

Dobbiamo espandere le loro capacità attraverso le macchine per creare un team di dieci persone che pensano (e producono) come centinaia, perché la tecnologia diventerà matura. L'industria della tecnologia dell'informazione è già un esploratore che rilascia macchine in grado di avere una certa capacità decisionale, anche per sconfiggere una squadra di scacchi di livello mondiale.

Nel frattempo, i sistemi di lancio commerciale stanno diminuendo la loro complessità per rendere lo spazio più vicino all'attività quotidiana, aumentando la redditività e il tasso di produzione. Allo stesso tempo, il mercato richiede all'industria una risposta rapida ed economica per soddisfare le sue esigenze, rilasciando un nuovo veicolo al momento giusto al giusto prezzo.

In realtà, i classici programmi di sviluppo a lungo programmato e multimiliardari esisteranno ancora per le missioni esplorative, scientifiche e coloniali, sostenuti, come in passato, dal governo e dalle agenzie.

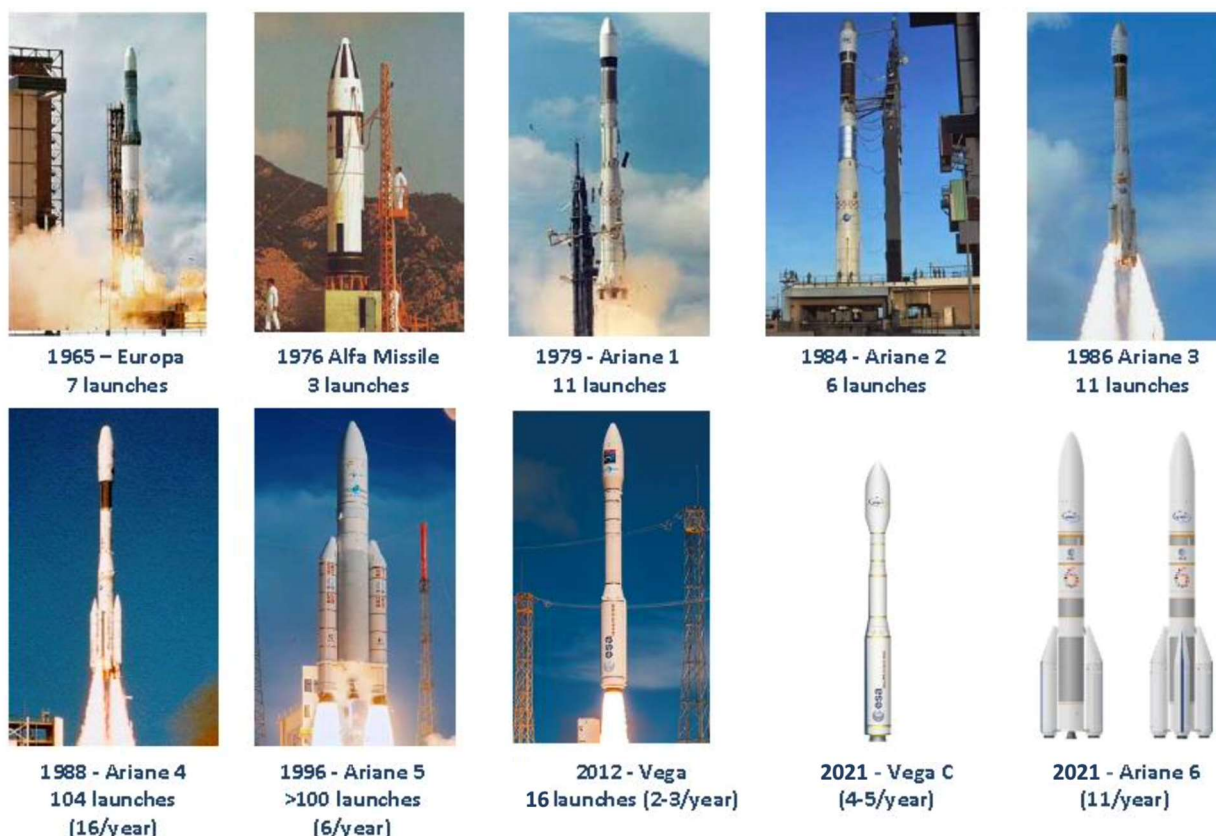


Figura 2: 50 anni di lanciatori spaziali

Ma per rendere il trasporto spaziale ampiamente accessibile è necessario un cambiamento radicale, eseguito dall'aviazione commerciale negli anni successivi alla Seconda guerra mondiale, per passare

dalla produzione prototipale alla produzione di massa. L'AI potrebbe svolgere un ruolo chiave in questa modernizzazione.

È abbastanza probabile che un uso estensivo dell'apprendimento automatico e dell'intelligenza artificiale applicati ai processi di progettazione di sistemi spaziali ridurrà il lasso di tempo e le risorse necessarie per passare dal concetto al volo. Potrebbe anche consentire una produzione altamente automatizzata, minimizzando drasticamente gli errori di fabbricazione.

La rapida crescita delle applicazioni AI può essere una grande opportunità per far partire la vera produzione di massa di veicoli spaziali, in modo da rendere definitivamente l'accesso allo spazio un'attività di routine.

4. INTELLIGENZA ARTIFICIALE NELLE APPLICAZIONI AEROSPAZIALI: SFIDE E BENEFICI

Lo spazio è appetibile per fare business? La corsa allo spazio è guidata da prospettive commerciali? Per diversi anni, il settore satellitare e spaziale commerciale, la Space Economy in senso lato, ha cercato modi per rendere più efficienti e automatizzare la costruzione di apparecchiature, promuovere l'innovazione e aumentare la redditività.

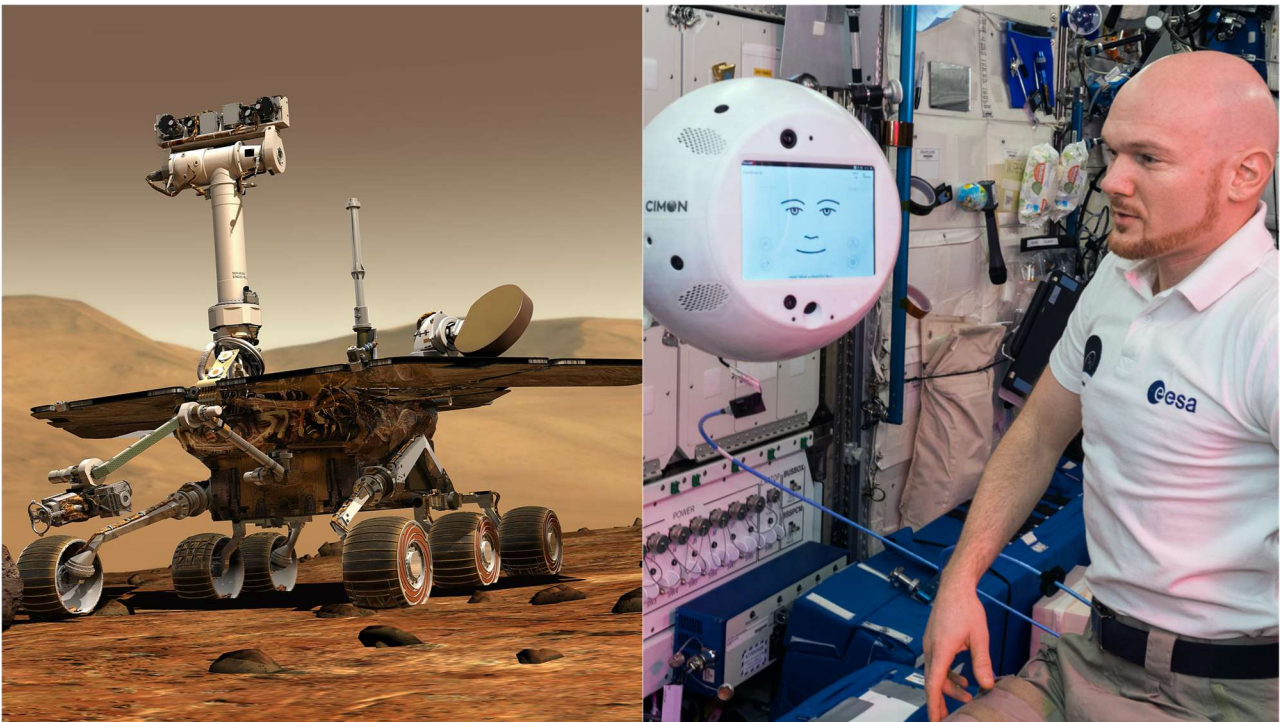


Figura 3: Opportunity Mars Rovers

L'intelligenza artificiale (AI), come contributo all'opera dell'uomo può fornire un valido aiuto in molte applicazioni. Più specificamente, la tecnologia può cambiare il modo in cui gli operatori satellitari globali e le agenzie spaziali elaborano i dati e trasformare il modo in cui opera il settore. Senza andare a progetti multimilionari, citiamo una start-up norvegese che ha identificato di zone di pesca sostenibili e un servizio di previsione di aggregazione dei rifiuti marini basato sull'intelligenza artificiale. Zone di pesca sostenibili significa che il sistema non solo aveva come compito quello di

ottimizzare la pesca e quindi generare ulteriore ricchezza, ma, per evitare la controindicazione l'estinzione delle specie ittiche per una pesca troppo «efficace», la APP in questione aveva anche degli algoritmi per una gestione tale da non violare alcune aree nei periodi di riproduzione dei pesci. L'agricoltura di precisione è un altro esempio, e a questo proposito voglio citare un progetto nostrano: in Sicilia si sta pensando ad un centro di eccellenza per la agricoltura di precisione con utilizzazione di dati satellitari e algoritmi complessi di Intelligenza Artificiale. Sono esempi di applicazioni tecnologiche, che sono economicamente vantaggiose – buon ritorno dell'investimento – ma anche, in linea con i *terms of reference* del nuovo Ministero della Transizione Ecologica.

Gli ambiziosi obiettivi a breve e lungo termine fissati dalle varie agenzie spaziali nazionali richiedono progressi radicali in molte delle principali aree dell'ingegneria spaziale, tra cui certamente la progettazione di agenti spaziali intelligenti.

Ciò ha portato negli ultimi anni a un crescente interesse per l'intelligenza artificiale da parte dell'intera comunità aerospaziale. Nel corso del workshop sono stati citati numerosi esempi: l'uso **della Robotica e dei Sistemi Autonomi** che al momento vede una concentrazione di sforzi per la costruzione di basi su altri pianeti a cominciare da Marte, ma che si appresta ad accadere anche con i Robonaut, dotati di sembianze umanoidi, concepite specificamente per lo svolgimento dei compiti assegnati in genere agli operatori umani, astronauti robot, o forse meglio robot astronauti. Che si tratti di svolgere compiti pericolosi o, come nel caso dello spazio, di raggiungere luoghi particolarmente inospitali per l'uomo, i robot si sono rivelati sostituti validi degli astronauti e, soprattutto, sacrificabili. L'utilizzo di unità robotiche abbatterebbe significativamente i costi delle missioni spaziali prolungate, eliminando dall'equazione quegli approvvigionamenti essenziali per l'impiego di personale umano: cibo, acqua e ossigeno. Una volta terminata la fase di sviluppo e collaudo, queste unità semi-autonome potrebbero diventare protagoniste di importanti missioni di ricerca, esplorazione e addirittura colonizzazione, permettendo un giorno all'umanità di espandersi anche al di fuori del pianeta Terra. La robotica applicata all'aerospazio vede l'apice del suo sviluppo nel modello di Robot Valkyrie, progettato sempre sotto l'egida della Nasa e concepito per la costruzione di basi avanzate in località extraterrestri, quali la Luna e Marte per le quali le comunicazioni sono complicate a causa della distanza del pianeta che può arrivare a 48 minuti tra andata e ritorno. Per questo motivo è necessario che questi Robot siano dotati di una Intelligenza Artificiale estremamente sofisticata in modo da permettere loro di agire per obiettivi e non a comando diretto. L'AI può anche diventare **Social** se si pensa a CIMON (*Crew Interactive MOBILE CompanioN*) che non solo potrebbe rendere un viaggio spaziale un po' meno solitario - e forse un po' più produttivo – ma che può fornire rapidamente informazioni pertinenti e accurate. Oggi abbiamo nelle nostre casse "hey Google" o anche "Alexa".

CIMON è pensato per essere un vero compagno astronauta, un vero assistente che aiuta. Esempi di **DISTRIBUTED AI** e di robotica “basata sul comportamento” stanno evolvendo nel concetto che l'intelligenza possa risiedere in una forma distribuita. **Swarm Intelligence** è stata alla base della prima applicazione commerciale proposta e realizzata per sistemi satellitari era una costellazione di satelliti che fornisce servizi di comunicazione globale per mezzo di tre satelliti posti in orbita geostazionaria. Da allora, un gran numero di costellazioni è stato schierato per fornire servizi di comunicazione globale, navigazione e osservazione della Terra. Analogamente si può accennare alla possibilità di condividere la memoria e le risorse di calcolo di una grande rete di semplici computer è chiaramente allettante per qualsiasi tipo di applicazione.

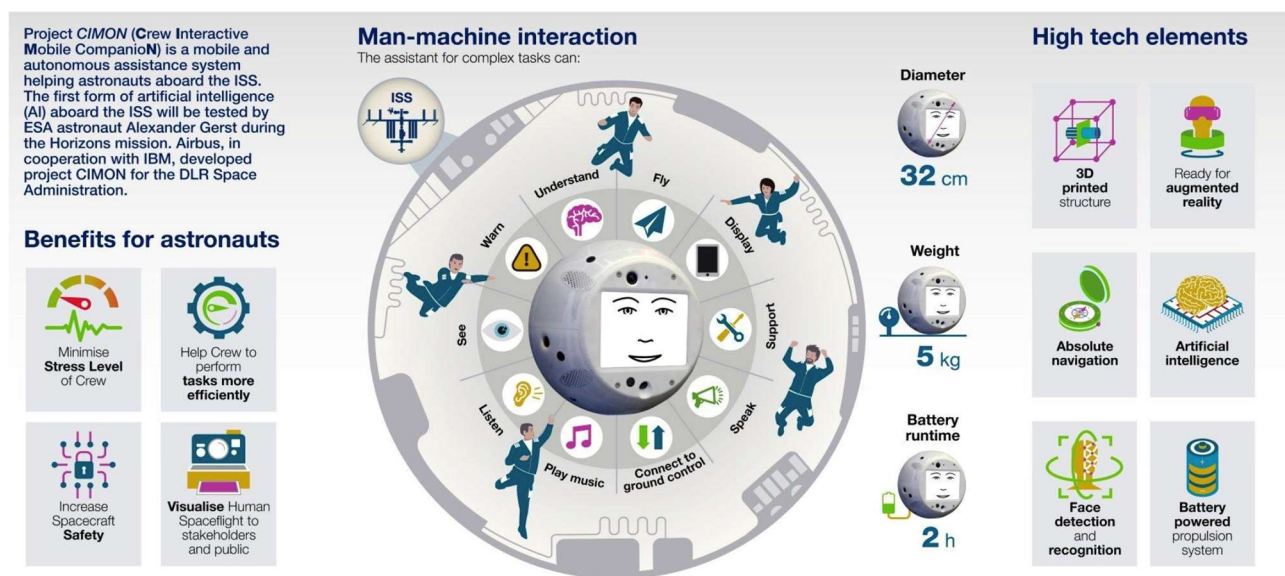


Figura 4: Schema del progetto CIMON

I satelliti scaricano continuamente i dati alle stazioni di terra in un formato non elaborato; Il solo satellite ENVISAT dell'ESA genera 400 terabyte di dati ogni anno e il calcolo distribuito diventa quindi uno strumento utile per consentire un uso efficiente dei dati satellitari, principale asset del business spaziale. I dati di osservazione della Terra provenienti dai satelliti europei sono già stati resi disponibili in una griglia di computer, condividendo potenza di elaborazione, archiviazione di memoria e dati elaborati. Tecniche di AI dette **Enhanced Situation Self-Awareness** permettono ad un veicolo spaziale di essere in grado di eseguire azioni autonome, determinare il proprio stato di salute e alla fine prendere decisioni basate su questa maggiore consapevolezza di sé, e sganciarsi dal sistema classico, fortemente dal segmento di terra e dagli ingegneri di volo che monitorano l'enorme mole di dati di telemetria rimandati sulla Terra durante il funzionamento del veicolo spaziale. I sistemi autonomi per una maggiore consapevolezza della situazione sono quindi un argomento di ricerca molto importante nell'ingegneria dei veicoli spaziali. **Manufacturing:** L'intelligenza artificiale ha il potenziale per migliorare in modo significativo il processo di produzione dei satelliti, in particolare

quando è necessaria un'ingegneria meticolosa per assemblare più pezzi. Tale applicazione dell'IA non solo genererà profitto, ma ridurrà i tempi di produzione, consentendo agli operatori satellitari di lanciarsi prima di prima. Per non parlare di **Enhancing Earth Exploration and Imaging**, dove i dati di imaging della Terra vengono già utilizzati per fornire informazioni utili a governi e aziende; calcolare l'attività macroeconomica per misurare più accuratamente i flussi di migranti e l'impatto del cambiamento climatico; o il **Dynamic Spectrum Detection and Avoidance** per imparare a trasmettere utilizzando le frequenze appropriate e il livello di potenza in uscita per evitare interferenze.

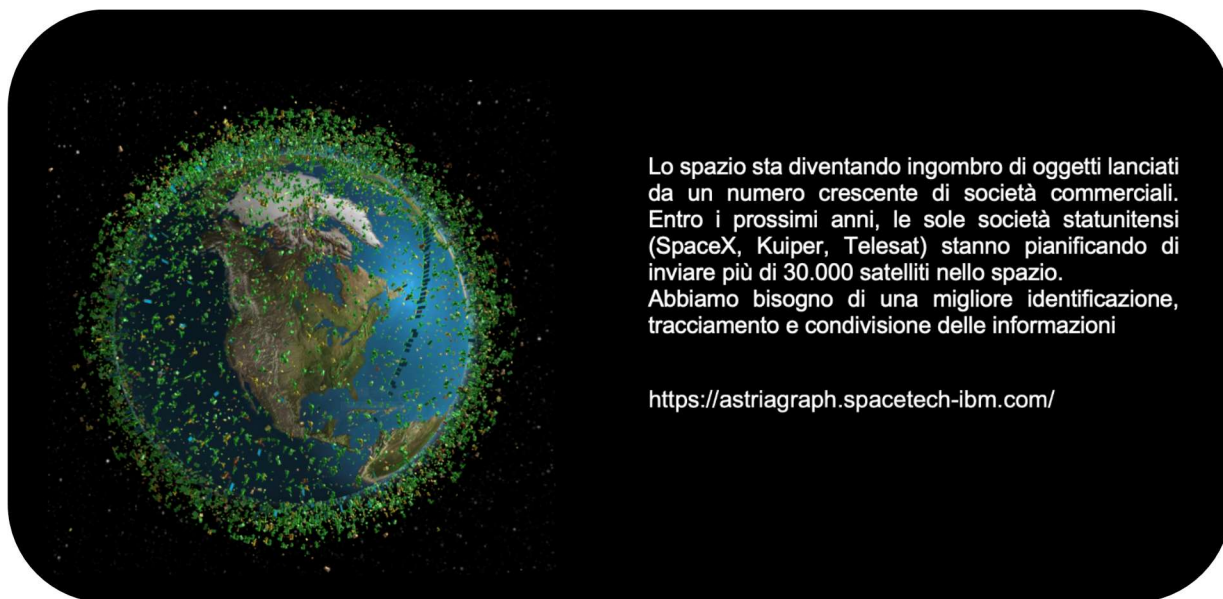


Figura 5: Miriade di Satelliti che affollano l'Orbita Terrestre

5. VERSO L'INTELLIGENZA AUMENTATA: ECOSISTEMI ED ATTORI EMERGENTI DELLO SPACE TECH

I contributi pionieristici di aziende come IBM hanno fatto la storia dell'industria aerospaziale. William Carbone ha toccato temi importanti come l'intelligenza artificiale e aumentata, lo forte trasformazione tecnologica e la collaborazione uomo-macchina che, nello spazio, ha portato ad importanti progetti come CIMON o Robonaut 1&2, tra molti altri.



Figura 6: Rappresentazione di Costellazione di satelliti

William Carbone di IBM ha indicato aree di forte crescita e innovazione nell'ambito SpaceTech, con tecnologie quali Edge Computing, EO, Blockchain e 3D printing, tra le altre, con progetti e iniziative già in produzione:

- **Edge Computing:** L'idea è di fornire un'archiviazione dei dati nello spazio che sia più sicura perché non è fisicamente collegata all'infrastruttura terrestre, basata su una rete di cloud storage nello spazio
- **Predicting Space Weather:** Potrebbe essere possibile capire di più dai dati raccolti dalle missioni spaziali passate. Frontier Development Lab, una partnership pubblico-privata, e ospitata dal SETI Institute, ha un progetto in corso per raccogliere nuove intuizioni dai dati che sono già stati raccolti, consentendo previsioni più dettagliate della meteorologia spaziale, nonché per migliorare la prevedibilità del sistema globale di navigazione satellitare.
- **Blockchain:** Come primo passo, è stato costruito un prototipo di soluzione utilizzando il software Hyperledger open source progettato per consentire a clienti di servizi satellitari, produttori, fornitori di servizi di lancio, centri di controllo delle missioni e operatori satellitari di condividere informazioni su dati di test, controllo di qualità, gestione dei problemi, e dati di volo. Tutta l'attività rilevante viene tracciata in un database immutabile in cui l'accesso può essere limitato ai partecipanti autorizzati.

William Carbone ha incentivato l'apertura di varie forme di collaborazione, dall'accesso al Cloud e iniziative accademiche, fino alle opportunità per le startup di avere un ruolo chiave in questa epoca di forte trasformazione tecnologica per l'industria aerospaziale. La Distributed **Computing**, con la possibilità di condividere la memoria e le risorse di calcolo di una grande rete di semplici computer, è chiaramente allettante per qualsiasi tipo di applicazione.

Una sottolineatura importante è che non tutti i problemi sono adatti per essere risolti in un ambiente informatico distribuito.



Figura 7: Raffigurazione di una potenza di calcolo distribuita

6. L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE INCENTRATA SULL'UOMO COME ABILITATORE PER L'AVANZAMENTO DEL PROGRAMMA SPAZIALE EUROPEO

Oramai possiamo tranquillamente dire che l'AI è tecnologia emergente nel settore privato come in quello pubblico, grandi agenzie di ricerca e sviluppo stanno scommettendo molto su questo tipo di nuove applicazioni, tra queste vi è l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) che ha prodotto, all'interno delle sue divisioni scientifiche, un gran numero di applicazioni grazie all'uso dell'AI.

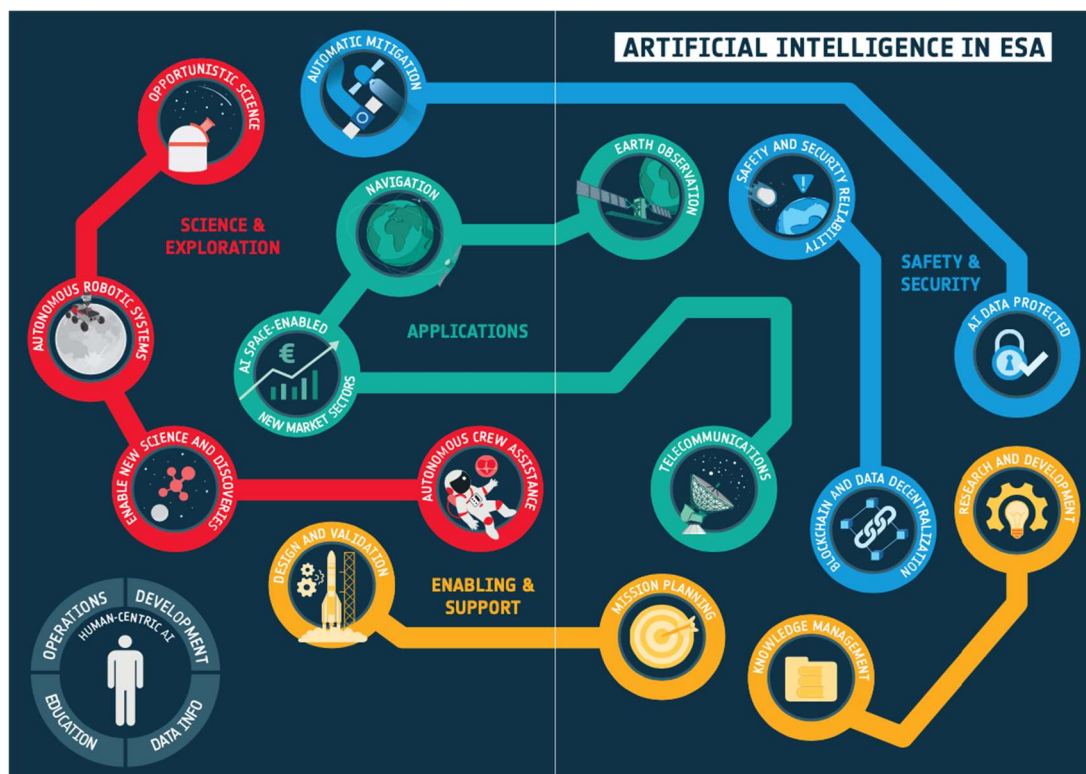


Figura 8: schema di uso dell'AI all'interno delle branche scientifiche di ESA

Alcuni esempi molto significativi,

1. L'AI per la SCIENZA E L'ESPLORAZIONE può drasticamente ridurre i tempi, infatti a bordo di un rover le decisioni verranno prese in pochi secondi mentre attualmente richiedono ore;
2. L'AI per la SICUREZZA, riducendo i tempi, in quanto L'ESA riceve migliaia di avvisi in un solo giorno che comportano una 1 manovra di riposizionamento orbitale ogni 2 settimane;
3. L'AI per le applicazioni di missione, 250 TB dati satellitari distribuiti al giorno che devono essere analizzati;
4. L'AI per ABILITAZIONE E SUPPORTO, sta divenendo fondamentale per operare su future missioni complesse

Infine, un tema ampiamente discusso dal prof. Paolo **Benanti** dell'Università Gregoriana è stata l'etica nell'intelligenza artificiale, in quanto la creazione di intelligenze artificiali (AI) capaci di avvicinare sempre più il modo di "pensare" di una macchina a quello umano è probabilmente una delle sfide più impegnative che attendono l'uomo nei prossimi anni. Quando si parla di intelligenza artificiale si parla sostanzialmente di algoritmi. Dalla complessità e potenza degli algoritmi e delle loro sequenze deriva un'intelligenza artificiale più o meno evoluta; giusto per dare specificità di argomenti la differenza tra intelligenza umana e AI ha una differenza radicale. La AI non va confusa con un analogo umano perché è finalizzata a compiti molto specifici. La relazione che l'uomo può avere con l'intelligenza artificiale è quella che un tempo i nostri nonni avevano con gli animali o quella che hanno oggi i soccorritori con i cani da soccorso; è importante secondo Benanti che la consapevolezza è una qualità umana e richiederebbe un'intelligenza generale e non specifica come quella artificiale.

Tutto ciò Richiederebbe che fossimo in grado di creare non qualcosa ma qualcuno. Ciò non toglie che dovremmo arrivare ad avere macchine che fanno cose che non riusciamo a spiegare, il cui funzionamento complesso potrebbe superare la nostra capacità di comprensione, ma questo non le renderà certamente persone.

7. CONCLUSIONI

L'intelligenza artificiale AI può fornire numerosi vantaggi alla società nel contesto della ricerca e dello sviluppo dell'industria spaziale. I potenziali sviluppi nella produzione, nel controllo dei veicoli spaziali e nel coordinamento allevierebbero i vincoli impegnativi per gli operatori, i governi e le agenzie, oltre a promuovere la produttività e la crescita sia nell'industria dei lanciatori e dei satelliti sia nell'esplorazione spaziale. L'intelligenza artificiale può ridurre i costi per i consumatori, promuovere l'innovazione, fornire soluzioni al problema dei detriti spaziali e garantire certezza agli operatori che trovano il coordinamento della rete sempre più complesso. Tuttavia, l'implementazione dell'AI per lo spazio non è priva di sfide: la maggiore sfida non è tecnica ma legislativa e ancora oggi i quadri normativi internazionali non sono particolarmente favorevoli e di supporto all'AI.