



14 – 18 OCTOBER 2024
MILAN – ITALY

RESPONSIBLE
SPACE FOR
SUSTAINABILITY

ORGANIZED BY



HOSTED BY



CO-HOSTED BY

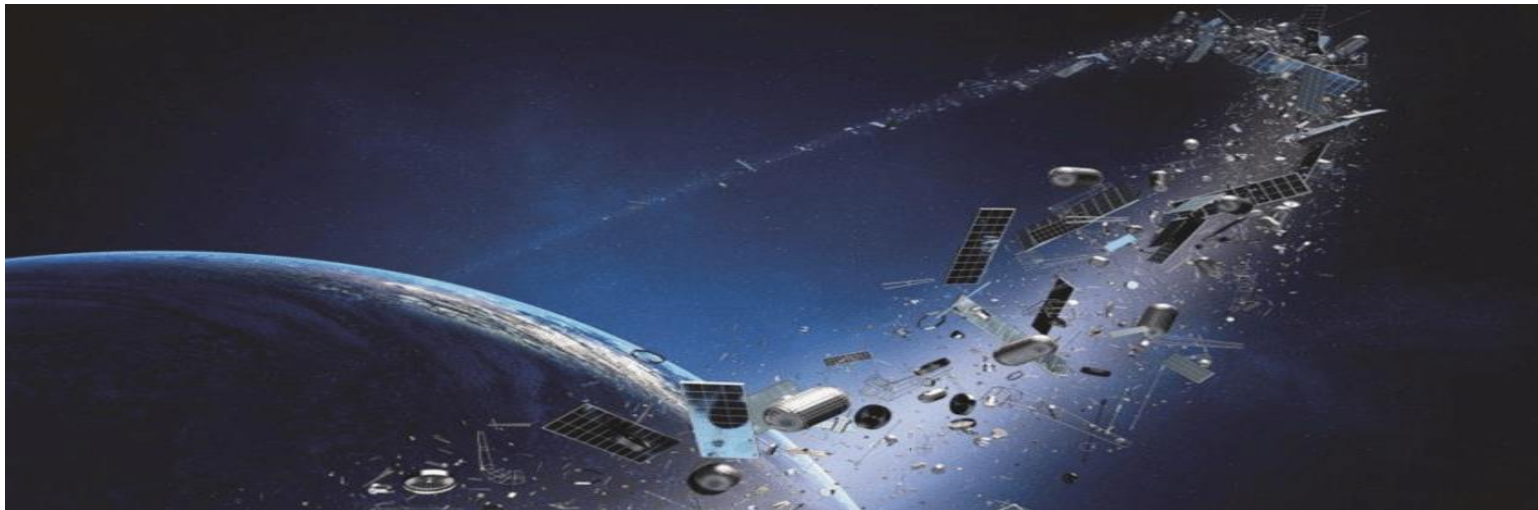


SUPPORTED BY



IAC2024.ORG

La gestione dei rifiuti spaziali

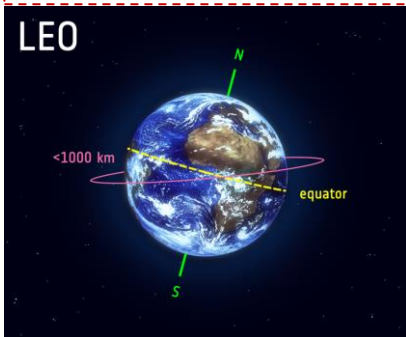


Andrea Cardelicchio - Simone Giacomo Giallongo

Roma - 19/04/2024

L'ambiente spaziale intorno alla Terra (1/2)

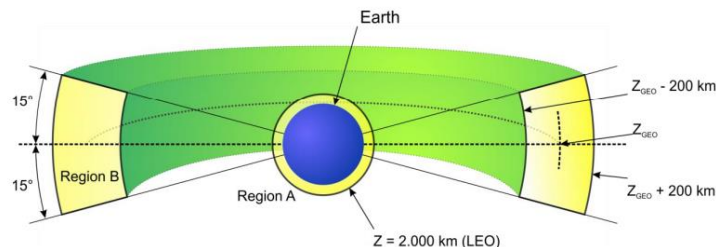
LEO: Low Earth Orbit (Orbite terrestri basse)



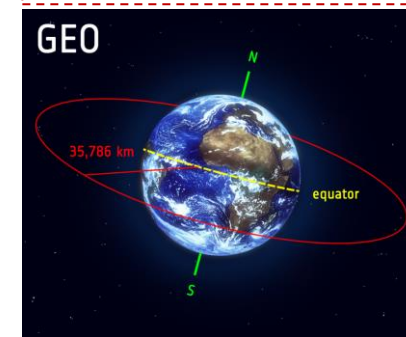
Regioni orbitali protette

Altitudine minore di 2000 km

Altitudine compresa tra 35586 km e 35986 km



GEO: Geostationary orbit (Orbite geostazionarie)



Alcuni numeri

(ESA – Space debris by the numbers)

9.000: satelliti funzionanti in orbita

35.160: detriti monitorati dalle reti di sorveglianza spaziale

Più di 640: frammentazioni avvenute in orbita

Più di 11.500 tonnellate: massa totale degli oggetti orbitanti

36.500: detriti spaziali maggiori di 10 cm

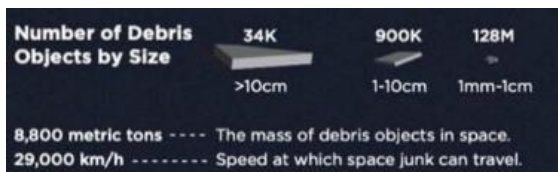
1.000.000: detriti spaziali compresi tra 1 cm e 10 cm

130 milioni: detriti spaziali compresi tra 1 mm e 1 cm

Fonti:

IADC Space Debris Mitigation Guidelines, June 2021;
https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits

L'ambiente spaziale intorno alla Terra (2/2)



Lo spazio è, ormai, un ambiente affollato...

Le orbite più utilizzate (LEO, GEO) sono caratterizzate da una popolazione di rifiuti spaziali (detriti) in costante crescita:

- **satelliti defunti**, lanciati e non rimossi dalle proprie orbite;
- **lanciatori**, adattatori di payload ed altri oggetti di missione.

Questa situazione sta incrementando la possibilità di collisioni nello spazio:

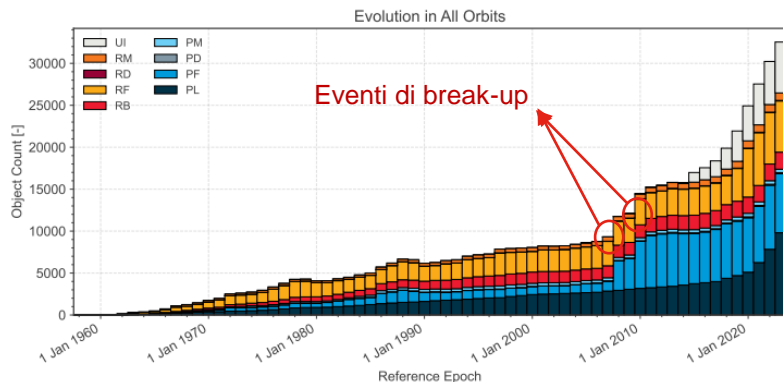
- costi operativi crescenti e minore vita utile dei satelliti a causa di **frequenti Manovre di Collision Avoidance (CAM)**;
- si rischia di **perdere assetti spaziali importanti** e i relativi servizi in caso di collisione;
- **rischi per la vita degli astronauti**, nel caso un detrito colpisca e danneggi la **Stazione Spaziale Internazionale (ISS)**.

...e la sua sostenibilità è a rischio

La popolazione di detriti spaziali sta crescendo con:

- l'**avvento delle megacostellazioni**, composte da migliaia di satelliti;
- la **democratizzazione dello spazio**, anche start-up con budget limitato riescono ormai a lanciare satelliti;
- **eventi di break-up**, ovvero collisioni tra satelliti e detriti spaziali o tra detriti spaziali e altri detriti, che ne creano ulteriori.

Origine dei detriti spaziali



SPACE DEBRIS

<https://www.youtube.com/watch?v=f513HPs24VM>

Test missilistico antisatellite cinese contro **Fengyun-1C**, 11 gennaio 2007, 865 km di altitudine e 8 km/s di velocità relativa.



Più di **3.400 > 10 cm** detriti spaziali generati.

Collisione **Iridium-33 vs Cosmos-2251**, 10 febbraio 2009, 776 km altitudine e **11.7 km/s** di velocità relativa.



Più di **2.300 > 10 cm** detriti spaziali generati.

Test missilistico antisatellite russo contro **Cosmos-1408**, 15 novembre 2021, circa 650 km di altitudine.



Più di **1.500 > 10 cm** detriti spaziali generati.

Fonte: Space Environment Report di ESA, 12 settembre 2023

La sindrome di Kessler

La **sindrome di Kessler** è uno scenario teorizzato dall'astrofisico della NASA **Donald J. Kessler** nel 1978.

Ad oggi, la maggior parte dei detriti spaziali, che possono causare una collisione catastrofica (maggiori di 10 cm), è stata originata da più di 500 eventi di **frammentazione** in orbita.

Simulazioni di lungo termine, effettuate da ESA, indicano che, in poche decadi, i frammenti generati da **collisioni** predomineranno nelle orbite comprese tra 800 e 1.400 km.

Lo scenario più probabile, catastrofico, autosufficiente, prevede frammenti collidere con grandi oggetti, generando altri frammenti che collideranno con altri grandi oggetti e, infine, **frammenti che collideranno con altri frammenti**.

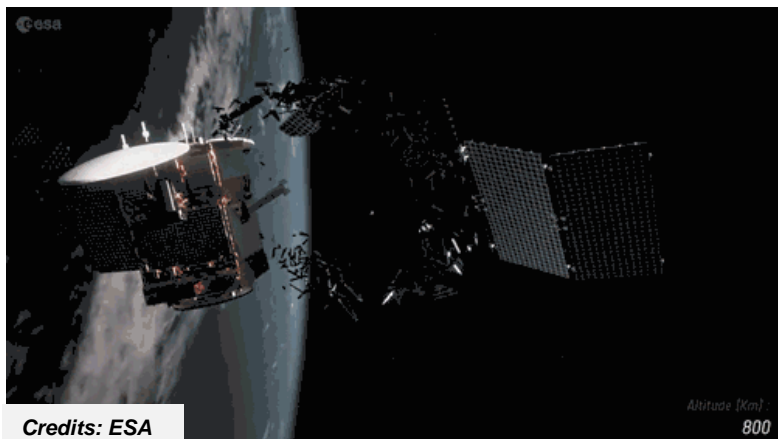
L'IADC (*Inter-Agency Space Debris Coordination Committee*) ha condotto studi includendo megacostellazioni di piccoli satelliti in orbite LEO.



La reazione a catena si potrebbe innescare tra 900 e 1.400 km, data la **densità di detriti** e la non sufficiente azione della resistenza aerodinamica.

Le simulazioni di lungo termine includono il rispetto delle *space debris mitigation guidelines*.

Rischio di collisione



Le collisioni tra oggetti spaziali avvengono a velocità relative che possono raggiungere i **14 km/s** (50.400 km/h).



Un impatto tra un satellite operativo e un frammento di 10 cm di dimensione può portare, a queste velocità, **alla completa distruzione del satellite**.



La distruzione di un satellite comporta sia la perdita del servizio offerto sia la **creazione di altri detriti**.



Quando il rischio di collisione supera determinate soglie, si effettua una CAM, il cui costo stimato, per un generico satellite, può raggiungere **25.000 €**.

Viaggiando a 14 km/s, si percorrerebbe l'Italia (circa 1.300 km) in 1 minuto e 32 secondi!



Impatti sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS)

Le linee guida della NASA prevedono una CAM ogni volta che un detrito è previsto trovarsi all'interno di un parallelepipedo immaginario di 4x50x50 km che circonda la ISS, con probabilità maggiore di 1/10.000.



Secondo un [report NASA di febbraio 2024](#), la ISS ha effettuato 38 manovre di CAM dal 1999.



[Un altro report NASA](#) ha stimato un costo di circa **1 milione di €** per effettuare una CAM sulla ISS, complessivo di:

- personale necessario ad effettuare le analisi di rischio;
- propellente utilizzato;
- tempo astronauta perso in caso di emergenze.

I costi di riparazione, dopo un impatto con un oggetto compreso tra 1 e 10 cm, si stimano intorno a **200 milioni di €**.

Pericoli per gli astronauti: 15 novembre 2021

Il 15 novembre 2021, l'equipaggio della ISS è stato svegliato con due ore di anticipo a causa del possibile passaggio ravvicinato di detrito spaziale.

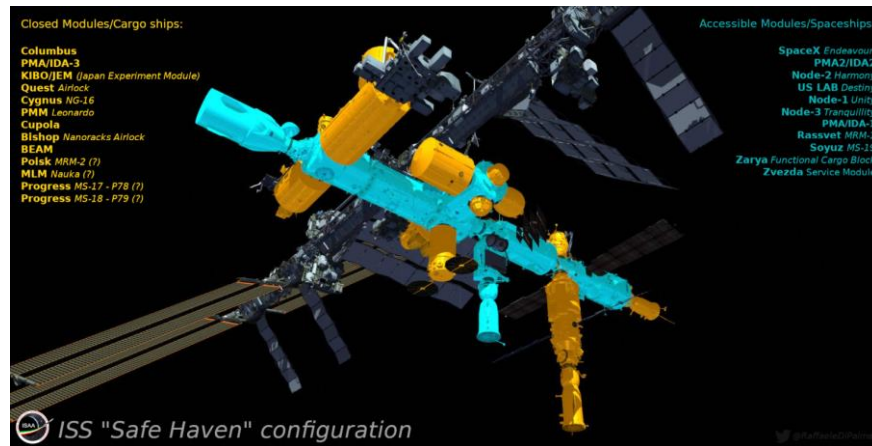
Il detrito era stato originato da un test antisatellite russo, contro Cosmos-1408, effettuato qualche giorno prima. Questo **non ha permesso di tracciare i detriti** in tempo per effettuare una CAM.



Crew Dragon



Soyuz



L'equipaggio ha immediatamente dovuto sospendere, come da procedura, tutte le attività scientifiche e di manutenzione e rifugiarsi nelle capsula *Crew Dragon* e *Soyuz*, per rientrare sulla Terra in caso di danni alla ISS.

Fortunatamente, dopo circa 2 ore, la ISS è stata dichiarata al sicuro e gli astronauti sono tornati alle proprie attività

Come scopriamo e monitoriamo i detriti spaziali? Attraverso i sensori!

I detriti spaziali vengono identificati usando telescopi e radar.

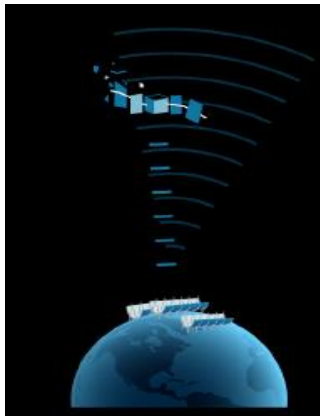


Detection

I detriti spaziali vengono monitorati usando telescopi, radar e laser.



Tracking



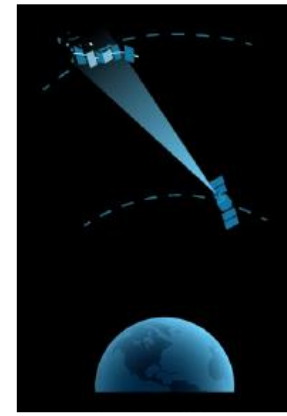
Radar terrestri

- Limitati ad orbite LEO
- Seguono detriti di dimensione minima 10 cm



Telescopi terrestri

- Orbite da LEO a GEO
- Seguono detriti di dimensione minima da 10 cm (LEO) fino ad 1 m (GEO)
- Limitati dalle condizioni atmosferiche



Telescopi spaziali

- Orbite da LEO a GEO
- Essendo molto più vicini, possono seguire detriti molto più piccoli

Come ci si protegge dai detriti? Con la Collision Avoidance!

Il processo di **Collision Avoidance** si basa su tre step.

CONJUNCTION ASSESSMENT



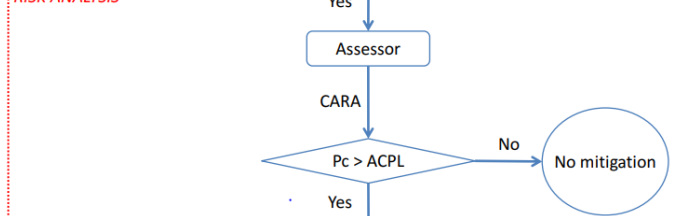
1. Identificazione dell'evento di collisione (CA)

- Un operatore invia i dati del proprio satellite (posizione e velocità al variare del tempo) a CSpOC (*Combined Space Operations Center*).
- Se viene identificato un possibile evento di collisione, viene generato un **Conjunction Data Message (CDM)**, che contiene i dati dell'evento.
- Gli eventi possono essere predetti e notificati con anticipo sino a 7 giorni.
- I CDM non suggeriscono azioni: sono solo informativi (ad esempio, forniscono la probabilità di collisione).

2. Analisi del rischio (CARA)

- La probabilità di collisione (**PoC: Probability of Collision**) viene ricalcolata dall'operatore.
- La PoC viene confrontata con il livello di rischio accettato (**ACPL: Accepted Collision Probability Level**), oltre il quale viene richiesta una CAM.
- L'ACPL dipende da: livello di rischio accettato, incertezza sui dati orbitali, regione orbitale e altri.
- Di solito, gli eventi vengono classificati in base alla PoC:
 - **rischio basso:** $PoC < 1e^{-7}$;
 - **rischio alto:** $PoC > 1e^{-4}$.

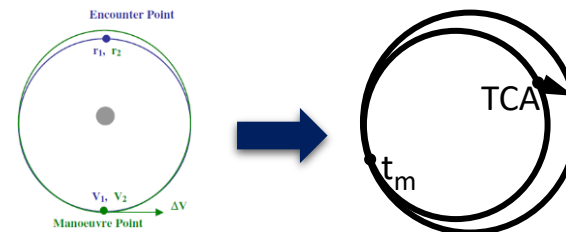
RISK ANALYSIS



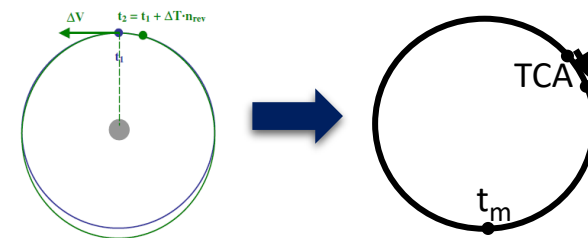
Manovre di Collision Avoidance

3. Azione di mitigazione del rischio (CAM)

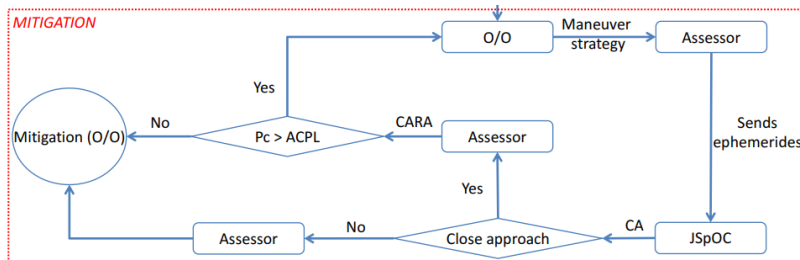
- In caso di eventi ad alto rischio, è necessaria una CAM.
- I dati orbitali, con la manovra, vengono inviati a CSpOC per verificare che la manovra sia **efficace** e non generi **eventi di collisione con altri oggetti**.
- L'operatore riceve risultati, di solito, entro 4 ore.
- Si cerca di far coincidere la CAM con una manovra programmata di manutenzione orbitale, se possibile.
- Dopo una CAM, potrebbe essere necessaria una seconda manovra per tornare sull'orbita nominale, in base ai requisiti specifici di missione.
- I criteri usati in TPZ sono:
 - ❑ ACPL = 0.0001
 - ❑ Separazione radiale (in altezza) = 100 m



Manovra di separazione spaziale: eseguita quando il satellite si trova al punto dell'orbita opposto a quello dell'evento. È anche detta manovra di **breve termine** e crea una **separazione radiale** al TCA (*Time of Closest Approach*).



Manovra di separazione temporale: eseguita con largo anticipo quando il satellite passa nel punto in cui è previsto l'evento di collisione. Crea una separazione temporale al TCA ed è anche detta manovra di **lungo termine**.



Cosa si sta facendo nel mondo?



UNITED NATIONS
Office for Outer Space Affairs



[Space Debris Mitigation Guidelines of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, 2010](#)

Inter-Agency Space Debris Coordination Committee



[IADC Space Debris Mitigation Guidelines, giugno 2021](#)



Federal
Communications
Commission



[FCC Adopts New '5-Year Rule' for Deorbiting Satellites, Settembre 2022](#)



[ESA Space Debris Mitigation Requirements, ottobre 2023](#) e
[ESA Space Debris Mitigation Policy, novembre 2023](#)

In particolare, tra gli ultimi requisiti pubblicati da ESA, si può leggere:

- la durata della **fase di smaltimento dei satelliti** in orbite LEO è stata **ridotta da 25 ad un massimo di 5 anni** dalla fine della missione, per limitare la creazione di detriti;
- la probabilità di successo di smaltimento dev'essere **maggiore del 90%**.

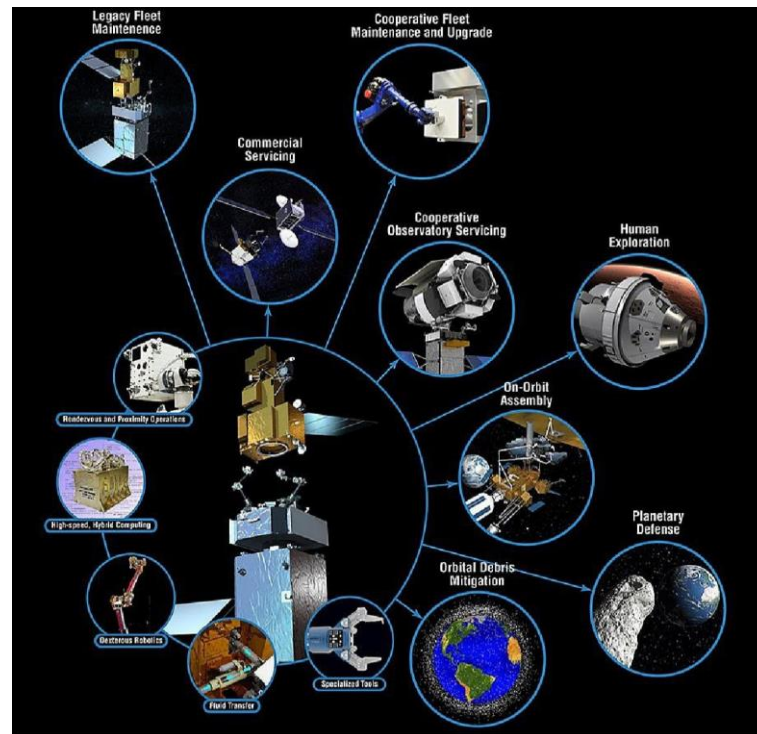
Come si può ridurre il numero di detriti? Con l'IOS!

L'IOS (*In Orbit Servicing*) comprende tutte le attività eseguite direttamente in orbita, con importanti implicazioni in:

- ❑ **sostenibilità spaziale (mitigazione di detriti)**;
- ❑ utilizzo dello spazio (assemblaggio in orbita e sfruttamento di risorse sul posto);
- ❑ protezione dei satelliti (ispezioni e robotica).

Scenario

- Evoluzione verso una **crescente complessità** nelle operazioni spaziali.
 - *Rendezvous and Proximity operations* (RPO)
 - **Active Debris Removal** (ADR)
 - *Life Extension* (LE)
 - *Inspection*
 - *Refueling*
 - *Robotics*
 - *Orbital Logistics*
- L'ADR si concentra sulla **rimozione attiva di detriti spaziali**.



Metodi di rimozione attiva dei detriti (1/2)

➤ Cattura con braccio robotico o tentacoli

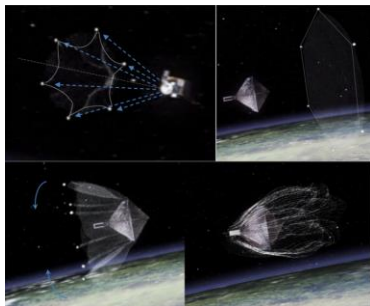
Sono sistemi veloci; la tecnologia è ben nota e può essere testata a terra; possono essere evoluti per operare su più detriti contemporaneamente; sono efficaci su oggetti di varie forme e dimensioni.

Il sistema deve adattarsi all'assetto del detrito da catturare; è necessario un rendezvous con ogni oggetto; il sistema di controllo autonomo, sia di prossimità che di assetto, è complesso.

Missione ESA **ClearSpace-1**, 2025 → https://www.esa.int/Space_Safety/ClearSpace-1



Credits: ClearSpace



➤ Cattura con rete

Può essere usata da grandi distanze; non necessita di un'accuratezza spinta; è efficace su un'ampia varietà di detriti (dimensioni, forme, materiali).

È difficile testarla a terra (6 anni di voli parabolici e camere termiche a vuoto); la spinta per frenare entrambi potrebbe bruciare la rete; il sistema è difficile da controllare.

Missione **RemoveDEBRIS**, 2018 → <https://www.youtube.com/watch?v=PlfRPTlgXuw>

➤ Arpione spaziale

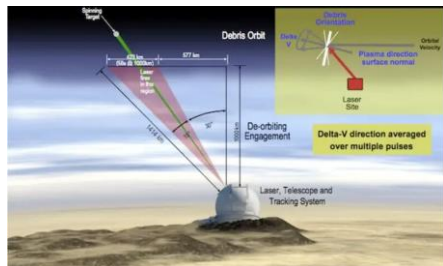
Può essere usato per diverse forme di detriti; non ha bisogno di un punto di presa specifico (come nel caso di un braccio robotico); tecnologia è ben nota a terra.

Si rischia di generare altri detriti spaziali, è difficile predire come il bersaglio reagirà all'impatto, non è adatto ad oggetti che ruotano su se stessi ad alta velocità (rimbalzerebbe).

Missione **RemoveDEBRIS**, 2018 → <https://www.youtube.com/watch?v=dtJ6KWPnPx0>



Metodi di rimozione attiva dei detriti (2/2)



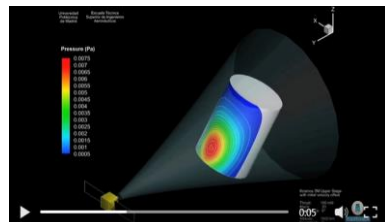
➤ Sistema laser terrestre

A terra si ha sufficiente energia per alimentare il sistema; ha un costo basso rispetto ad un sistema spaziale; non è necessario contatto fisico (un sistema può puntare molti detriti, anche minori di 1 cm). L'atmosfera può disturbare il raggio laser; può essere usato solo verso detriti di cui è nota la posizione (almeno 5-10 cm in LEO); ci sono limiti sulle distanze raggiungibili (ad esempio 1000 km) e soltanto alcuni avranno l'angolo giusto per frenare i detriti (in base alla posizione a terra).

➤ Sistema laser spaziale

Non è presente l'effetto dell'atmosfera a disturbare il raggio laser, come nel sistema terrestre; non è necessario contatto fisico; può puntare ogni oggetto che identifica in orbita (essendo molto più vicino, può identificare anche oggetti minori di 10 cm); l'angolo di frenata non è più un problema.

Hanno costi molto elevati e sono difficili da testare a terra; è difficile generare la potenza sufficiente a bordo (indicativamente tra 1 kW e 20 kW); la relativa tecnologia non è ancora pronta.



➤ Ion Beam Shepherd (IBS)

Un satellite proietta un fascio di ioni sul detrito per spingerlo e trasportarlo (non c'è contatto fisico); può trasportare anche oggetti in rapida rotazione su se stessi; è efficace contro oggetti grandi.

Il plasma espulso potrebbe potenzialmente produrre inquinamento; è necessario essere molto vicini al bersaglio (10-20 m, a causa della divergenza del fascio e degli errori di puntamento); è un sistema molto lento, a causa della bassa forza generata (adatti per orbite GEO, meno dense).

Credits: Universidad Politécnica de Madrid.

Collision Avoidance in Telespazio

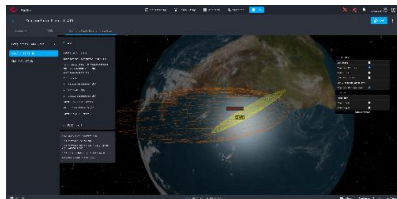
**GLOBAL
OPERATIONS
SERVICE PROVIDER**

- Telespazio è un provider internazionale di servizi per **operazioni satellitari, compresa la CAM**, per
 - clienti istituzionali: It-MoD, Fr-MoD, ASI, CNES, ESA, EUMETSAT, GSA
 - clienti commerciali: Intelsat, Inmarsat, Eutelsat, TAS-F

Scenario

- Nel 2020, Telespazio ha processato **13 eventi di collisione ravvicinati**, nessuno di loro legato a eventi multipli (eventi contro più di un detrito).
- Da gennaio 2021 a novembre 2021, Telespazio ha processato **36 eventi di collisione ravvicinati**, di cui **21 multipli**.
- Le frammentazioni generano eventi ripetitivi (ogni periodo orbitale).
- Si ha bassa accuratezza sulla conoscenza delle orbite dei detriti, a causa dell'aumento del numero di oggetti.

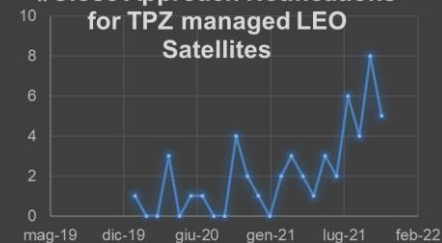
**COLLISION
AVOIDANCE**



Aggiornamenti

- Non sarà più possibile continuare con tool basati su una gestione degli eventi 1 vs 1 **senza intervento manuale**.
Telespazio ha sviluppato nuovi tool per
- calcolo automatico delle CAM, anche per eventi multipli** (pianificato);
 - fornire all'utente risultati facili da leggere per ridurre l'errore umano.**

#Close Approach Notifications for TPZ managed LEO Satellites



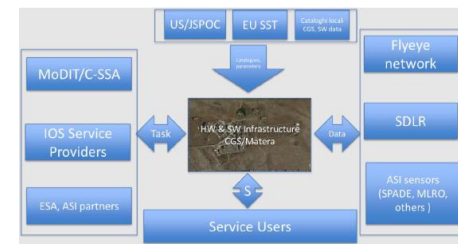
#Multiple Close Approach for TPZ managed LEO Satellites



IOS/SSA in Telespazio

SPACE SITUATIONAL AWARENESS

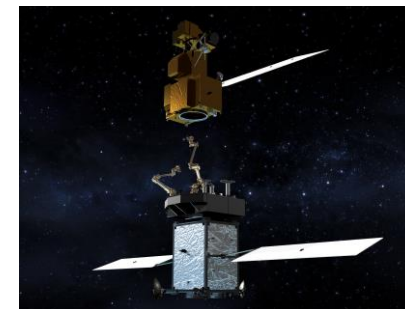
- L'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), sta sviluppando un'infrastruttura, dotata di **sensori proprietari**, grazie a cui l'Italia si doterà di capacità nazionali di identificazione e monitoraggio dei detriti spaziali.
- L'infrastruttura offrirà anche servizi base di **gestione degli eventi di collisione, di frammentazione e di rientro dei detriti**, e servizi avanzati di **CAM e IOS**.
- Telespazio è **prime di questo progetto** e avrà accesso ai cataloghi di dati, rafforzando la sua posizione come **leader nella gestione dei detriti spaziali**.



- **Northstar Earth & Space** è una start-up canadese con l'obiettivo di dispiegare una costellazione di **telescopi spaziali in orbite LEO** al fine di osservare oggetti **direttamente dallo spazio**.
- Telespazio ha investito nel progetto, supportandone la prima fase.
- Telespazio fornirà **servizi a valore aggiunto sulla popolazione di detriti**, grazie ai servizi e dati di NorthStar.

IN ORBIT SERVICES

- Telespazio sta sviluppando complesse operazioni di dinamica orbitale per le future missioni di IOS:
 - missioni di rientro (**Space Rider**);
 - missioni di docking e rimozione attiva dei detriti spaziali.
- Telespazio è un operatore affidabile per:
 - segmento di terra** e sviluppo e validazione di **operazioni**;
 - operatore e provider** per missioni di IOS (routine, prossimità e robotica).



Domande?

Grazie per l'attenzione

Andrea Cardellicchio
Head of Commercial Development – LoB SSO
T +39 06 40796521
M +39 366 6306448
andrea.cardellicchio@telespazio.com

Simone Giacomo Giallongo
Space Domain Awareness Systems Engineer – LoB SSO
T +39 06 4079 5048
simone.giallongo@telespazio.com