

# Detriti spaziali: rischi, monitoraggio e soluzioni

*Germano Bianchi*

## La natura dei detriti spaziali

Dal lancio dello primo satellite nello spazio, lo Sputnik 1, avvenuto ad opera dell'Unione Sovietica il 4 ottobre del 1957, altri lanci sono stati eseguiti ed altri satelliti sono stati mandati attorno alla nostra Terra in 60 anni di attività spaziale, che hanno inevitabilmente portato ad un aumento di oggetti che tutt'ora ruotano attorno al nostro pianeta su diverse orbite. Oggi si contano circa 8.000 tonnellate di materiale e oltre 23.000 oggetti catalogati, di cui solo il 13% sono satelliti operativi; il resto è spazzatura, i cosiddetti detriti spaziali. Il 56% sono frammenti derivanti da esplosioni o collisioni in orbita, il 12% stadi di razzi rimasti in orbita dopo i lanci, il 18% sono satelliti non più operativi che nessuno ha più recuperato e 8% sono materiali vari, tra cui oggetti che astronauti hanno perso durante le loro attività extra-veicolari, oppure aggregati di ossido di alluminio delle dimensioni di qualche centimetro provenienti dalla combustione del propellente solido dei razzi e ancora scaglie di vernici e polveri.

Per quanto riguarda le esplosioni, se ne sono registrate circa 200, di cui il 30% intenzionali, derivanti da test balistici o da procedure necessarie per evitare che satelliti militari potessero rientrare sulla Terra ed essere analizzati da potenze nemiche. Tra le più noti esplosioni ricordiamo quella del gennaio 2017, provocata dalla Cina, che distrusse il proprio satellite Fengyun-1C per dimostrare le proprie capacità balistiche, così come fece poi l'India il 27 marzo 2019 distruggendo, con il medesimo scopo, il proprio satellite Microsat-R (NORAD ID 43947).

Per quanto riguarda le collisioni tra satelliti, ricordiamo la più famosa avvenuta il 10 febbraio 2009, quando il satellite (operativo) per le telecomunicazioni Americano IRIDIUM 33 andò a scontrarsi con il satellite militare Russo KOSMOS 2251, disattivato e non più utilizzato. La collisione provocò una nube di un migliaio di pezzi grandi almeno 10 centimetri e numerosissimi detriti più piccoli. Molti dei detriti sono ricaduti nell'atmosfera negli anni successivi, ma ancora oggi l'orbita attorno ai 790 km di altezza presenta una notevole densità di materiale.

Le orbite in cui i satelliti e i detriti spaziali si trovano sono essenzialmente tre:

- LEO (Low Earth Orbit): una fascia compresa tra 200 e 2.000 chilometri di altezza dalla superficie terrestre, in cui si trovano principalmente satelliti militari e di monitoraggio del territorio;
- GEO (Geostationary Orbit): a circa 36.000 chilometri, in cui si trovano satelliti meteorologici e di telecomunicazione;
- MEO (Medium Earth Orbit): la fascia tra i LEO e i GEO in cui si trovano principalmente satelliti per la navigazione tipo GPS, Glonass, Navstar, ecc.

## I rischi

I rischi che i detriti spaziali possono produrre sono principalmente di tre tipi:

- Danni a satelliti operativi che conseguentemente si vanno a riflettere sui sistemi di comunicazione, di navigazione, di monitoraggio e anche sugli apparati che usiamo quotidianamente, come per esempio le semplici applicazioni da cellulare. La velocità che questi oggetti raggiungono nell'orbita dei 300 km è di circa 27.000km/ora, cioè viaggiano con una velocità 100 volte superiore a quella di una macchina di Formula 1. Si comprende quindi che un oggetto, anche piccolo, lanciato a queste velocità può portare

anche alla distruzione completa di un satellite. In altri casi si sono riscontrati solo danni, come per esempio la perforazione di pannelli solari o di antenne per la comunicazione che i satelliti usano da e verso terra;

- Danni alle missioni spaziali con astronauti a bordo, quali per esempio i danni alla International Space Station (ISS), orbitante a circa 350-400 chilometri, oppure alle navicelle Soyuz ed in passato allo Space Shuttle. Spesso la ISS è costretta ad effettuare manovre evasive per evitare oggetti in rotta di collisione;
- Pericolo per la popolazione sul pianeta, quando oggetti di grandi dimensioni e fuori controllo rientrano senza bruciarsi completamente in atmosfera. Negli anni sono stati trovati al suolo pezzi di motori, serbatoi, portelloni, parti di razzi, ecc. Di solito questi frammenti non arrivano al suolo perché l'attrito con l'atmosfera riesce a bruciarli prima, ma occasionalmente oggetti di grandi dimensioni formati da materiali che hanno temperatura di fusione superiore a quella che si raggiunge per attrito atmosferico, cadono a Terra minacciando l'incolumità umana. Ne è stato un esempio la caduta della Stazione Spaziale Cinese Tiangong-1, rientrata sulla Terra il 2 aprile 2018, la quale ha tenuto in ansia tutto il mondo dopo che nel 2016 l'Agenzia Spaziale Cinese aveva comunicato la sua perdita di controllo. Fortunatamente ad oggi non si sono verificati casi noti di decessi umani causati dal rientro di oggetti artificiali orbitanti;

Per ridurre i rischi, da qualche decina di anni è cominciata una intensa attività di monitoraggio e catalogazione di oggetti orbitanti di dimensioni superiori ai 10 centimetri. Prendendo esempio dalle attività di monitoraggio portate avanti dal *NORth American Aerospace Defense Command* (NORAD), anche l'Europa sta cercando di dotarsi di una propria capacità di rivelazione, inseguimento e catalogazione di oggetti orbitanti. A seguito della decisione n. 541/2014 del Parlamento europeo e del Consiglio dell'Unione Europea del 16 aprile 2014, otto stati europei (Italia, Spagna, Francia, Germania, Regno Unito, Romania, Polonia e Portogallo) hanno deciso di formare un Consorzio. L'obiettivo generale di tale iniziativa è di contribuire ad assicurare la disponibilità a lungo termine delle infrastrutture, dei mezzi e dei servizi spaziali che sono essenziali per la sicurezza dell'economia, della società e dei cittadini in Europa. Il 1 gennaio 2016 è così partito il programma europeo di salvaguardia dello spazio chiamato SST (Space Surveillance and Tracking) sostenuto dall'Unione Europea che garantisce fondi per l'upgrade degli assetti che le nazioni coinvolte hanno messo a disposizione, ma anche fondi per l'operatività dei sensori, attraverso i programmi H2020 e Copernicus. Il Consorzio ha l'obiettivo di stabilire in Europa un servizio per monitorare e tracciare gli oggetti e i detriti spaziali per supportare e aiutare gli operatori dei veicoli spaziali e gli utenti istituzionali che forniscono servizi per la previsione delle collisioni, di frammentazioni di oggetti orbitanti e del loro rientro incontrollato. L'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), l'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) e l'Amministrazione Difesa hanno poi stipulato un contratto quadro per poter soddisfare assieme le attività italiane previste all'interno del Consorzio SST.

### **Il monitoraggio dei detriti spaziali**

Il monitoraggio di oggetti orbitanti può avvenire sfruttando sensori ottici e radar, scelti in base alla tipologia degli oggetti che si vogliono monitorare, dalle loro orbite e dalle condizioni osservative. Questi sono:

- **TELESCOPI**: sfruttano la riflessione della luce solare sulla superficie dei satelliti o dei detriti per poterne individuare la posizione in cielo. Vengono utilizzati principalmente per il monitoraggio di oggetti su orbite alte (GEO e MEO), in cui è possibile il monitoraggio continuo durante la notte. Vengono utilizzati anche per oggetti in alto LEO, dove però è possibile la loro osservazione solo al tramonto o all'alba, quando il telescopio è già in ombra ed i satelliti sono ancora illuminati dal sole. Raro invece il loro utilizzo per l'osservazione di oggetti in basso LEO o per il monitoraggio di oggetti al rientro. L'osservazione con telescopi dipende dalle condizioni metereologiche;

- LASER: anziché sfruttare la luce solare, questo sensore invia un raggio di luce per illuminare satelliti dotati di specchi. La luce riflessa dallo specchio viene poi catturata con un telescopio. Questa tecnica permette di monitorare satelliti anche durante il giorno, ma è possibile sfruttarla solo su satelliti cooperanti, cioè dotati appunto di retroriflettori. A causa della dispersione del raggio laser durante la sua propagazione da e verso il satellite, il sensore laser viene limitato al monitoraggio di satelliti in LEO. Così come per i telescopi, anche l'osservazione tramite laser dipende dalle condizioni meteorologiche;
- RADAR: il radar può essere utilizzato indistintamente di notte e di giorno ed in qualsiasi condizioni meteorologiche. Viene trasmessa un'onda radio verso il cielo e si va a ricevere l'eco riflesso dal satellite o dal detrito. Esistono radar bistatici o monostatici; nel primo caso le antenne trasmittente e ricevente sono distinte e si trovano in posti differenti, nel secondo caso l'antenna che trasmette e riceve è la medesima. Vengono impiegati esclusivamente per oggetti in LEO o al rientro, in quanto l'attenuazione dovuta alla propagazione dell'onda radio non permette al sensore di coprire enormi distanze.

Negli ultimi anni è cominciata un'intensa attività di monitoraggio di detriti spaziali tramite telescopi ottici, laser e radar, al fine di determinarne le orbite con precisioni sempre crescenti. Questo ha permesso di stimare la probabilità di impatto fra detriti e satelliti con una minor errore, riducendo così il numero di manovre evasive che gli operatori devono eseguire sui propri satelliti. Maggiori manovre si fanno (solitamente il satellite viene spostato in un'orbita più alta e riabbassato dopo il passaggio del detrito) e più propellente viene consumato. Questo fa sì che il satellite abbia un minor tempo di vita operativa. Il monitoraggio permette anche di seguire la caduta di oggetti e determinarne l'area di impatto sulla nostra Terra. I dati dei sensori vengono poi inviati ai diversi centri operativi che, in caso di pericolo, emanano un messaggio di allerta.

### **Il radar italiano BIRALES**

Il monitoraggio dell'ambiente dei detriti spaziali è diventato un problema chiave nel contesto di tutte le attività spaziali. La valutazione del rischio di collisione viene eseguita quotidianamente dagli operatori satellitari che ricevono messaggi di dati congiunti per supportare le decisioni sull'esecuzione delle manovre di prevenzione delle collisioni. Inoltre, vengono regolarmente prodotte previsioni di rientro degli oggetti per stimare i rischi a terra. Sia la valutazione del rischio di collisione sia le previsioni di rientro si basano sulla stima e sulla previsione accurate dello stato degli oggetti in orbita, che sono derivati dal tracciamento degli oggetti spaziali mediante sensori ottici, radar e laser dedicati.

Il sensore BIRALES (*Bistatic RADar italiano per LEO Survey*) è stato sviluppato nell'ambito del programma SST, ed è un radar bistatico di sorveglianza. Il trasmettitore si trova al Poligono Interforze del Salto di Quirra (PISQ), in Sardegna, ed è costituita da una parabola completamente orientabile di 7 m di diametro dotata di un trasmettitore UHF in grado di irradiare segnali fino ad una potenza di 10kW. L'antenna ricevente è una sezione del radiotelescopio Croce del Nord (figura 1) situato a Medicina (BO), una delle più grandi antenne UHF al mondo; è di proprietà dell'Università di Bologna ma è gestita dall'Istituto di Radioastronomia dell'INAF.



*Figura 1. La Croce del Nord – Medicina (BO)*

Attualmente BIRALES utilizza 8 riflettori cilindrico-parabolici del braccio nord-sud della Croce del Nord. L'area complessiva della parte ricevente è di circa 1400 metri quadrati e consente di rilevare oggetti di dimensioni pari a 10 centimetri ad una altezza di 1.000 chilometri. I cilindri sono orientabili in elevazione solo lungo il meridiano locale e sono dotati di 4 ricevitori ciascuno. Combinando i segnali provenienti dai complessivi 32 ricevitori è possibile generare elettronicamente diversi "occhi" (multibeam) che vanno a popolare il campo di vista dell'antenna, così come avviene per i pixel di una macchina fotografica. Quando un oggetto transita sopra il campo di vista di BIRALES, i beams vengono illuminati in sequenza e, conoscendo la loro posizione in cielo e altri parametri quali range e doppler, è possibile ricavare l'orbita dell'oggetto in maniera molto precisa.

### **Tecniche di mitigazione**

Oltre al monitoraggio degli oggetti orbitanti e al continuo aggiornamento del catalogo NORAD, si stanno valutando diverse tecniche per ridurre il propagarsi del numero di detriti spaziali. Le agenzie spaziali di tutto il mondo stanno scrivendo linee guida per regolamentare le attività spaziali ed in particolare su come procedere al termine della vita operativa del satellite. Per gli oggetti in MEO e GEO, quindi in orbite molto alte, vi è l'intenzione di posizionare i satelliti non più operativi in una "orbita cimitero", cioè in una zona di non interesse per le attività spaziali in cui i satelliti possono rimanere anche per migliaia di anni senza recare alcun problema. Ovviamente per evitare esplosioni, tutto il propellente residuo deve essere espulso una volta arrivati all'orbita cimitero. Per i satelliti in LEO le opzioni sono diverse, ma l'idea comune è di farli rientrare a terra appena conclusa la vita operativa. Su come operare questa ultima fase si sono scatenate idee tecnologiche di ogni tipo. Forse la più semplice ed efficace potrebbe essere quella dell'apertura di una vela che aumenti l'area di attrito e favorisca il rientro in atmosfera a fine vita. Per satelliti che hanno ancora propellente, questo potrebbe essere utilizzato per dare un'ultima spinta verso Terra, accelerandone appunto il rientro. Queste tecniche possono funzionare per piccoli satelliti, che possono bruciare totalmente al contatto con le parti più dense dell'atmosfera. Rimane invece valida la procedura di rientro controllato per oggetti più grandi e manovrabili. Si stanno studiando anche delle tecniche per ripulire lo spazio, ma non è facile applicarle. Una delle più investigate è quella dello "spazzino spaziale", cioè un satellite capace di catturare detriti di grandi dimensioni lanciando una rete in prossimità dell'oggetto da

recuperare e portare a Terra. C'è comunque da considerare che ogni volta che si manda un oggetto in orbita, anche uno "spazzino", si producono inevitabilmente ed involontariamente una serie di nuovi detriti.