

DISCARICA SPAZIALE

Intorno alla Terra ci sono 129 milioni di **detriti** fra razzi e satelliti. È stato raggiunto il **limite**? Non ancora. Ma i prossimi dovranno essere **sostenibili**. E i più grandi dovremo **rimuoverli**.

di Vito Tartamella

ROTTAMI

I detriti spaziali in una ricostruzione artistica: le orbite più inquinate sono quelle basse, a 800-1.000 km di quota. Le più trafficate dai satelliti per le comunicazioni.

L'ultima volta è accaduto il 22 settembre dell'anno scorso. Alle ore 22:21 la base aerea militare di Vandenberg, in California, ha inviato alla Stazione Spaziale Internazionale un *conjunction data message*, un allarme di possibile impatto: nel giro di un'ora rischiava di essere colpita da un detrito vagante. I 3 astronauti a bordo della Stazione, Christopher Cassidy, Anatolij Ivanishin e Ivan Vagner si sono messi ai computer di bordo per preparare la manovra di emergenza. Alle 23:19 hanno acceso i propulsori per 3 minuti, per spostarsi in un'orbita sicura. Poi si sono rifugiati nella capsula spaziale Soyuz, pronti a sganciarsi e a rientrare sulla Terra in caso di collisione.

Si sono salvati per un pelo: il detrito è passato a 1.500 metri dalla Stazione, sfrecciando a 52.560 km orari sopra l'oceano Pacifico. A quella velocità, un pezzo grande come uno smartphone ha la stessa forza d'impatto di un Tir che si schianta a 140 km orari. Solo allora i militari del Joint Space Operations Center lo hanno riconosciuto: era il frammento 2018-084CQ, il pezzo di un razzo giapponese che nel 2018 aveva portato nello spazio il satellite Gosat-2. Nel 2019 quello stadio di alluminio e fibra di carbonio, pesante più di un quintale, si era spezzato in 74 parti.

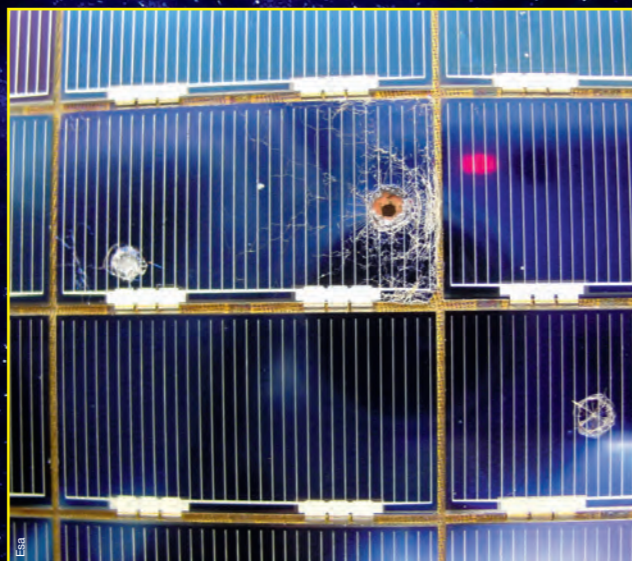
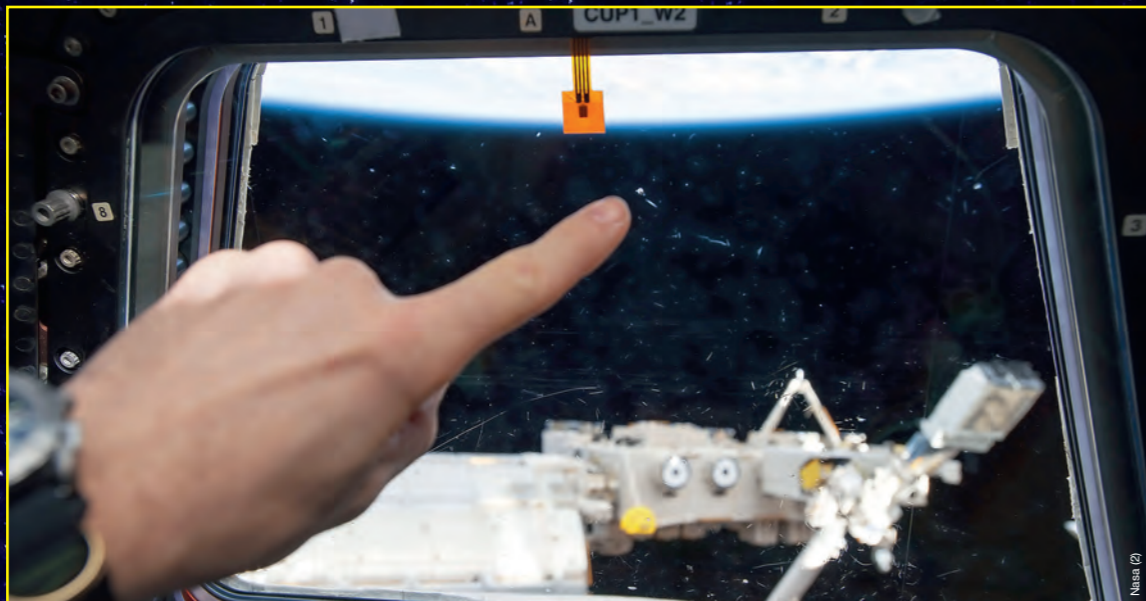
PIENA PER METÀ?

Era la 28esima volta in 20 anni che la Stazione era costretta a una manovra di correzione per schivare un detrito spaziale: le ultime tre sono avvenute nel 2020. «La situazione sta peggiorando», ha commentato l'allora capo della Nasa, Jim Brindestine. Difficile dargli torto: dal lancio del primo satellite 64 anni fa, l'orbita intorno alla Terra si è trasformata in una discarica. Si stima che vi siano circa 129 milioni di frammenti più grandi di 1 mm: stadi di razzi, bulloni, scorie di motori, scaglie di vernice e satelliti in pensione. Solo il relitto dell'Envisat è grande come un autobus a due piani. Una rete mondiale di telescopi, radar e sensori orbitanti ha censito finora 28.600 frammenti maggiori di 10 cm: hanno una massa totale di oltre 9.400 tonnellate, come 19 interi convogli del Frecciarossa (v. *infografica alla prossima pagina*).

Anche se lo spazio è immenso, ha pur sempre un limite. Nel 1978 uno scienziato della Nasa, Donald Kessler, aveva ▶

TRACCE

Il segno di un micro impatto su una finestra della Stazione Spaziale Internazionale: negli ultimi anni ha dovuto fare diverse manovre per evitare dei rifiuti spaziali e per non riportare danni ben più gravi.



DANNI

I danni causati da piccoli detriti spaziali al telescopio spaziale Hubble: qui a lato, gli impatti sui pannelli solari: a sinistra, sull'antenna.

ipotizzato uno scenario catastrofico: con l'intensificarsi dei lanci spaziali, si sarebbe creata una densità di oggetti così elevata da innescare collisioni a catena, con un incremento esponenziale dei detriti e del rischio di ulteriori impatti. Al punto da rendere impossibile per molte generazioni l'esplorazione spaziale e l'uso dei satelliti. Quanto siamo vicini a questo scenario, noto come la "sindrome di Kessler"?

Luciano Anselmo e Carmen Pardini, dell'Istituto di Scienza e tecnologie dell'informazione del Cnr di Pisa, hanno calcolato in uno studio uscito quest'anno su *Acta Astronautica* che «abbiamo già riempito un terzo se non metà della capienza dell'orbita bassa, la più affollata da satelliti. Abbiamo ottenuto questo dato fissando come unità di misura gli scenari considerati inaccettabili 25 anni fa. Siamo passati da 150 a 1.500 satelliti lanciati ogni anno, concentrati negli stessi volumi di spazio», dice Anselmo.

Lo stesso Kessler, intervistato di recente, è più drastico: «Ormai abbiamo raggiunto il punto di svolta: i detriti continueranno ad aumentare anche se tutti i lanci venissero fermati». I rifiuti spaziali, dunque, come le emissioni di CO₂: anche se le fermassimo, non potremmo più bloccare il riscaldamento globale.

MISSILI ANTISATELLITE

Come si può rimediare? Prima di rispondere occorre fare un passo indietro: come siamo arrivati fin qui? Negli ultimi anni c'è stato un assalto allo spazio, non solo per osservare il Pianeta ma soprattutto per portare Internet in ogni angolo del globo: il segnale viene fornito da satelliti in orbita bassa, che fanno il giro del mondo in un'ora e mezza. Ma così un'area come l'Italia ne riceverebbe i segnali solo per 8 minuti al massimo. Così per garantire un segnale costante occorrono costellazioni enormi: OneWeb ne lance-

rà 850, Kuiper 3.200 e Starlink 12mila. E il cielo è diventato più affollato anche per la diffusione dei cubesat, i satelliti in miniatura. A tutto questo si aggiungono i test militari. Nel 1963 gli Usa lanciarono 480 milioni di sottili aghi di rame che crearono una ciambella larga 15 km e spessa 30 km intorno al globo, a un'altitudine di 3.700 km: avrebbero fatto da ripetitori radio in caso di attacco nemico ai cavi di telecomunicazioni sottomarini. Era il progetto "West Ford": ancora oggi sono in orbita 36 ammassi di quegli aghi.

Oggi, invece, preoccupano le armi antisatellite: solo nel 2007 i detriti spaziali sono aumentati del 30% perché la Cina ha lanciato un missile per distruggere un vecchio satellite meteo, il FengYun-1C. Il missile cinese serviva a verificare la capacità balistica di abbattere un satellite spia nemico: negli anni precedenti Usa e Russia avevano fatto decine di questi test. Nel 2019 si è aggiunta anche l'India.

Oggetti stimati

129 milioni

frammenti da 1 mm-1 cm (scaglie di vernice, residui di polveri di accensione di motori a propellente solido, gocce di liquido refrigerante).

900.000

frammenti da 1-10 cm.

34.000

frammenti maggiori di 10 cm (fra cui 1.950 stadi di razzi e 2.850 satelliti defunti. Ci sono 200 oggetti critici di 3-9 tonnellate).

Oggetti catalogati

I telescopi terrestri riescono a rilevare detriti da 10 cm in su in orbite Geo. I radar terrestri riescono a scorgere detriti di pochi mm in orbita bassa. I rilevatori montati su satelliti riescono a identificare anche oggetti di pochi micrometri.

Fino a oggi sono stati catalogati **28.600** frammenti maggiori di 10 cm, per una massa totale di oltre **9.400 tonnellate**, come **19** convogli del Frecciarossa (1 locomotore e 18 carrozze).

In massa, i veicoli spaziali sono il **55%** del totale, gli stadi di razzi il **41%**, i detriti di frammentazione il **2%** e i detriti di missione il **2%**.

36 MILA KM/H LA VELOCITÀ MEDIA DI IMPATTO IN ORBITA BASSA

Un oggetto di 10 cm da 300 grammi, che si scontra con un altro con una velocità d'impatto di 36.000 km orari, ha la stessa forza di un **Tir** che si schianta a **94 km/h**.

Negli ultimi 60 anni sono avvenuti oltre **560** eventi di **frammentazione**.

La maggior parte sono esplosioni di stadi superiori; le **collisioni** sono state **7**.

Ecco perché lo spazio è così inquinato. Si stima che oggi, in orbita bassa, la probabilità di una collisione catastrofica – cioè capace di distruggere un veicolo spaziale generando migliaia di detriti – è una ogni 20 anni; scende a una ogni 5 anni nel caso di scontro fra un detrito più grande di 10 cm e un satellite.

La prima collisione del genere è avvenuta nel 2009, fra il satellite militare Kosmos 2251, disattivato, da 950 kg, e un Iridium 33 da 560 kg. Si sono scontrati a 789 km di quota sopra la Siberia a oltre 42mila km orari, generando quasi 2mila frammenti. Gli operatori di Iridium avevano ignorato le allerte di collisioni perché «ne arrivavano talmente tante che avremmo dovuto interrompere troppo

spesso il servizio, rendendolo commercialmente improponibile».

Il problema dei detriti spaziali, infatti, è innanzitutto quello di determinarne l'orbita. Sono per lo più oggetti piccoli, di forma irregolare, di cui si ignorano l'orientamento, le dimensioni e il materiale di cui sono fatti: società e governi sono riluttanti a fornire alle agenzie spaziali i dati sui propri satelliti, protetti da segreti commerciali o militari. Così la probabilità di collisione fra due oggetti in orbita è stabilita con calcoli complessi ed è dominata dall'incertezza: le stime più precise sono possibili solo a impatto imminente. Tutti questi calcoli si traducono in centinaia di avvisi ogni settimana che richiedono ore di lavoro da parte di un

Stato delle orbite

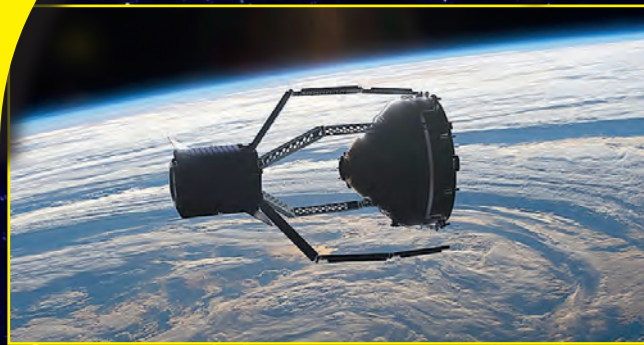
36.000 KM ORBITA GEOSTAZIONARIA (GEO)
I satelliti restano in questa orbita indefinitamente, anche per milioni di anni. Gli oggetti orbitano alla velocità di 11.000 km orari. Qui c'è il **5%** della massa totale dei detriti, e oltre questa orbita un altro **5%**.

2.000-35.000 KM ORBITA MEDIA (MEO)
Il tempo di permanenza dei satelliti è pari a quello in orbita Geo. Qui gli oggetti orbitano a 14.000 km orari. In questa orbita c'è il **15%** della massa totale dei detriti spaziali.

160-2.000 KM ORBITA BASSA (LEO)
Dalla quota di 1.200 km i satelliti impiegano circa 2.000 anni prima di cadere sulla Terra; a 800 km impiegano 100-150 anni e a 500 km meno di 25 anni. Qui gli oggetti orbitano a 28.000 km orari. In questa orbita (soprattutto fra 800 e 1.000 km di quota) c'è il **75%** della massa totale dei detriti.

Finora sono stati lanciati **11.670** satelliti: **7.200** sono ancora in orbita, **4.300** ancora funzionano. Il **56%** sono degli Usa, il **12%** della Cina, il **5%** della Russia.

7 modi di ripulire lo spazio



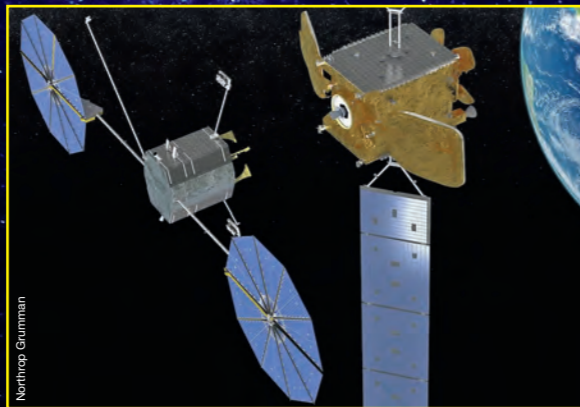
1 ClearSpace-1: una sonda da 100 kg con 4 bracci robotici a teleguida per catturare Vespa, una parte del lanciatore Vega da 112 kg. Progetto dell'Esa da 100 milioni di euro con lancio previsto nel 2025.



2 Elsa (End-of-Life Services Astroscale): missione della società spaziale giapponese Astroscale. Prevede un satellite dotato di un magnete per agganciare detriti. Un prototipo è stato lanciato a marzo 2021.



3 RemoveDebris: rimozione dei detriti spaziali catturandoli con una rete o con un arpione. Svolti con successo test in orbita nel 2018 e 2019. Progetto dell'Università del Surrey con un consorzio di imprese.



4 Mission Extension Vehicle (Mev): un satellite di soccorso si aggancia a un altro per rifornirlo di propellente, ripararlo o riportarlo in un'orbita corretta. Tecnologia di Northrop Grumman già testata.



5 Adeo (Drag Augmentation Deorbiting Subsystem): sistema di vele da 3 a 100 m² che spinge il satellite in disuso in un'orbita più bassa per farlo disintegrare. È applicabile ai nuovi satelliti fino a 1,5 tonnellate di massa. Progetto Esa.



6 Tether Elettrodinamico (Edt). Satelliti dotati di un lungo cavo conduttivo: se srotolato, coglie il campo magnetico terrestre generando una corrente che rallenta il satellite fino a calarlo su orbite più basse finché raggiunge l'atmosfera, bruciandosi. Allo studio da Nasa e Jaxa (Ente spaziale giapponese).



7 Indirizzare fasci di laser a infrarossi per deviare l'orbita di piccoli detriti (1-10 cm di dimensioni), evitando collisioni con oggetti più grandi. Riscalda un lato dell'oggetto così da cambiare la sua orbita e farlo cadere prima in atmosfera. Allo studio in Esa.

valuterà la sostenibilità degli operatori spaziali in base alla condivisione dei dati, alla scelta dell'orbita, alle misure adottate per evitare collisioni, ai piani per deorbitare i satelliti alla fine della missione e alla facilità con cui i loro satelliti possono essere identificati. Le navicelle spaziali riceveranno punti extra se avranno dispositivi di aggancio per facilitare la loro cattura in volo.

SPAZZINI SPAZIALI

Non è fantascienza: nei prossimi anni, infatti, entreranno in servizio i primi spazzini spaziali. In questo campo l'Agenzia Spaziale Europea è all'avanguardia con ClearSpace-1, una missione mai tentata finora: inviare in orbita un satellite dotato di 4 bracci robotici, capaci di catturare un rottame in volo. La sonda, programmata nel 2025, dovrà prelevare Vespa, una parte di un razzo Vega, larga 2 metri e pesante 112 kg, lanciato nel 2013: poi di-

In futuro chi lancerà un satellite verserà un **deposito** cauzionale per le spese di pulizia nello spazio

struggerà se stessa e il carico lanciandosi a tutta velocità contro l'atmosfera terrestre. «Catturare un detrito spaziale non è uno scherzo», avverte Luisa Innocenti, capo del Clean Space Office dell'Esa. «Il primo aspetto critico è inquadrare in modo preciso l'obiettivo, che si muove velocemente e può essere in controluce: dovremo utilizzare telecamere a infrarossi e radar a bordo della sonda coordinandoli con gli strumenti di terra. Poi dovremo sincronizzare il movimento della nostra navicella con quello di Vespa: avvicinarci gradualmente e circondarla bene prima di chiudere i bracci a pinza per catturarla. Basta un movimento sbagliato e si rischia di distruggere l'obiettivo, producendo

altri detriti. L'esatto opposto dello scopo della missione». Non è l'unica strada per affrontare il problema dei rifiuti spaziali. L'anno scorso la sonda Mev (Mission Extension Vehicle) della società Usa Northrop Grumman è riuscita ad agganciarsi a un satellite Intelsat e a riportarlo in un'orbita di servizio, prolungando la sua vita operativa di altri 5 anni. «Una strategia che prenderà sempre più piede, anche con missioni di rifornimento di propellente in volo», aggiunge Innocenti. «Mandare in orbita e gestire un satellite costa sui 100 milioni di euro oltre a lunghi tempi di pianificazione. Allungare la sua vita operativa, invece, significa risparmiare soldi e tempo. E non affol-

lare ulteriormente le orbite. Nel prossimo decennio i futuri satelliti, prima di essere lanciati, saranno probabilmente chiamati a versare un deposito cauzionale che sarà rimborsato se saranno deorbitati a fine servizio; diversamente, quella somma servirà a finanziare i costi di rimozione dei detriti spaziali. Oggi una missione come ClearSpace-1 costa 100 milioni: contiamo di arrivare a un costo di rimozione fra i 5 e i 15 milioni di euro per eliminare più di un detrito alla volta. Una sorta di netturbino spaziale».

La procedura, tuttavia, preoccupa i militari: in questo modo, infatti, si potrebbero catturare i satelliti spia. Insomma, è una questione complicata: tecnica, politica, economica. E anche legale: se un satellite causa danni, chi paga? Deve risponderne la nazione da cui è stato lanciato. E se fa danni sulla Terra? Ogni anno precipitano in atmosfera 200-400 oggetti fra satelliti defunti e parti di raz-

zi. Gran parte si disintegra a contatto con l'atmosfera, ma il resto arriva sulla Terra, per lo più negli oceani che ricoprono il 70% della superficie. E le eccezioni possono essere drammatiche, come la caduta del satellite Cosmos 954, un satellite militare russo alimentato da un reattore nucleare: nel 1978, per un guasto, precipitò in Canada contaminando un'area di 124mila km². Il Canada chiese alla Russia un risarcimento di 6 milioni di dollari. Alla fine i russi ne pagarono la metà.

CIOCCOLATO E REGOLE

Incidenti e inquinamento a parte, la via maestra, comunque, resterà la prevenzione. Dotare i satelliti del propellente necessario a deorbitarsi al termine della missione, e costruirli in modo da non creare troppi detriti: «Una soluzione», dice Ettore Perozzi, capo dell'Ufficio Space Situational Awareness dell'Agenzia Spaziale Italiana, «è assemblare i

componenti dei satelliti come barrette di cioccolato, in modo che si spezzino facilmente e le sue parti si distruggano subito a contatto con l'atmosfera». In parallelo, «si dovranno definire le regole di comportamento in orbita come si è fatto con il Codice stradale sulla Terra, e tutti i Paesi dovranno avere un comportamento responsabile», dice Simonetta Di Pippo, direttrice di Unoosa, l'ufficio delle Nazioni Unite per gli affari dello spazio. «Il problema va affrontato su scala globale e non possiamo permetterci di ignorarlo: siamo all'inizio di un lungo cammino, ma l'avvio è incoraggiante».

Secondo Moriba Jah, direttore della facoltà di ingegneria spaziale all'Università del Texas, occorre soprattutto un cambio di mentalità: «Le nazioni devono capire che l'orbita terrestre è un ecosistema come gli oceani e le foreste: non è infinito quindi va protetto, ponendo un tetto al numero di lanci». Ci riusciranno? **F**