

Focus dossier

LABIRINTO

Scie di satelliti in una immagine composita realizzata con foto scattate nell'arco di 30 minuti. Le scie che vanno in orizzontale potrebbero essere di Starlink.

Inquinamento spaziale

made in space

**15 MILA SONO I
SATELLITI ATTIVI
ATTUALMENTE
IN ORBITA. BEN 4.000
DI ESSI SONO STATI
LANCIATI NEL SOLO 2025.**

**Lo spazio oggi offre
una quantità di servizi
insostituibili. Ma c'è
anche un lato "oscuro"
che dobbiamo imparare
a gestire con attenzione.**

di **Patrizia Caraveo**

G

li esseri umani svolgono attività nello spazio dal 1957, e tradizionalmente si dava per scontato che le attività spaziali fossero confinate nello spazio, appunto. Oggi la situazione è radicalmente cambiata: la qualità della nostra vita dipende dalla possibilità di utilizzare molti servizi offerti da satelliti e, per venire incontro alla domanda, il loro numero sta esplodendo. Ma non dobbiamo dimenticare che, come l'oceano o l'atmosfera, anche lo spazio circumterrestre è un bene comune dell'umanità e, come tale, è a disposizione di tutti pur non appartenendo a nessuno. Le sue dimensioni sono grandi, ma non infinite.

Parliamo di un ambiente prezioso che è necessario preservare imparando a utilizzarlo in modo sostenibile. Per questo oggi ha senso parlare di "ecologia spaziale".

AFFOLLAMENTO DA STARLINK

Dalla metà degli anni '60 fino al 2015, i satelliti lanciati ogni anno non superavano le 200 unità (spesso non si arrivava neanche a 100). Dopo il 2015 è iniziato un deciso aumento, poi diventato una crescita vertiginosa tanto che, nel 2025, sono stati lanciati 3.945 satelliti, oltre 3.400 dei quali con bandiera americana (v. *ultimapag.*). Jonathan McDowell, dell'Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, mantiene un catalogo aggiornato di tutti gli oggetti in orbita che, al 7 febbraio 2026, annovera quasi 15.000 satelliti operativi.

Se è chiaro che sopra le nostre teste avviene qualcosa di portata storica, sorge però la domanda: cosa viene lanciato? E per quale utilizzo? La risposta è semplice: la grande maggioranza dei satelliti sono commerciali, progettati per offrire un servizio che qualche cliente è disposto a com- ▶

Focus dossier



PRECIPITATO

Sopra, un detrito di navicella Dragon di SpaceX caduto in Carolina del Nord (Usa). Sotto, una illustrazione che dà l'idea dell'affollamento delle orbite basse attorno alla Terra.

perare dalla compagnia privata che lo vende. Per esempio, nove milioni di persone sono abbonate al servizio di Internet satellitare offerto dai satelliti Starlink di SpaceX, l'azienda di Elon Musk. E sono proprio i satelliti Starlink i maggiori occupatori dello spazio circumterrestre: al 7 febbraio erano 9.616 su un totale di 14.587 satelliti attivi. Uno strepitoso successo industriale che, in pochi anni, ha portato SpaceX a essere la dominatrice del mercato.

UN AFFARE... SPAZIALE

Il numero di satelliti attivi ci fa capire che la space economy è un settore in fortissima espansione. Ma una crescita così rapida pone problemi che non possono essere ignorati. I quasi 4.000 satelliti lanciati nel 2025 rappresentano un aumento di oltre il 25% rispetto al numero di oggetti in orbita

SCENOGRAFICO

I gas di scarico di un razzo Falcon 9 di SpaceX. Questi razzi utilizzano cherosene, che libera anidride carbonica e polveri nell'atmosfera.

a fine 2024. Sono in molti a pensare che questo tasso di crescita non sia sostenibile. Oltre alla concorrenza tra imprenditori che hanno fiutato l'affare, occorre tenere presenti le divisioni della geopolitica mondiale, che impediscono a un potenziale cliente cinese di acquistare un servizio proposto da una compagnia americana. Per questo, esistono fornitori di servizi simili che operano sotto diverse bandiere. Pensiamo alle costellazioni satellitari che forniscono Internet globale: la guerra in Ucraina ha messo in luce l'importanza strategica di Starlink, che può operare anche quando le reti di terra sono distrutte. Poiché il business è molto promettente, nazioni e operatori privati vogliono avere la propria costellazione. Come dice Jeff Bezos, che sta lanciando satelliti per fornire il suo servizio internet Amazon Leo, "sarà il migliore affare della mia vita".

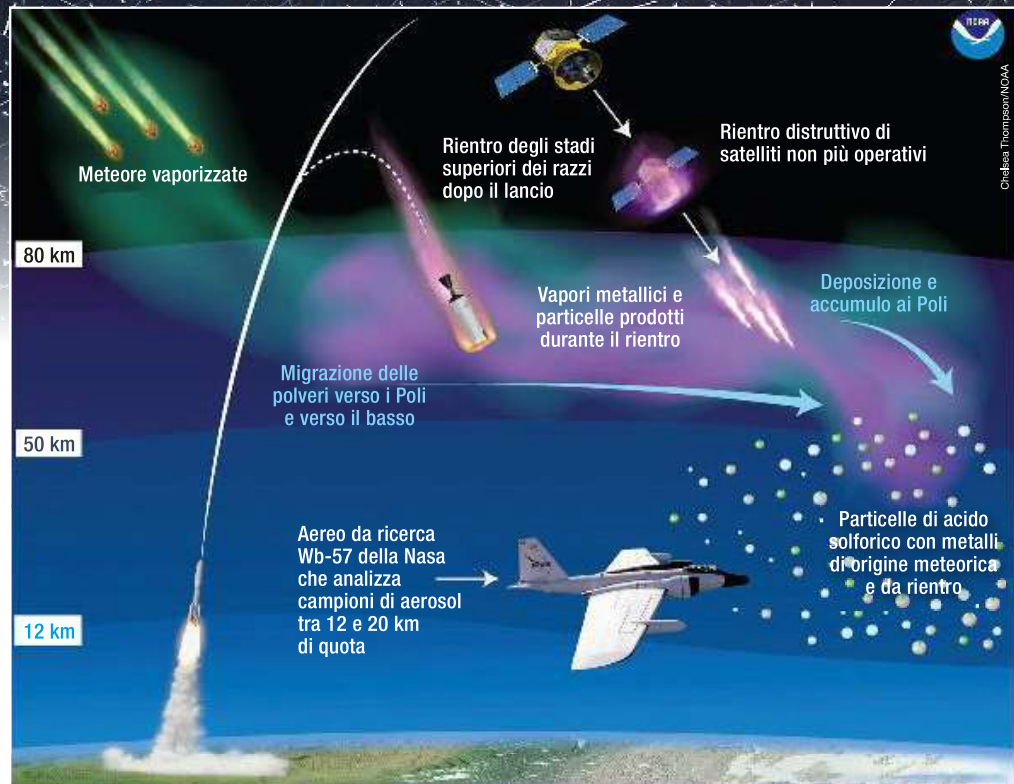
Il risultato è che lo spazio intorno alla Terra sta diventando sovraffollato e ciò aumenta la probabilità di collisioni. Infatti, oltre ai satelliti attivi, le orbite sono occupate anche da quelli che hanno smesso di funzionare. Tecnicamente sono morti (e non più controllabili) ma continuano a occupare spazio. Sempre secondo McDowell sono più di 3.000, ai quali bisogna aggiungere oltre 2.000 pezzi di lanciatori (in genere gli ultimi stadi) che sono andati in orbita insieme al loro carico. Ci sono poi i frammenti di satelliti esplosi per un totale di oltre 32.000 oggetti grandi e piccoli catalogati, che devono essere continuamente tenuti sotto controllo per evitare collisioni.

Non è un pericolo remoto: visto che si muovono a circa 8 km/s, tutti i satelliti devono rimanere a debita distanza dagli altri. Gli Starlink sono dotati di sistemi laser che misurano la distanza di tutti i satelliti vicini e, in caso di necessità, usano il loro motore ionico per spostarsi. Ma le manovre continuano a crescere, e nel 2025 solo i satelliti Starlink ne hanno fatte ben 300.000. E cosa succederebbe se non potessero manovrare? Uno studio recente mostra che oggi ci sarebbe il rischio di una collisione ogni 3 giorni, un tempo 40 volte inferiore a quello stimato nel 2018, quando l'occu-



made in space

Il rientro dei satelliti rilascia nella nostra atmosfera metalli come alluminio e argento



DETRITI

A sinistra, i detriti di una navicella Starship di SpaceX che si disintegrano nell'atmosfera.

pazione dello spazio orbitale era circa un decimo di quella odierna.

EMISSIONI PERICOLOSE

Ma l'impatto ambientale non si limita all'intasamento orbitale. Per mettere in orbita così tanti satelliti bisogna effettuare sempre più lanci, e ogni razzo consuma tonnellate di combustibile ogni secondo. Per portare in orbita 17 tonnellate di materiale, il lanciatore Falcon 9 di SpaceX brucia 227 tonnellate di cherosene in 3 minuti, liberando una quantità di anidride carbonica pari a quella prodotta da un aereo in 24 ore. Insieme all'anidride carbonica, il razzo semina nell'atmosfera tonnellate di pulviscolo, che hanno conseguenze sul riscaldamento globale e sulla delicata chimica dell'atmosfera. I gas di scarico contengono infatti composti dello zolfo e del cloro che attaccano il sottile strato di ozono, che ci protegge dalla pericolosa radiazione ultravioletta del Sole. Anche

l'impatto dei lanci è una questione di numeri. Nel 2025 ne sono stati fatti 330, il 20% in più di quelli effettuati nel 2024 che, a loro volta, erano il 20% in più che nel 2023.

Ma non finisce qui. I satelliti che hanno terminato il loro compito in orbita (oppure che si sono guastati) devono essere eliminati per evitare che continuino a occupare spazio. La pulizia viene affidata all'atmosfera, dove le strutture vengono vaporizzate dall'attrito. Il satellite sparisce, ma il materiale di cui era fatto rimane nell'atmosfera che, in condizioni naturali, non contiene alluminio, titanio, silicio.

PROBLEMA RIENTRO

Nel 2023 uno speciale jet della Nasa, in grado di volare a 19 km di altezza, ha analizzato particelle di aerosol sopra l'Alaska e gran parte degli Stati Uniti a una quota dove l'unica sorgente di metalli è costituita dalle meteorite che si vaporizzano a causa dell'attrito con l'atmosfera (v. *infografica sopra*). La disintegrazione di satelliti e pezzi di lanciatori (che avviene a 40-70 km di quota) deposita diverse tonnellate di materiale rispetto ai microgrammi di ogni meteorite che si vaporizza più in alto, a circa 100 km, ed è composta solo da ferro e nichel. La circolazione atmosferica trascina poi le particelle a quote più basse, nella stratosfera, dove ▶

NELL'ARIA

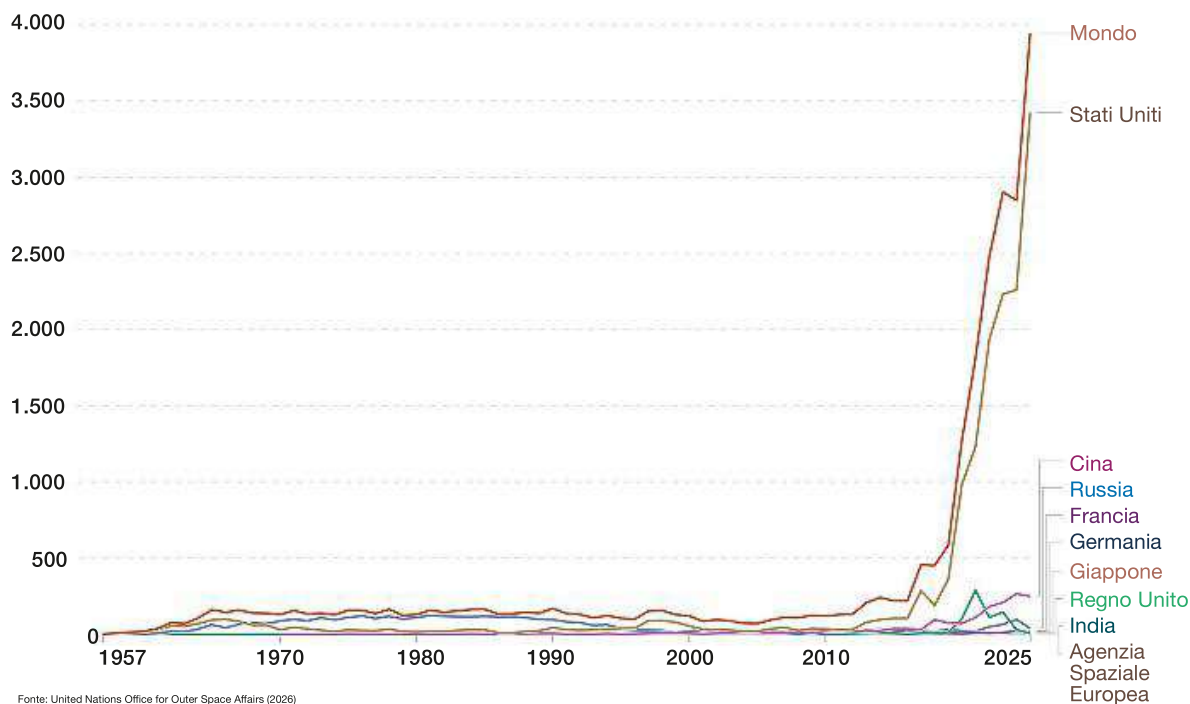
Sopra, uno schema che illustra gli effetti sull'atmosfera di lanci e rientri. È basato sulle analisi effettuate da uno speciale aereo della Nasa nell'ambito del progetto Sabre per lo studio degli aerosol nella stratosfera. La maggior parte di vapori e particelle rilevata è dovuta all'attività spaziale. Solo una piccola parte, ma più in alto, è attribuibile a meteorite.

La proprietà intellettuale è riconducibile alla fonte specificata in testa alla pagina. Il ritaglio stampa è da intendersi per uso privato

made in space

Focus dossier

GLI OGGETTI LANCIATI NELLO SPAZIO ANNO PER ANNO



Fonte: United Nations Office for Outer Space Affairs (2026)

MOLTIPLICATI

Sopra, un grafico che mostra quanti sono stati gli oggetti lanciati nello spazio dal 1957 (il primo satellite, lo Sputnik sovietico) al 2025. Sono compresi satelliti, sonde, navicelle con equipaggio ecc. La crescita degli ultimi anni è impressionante.

avviene il mescolamento e la coagulazione nelle particelle di aerosol. L'analisi di 500.000 di esse ha rivelato che la stratosfera è già disseminata di metalli provenienti dal rientro dei veicoli spaziali. Infatti, mentre quasi tutte le particelle stratosferiche contengono anche metalli meteorici, alcuni metalli presenti, come alluminio, argento, niobio e afnio in natura non ci sono. L'alluminio si trova generalmente nelle stesse particelle del niobio e dell'afnio, specifici dei motori a razzo. Lo studio ha mostrato che questi metalli erano inclusi in circa il 10% dell'aerosol nella stratosfera, dove si combinano con l'azoto e formano composti che reagiscono con l'ozono, distruggendolo.

Anche in questo caso, è un problema di numeri. L'impatto dei rientri cresce con quello dei lanci. Va detto che lo studio è stato condotto nel 2023, quando i rientri erano una decina al mese; adesso, solo considerando Starlink, ce ne sono 4 al giorno. Non sappiamo ancora quali potrebbero essere le conseguenze, ma con la crescita della space economy l'inquinamento dell'atmosfera non potrà che aumentare.

Pur avendo chiara l'enorme importanza dei servizi offerti dai satelliti, che sono un'infrastruttura irrinunciabile della nostra società, dobbiamo imparare che ogni nostra azione ha conseguenze sull'ambiente. Dopo avere fatto molti errori nella gestione delle risorse del nostro pianeta, abbiamo capito che a difendere la natura cercando di non inquinare l'aria e l'acqua abbiamo solo da guadagnare. Adesso è il momento di espandere i nostri orizzonti fino allo spazio, ricordando che è un bene da preservare, imparando a usarlo in modo consapevole. **E**

PATRIZIA CARAVEO è dirigente di ricerca all'Istituto Nazionale di Astrofisica e ha diretto l'Istituto di **Astrofisica Spaziale** e Fisica Cosmica di Milano. Nel 2025 è stata eletta Presidente della Società Astronomica Italiana. Il suo campo di ricerca principale è quello delle stelle di neutroni, a diverse lunghezze d'onda. Attiva divulgatrice, ha pubblicato diversi libri, tra i quali *Ecologia spaziale* (Hoepli, 2024).



**Il rientro dei satelliti
rilascia nella
nostra atmosfera
metalli pericolosi**