



INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

---

# SATELLITI ARTIFICIALI E COME TROVARLI

---

Luciano Nicastro, INAF – OAS Bologna



## Il ruolo dell'Agenzia Spaziale Europea



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

## 13 cose da sapere sullo spazio



[https://www.youtube.com/watch?v=\\_ecjXa9B4w](https://www.youtube.com/watch?v=_ecjXa9B4w)

## Lancia, usa, e ... pulisci !



<https://www.youtube.com/watch?v=X9aqfIAJrJo>

# Le Orbite dei Satelliti

Schema (*non in scala*) di tre orbite di costellazioni di satelliti



# Le Orbite dei Satelliti

Dal latino *satelles*: guardia, accompagnatore, attendente, ecc.

- LEO:  $< \sim 2,000$  km
  - Periodo  $< \sim 128$  minuti e Eccentricità  $< 0.25$
  - Copertura: limitata
- MEO:  $2,000 - 30,000$  km (GPS:  $\sim 20,200$  km)
  - $600$  minuti  $< \sim$  Periodo  $< \sim 800$  minuti e Eccentricità  $< 0.25$
  - Copertura: media
- GEO:  $35,786$  km
  - $23.76 < \sim$  Periodo  $< \sim 24.24$  ore e Eccentricità  $< 0.01$
  - Copertura: ampia
- HEO:  $> \sim 36,000$  km
  - Eccentricità  $> 0.25$



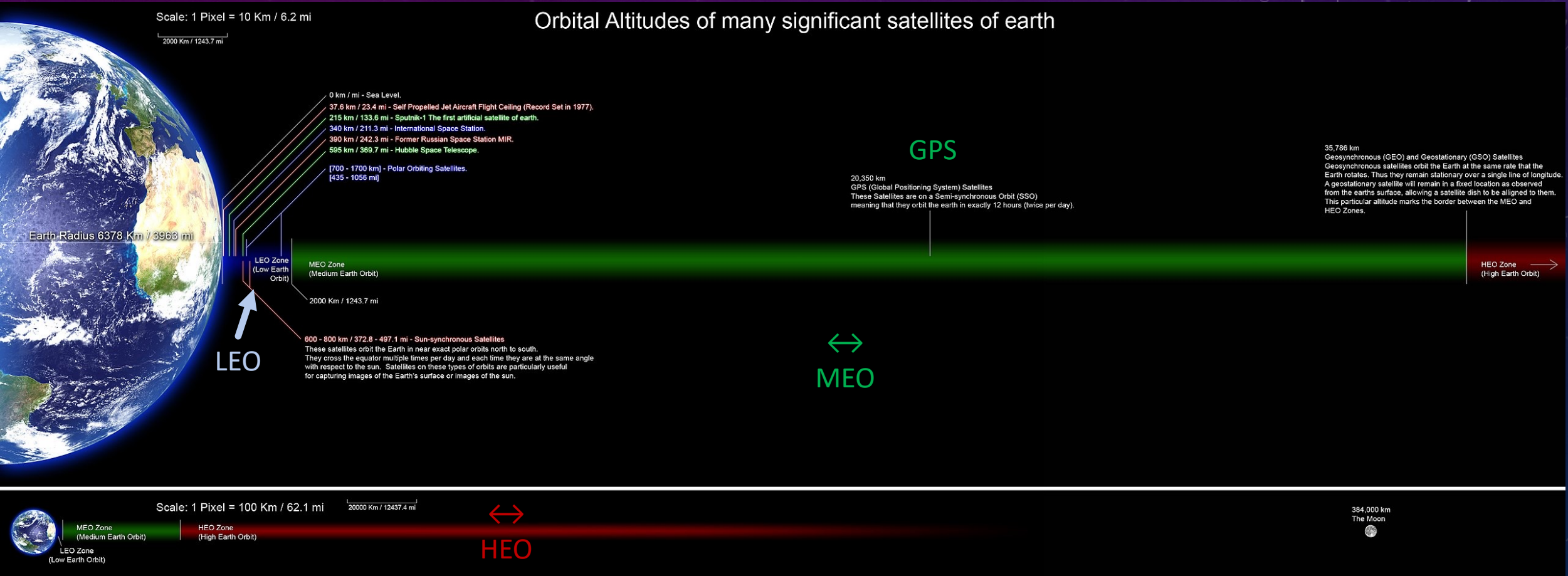
[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_orbits](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_orbits)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Geocentric\\_orbit](https://en.wikipedia.org/wiki/Geocentric_orbit)

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b4/Comparison\\_satellite\\_navigation\\_orbits.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b4/Comparison_satellite_navigation_orbits.svg)



# Le Orbite dei Satelliti



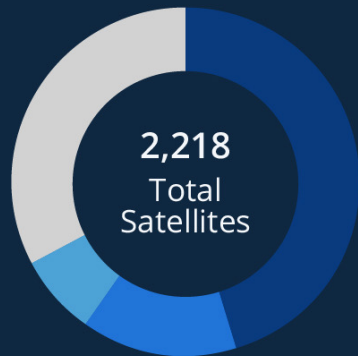
[https://en.wikipedia.org/wiki/High\\_Earth\\_orbit](https://en.wikipedia.org/wiki/High_Earth_orbit)



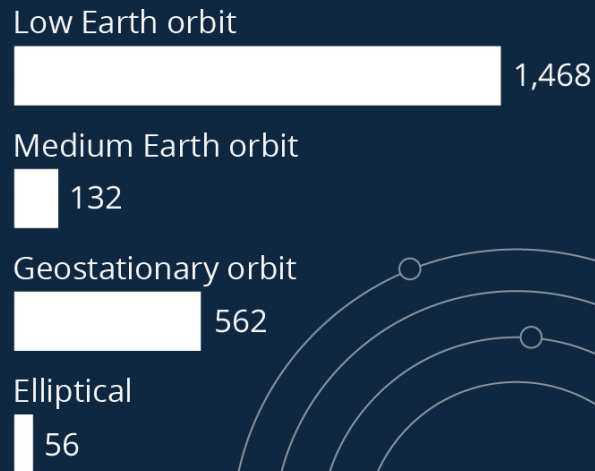
# Situazione pre-Starlink e futura

## LEO Satellites Fuel New Space Race

Number of current satellites in orbit by country and type



- 1,007 U.S.
- 323 China
- 164 Russia
- 724 Other



Data recorded as of Sept. 30, 2019  
Source: Union of Concerned Scientists

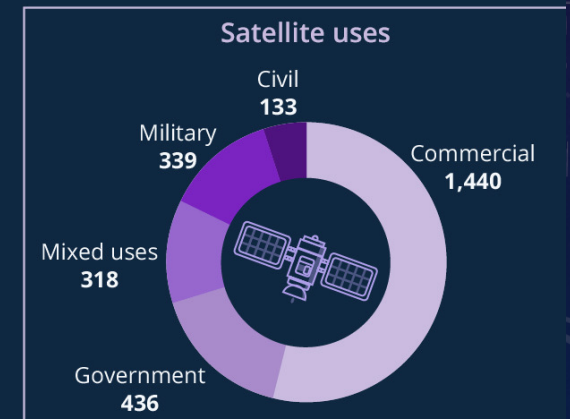
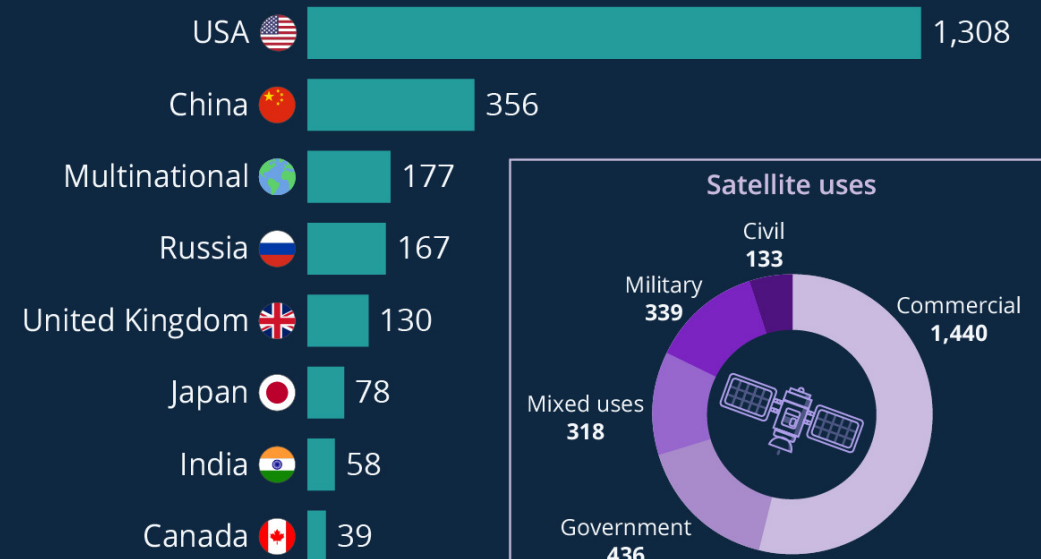


statista

30 Settembre 2019

## The Countries With the Most Satellites in Space

Satellites currently orbiting Earth by country\* (as of April 2020)



\* Country of operator/owner  
Source: Union of Concerned Scientist Satellite Database



Totale 2666

statista

20 Aprile 2020

# Situazione pre-Starlink e futura

Oggetti con orbite determinate con buona approssimazione prima dell'era Starlink

- LEO: ~ 14,000 (3,250)
- MEO: ~ 500 (200)
- Altri: ~ 50 (35)

Totale: ~ 14,550 (*Operativi*)



In Space-Track.org (Feb. '23)

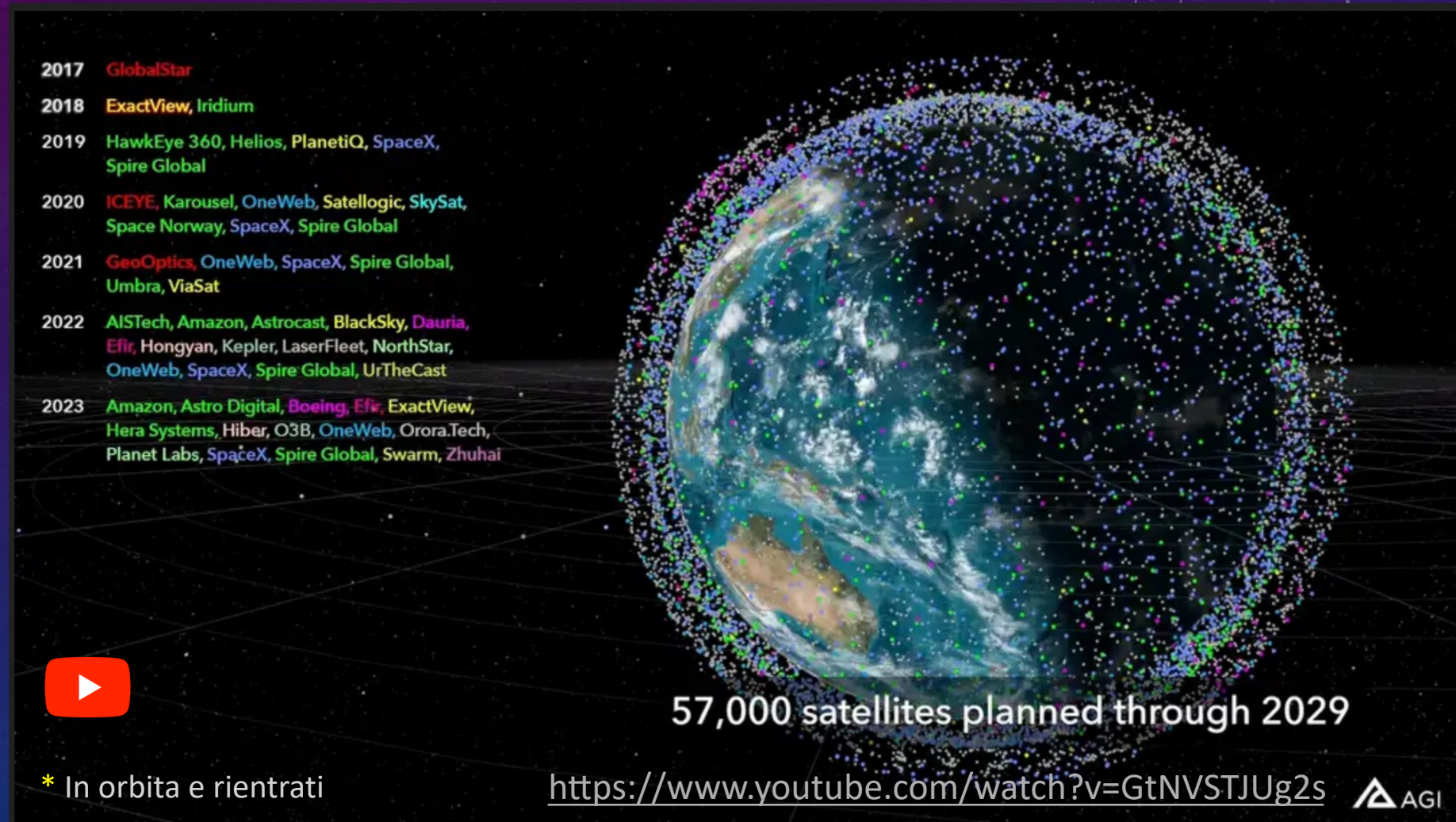
26,918 in orbita

- carico utile: 10,229
- parti di razzo: 2,335
- detriti: 13,978

55,506 totali (\*) tracciati



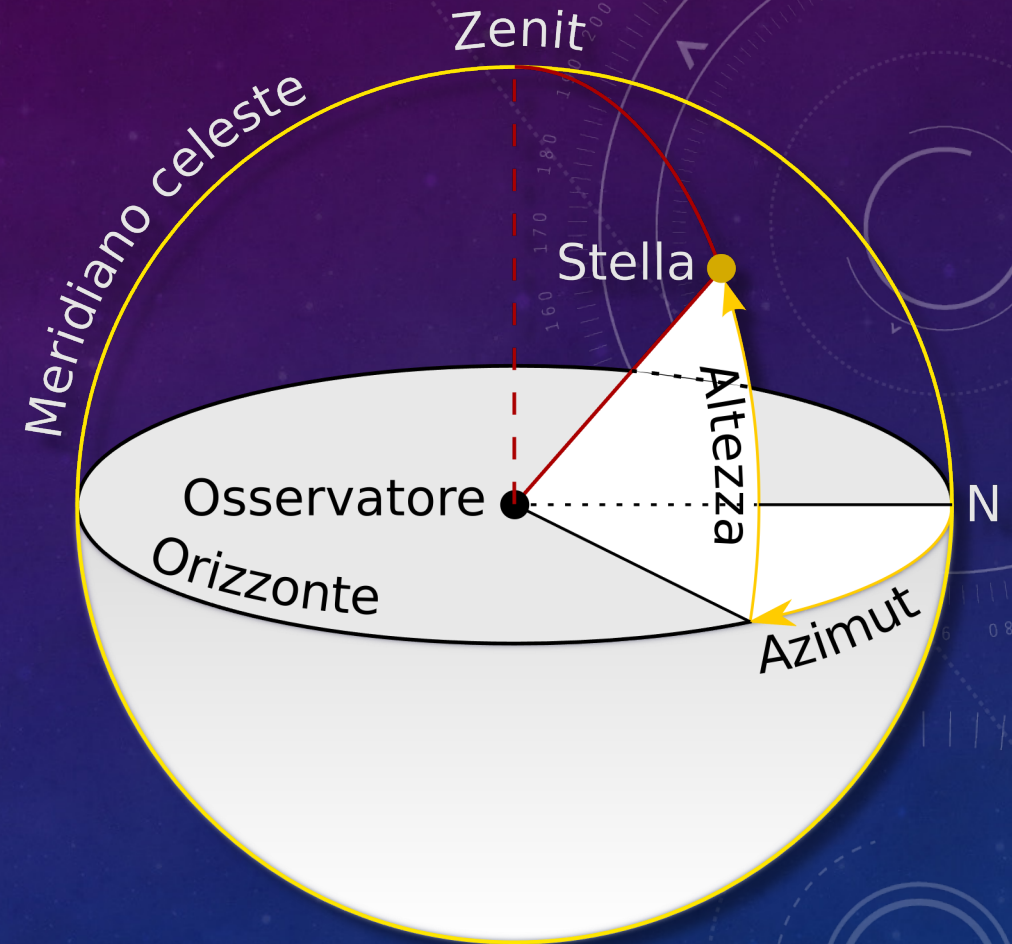
<https://platform.leolabs.space/visualization> , <https://www.privateer.com/>



# Qualche dato orbitale dei LEO

Quota di volo	Periodo orbitale	Velocità lineare	Velocità angolare*
290 km (iniezione)	90min 13s	7.732 km/s 27,835 km/h	1.52 gradi/s
340 km (Starlink bassi)	91min 20s	7.703 km/s 27,730 km/h	1.29 gradi/s
550 km (Starlink alti)	95min 39s	7.585 km/s 27,306 km/h	0.79 gradi/s
1100 km (uso incerto)	107min 16s	7.301 km/s 26,284 km/h	0.38 gradi/s

\* Si assume orbita circolare e osservazione allo zenith



Punto cardinale	Azimuth
Nord	0°
Est	90°
Sud	180°
Ovest	270°



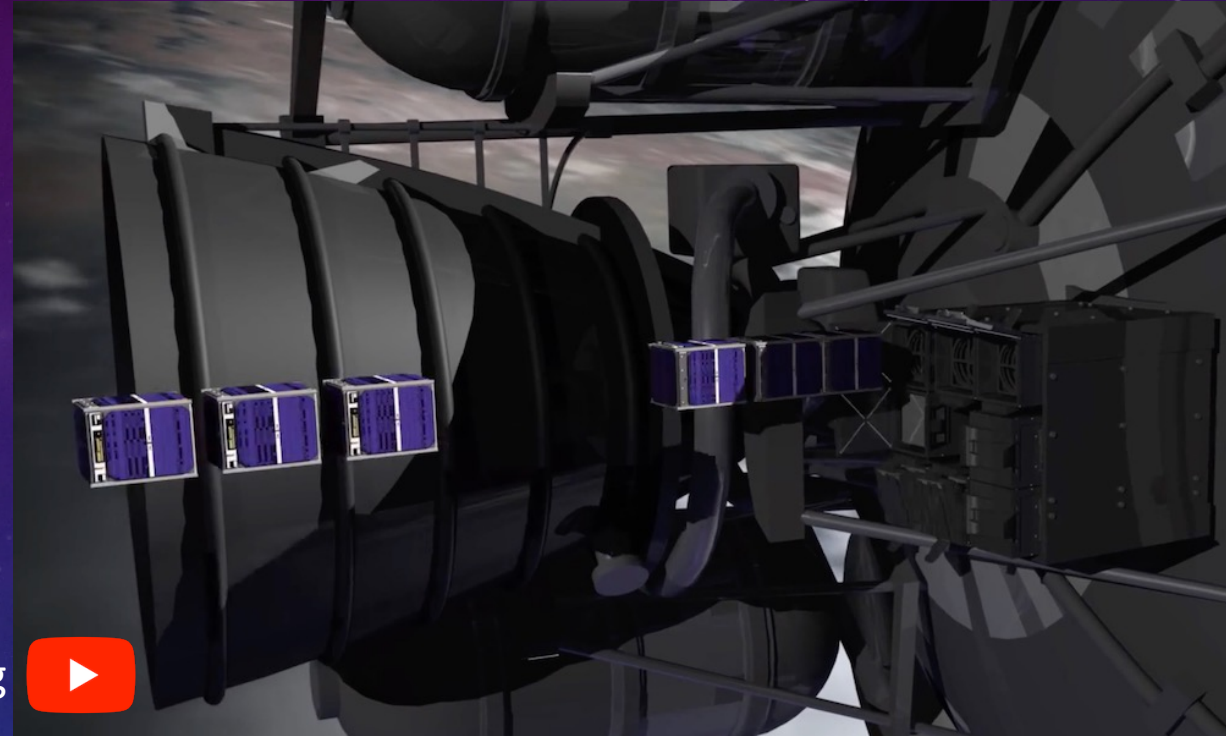
# Tipologia e usi principali

## Tipo di satellite

- Militari
- Telecomunicazione
- Monitoraggio
- Clima
- Telerilevamento
- Eventi sismici e climatologici
- Scienze astronomiche
- ... altro

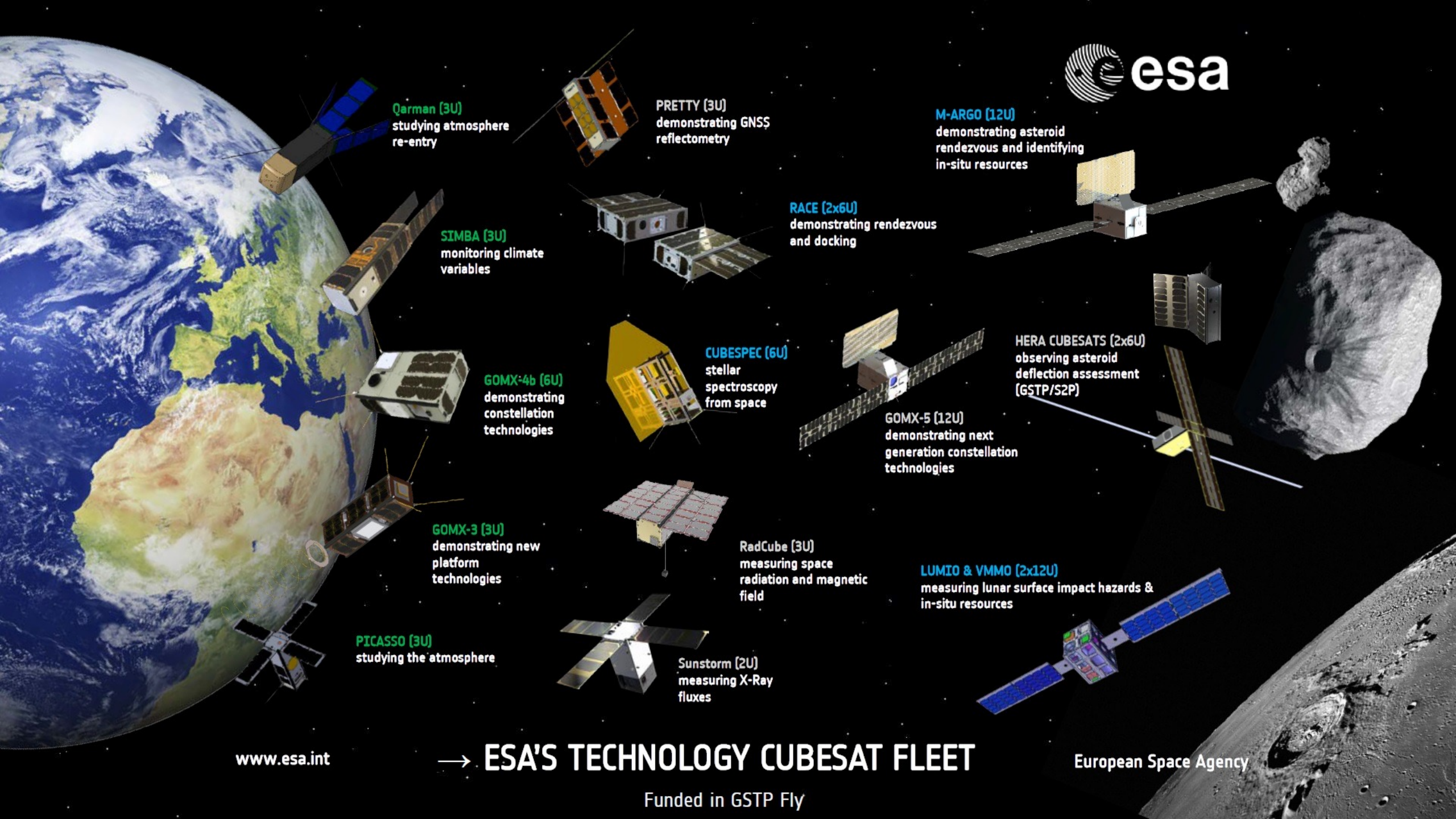
## Dimensioni - Peso

- Grandi > 1000 kg
- Medi ~ 500 – 1000 kg
- Piccoli
  - Mini satelliti ~ 100 – 500 kg (Starlink 260 kg, 70×70×110 cm)
  - Micro satelliti ~ 10 – 100 kg (Iridium ~ 50 kg, 30×40×70 cm)
- Nano (es. cubesat) ~ 1 – 10 kg (3 – 4 kg, 10×10×10 cm)
- Pico satelliti ~ 0.1 – 1 kg
- femto/atto/zepto-Sat



Tiny satellites called CubeSats  
are growing in popularity





**Qarman (3U)**  
studying atmosphere  
re-entry

**PRETTY (3U)**  
demonstrating GNSS  
reflectometry

**M-ARGO (12U)**  
demonstrating asteroid  
rendezvous and identifying  
in-situ resources

**SIMBA (3U)**  
monitoring climate  
variables

**RACE (2x6U)**  
demonstrating rendezvous  
and docking

**GOMX-4b (6U)**  
demonstrating  
constellation  
technologies

**CUBESPEC (6U)**  
stellar  
spectroscopy  
from space

**HERA CUBESATS (2x6U)**  
observing asteroid  
deflection assessment  
(GSTP/S2P)

**GOMX-3 (3U)**  
demonstrating new  
platform  
technologies

**GOMX-5 (12U)**  
demonstrating next  
generation constellation  
technologies

**PICASSO (3U)**  
studying the atmosphere

**RadCube (3U)**  
measuring space  
radiation and magnetic  
field

**LUMIO & VMMO (2x12U)**  
measuring lunar surface impact hazards &  
in-situ resources

**Sunstorm (2U)**  
measuring X-Ray  
fluxes

[www.esa.int](http://www.esa.int)

## → ESA'S TECHNOLOGY CUBESAT FLEET

European Space Agency

Funded in GSTP Fly

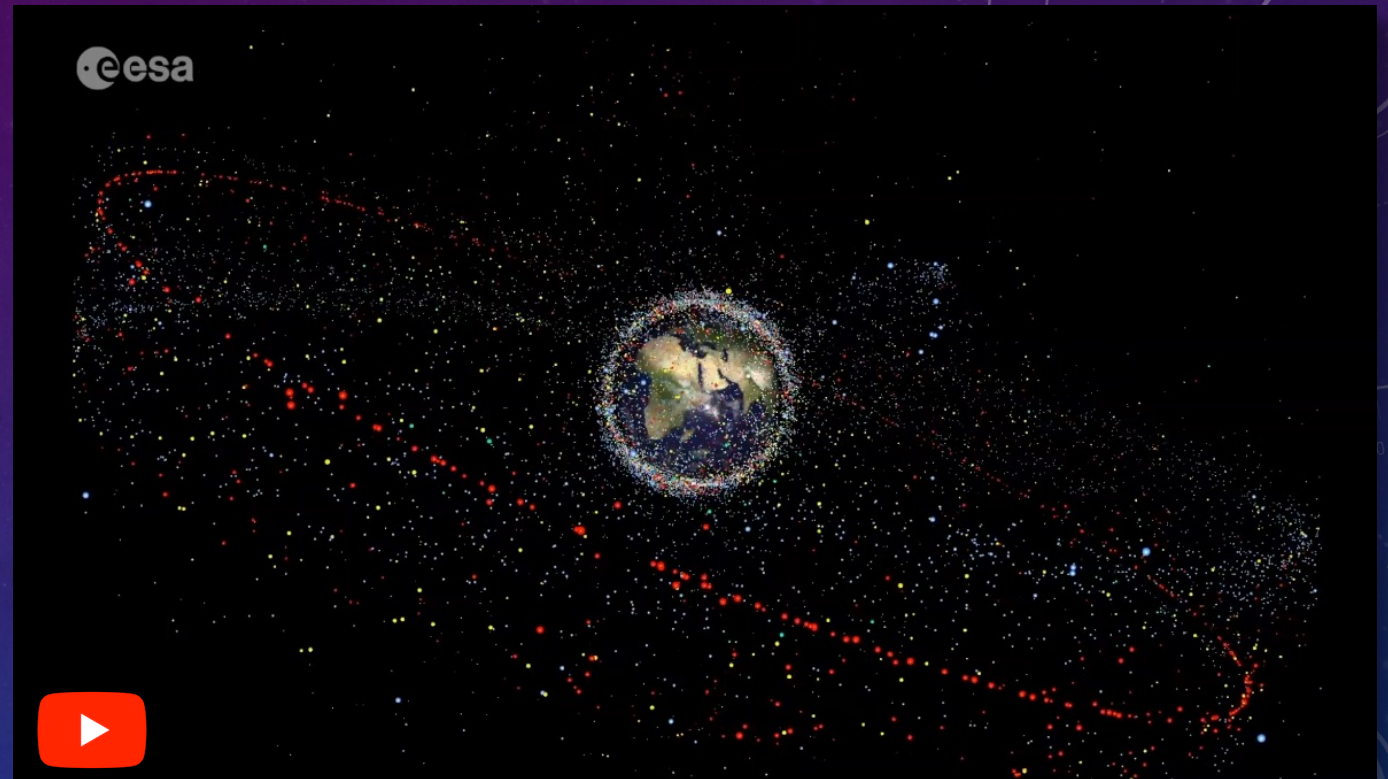
# Cosa c'è intorno alla Terra

1. Parti funzionanti (*carico utile*)
2. Parti di razzo
3. Detriti di varie dimensioni
  - grandi (> 1 m),
  - medi (1 m – 10 cm)
  - piccoli (10 – 1 cm)
  - minuscoli (1 cm – 1 mm)

2 + 3 ⇒ **Spazzatura!**

- **29,000** – più di 10 cm
- **670,000** – più di 1 cm
- **130 – 170 milioni** più di 1 mm

*Nota: numeri approssimativi*



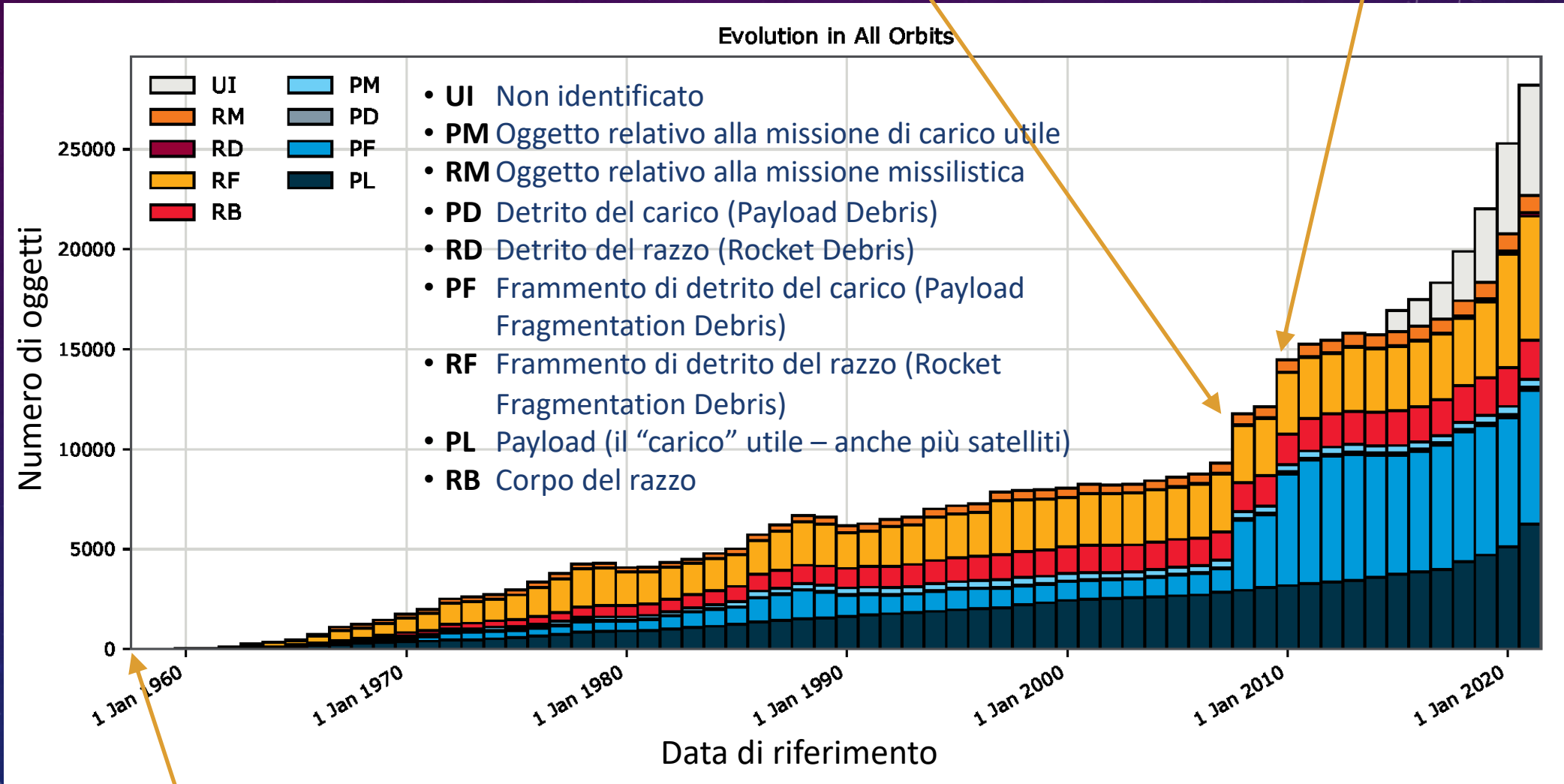
<https://www.youtube.com/watch?v=jRuMWm-UW-g>

⇒ Totale di **3 milioni di kg**

# Crescita inarrestabile !

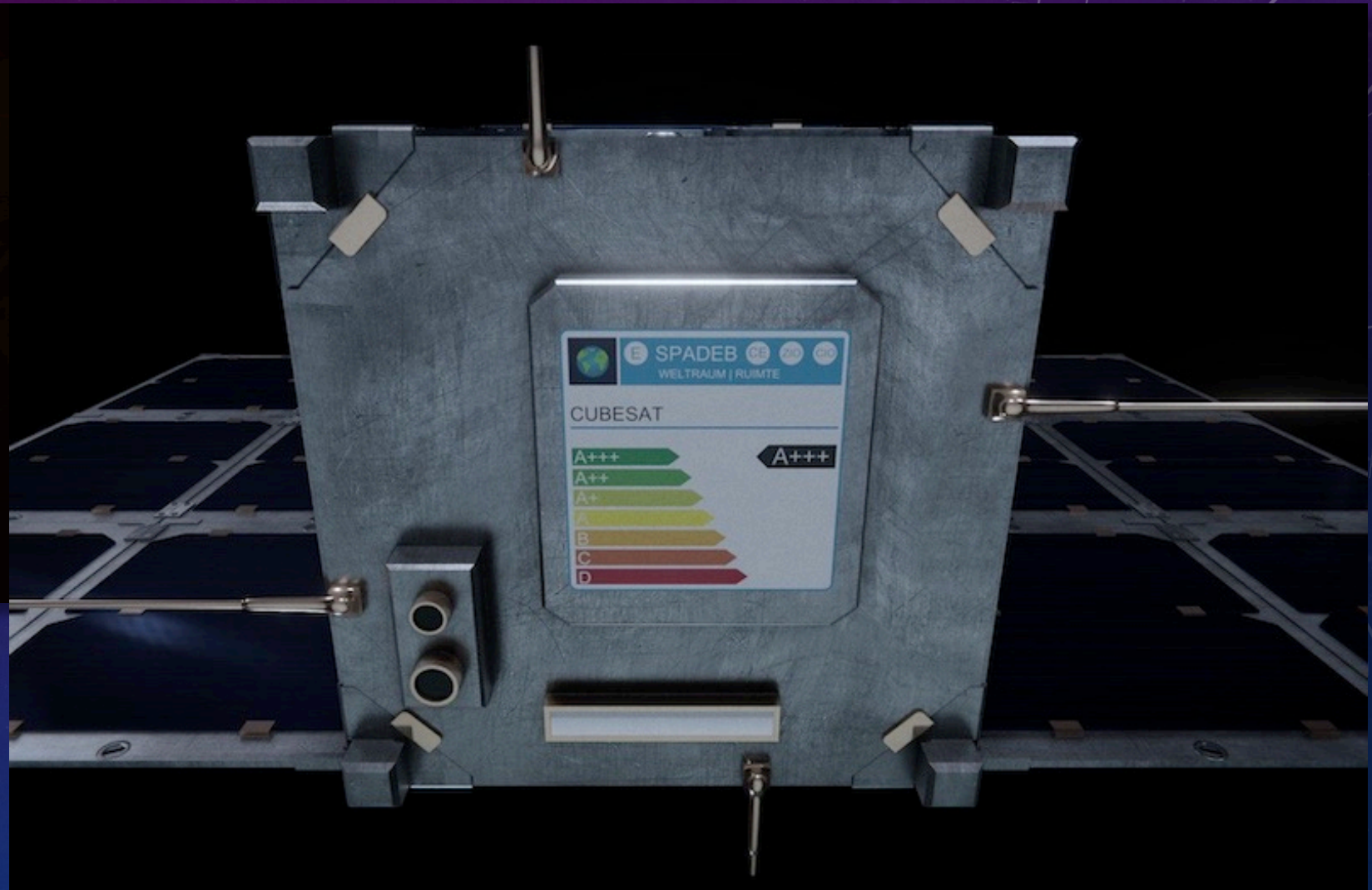
Esplosione del satellite cinese Fengyun1-C (Gen. 2007)

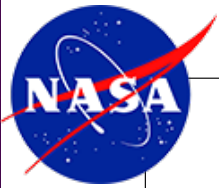
Collisione tra Iridium 33 e Cosmos 2251 (Feb. 2009)



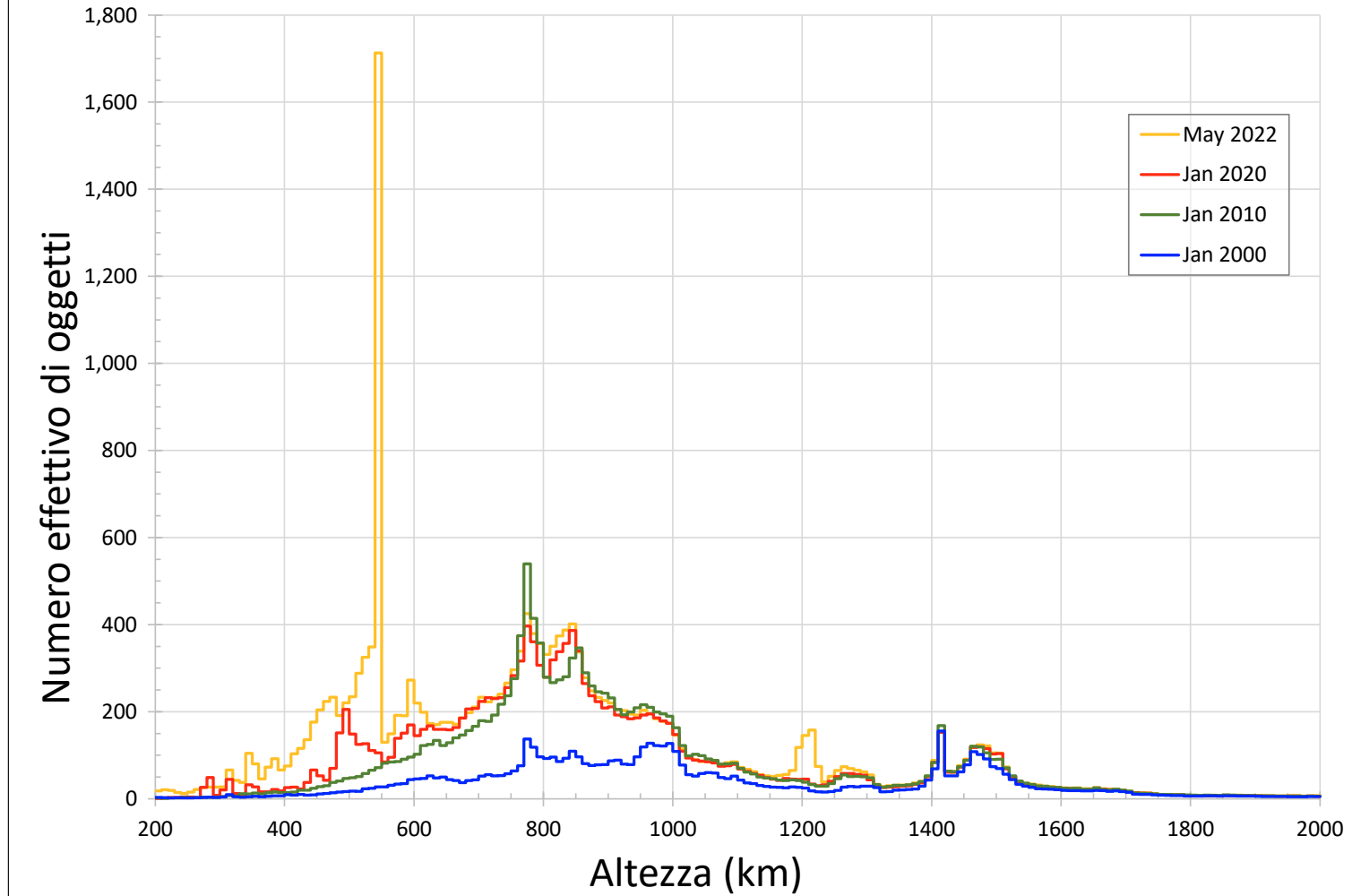
4 Ottobre 1957 (65 anni fa) Sputnik 1

# Il bollino di sostenibilità !

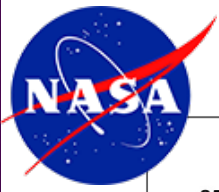




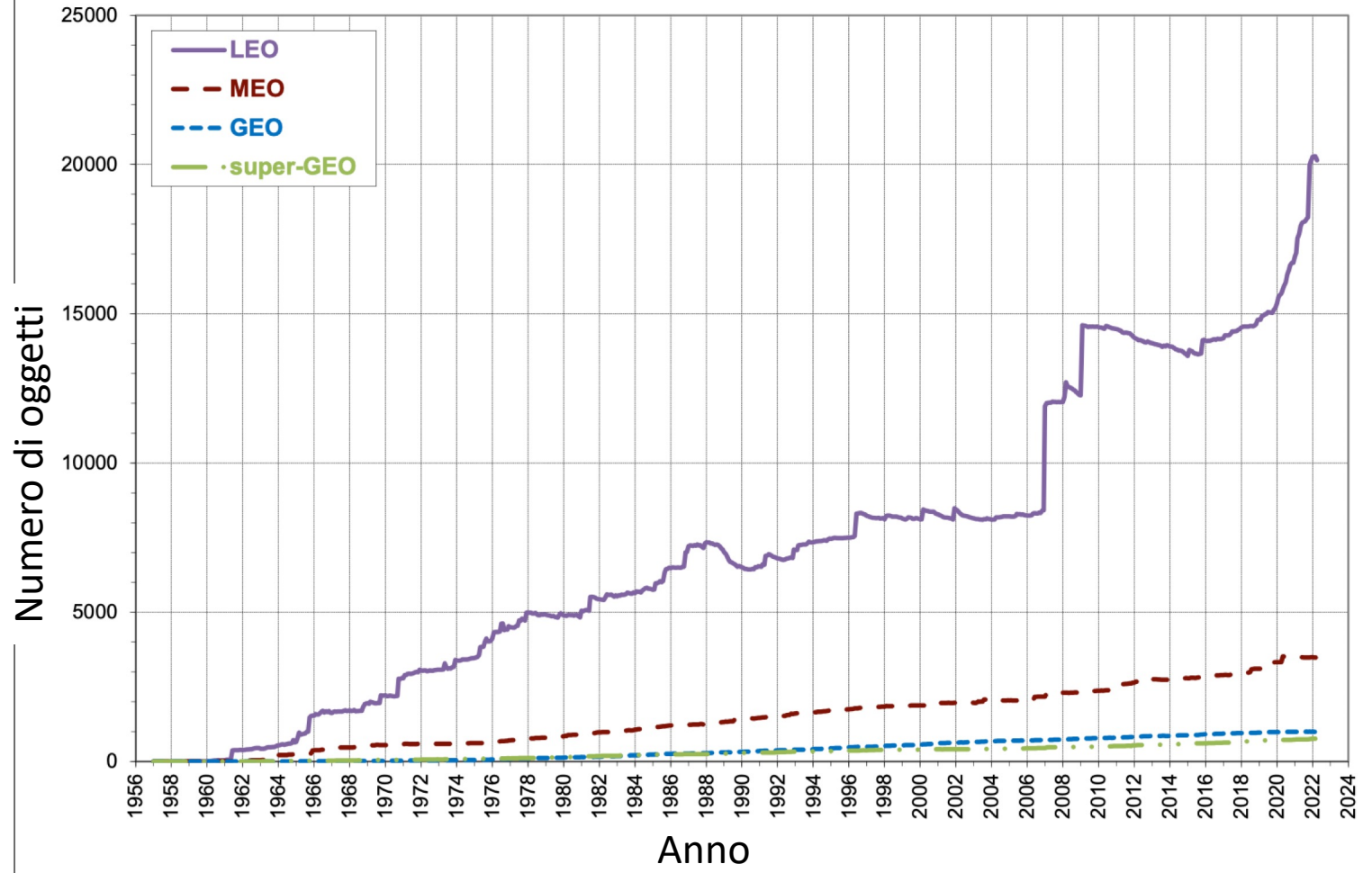
### Numero effettivo di satelliti catalogati ad intervalli di 10 km di altezza



Effective numbers of objects per 10 km altitude bin between 200 and 2000 km altitude at four different epochs. These are objects, approximately 10 cm and larger, tracked by the Space Surveillance Network, including real objects with SSN numbers of 80,000 and greater. The increase from 2000 to 2010 was dominated by fragments generated from the Fengyun-1C antisatellite test conducted by China in 2007 and the accidental collision between Cosmos 2251 and the operational Iridium 33 spacecraft in 2009. The increase from 2010 to 2020 was driven by the initial build-up of the Starlink large constellation (120 Starlink spacecraft were launched from May to November 2019) and by the proliferation of CubeSats below about 650 km altitude. The increase from 2020 to 2022 continues to be driven by the Starlink and CubeSats below about 650 km altitude, with a new increase near 1200 km altitude driven by the OneWeb large constellation.

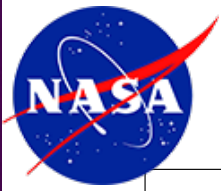


## Andamento mensile del numero effettivo di satelliti intorno alla Terra

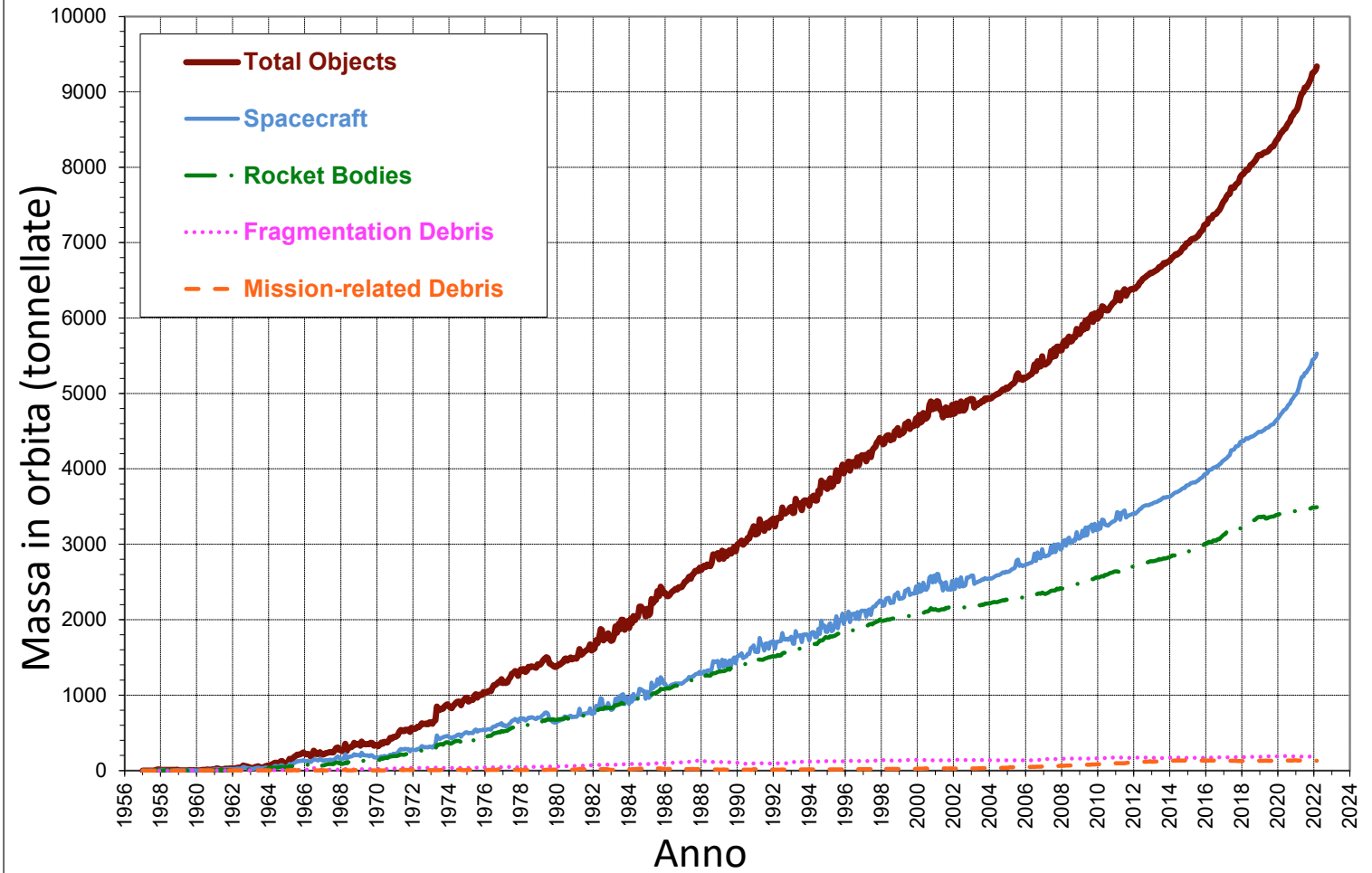


Monthly Effective Number of Objects in Earth Orbit by Orbital Regime cataloged by the U.S. Space Surveillance Network, except those with SSN numbers of 80,000 and greater. This chart displays the number of all objects in Earth orbit officially cataloged by the U.S. Space Surveillance Network. Low Earth orbit (LEO) includes resident space objects (RSOs) with altitudes within or crossing below 2,000 km; medium Earth orbit (MEO) RSOs with altitudes within or crossing the range from 2,000 km to 35,586 km; geosynchronous orbit (GEO) RSOs with altitudes within or crossing the range from 35,586 km to 35,986 km; and the remainder with altitudes within or crossing the range from 35,986 km to 600,000 km, referred to as Super-GEO. "Effective" number sums the fraction of each orbit that falls within the specified ranges. Cataloged objects without available orbital elements are excluded.

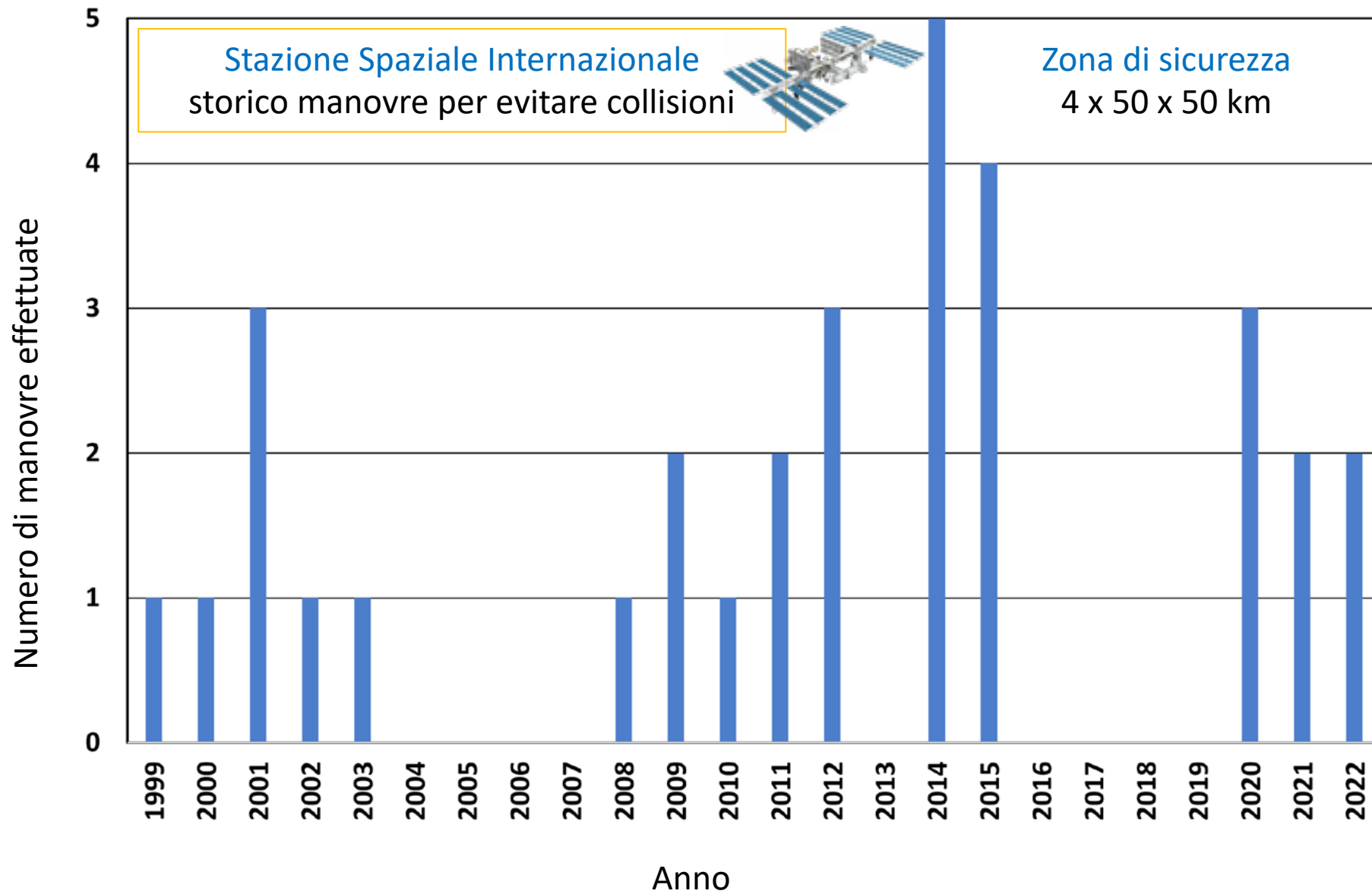




## Andamento mensile della massa degli oggetti che orbitano intorno alla Terra



Monthly Mass of Objects in Earth Orbit by Object Type as of 3 May 2022. This chart displays the mass of all objects in Earth orbit officially cataloged by the U.S. Space Surveillance Network.



l'ISS ha effettuato una manovra di cambio orbita per evitare un oggetto già **32 volte!**

# Cosa c'è intorno alla Terra

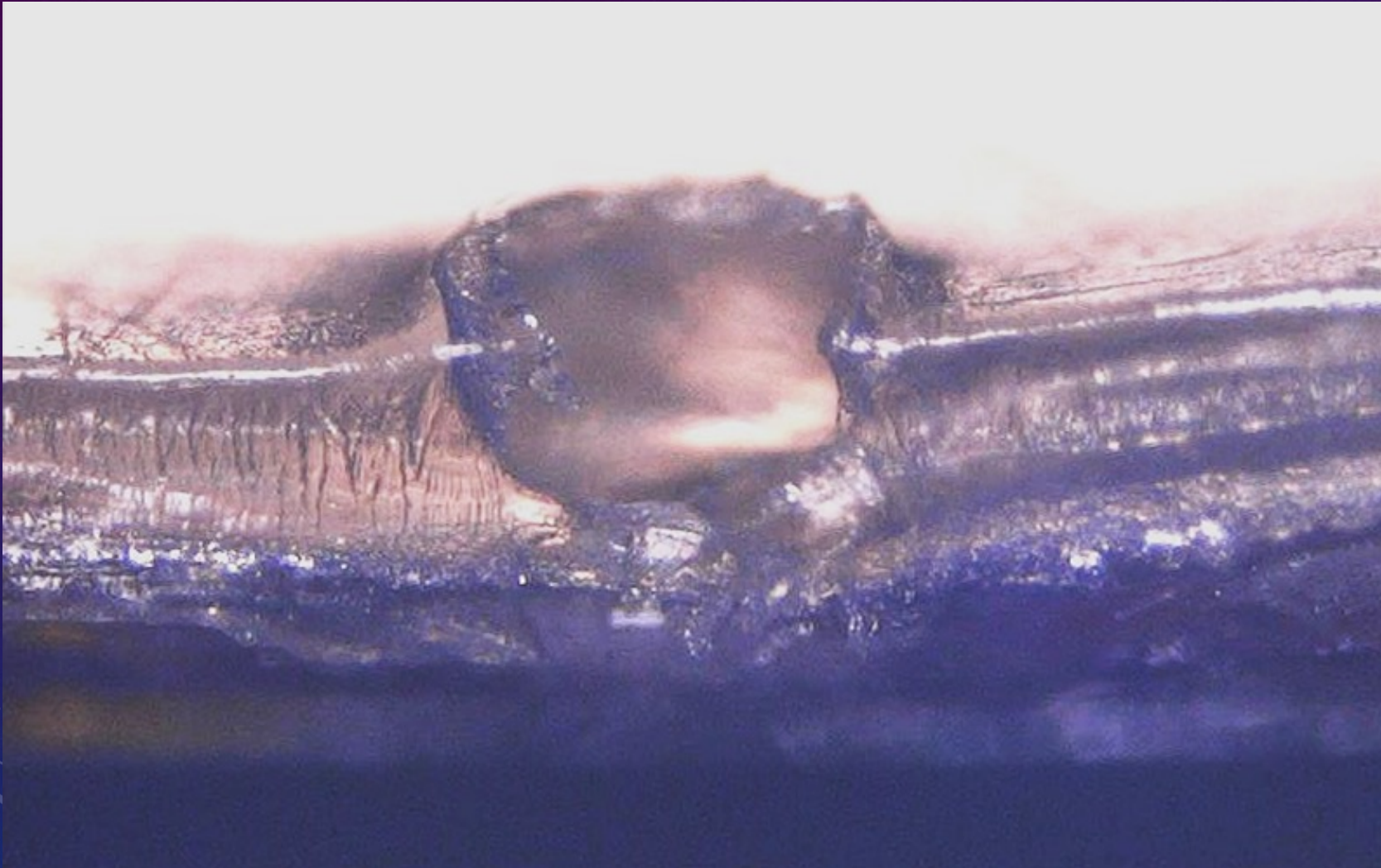
Risultato dell'impatto di un oggetto delle dimensioni di circa 1cm

- Sfera di alluminio di **1.2 cm**
- Massa di circa **1.7 g**
- Cratere d'impatto largo **9 cm** e profondo **5.3 cm**
- Bocco di alluminio di **18 cm**
- Velocità d'impatto di **6.8 km/s** (**24,500 km/ora**)



# Cosa c'è intorno alla Terra

Impatto su un modulo del telescopio Hubble.



# Cosa c'è intorno alla Terra

## Tracciamento satelliti e detriti – *come si sorveglia lo spazio*

### Radar

- *Pro: fino a dimensioni del cm; funziona h24*
- *Contro: errore di posizione trasversale poco accurata (milli-radiante -> centinaia di metri)*

### Ottico passivo

- *Pro: fino a dimensioni dei decimetri, ottima posizione trasversale (astrometria -> metro!)*
- *Contro: misura di distanza molto poco accurata (si può ricostruire dopo molte osservazioni)*

### Ottico attivo (LiDAR / LADAR)

- *Pro: combina le due tecniche precedenti, e quindi i pro (e stima di dist. < cm); anche di giorno!*
- *Contro: solo per satelliti / detriti relativamente grandi o predisposti; può richiedere permesso/verifica del gestore del satellite*

# Cosa c'è intorno alla Terra

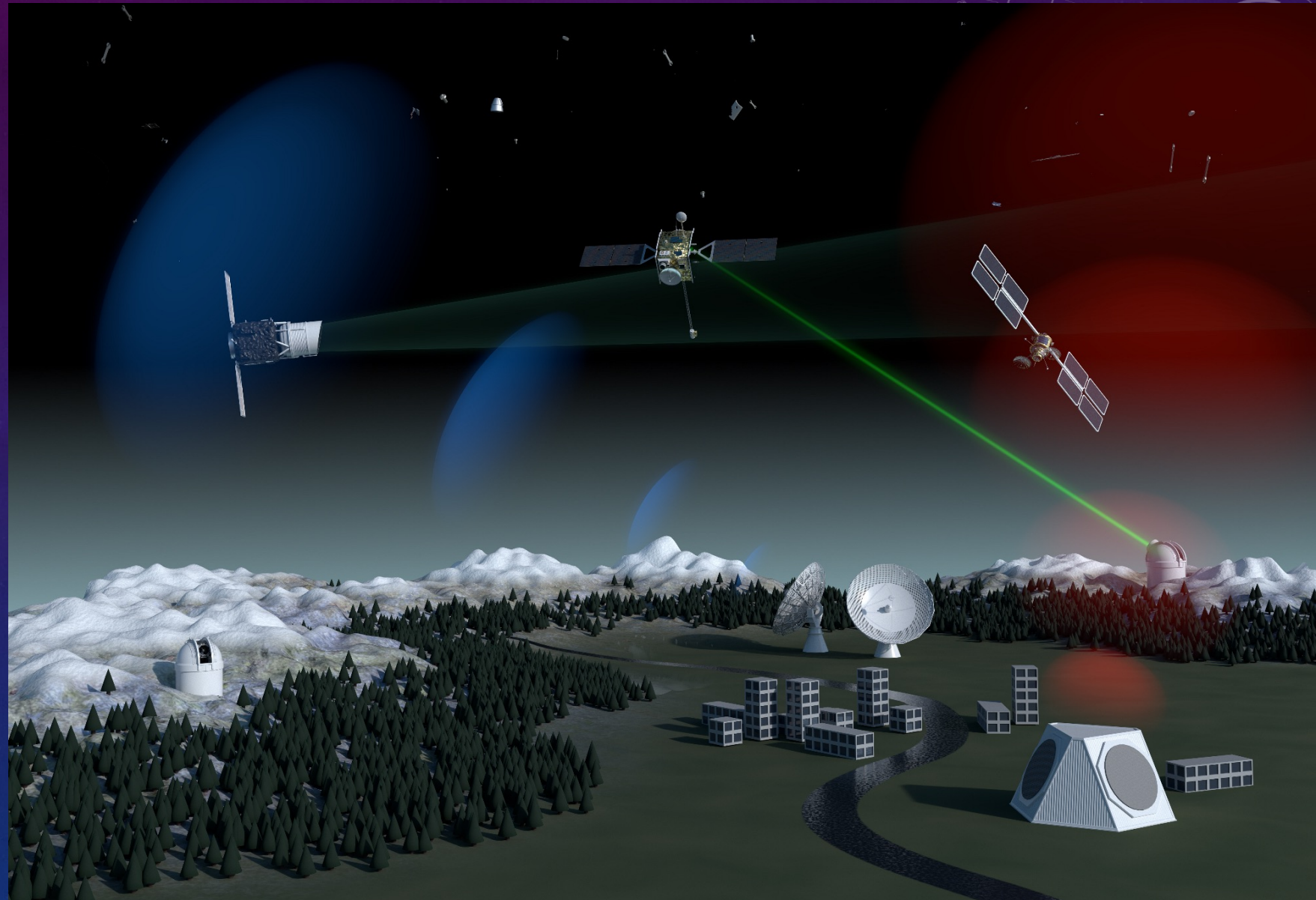
## Tracciamento dei detriti

*fino a dimensioni minori del cm*

Rete di sorveglianza  
combinando le varie tecniche

Previsioni della posizione  
considerando:

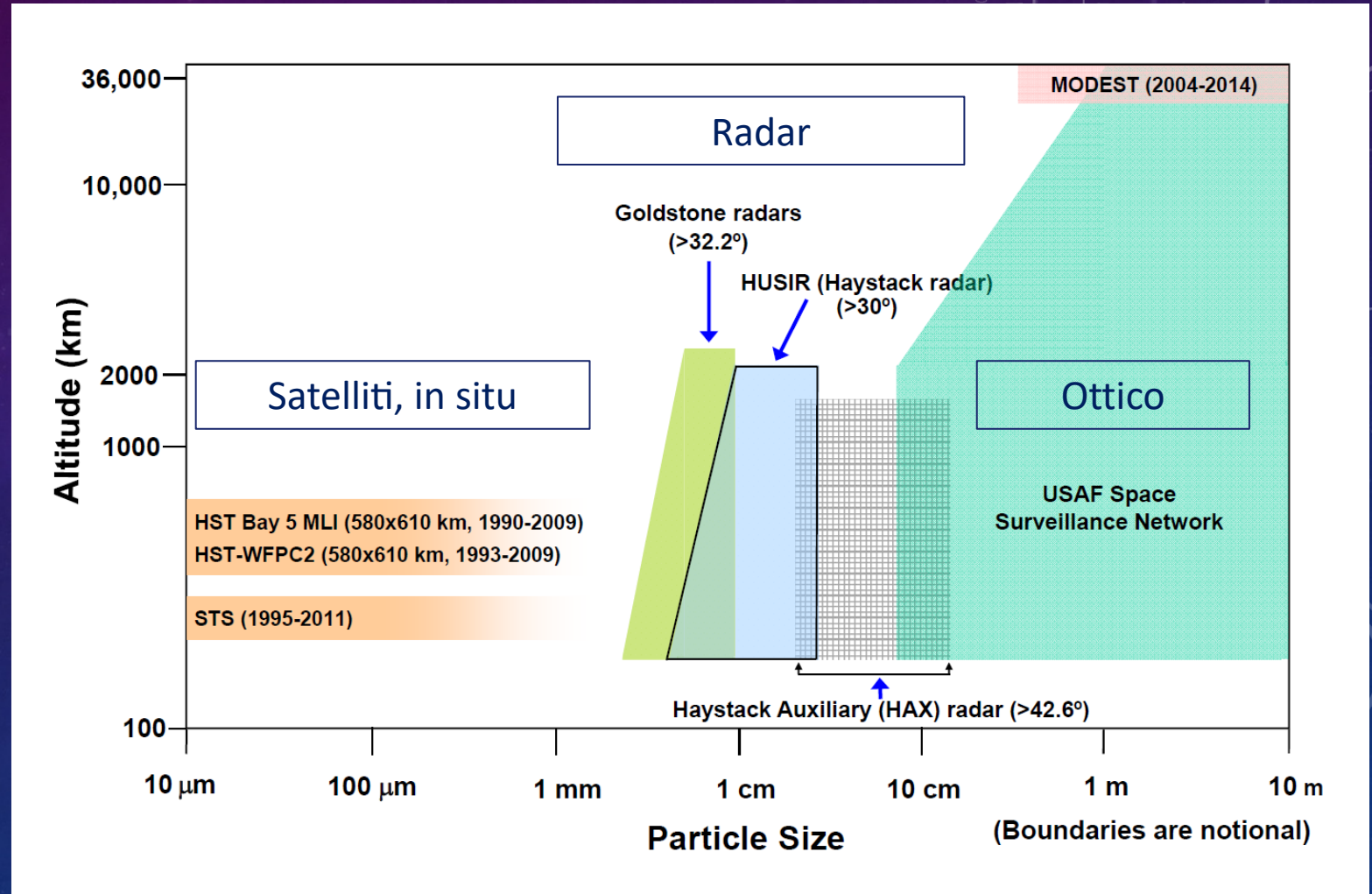
- Gravità non uniforme
- Resistenza dell'atmosfera
- Pressione della radiazione solare
- Influenza gravitazionale di Sole e Luna



# Cosa c'è intorno alla Terra

## Tracciamento dei detriti

*fino a dimensioni minori del centimetro*



# Cosa c'è intorno alla Terra

## Tracciamento *radar* dei detriti

*fino a dimensioni del centimetro*



Medicina, Bologna



Haystack e HAX, USA



LeoLabs, Nuova Zelanda

Gestiti sia da Enti pubblici che **privati**.

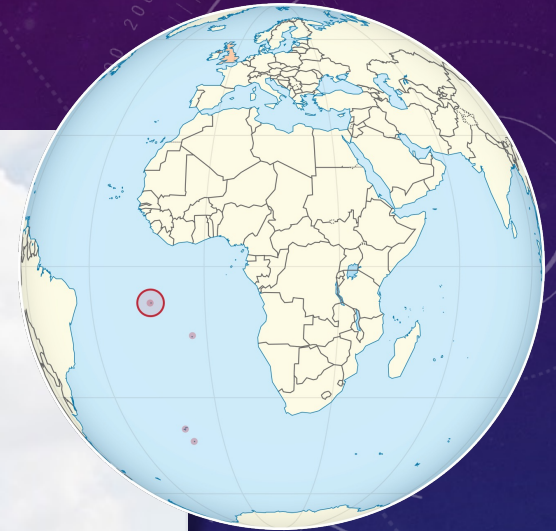


# Tracciamento ottico dei detriti

*Telescopi tradizionali*



ES-MCAT, Isola di Ascensione, UK



# Tracciamento ottico dei detriti

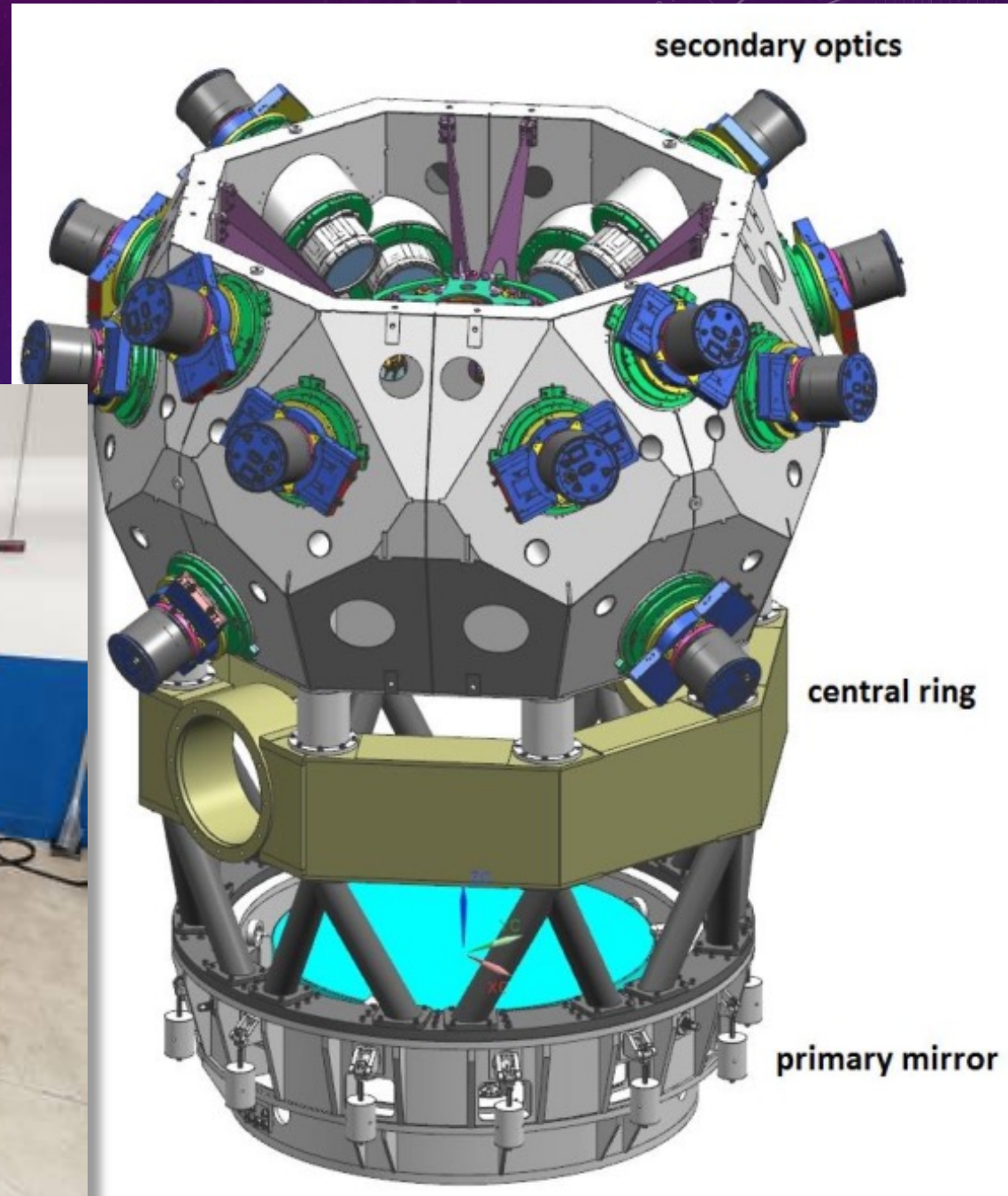
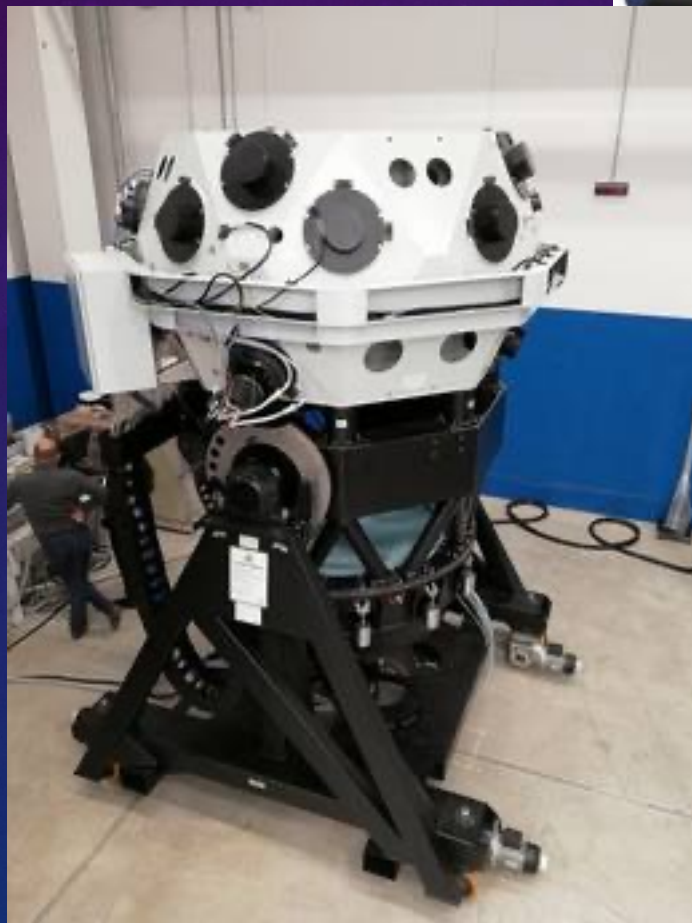
## I telescopi *italiani* « flyeye »

- Finanziati dall'ASI
- Sviluppati dall'ESA
- Costruiti dalla OHB-Italia (Como)

Totale previsti: 4 (finanziati) + N

Il primo verrà testato a Matera e poi installato sulle Madonie (Isnello – PA)

Uso primario: tracciamento NEO

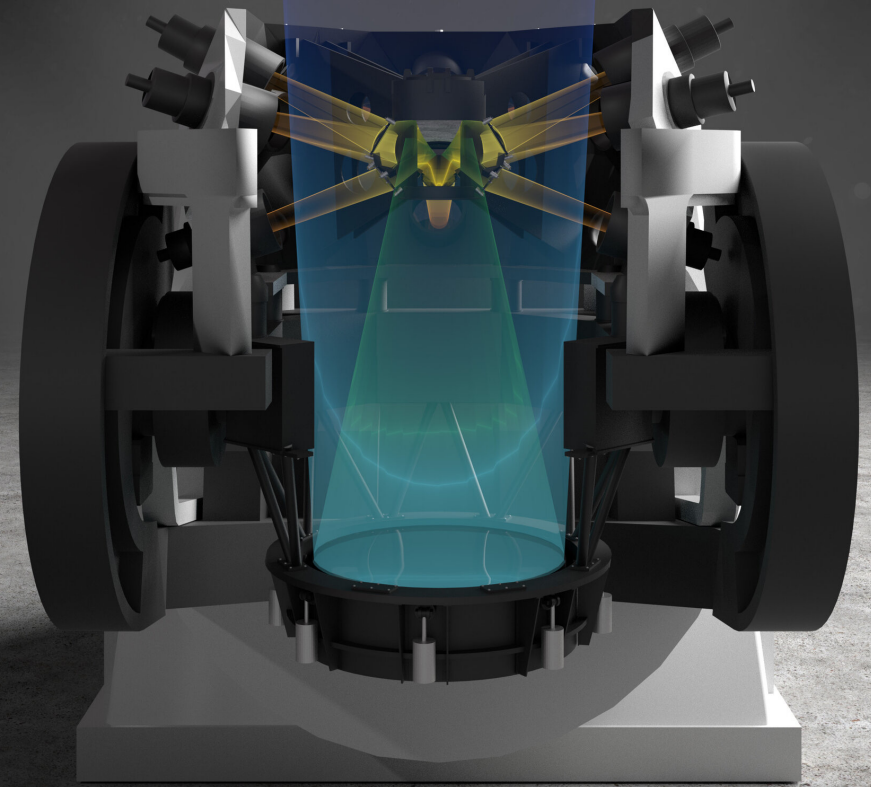


# Tracciamento ottico dei detriti

I telescopi *italiani* « flyeye »

Diametro 1-m

Campo di vista  
di  $6.7^\circ \times 6.7^\circ$



# Tracciamento ottico dei detriti

## Tracciamento laser

### *Satellite Laser Ranging (SLR)*

- Misure 10 volte più precise che con il radar ( < cm )
- Impulsi < nano secondo
- Osservazione della luce riflessa dallo stesso sito
- Osservare la luce riflessa da più siti per triangolare
- Tecnologia non nuova ma ancora in sviluppo

Uso primario: tracciamento detriti



Zimmerwald Laser and Astrometry Telescope ZIMLAT, CH



ESA-OGS, Tenerife, Spagna

# Tracciamento ottico dei detriti

Telescopi *tradizionali*



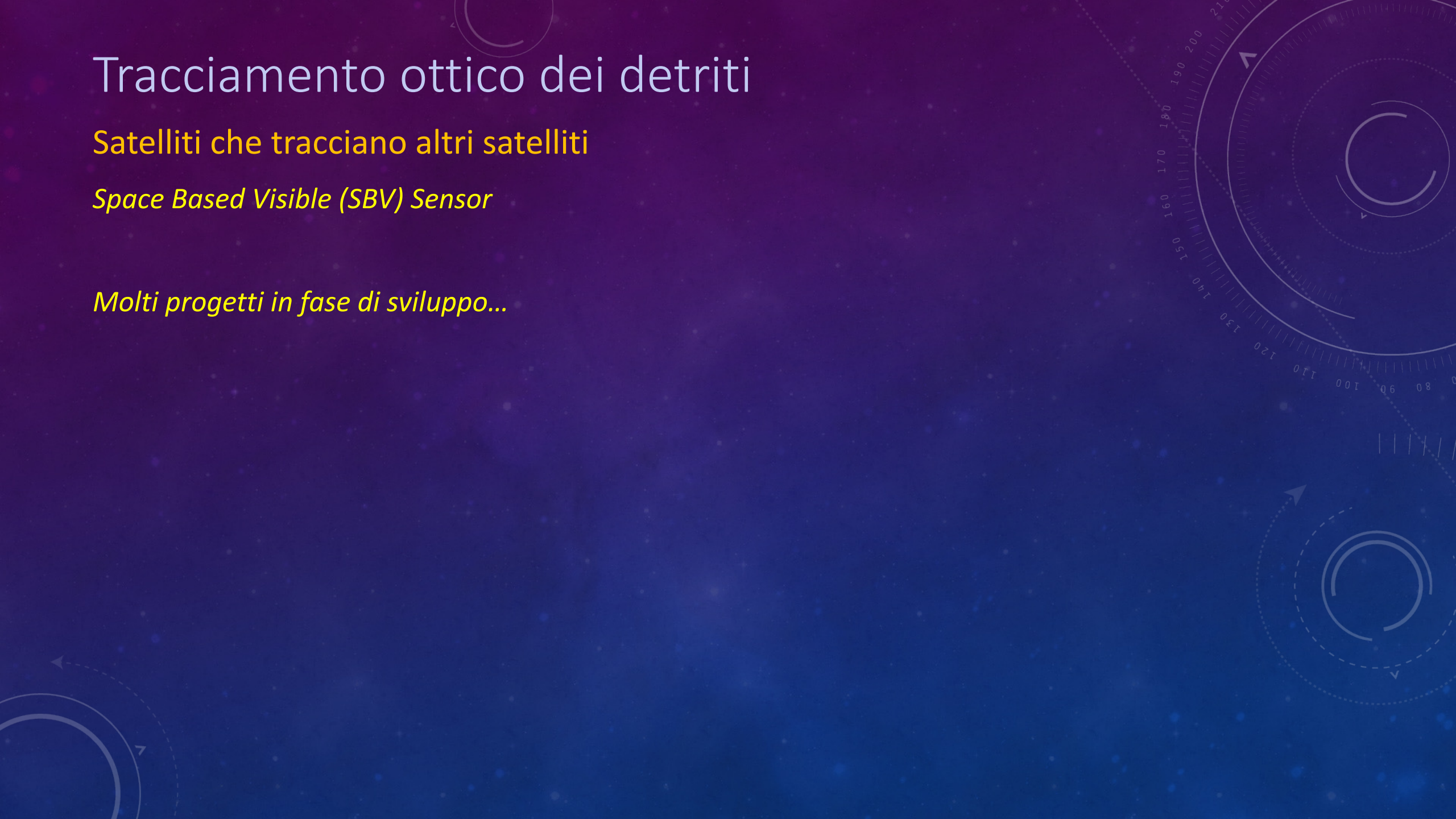
ESA-OGS, Tenerife, Spagna

# Tracciamento ottico dei detriti

Satelliti che tracciano altri satelliti

*Space Based Visible (SBV) Sensor*

*Molti progetti in fase di sviluppo...*





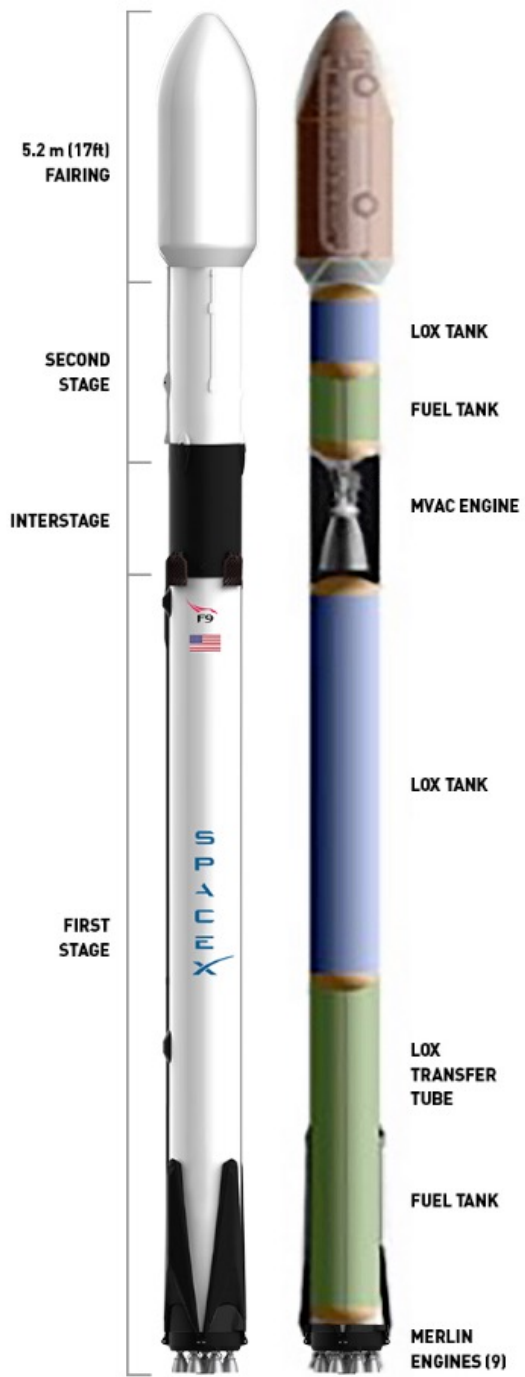


Figure 2-1: Falcon 9 overview





# L'era delle costellazioni: Starlink ed altri

## Starlink

- ~ 42,000 entro il 2025 (11,926 + 30,000; > 4000 entro fine 2023)

## Amazon

- ~ 30,000 (progetto Kuiper 3,236)

## OneWeb

- ~ 7,000 (Fase 1: ~ 2,000; Fase 2: ~ 5,000; a 1200 km !)

## GuoWang / Huawei (Cina)

- ~ 13,000 (altezza varia ~ 500 – 1,145 km)
- ~ 10,000 (< 1,000 km)

## Samsung

- ~ 5,000 (a 2000 km !)

← ... e molti altri

**Totale (2025 – 2030 ?): ~ 100,000**

<https://tinyurl.com/wdf2sczn>

**25 costellazioni** in fase di dispiegamento o sviluppo

Confronto satelliti operativi in LEO (Feb. 2023)

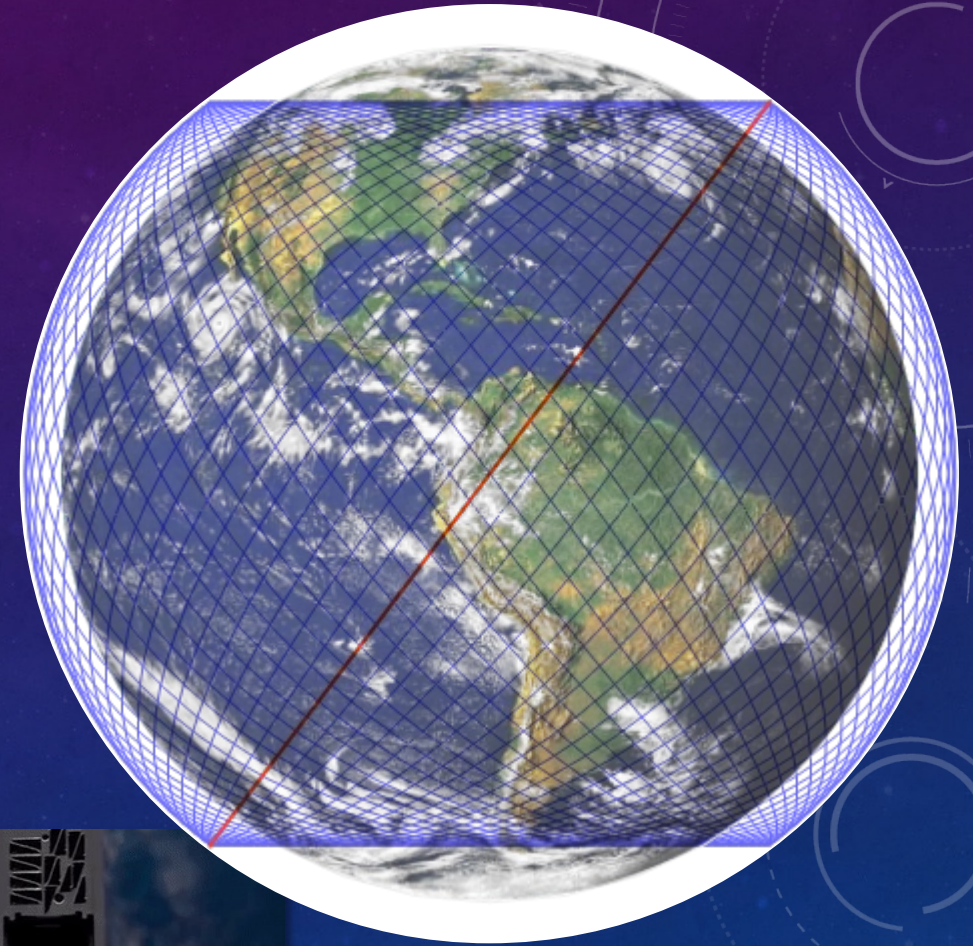
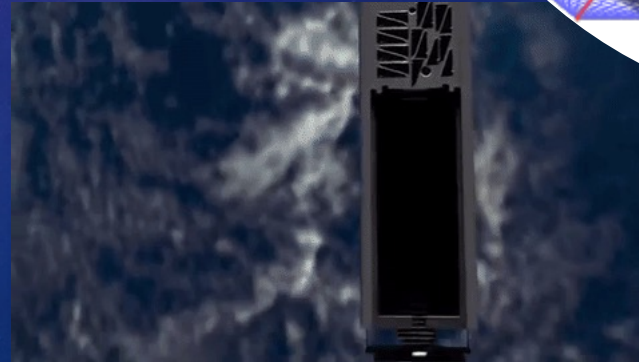
Nome	N. satelliti
SpaceX - Starlink Constellation	3609
OneWeb	540
Planet - Flock	278
Spire	117
Swarm Technologies - SpaceBEEs	153
Iridium NEXT	75
ORBCOMM	17
Satellogic	23
Planet - SkySats	21
NOAA (Active)	23

# L'era delle costellazioni: Starlink ed altri

## Starlink

<https://planet4589.org/space/con/star/stats.html>

- Ultimo lancio (74°, 55 sats): 12 Febbraio 2023
- Cadenza di **circa 2 al mese**
- Totale in orbita: **3633** (3,930 lanciati, vita media di 5 anni)



Starlink prima del distacco dalla capsula madre



« Trenino » di Starlink visti dalla **Stazione Spaziale Internazionale**



# Come i raggi solari illuminano un satellite

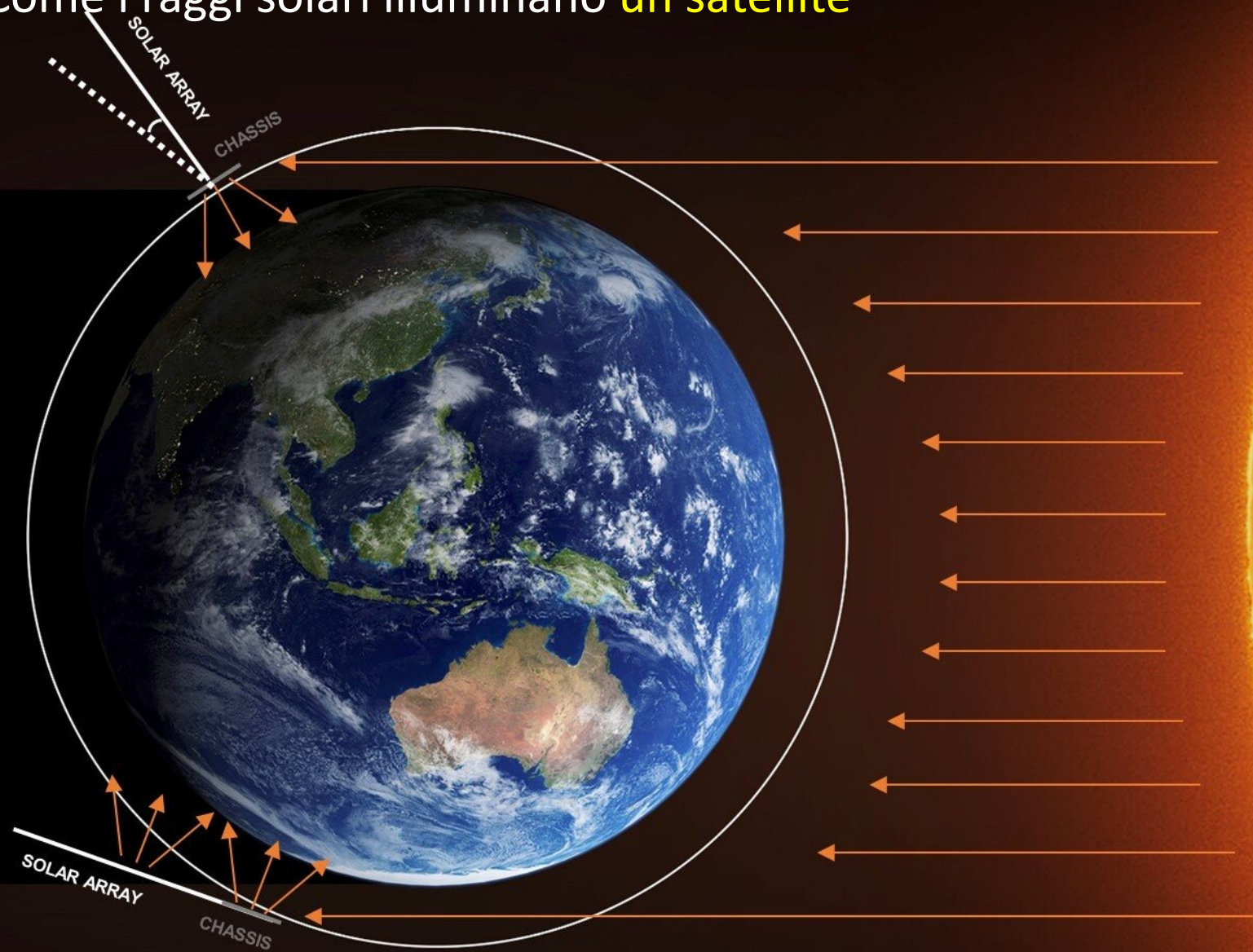
## ON STATION

Add sun visor to mitigate chassis reflections

Adjust solar array angle so it is hidden behind the chassis

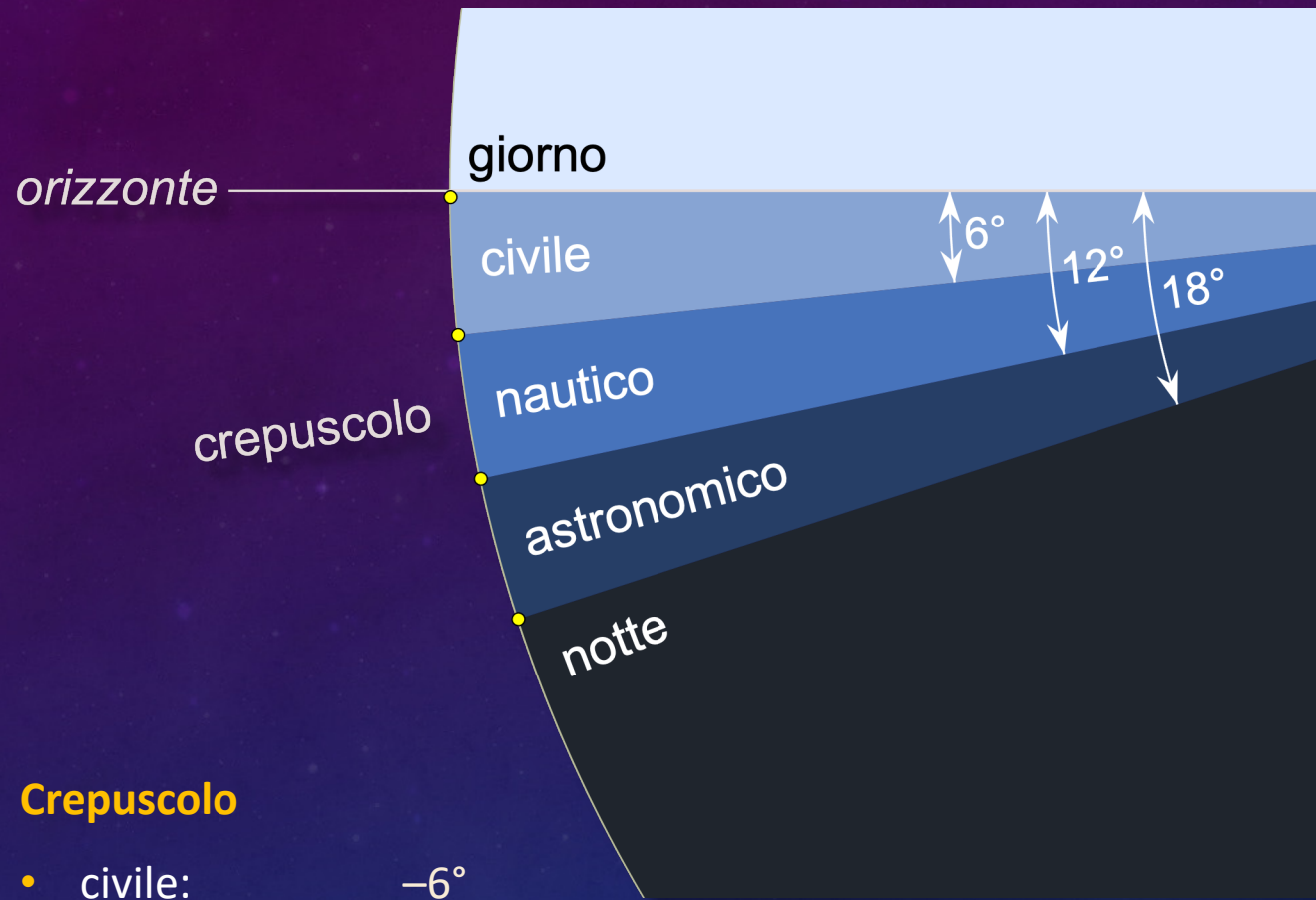
## ORBIT RAISE

Roll satellite knife-edge to the sun to minimize reflect light onto the earth





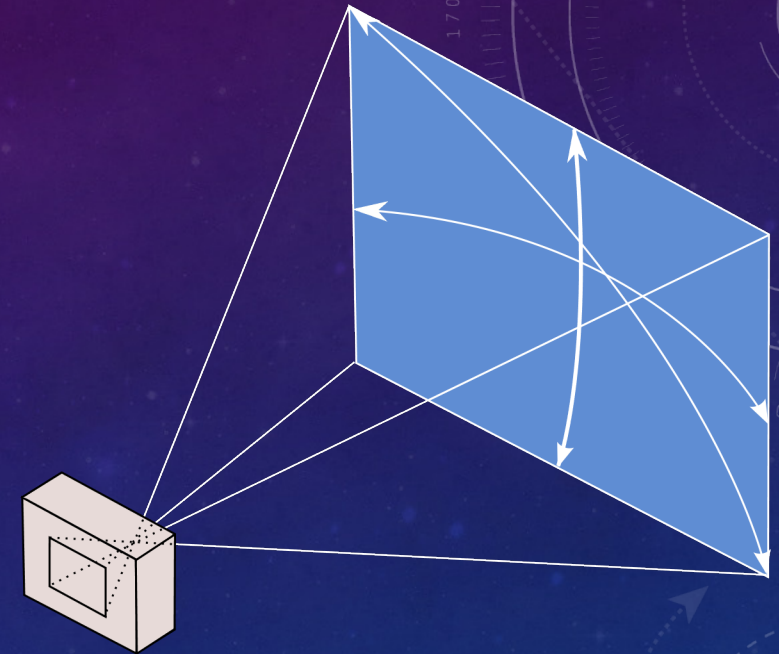
# Fattori che incidono sulla visibilità dei satelliti



## Crepuscolo

- civile:  $-6^\circ$
- nautico:  $-12^\circ$
- astronomico:  $-18^\circ$

Distanze zenitali di rilievo:  $90^\circ$ ,  $80^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $60^\circ$



## Campo di vista di una camera (FoV)

- stretto:  $\text{FoV} < 0.25^\circ \times 0.25^\circ$
- medio:  $0.25^\circ \times 0.25^\circ < \text{FOV} < 1^\circ \times 1^\circ$
- largo:  $1^\circ \times 1^\circ < \text{FOV} < 3^\circ \times 3^\circ$
- ultra-largo:  $\text{FoV} > 3^\circ \times 3^\circ$







0.5°



Giove





0.5°



2 Luglio 2019 – ESO La Silla, Cile



# L'impatto su società e astronomia

## Spazzatura, Ingorghi, Interferenze

Si aggiungono ad problemi osservativi, forse anche più gravi



Crediti: A. Carbognani

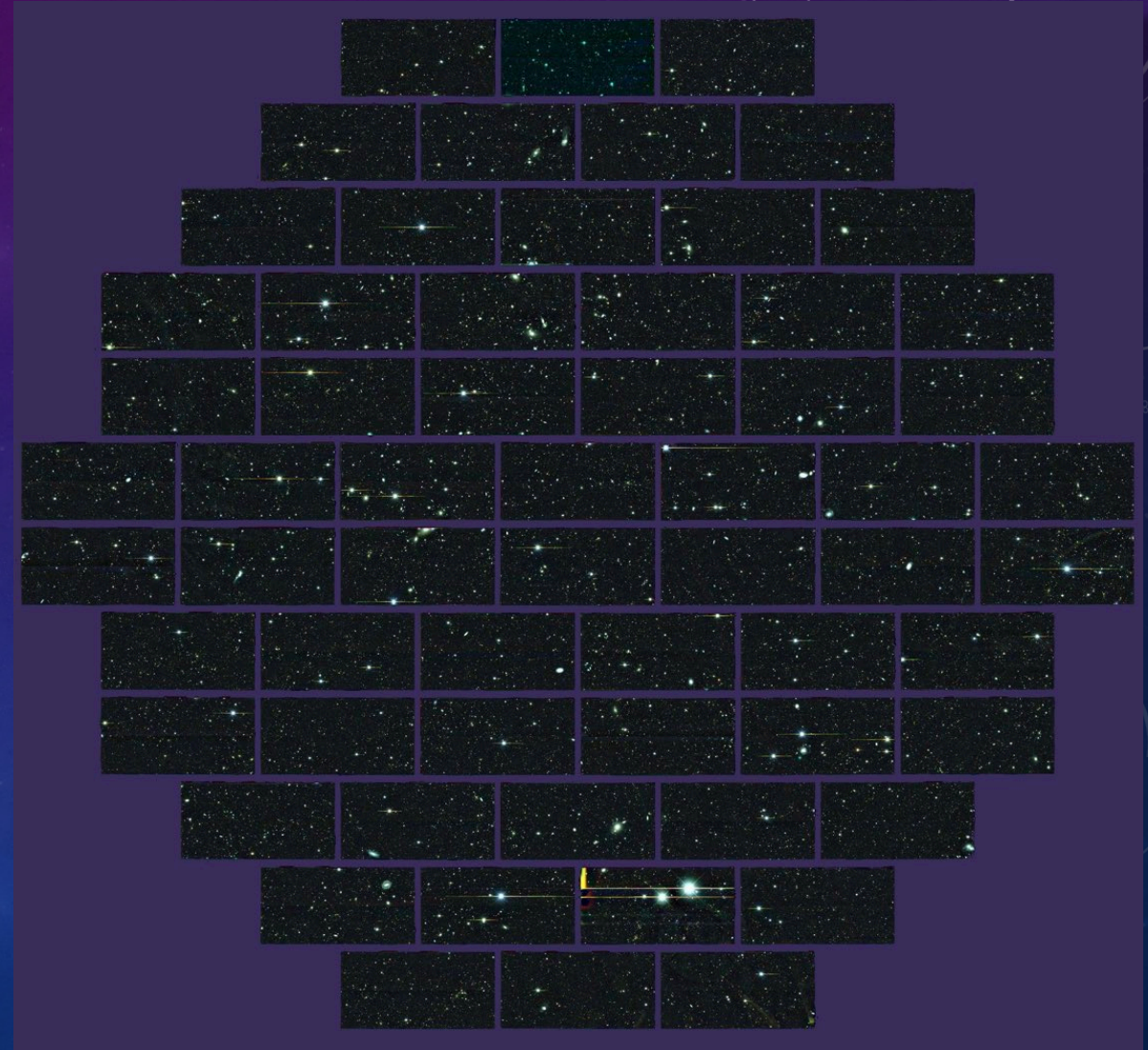
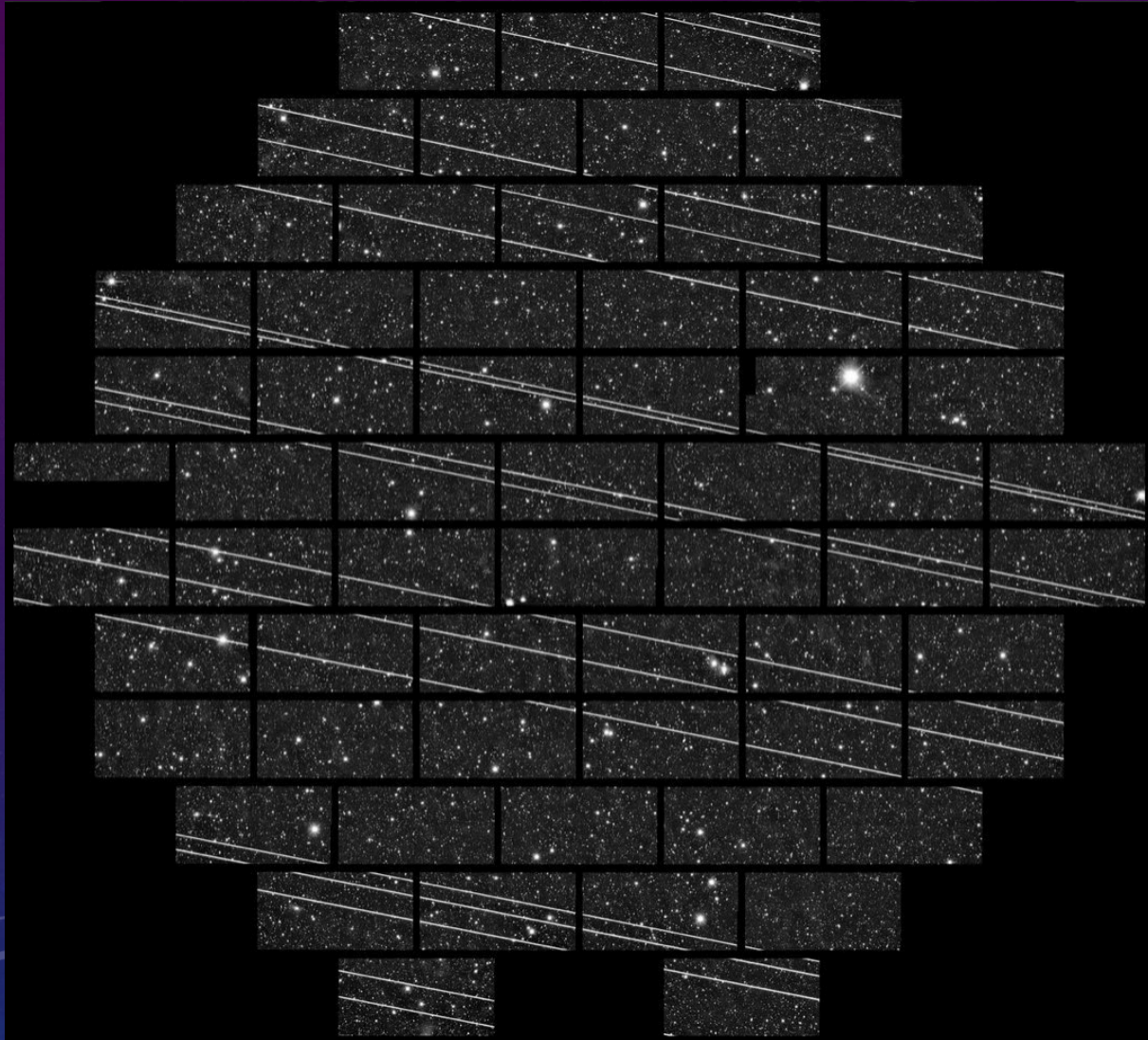


# L'impatto su società e astronomia

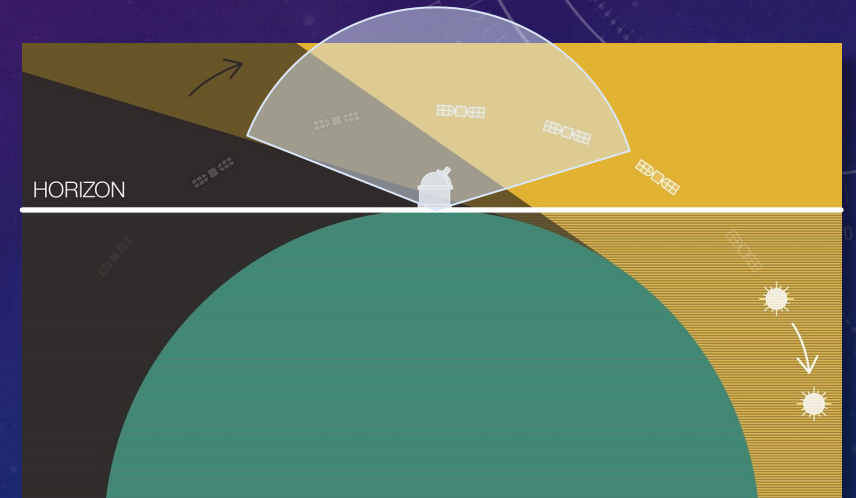


Crediti: Joshua Rozells. Vedi <https://apod.nasa.gov/apod/ap220614.html>

# L'impatto sull'astronomia



# Cosa osserviamo dalla Terra



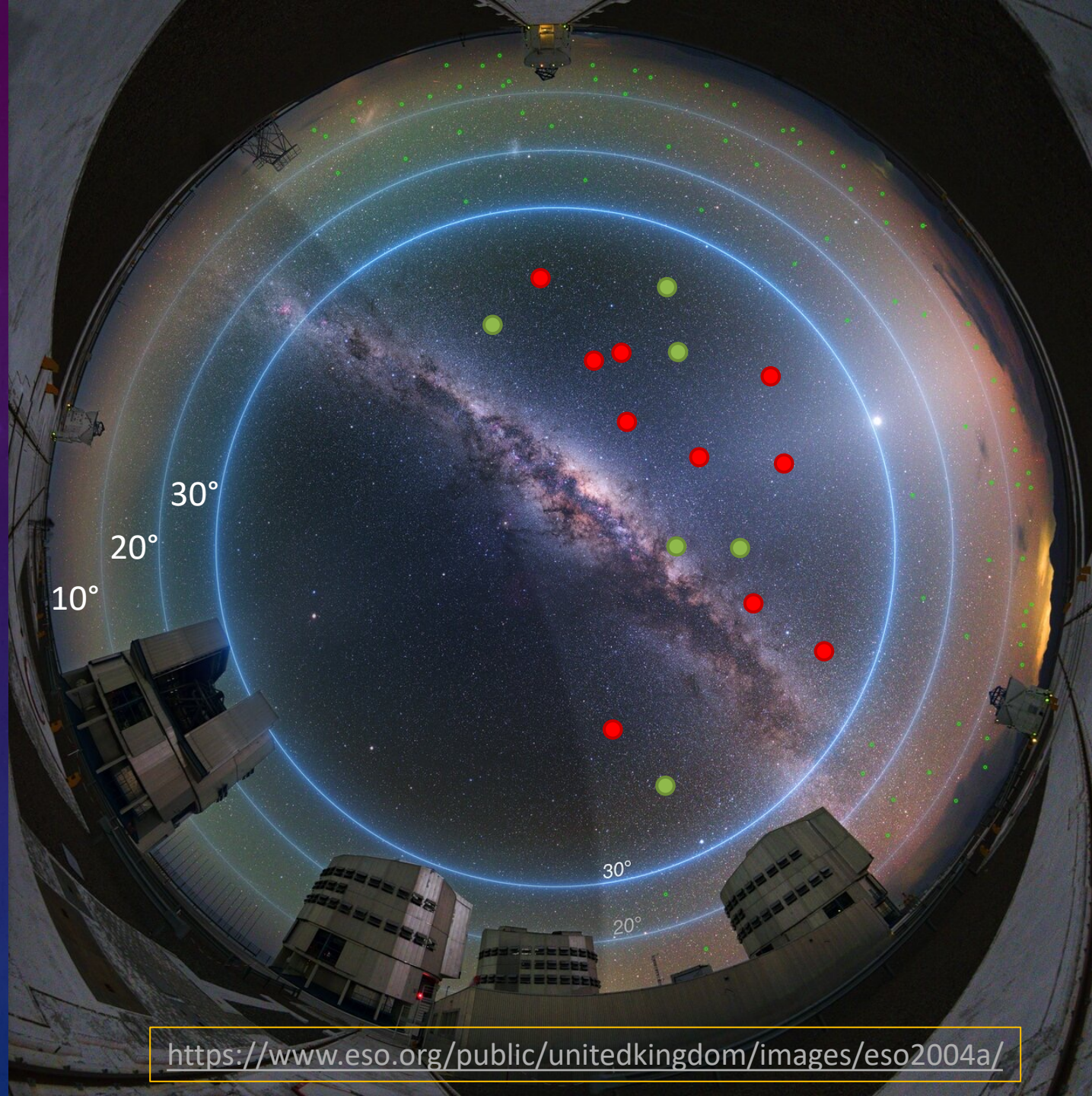
Per satelliti in orbita bassa, la differenza di satelliti nel campo è un fattore **50 o più!**



## ESO Paranal (Cile)

Circa 90 minuti  
prima dell'alba

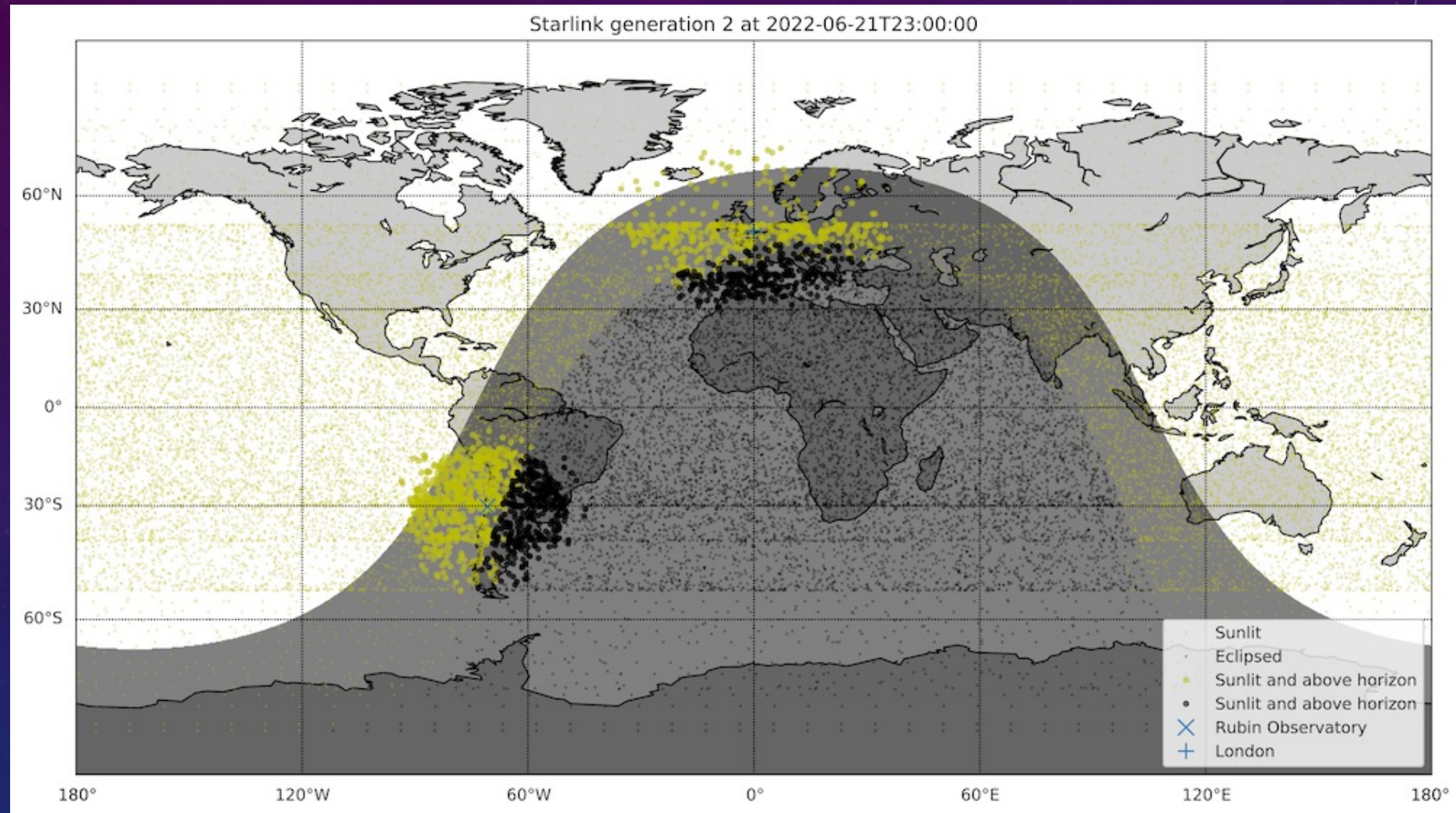
- mag ~ 5 – 6
- mag ~ 3 – 4



<https://www.eso.org/public/unitedkingdom/images/eso2004a/>



# Starlink generazione 2



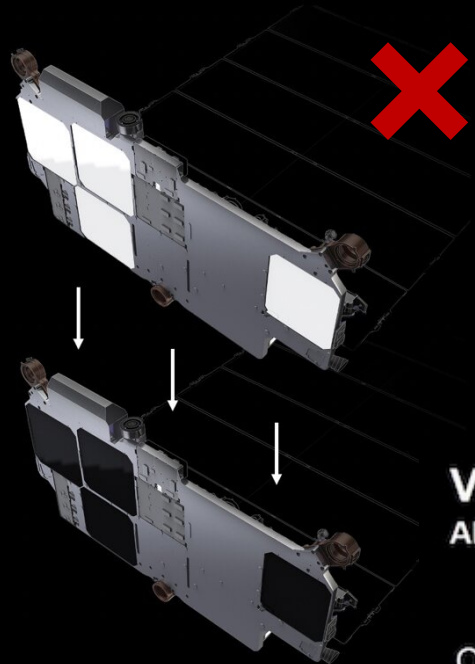
Addensamento a latitudini intorno a 30°, 40° e 53° Nord e Sud

# Starlink – Possibili azioni mitiganti

## DARKSAT

### ANTENNAE MITIGATION ON STATION

Ground-based observations of our initial test experiment proved we can significantly reduce brightness. Subsequently, we developed a higher-performance option.



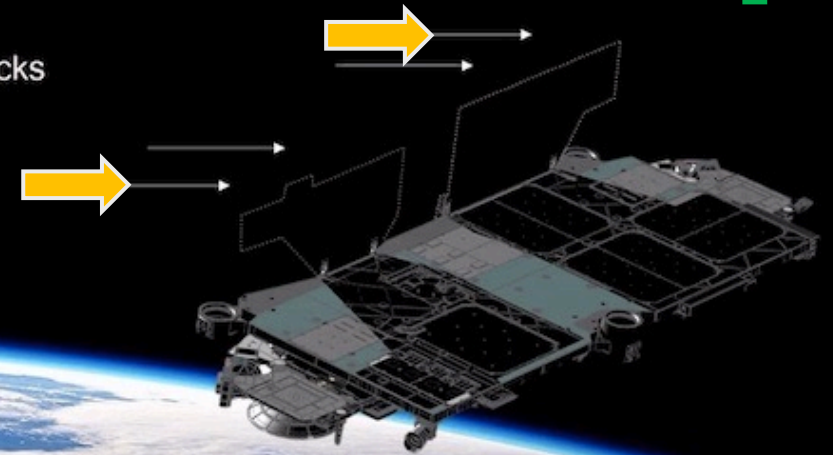
Pro: riduzione di 1 magnitudine  
Con: problemi di dissipazione del calore

Pro: riduzione (stima) di  $> 2$  mag  
Con: possibili problemi meccanici

## VISORSAT

### ANTENNAE MITIGATION ON STATION

On station, sun shade blocks sunlight from antennas, preventing reflection.



Starlink non metterà più (or ridurra?) i satelliti nell'intervallo di orbite **1100 – 1300 km!**

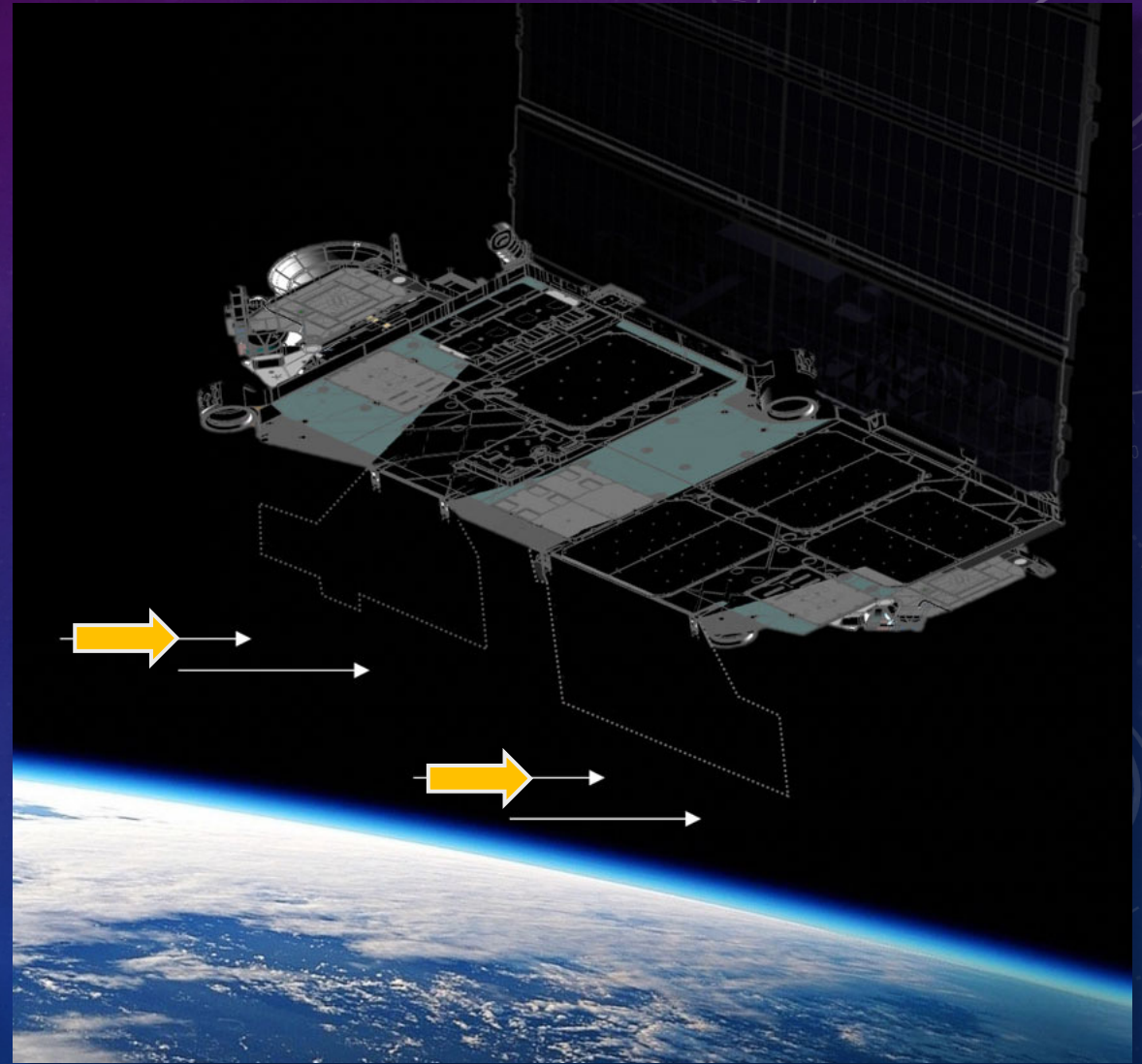
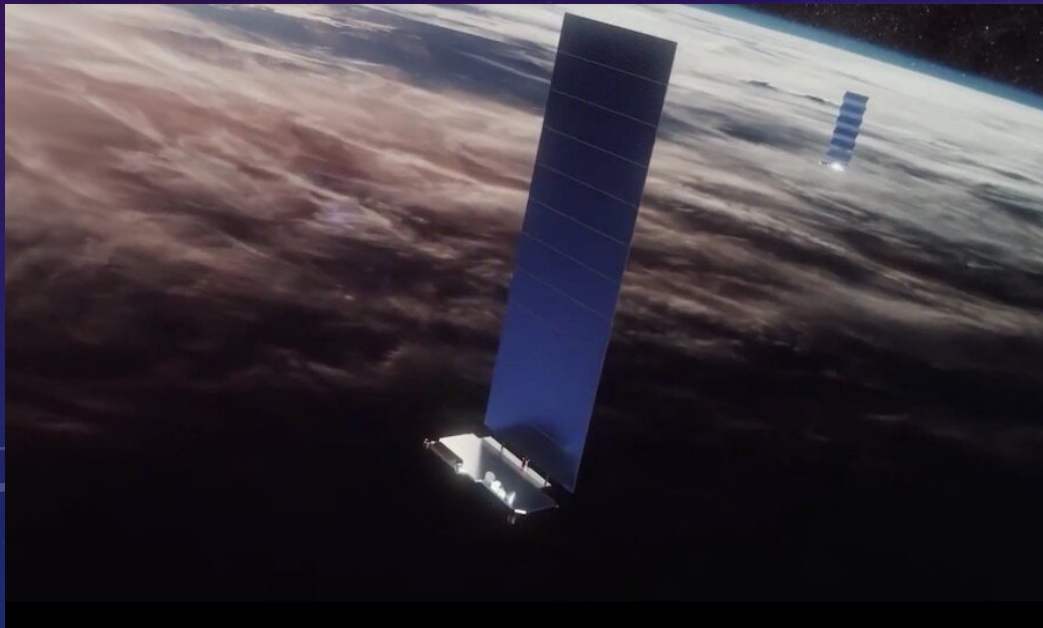
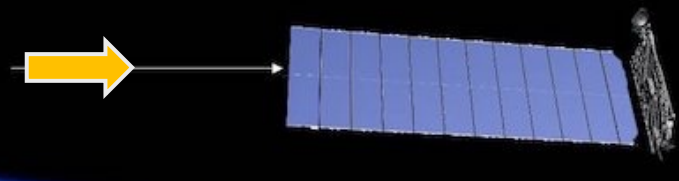
**Musk** ha detto:

*“Your data rate is going to be four times better than say at 1,100 kilometers. That’s a close approximation. It’s also better for **astronomy.**”*

# Starlink – Possibili azioni mitiganti

## ORIENTATIONAL ROLL ARRAY MITIGATION DURING ORBIT RAISE

Rolling satellite makes sunlight bounce off smaller 'knife edge' of array, reducing reflection.



10 / 05 / 2021 07 : 42 : 48 AM Now 10 15° any 2000 View

Step (s) 2 Add to 2<sup>nd</sup> epoch Collection active Hide table

Sats Active (4705) Single coll.



Toggle columns Focus follows pointer

Show 10 entries

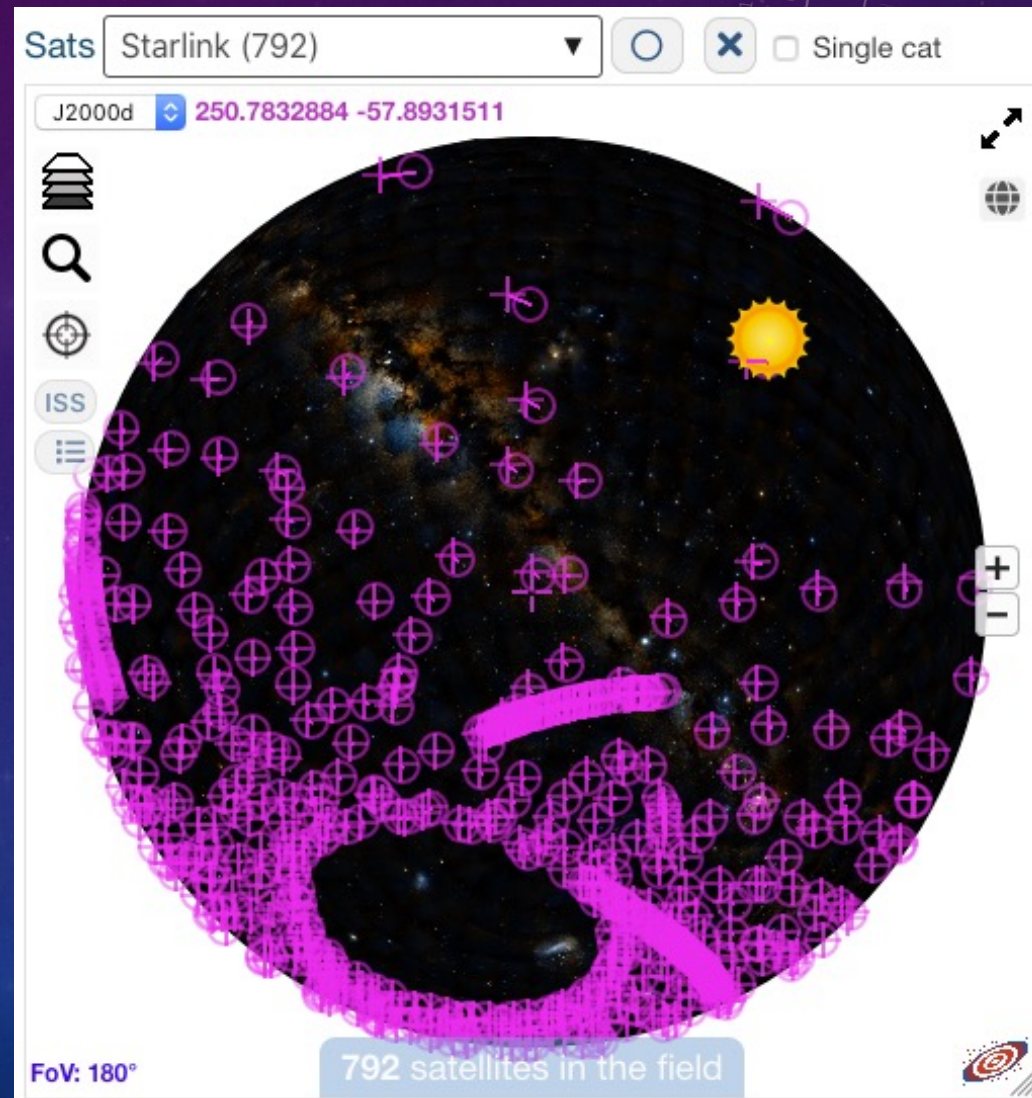
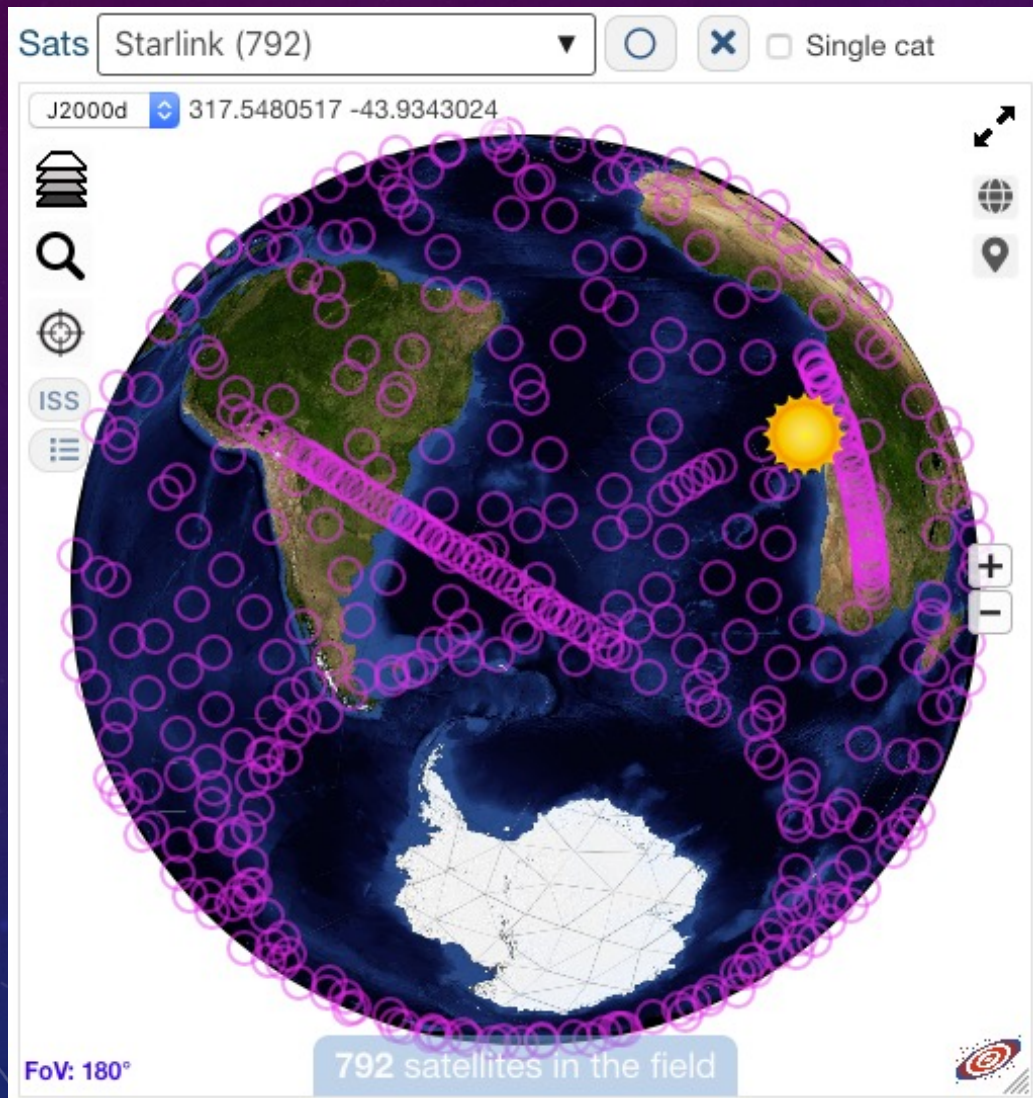
Search:

<input type="checkbox"/>	Name	IntnlName	NORAD	RA	Dec	Dist
<input checked="" type="checkbox"/>	INMARSAT 5-F2	2015-005A	40384	68.7475	-6.3325	40795.87
<input checked="" type="checkbox"/>	SBIRS GEO-5 (USA 315)	2021-042A	48618	69.3142	1.3137	40094.71
<input checked="" type="checkbox"/>	INMARSAT 3-F5	1998-006B	25153	69.687	-5.4572	40668.27
<input checked="" type="checkbox"/>	INTELSAT 23 (IS-23)	2012-057A	38867	70.7972	-6.3533	40651.56
<input checked="" type="checkbox"/>	STARLINK-1876	2020-088A	47161	71.2369	4.222	1405.18
<input checked="" type="checkbox"/>	WGS F5 (USA 243)	2013-024A	39168	71.3276	-6.3643	40612.41
<input checked="" type="checkbox"/>	RAPIS-1	2019-003A	43932	71.6898	-1.7408	1596.16
<input checked="" type="checkbox"/>	ONEWEB-0162	2021-025Q	48056	73.1101	8.7592	2378.97
<input checked="" type="checkbox"/>	INTELSAT 9 (IS-9)	2000-043A	26451	73.7615	-4.3526	40287.05
<input checked="" type="checkbox"/>	CAPELLA-2	2020-060B	46269	73.7786	1.9863	1367.21

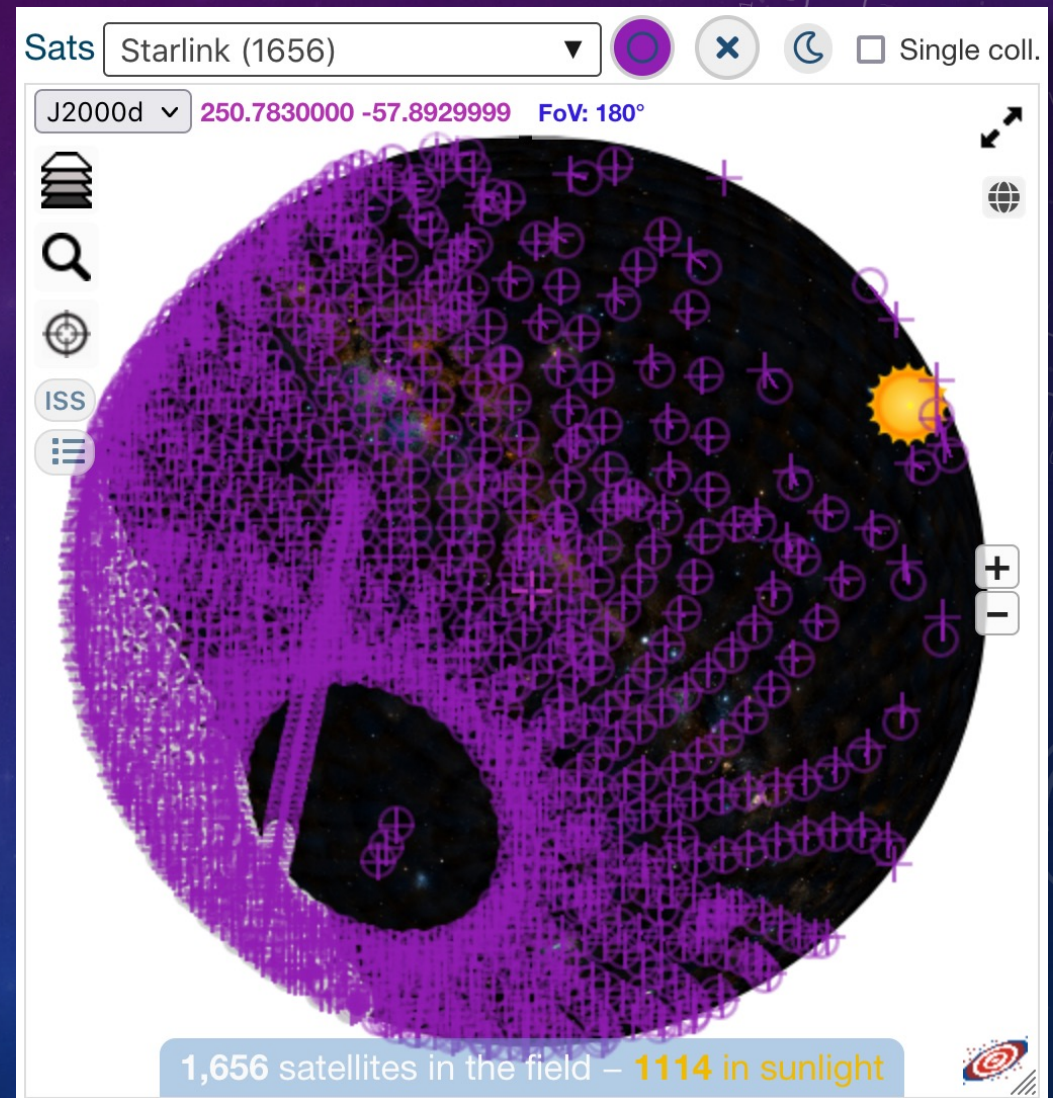
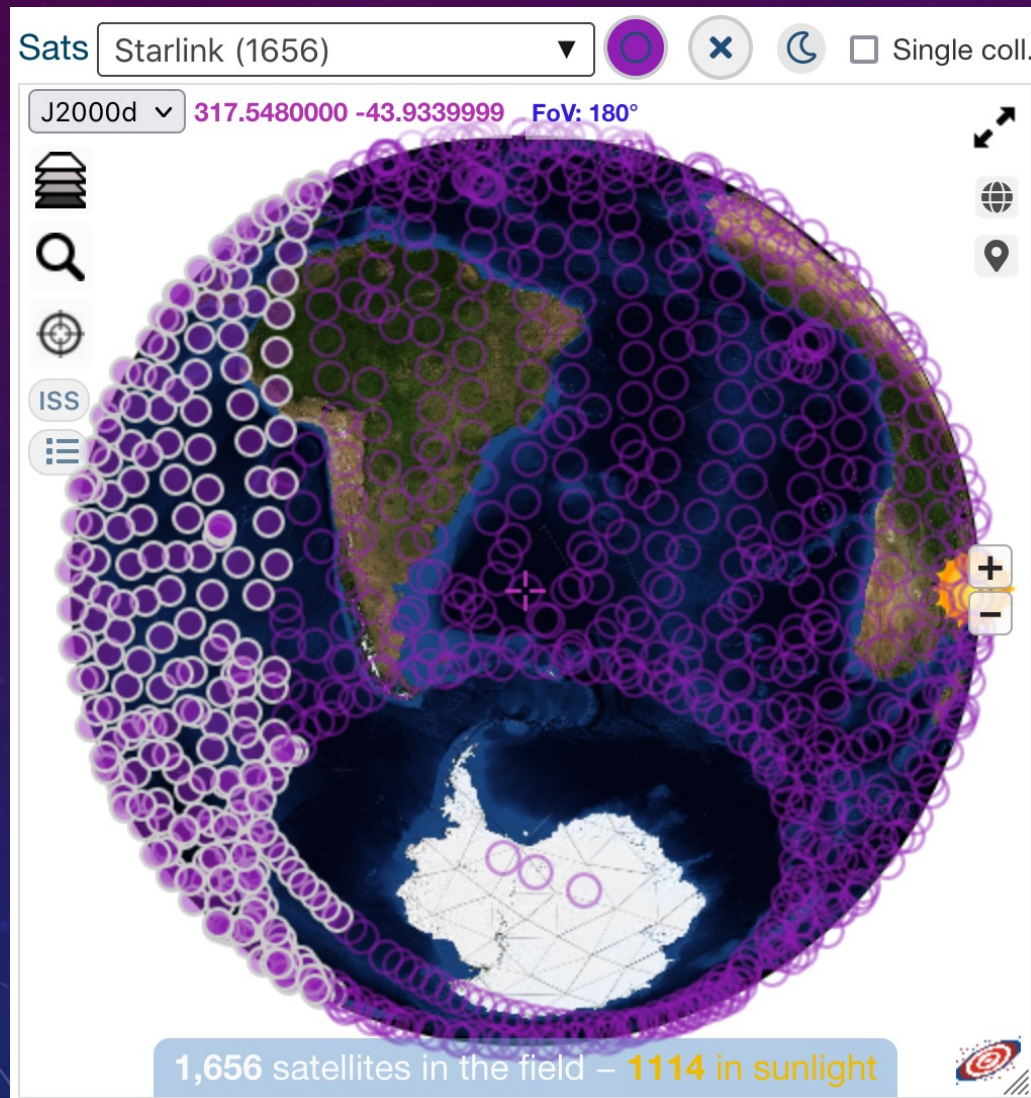
Showing 1 to 10 of 47 entries

Previous 1 2 3 4 5 Next

# Starlink, Novembre 2020



# Starlink, Ottobre 2021



# Risorse web (lista parziale)

- <https://www.leolabs.space/visualization>
- <https://www.privateer.com/>
- <https://github.com/shashwatak/satellite-js/wiki/Sites-using-satellite.js>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_orbits](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_orbits)
- <https://maps.esri.com/rc/sat2/>
- <https://www.space-track.org/>
- <https://celestrak.com/>
  
- <https://www.space-track.org/documentation#/tle>
- [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos)



<https://www.youtube.com/watch?v=X9aqfIAJrJo>