



SPAZIO E SOSTENIBILITÀ

Camilla Colombo, Politecnico di Milano

RESPONSIBLE
SPACE FOR
SUSTAINABILITY

ORGANIZED BY



HOSTED BY



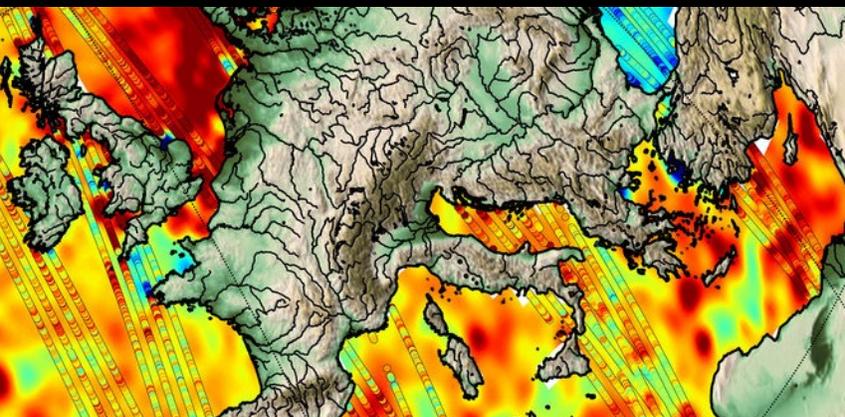
CO-HOSTED BY



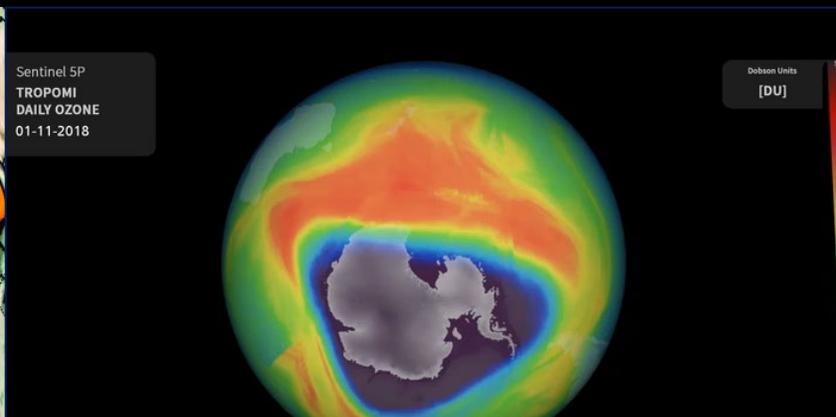
SUPPORTED BY



IAC2024.ORG

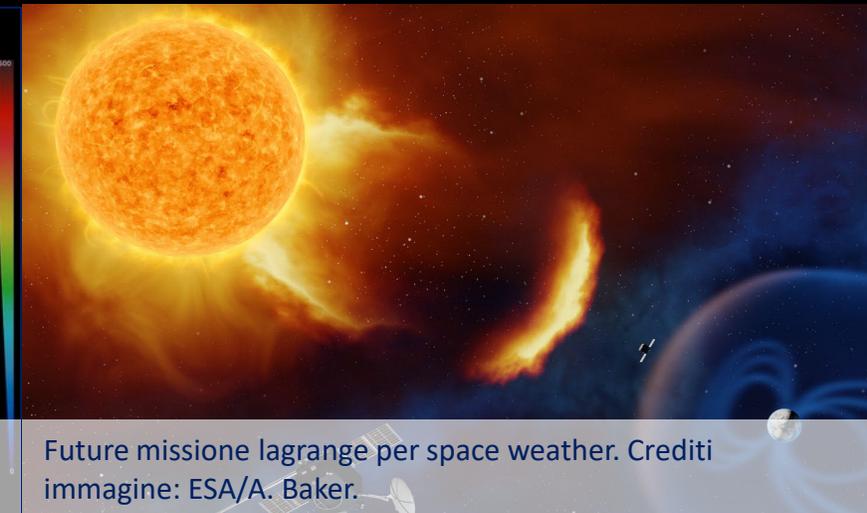


Dettaglio mappa profondità mari da CryoSat. Crediti immagine: ESA/CNES/CLS.



Sentinel 5P
TROPOMI
DAILY OZONE
01-11-2018

Ozono da Sentinel-5P. Contiene dati modificati da Copernicus Sentinel (2018). Crediti video: DLR/BIRA.



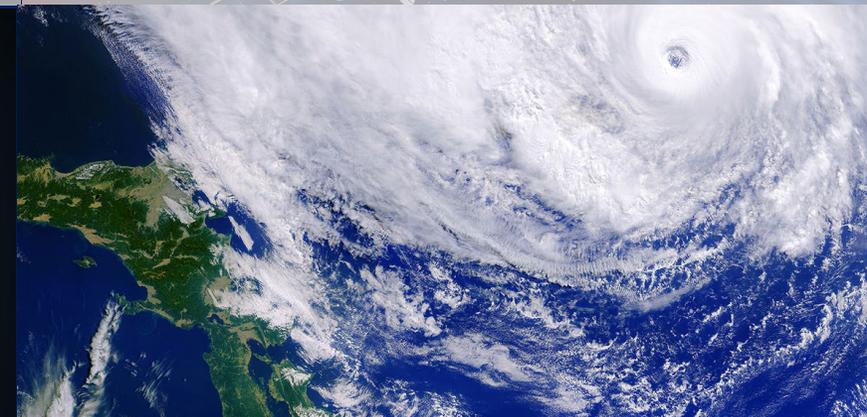
Future missione lagrange per space weather. Crediti immagine: ESA/A. Baker.



Satellite Hispasat 36W-1 con propulsione elettrica. Crediti immagine: ESA.



Rappresentazione della costellazione Galileo. Crediti immagine: ESA-P. Carril.



Tifone Hagibis in Ottobre 2019. Dati modificati da Copernicus Sentinel. Crediti foto: Copernicus/ESA.

Lo Spazio per l'umanità

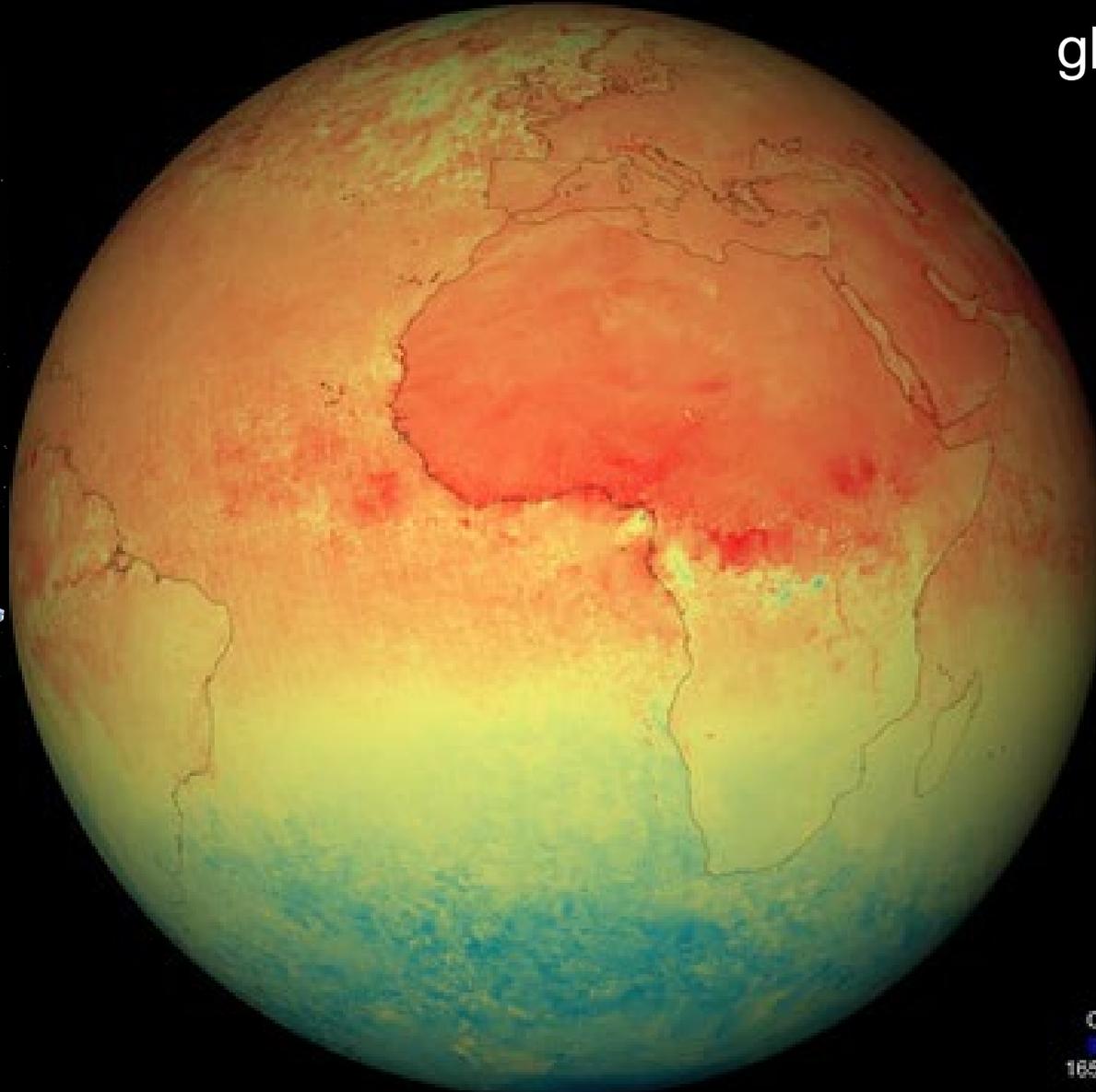


sentinel-5p

→ GLOBAL AIR MONITORING
FOR COPERNICUS



I satelliti forniscono
prove cruciali per il
cambiamento
climatico



Concentrazioni
globali di metano
atmosferico per
studiare la
distribuzione
delle sorgenti e
dei pozzi di
questo potente
gas serra



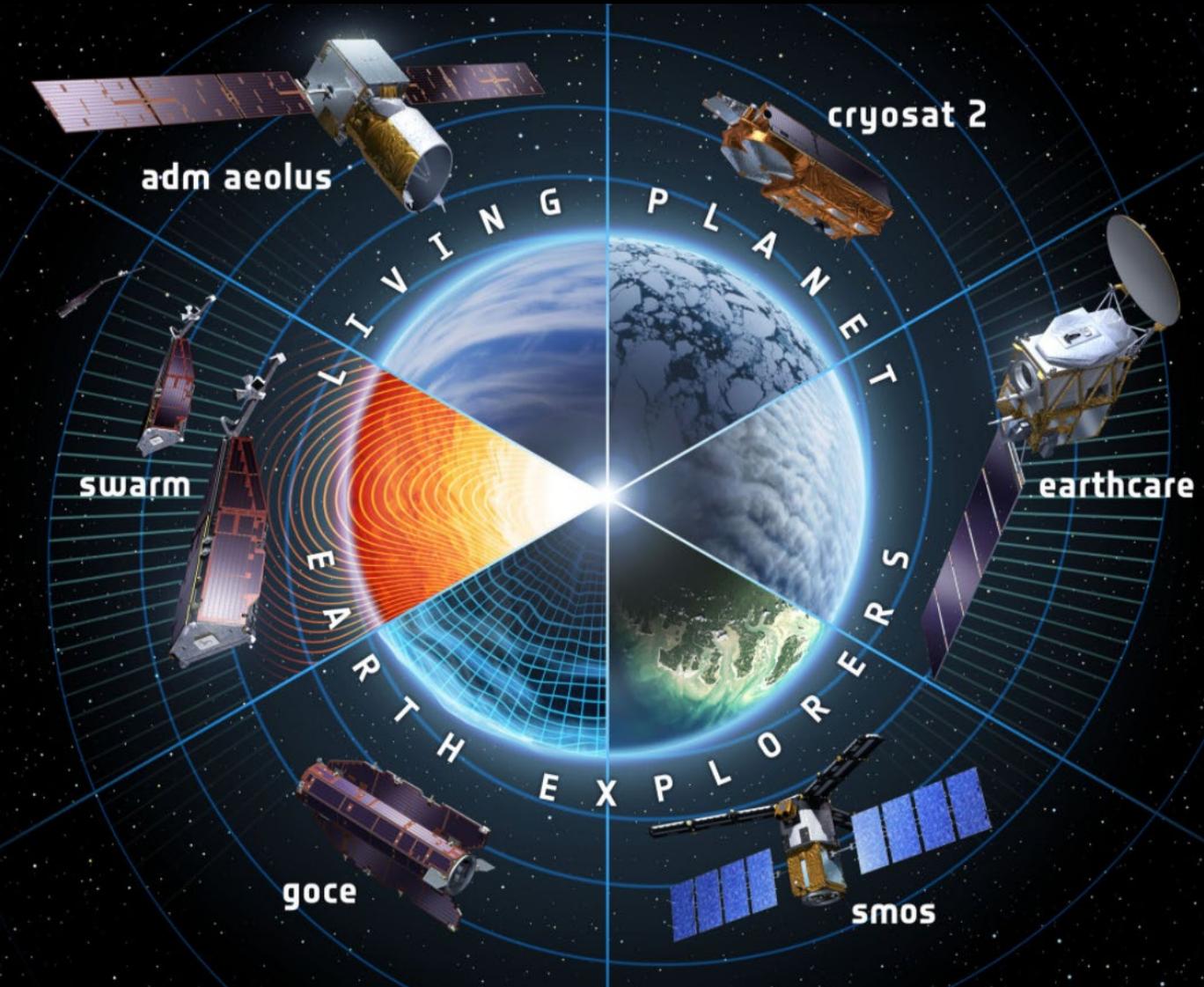
ESA (Data source: CCI Greenhouse Gases project/contains modified Copernicus Sentinel data 2020)

Missione SMOS – 2009

Studio del ciclo dell'acqua e dell'impatto del cambiamento climatico terrestre



Missioni spaziali per l'osservazione della Terra



Studio del ciclo dell'acqua e dell'impatto del cambiamento climatico terrestre





**ESA's SMOS satellite has
been measuring Earth's
soil moisture since 2009**

Umidità del suolo



Salinit  degli oceani

Potremmo vivere senza satelliti?

Missione Orbita Satelliti Servizi

Scelta dei Satelliti - Missione

- Osservazione della Terra
 - Atmosfera
 - Clima
 - Terra
 - Marino
 - Urgenza
 - Sicurezza
- Comunicazione
 - Televisione
 - Radio
 - Internet
 - Telefono
- Navigazione
 - Aeronautica
 - Nautico
 - Dispositivo personale (auto, orol...
- Scienza
- Militare e Informazioni

Applica Cancell

Risorse Disponibile

Carbon Monoxide

Vedere Cancell

Caratteristiche dal Satellite

Generale	Costruttore	Missione	Tecno	Lancio	Orbita
Generale	Costruttore	Missione	Tecno	Lancio	Orbita

Satelliti Mostrati - Missione

Numero: 1939

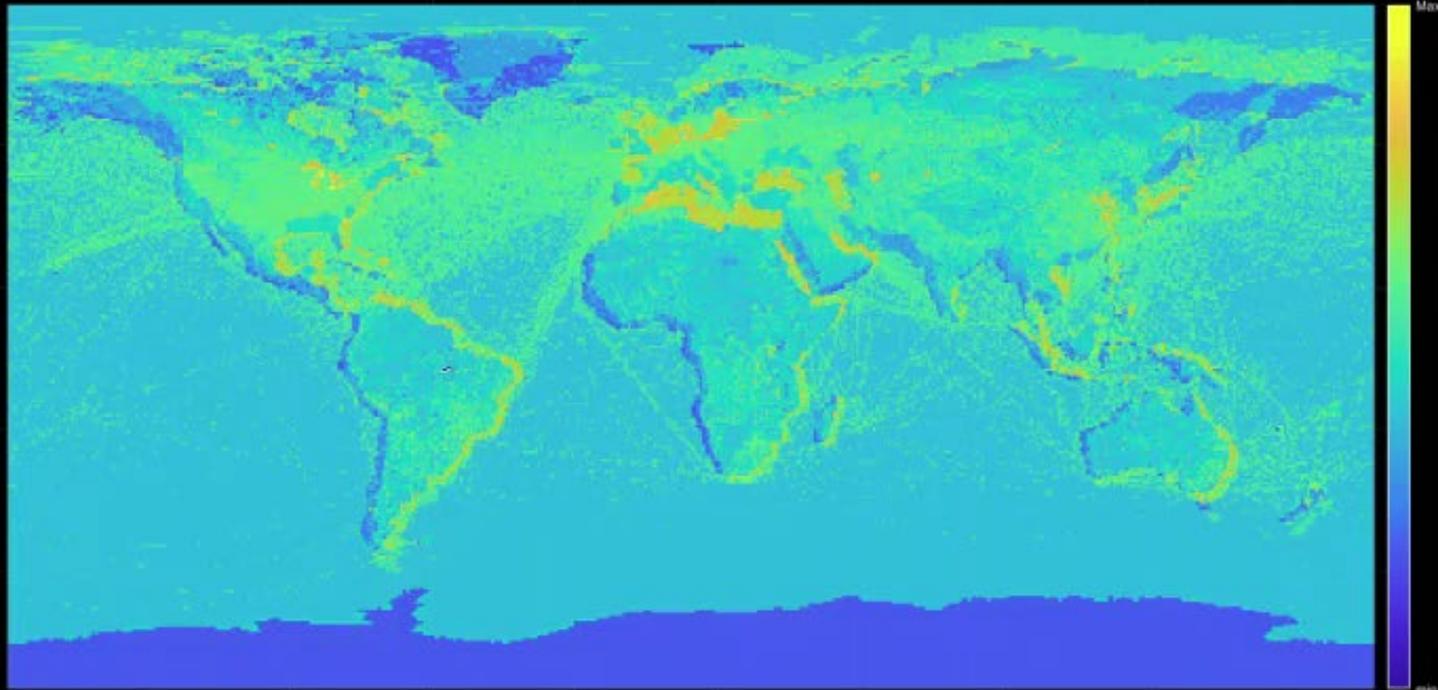
OSCAR 7

- HST
- GEOTAIL
- ASTRA 1D
- RADIO ROSTO
- BRAZILSAT B2
- AMSC 1
- ECHOSTAR 1
- INMARSAT 3-F1
- ASTRA 1F
- MSAT M1
- PALAPA C2
- INMARSAT 3-F2
- AMC-1 (GE-1)
- MEASAT 2
- INMARSAT 3-F3
- AMC-2 (GE-2)
- INTELSAT 26 (JCSAT 4)
- IRIDIUM 8
- IRIDIUM 7
- IRIDIUM 6
- IRIDIUM 5
- GALAXY 25 (TELSTAR 5)
- IRIDIUM 12
- IRIDIUM 10
- IRIDIUM 13
- IRIDIUM 15
- IRIDIUM 18
- NAVSTAR 43 (USA 132)
- ABS 3 (AGILA 2)
- IRIDIUM 25
- IRIDIUM 46
- IRIDIUM 23
- IRIDIUM 22
- INTELSAT 5 (PAS 5)
- FORTE
- AMC-3 (GE-3)
- IRIDIUM 32
- IRIDIUM 31

Potremmo vivere senza satelliti?

Satelli Servizi

Dove usiamo servizi dei satelliti?



Quali servizi volete attivare?

Attiva Tutti Inattiva Tutti Applica Cancella

Cifre Importanti

Copertura dei dati: 100 %

 COMPASS

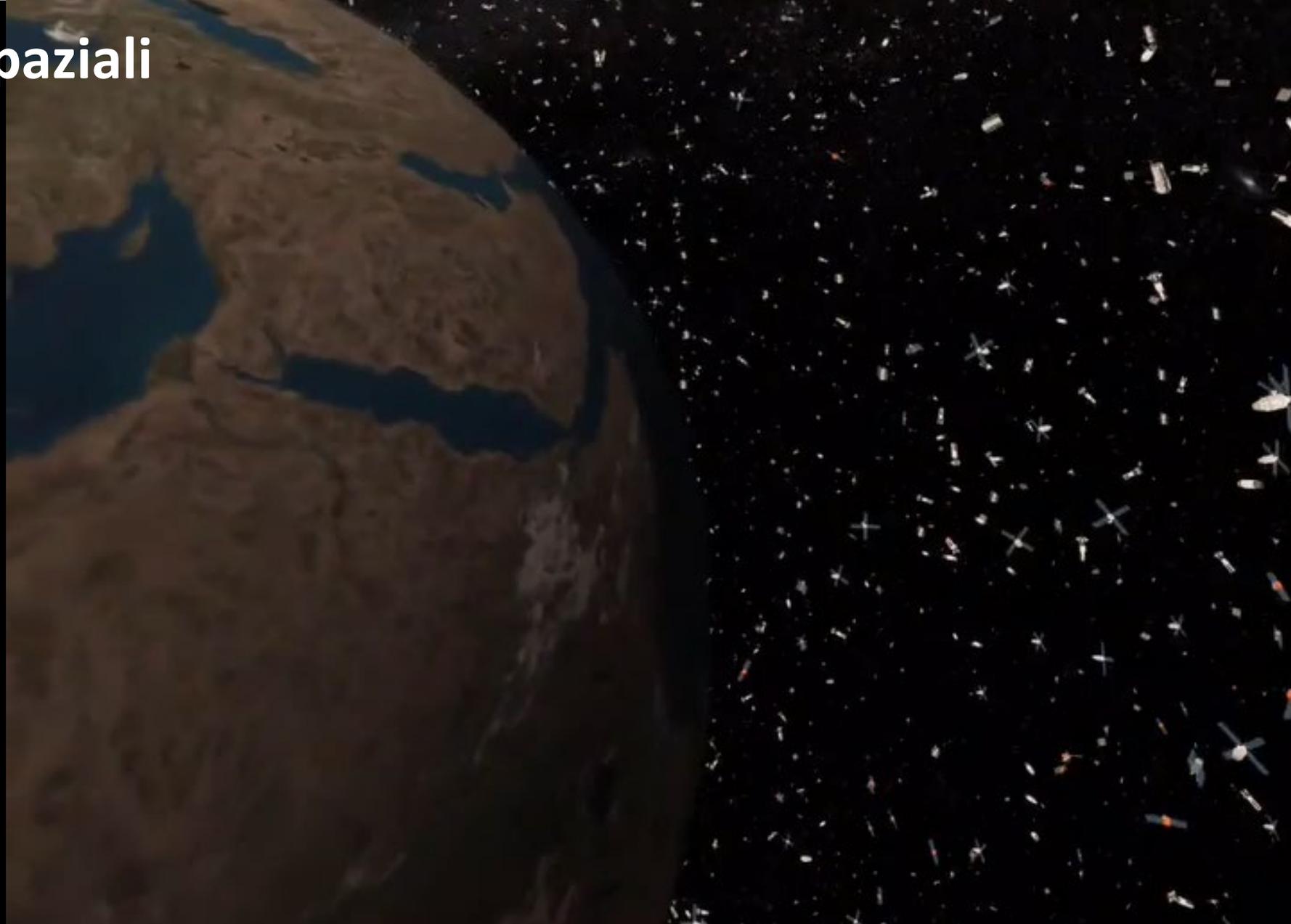
Lo Spazio, nuovo confine delle attività umane

- 6500: numero di lanci (escludendo i fallimenti) dal 1957
- 16990: numero di satelliti che questi lanci hanno messo in orbita
- 11500: numero di satelliti ancora in orbita
- 9000: numero di satelliti ancora funzionanti

[ESA - Space debris by the numbers](https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers)

➤ https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers, aggiornamento 05/04/2024

Detriti spaziali



Missione Apollo 2019. Simulazione COMPASS Virtual Reality game. Orbite reale dei detriti, rappresentazione oggetti artistica.

- 35150: numero di detriti regolarmente monitorati dalle reti di sorveglianza spaziale
- >640: numero stimato di disgregazioni, esplosioni, collisioni o eventi anomali con conseguente frammentazione
- >10500 tonnellate: massa totale di tutti gli oggetti spaziali in orbita terrestre
- Stime dei modelli statistici:

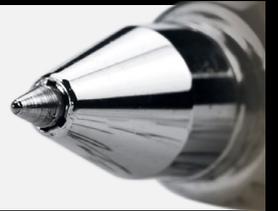
**36500 oggetti
>10 cm**



**1000000 oggetti
da 1 a 10 cm**



**130 milioni di oggetti
da 1 mm a 1 cm**



[ESA - Space debris by the numbers](https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers)

➤ https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers, aggiornamento 05/04/2024

Immagine: Detriti spaziali in orbita terrestre bassa. Simulazione COMPASS game.

Modellare l'evoluzione dei detriti spaziali

I frammenti di detriti possono collidere a $10.54 \text{ km/s} = 37957 \text{ km/h}$ e danneggiare i satelliti operativi
Come modellare un numero così elevato di oggetti?

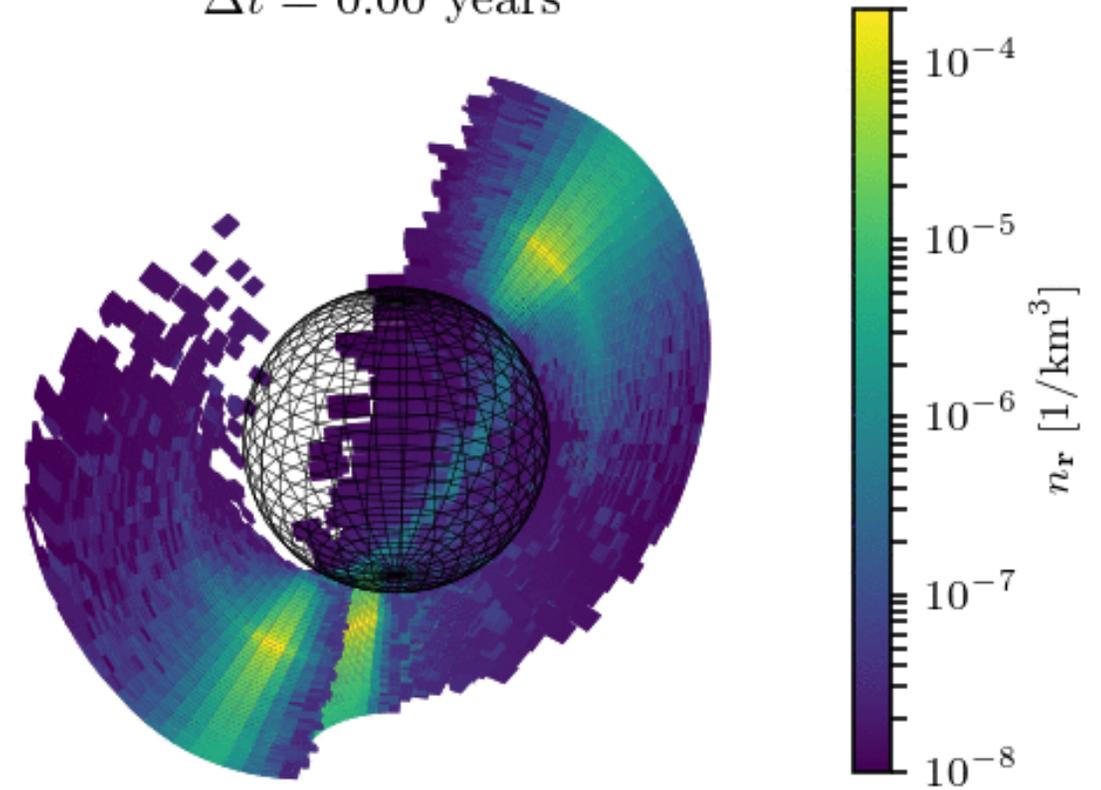


Space debris 2019. Simulazione COMPASS Virtual Reality game. Orbite reali dei detriti, rappresentazione oggetti artistica.



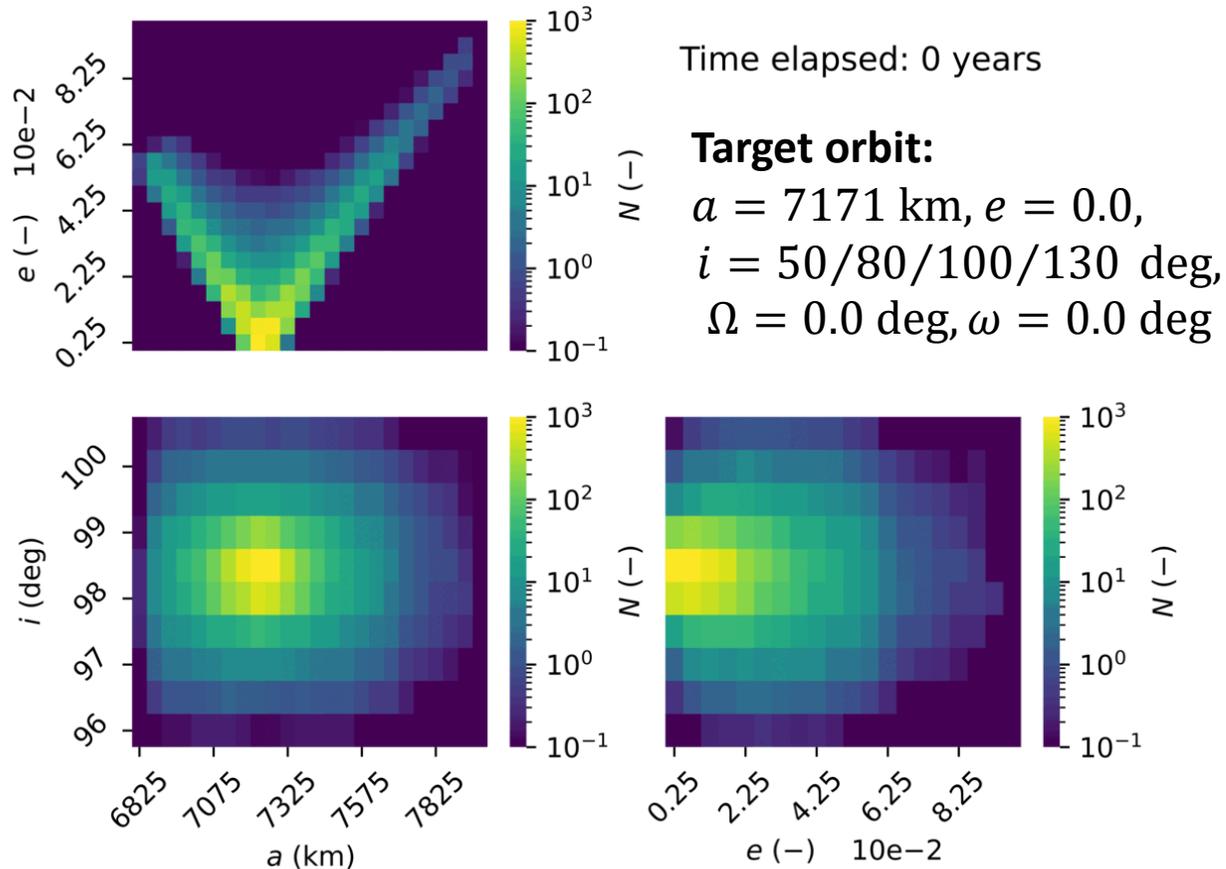
Propagazione della densità di frammenti di COSMOS

$\Delta t = 0.00$ years



- Frey, S. (2020), Evolution and hazard analysis of orbital fragmentation continua, Doctoral thesis, Politecnico di Milano, Supervisors: Colombo, C., Lemmens, S. and Krag, H..

Frammentazione Fengyun-1C



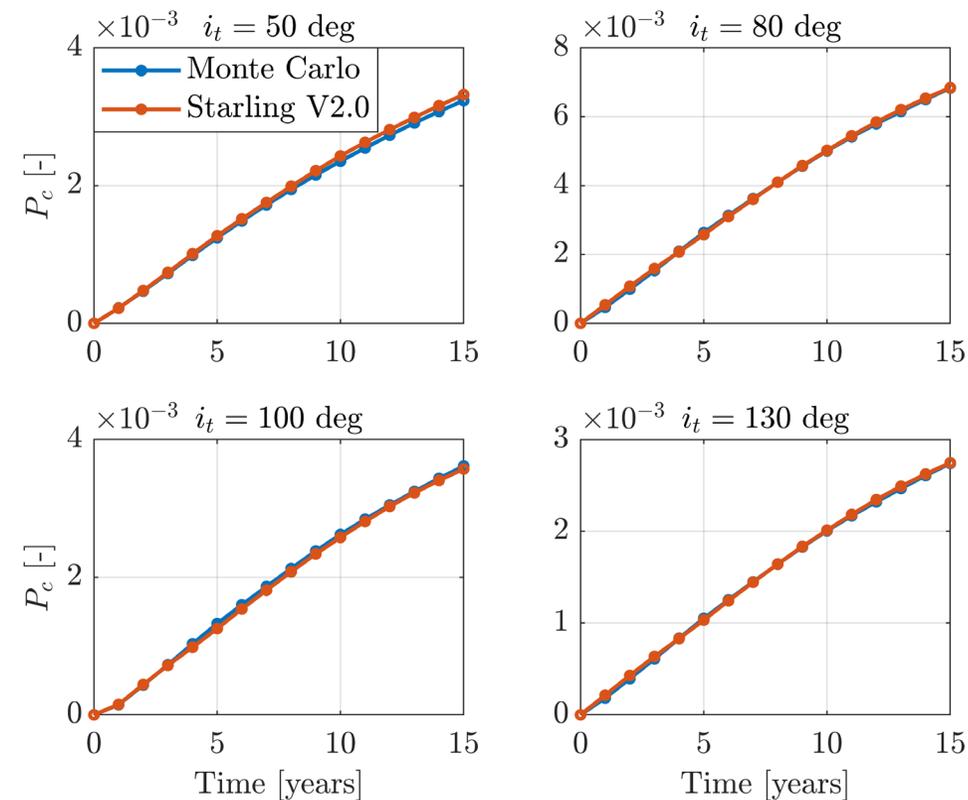
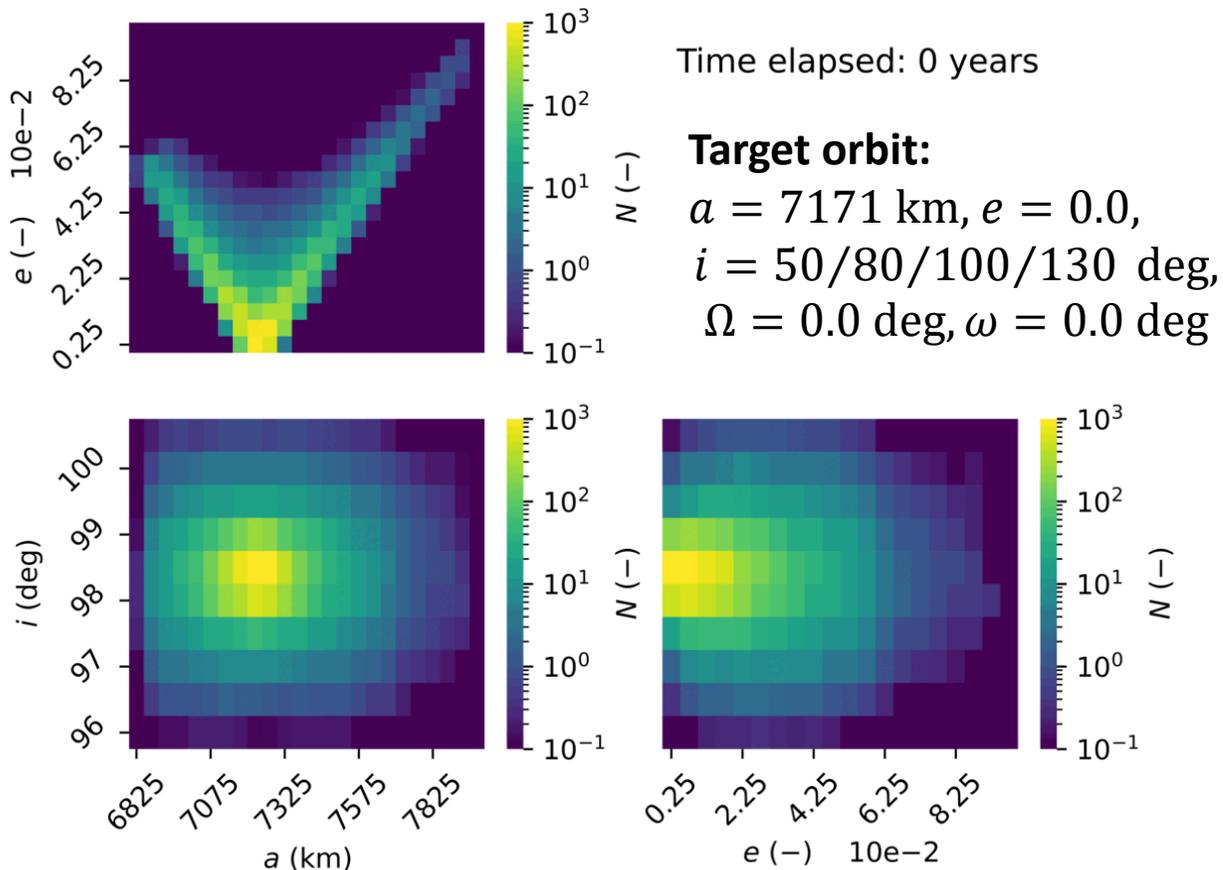
Density distribution over time under J_2 and drag perturbations

Lorenzo Giudici, Juan Luis Gonzalo, Mirko Trisolini, Camilla Colombo, Density-based debris cloud propagation and collision risk estimation through a binning approach, 6th Space Debris Modelling & Remediation Workshop, Milano, Italy, 18th-20th May 2022

Frammentazioni in orbita

Frammentazione Fengyun-1C

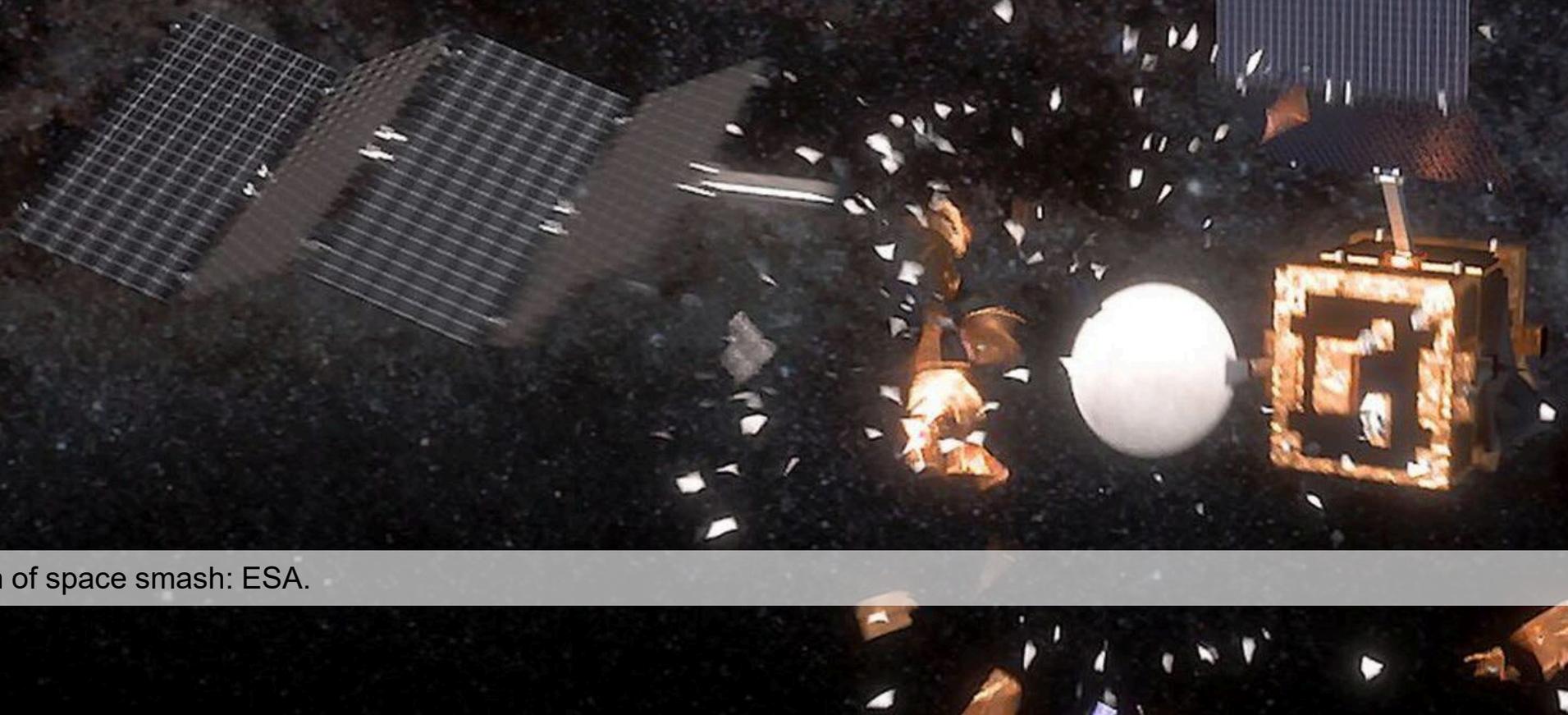
$$P_c = 1 - e^{-\int \dot{\eta} dt}$$



Lorenzo Giudici, Juan Luis Gonzalo, Mirko Trisolini, Camilla Colombo, Density-based debris cloud propagation and collision risk estimation through a binning approach, 6th Space Debris Modelling & Remediation Workshop, Milano, Italy, 18th-20th May 2022

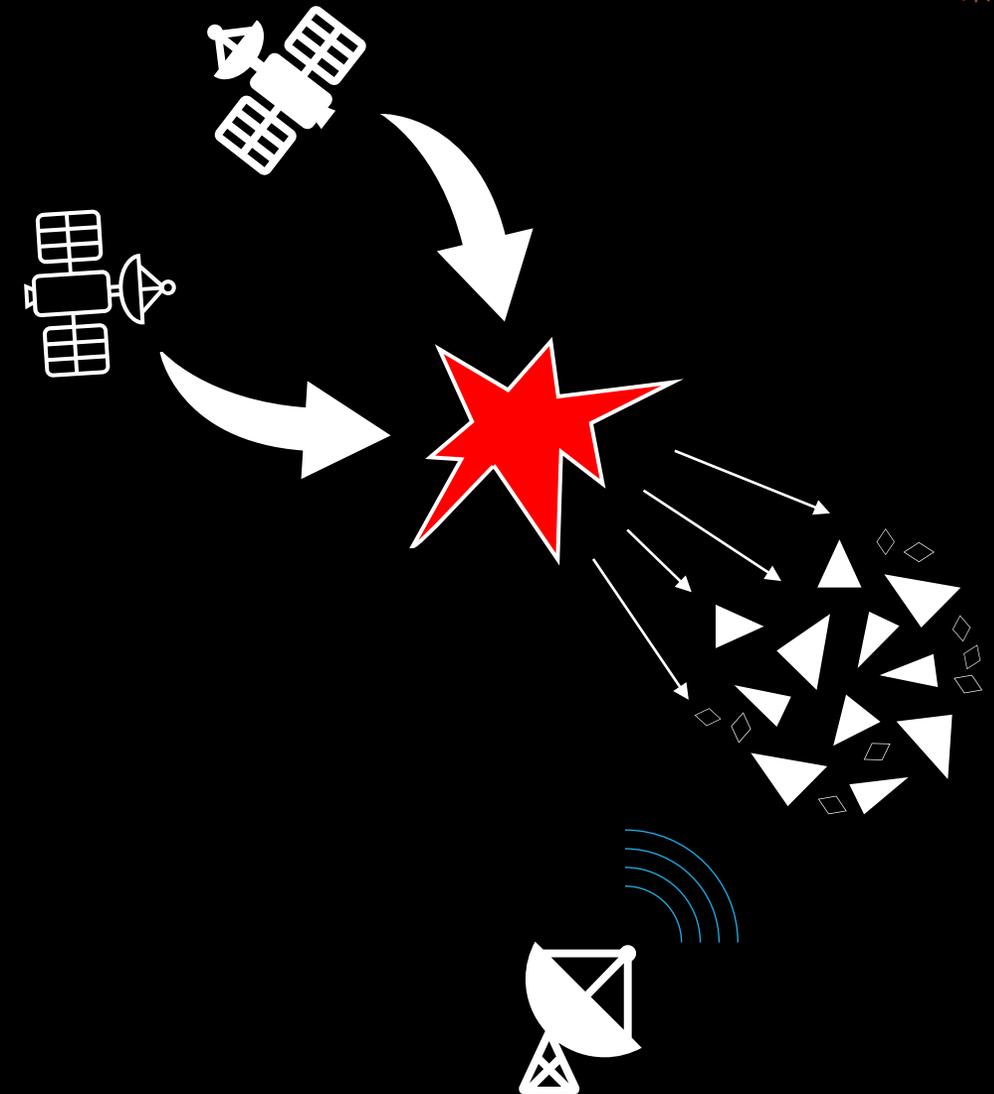
Monitoraggio di frammentazioni

I frammenti di detriti possono collidere a $10.54 \text{ km/s} = 37957 \text{ km/h}$ e danneggiare i satelliti operativi
Come monitorare frammentazioni in orbita

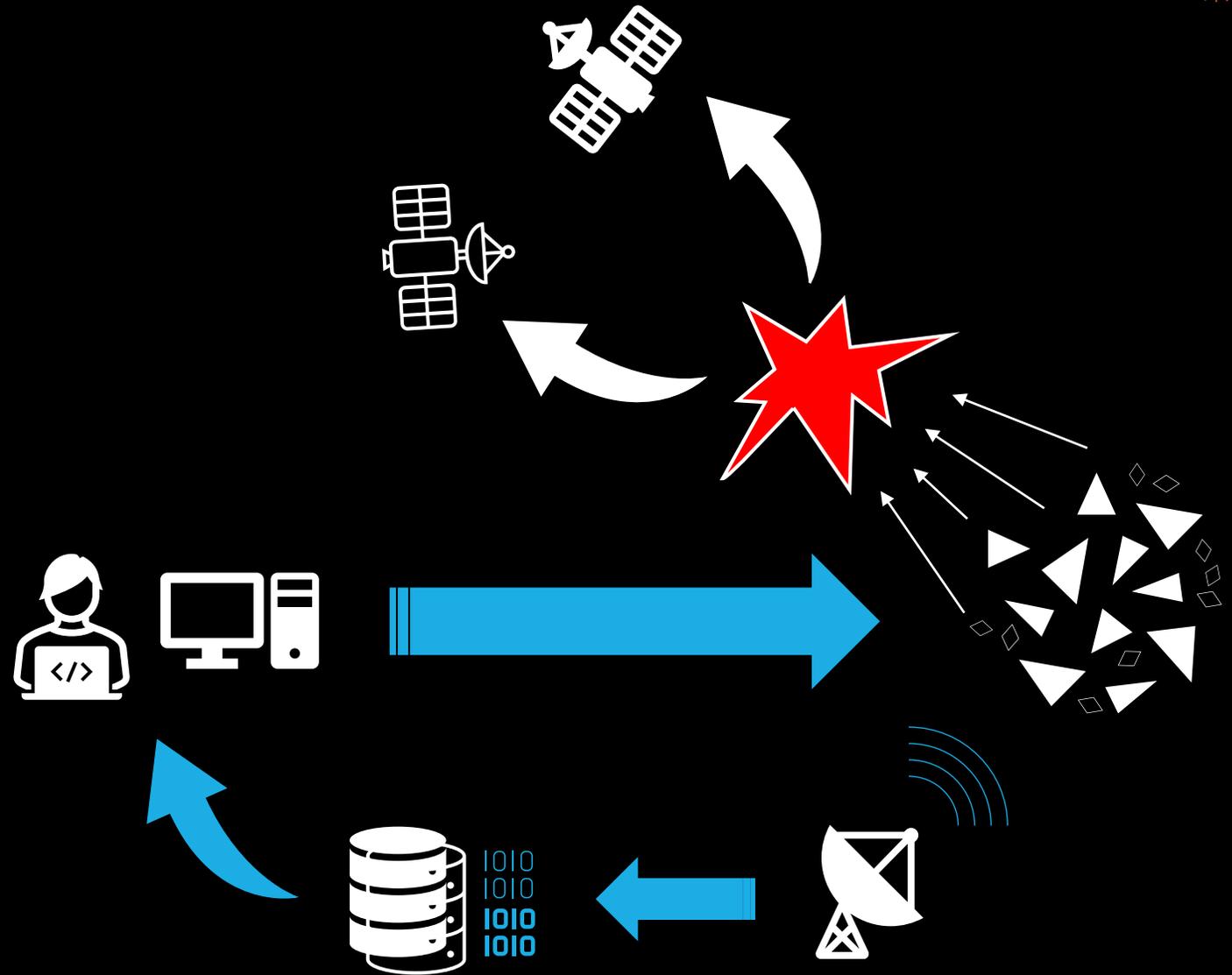


Simulation of space smash: ESA.

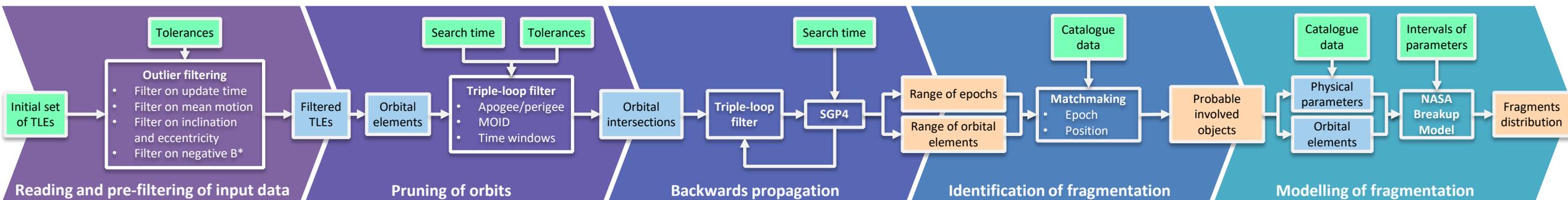
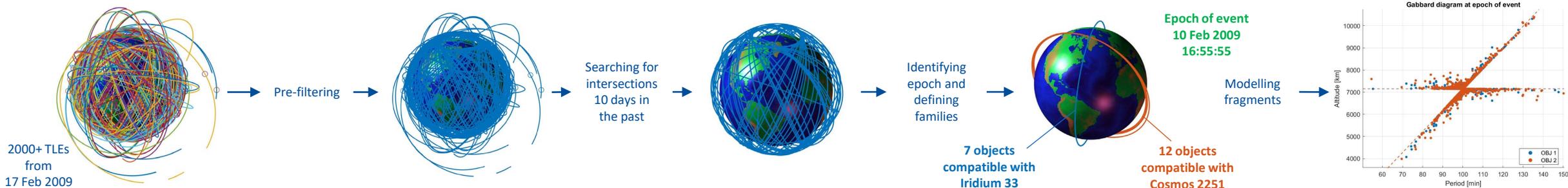
- In media una frammentazione (esplosione o collisione) all'anno negli ultimi 20 anni (fonte ESA)
- Ogni frammentazione può produrre migliaia di frammenti rilevabili dai radar
 - Iridium 33 – Cosmos 2251: >1600 frammenti
 - Molti di più non sono rilevati ma stimati



- Più tempo passa, più frammenti vengono rilevati
- Ogni oggetto rilevato viene registrato in un database e classificato (se possibile)
- Calcolando le posizioni degli oggetti all'indietro nel tempo, possiamo
 - riconoscere i frammenti di altri oggetti
 - scoprire quando si sono formati



Monitoraggio di frammentazioni



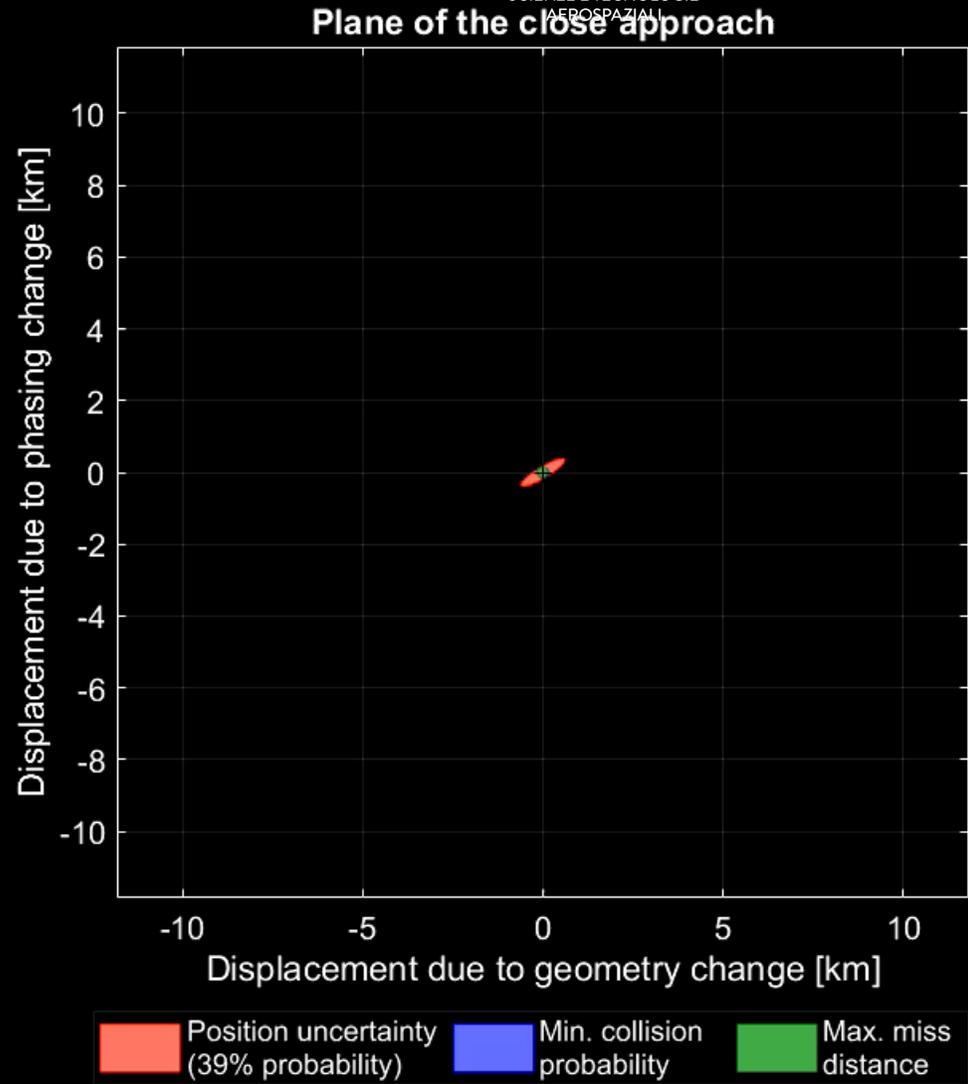
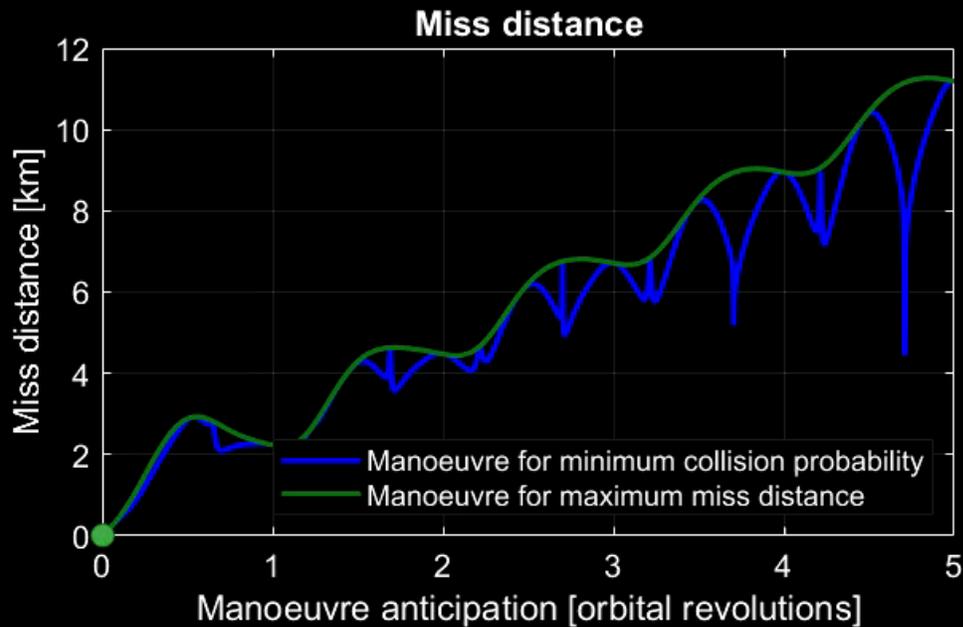
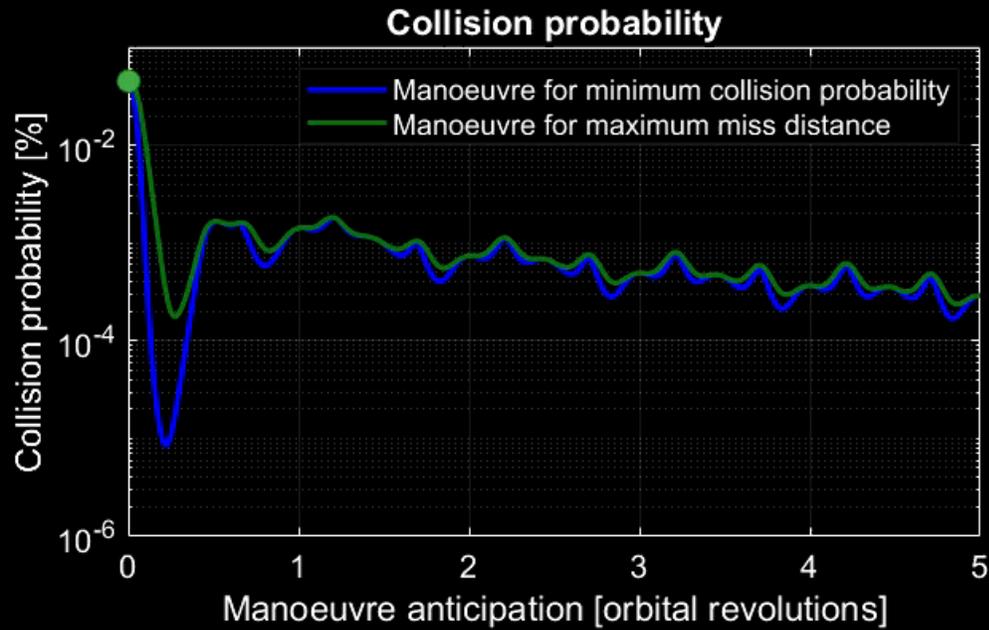
➤ Romano M., Muciaccia A., Trisolini M., Di Lizia P., Colombo C., Di Cecco A., Salotti L., PUZZLE software for the characterisation of in-orbit fragmentations, 8th European Conference on Space Debris, ESA/ESOC, Darmstadt, Germany, Virtual Conference, 20 - 23 Apr 2021.

Calcolo di manovre di evasione di collisione

I frammenti di detriti posso collidere a $10.54 \text{ km/s} = 37957 \text{ km/h}$ e danneggiare i satelliti operativi
Come pianificare le manovre di evasione di collisione?



SENTINEL-1. Crediti immagine: ESA.



Manoeuvre performed 0.00 hours before collision



Promuovere un uso sostenibile dello Spazio

Come rendere più conveniente la manovra di fine vita di un satellite?

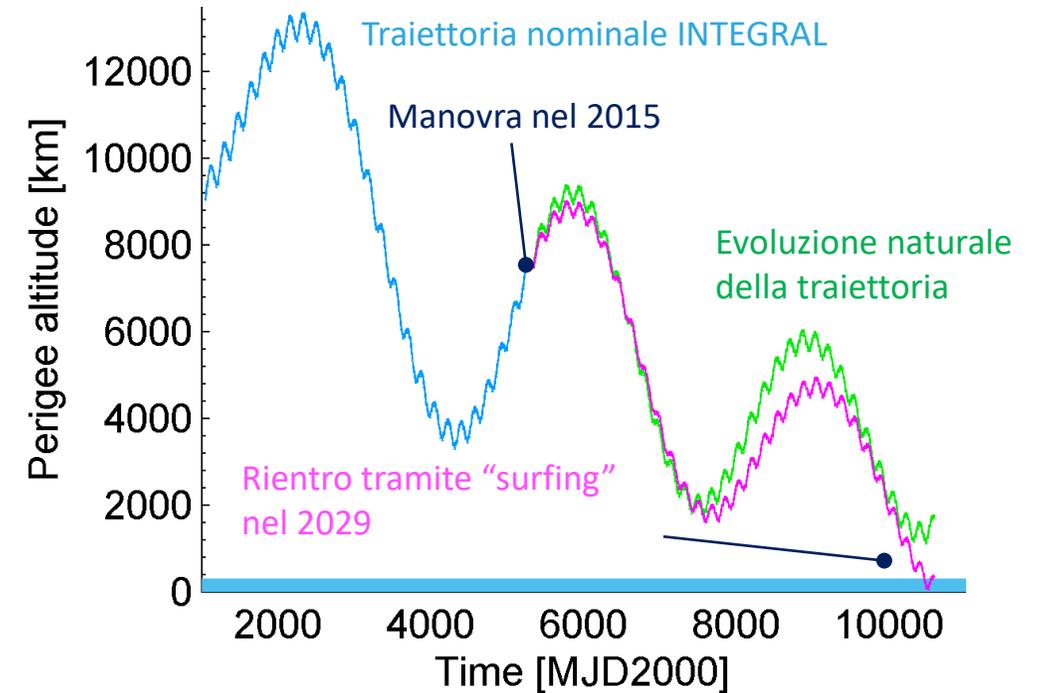


INTEGRAL: 2017, Quindici anni in orbita. Crediti video: ESA.



Integral: gamma-ray observatory. Crediti immagine: ESA.

Calcolo di manovre di fine vita facendo “surfing” tra le correnti di perturbazione della Luna e del Sole



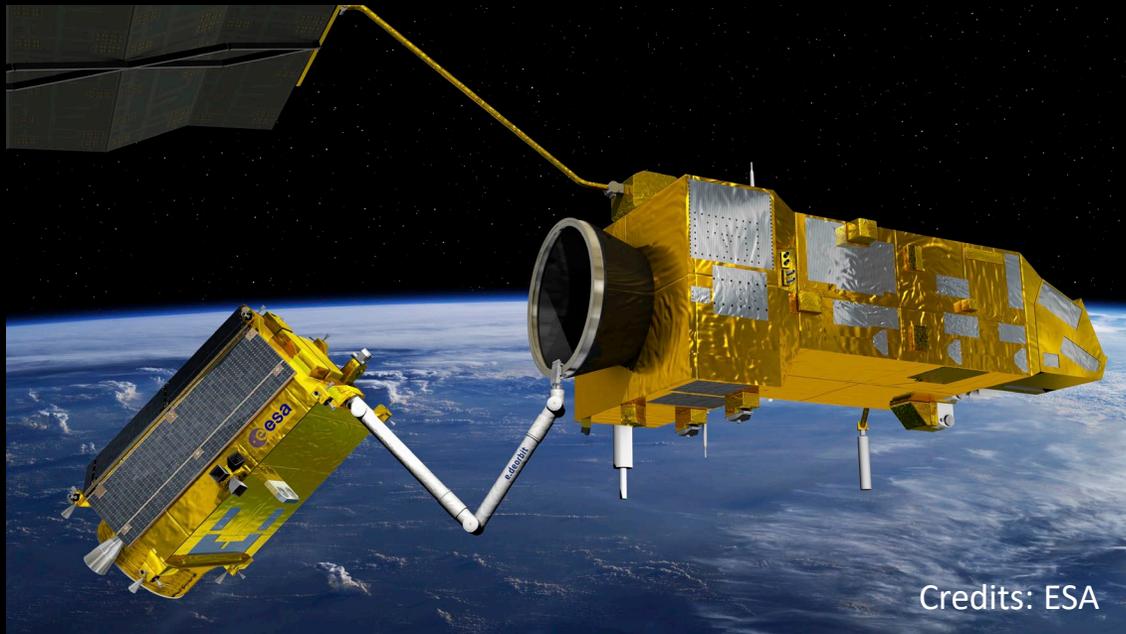
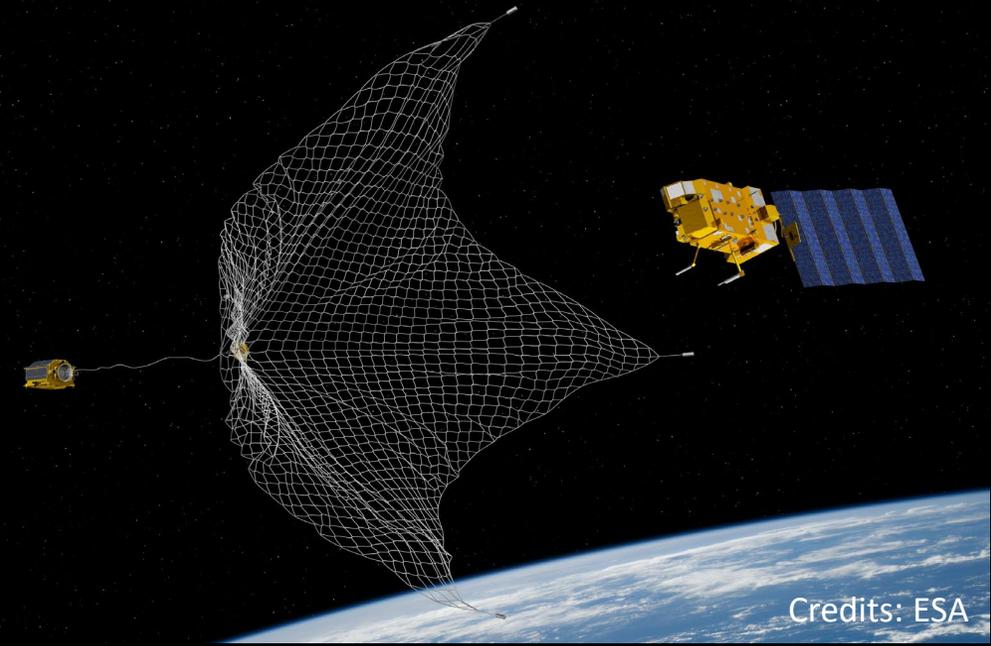
- Camilla Colombo, Francesca Francesca, Elisa Maria Alessi, Marcus Landgraf, “End-of-life Earth re-entry for highly elliptical orbits: the INTEGRAL mission”, The 24th AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, Jan. 26-30, 2014, Santa Fe, New Mexico.

Rimozione attiva di detriti

Promuovere un uso sostenibile dello Spazio

Come rimuovere i detriti dallo Spazio?

- Progettazione di una navicella per catturare i detriti
- Spostamento dei detriti in orbite basse





Promuovere un uso sostenibile dello Spazio
Come fare predizioni di rientro accurate?
Come assicurare la protezione planetaria?

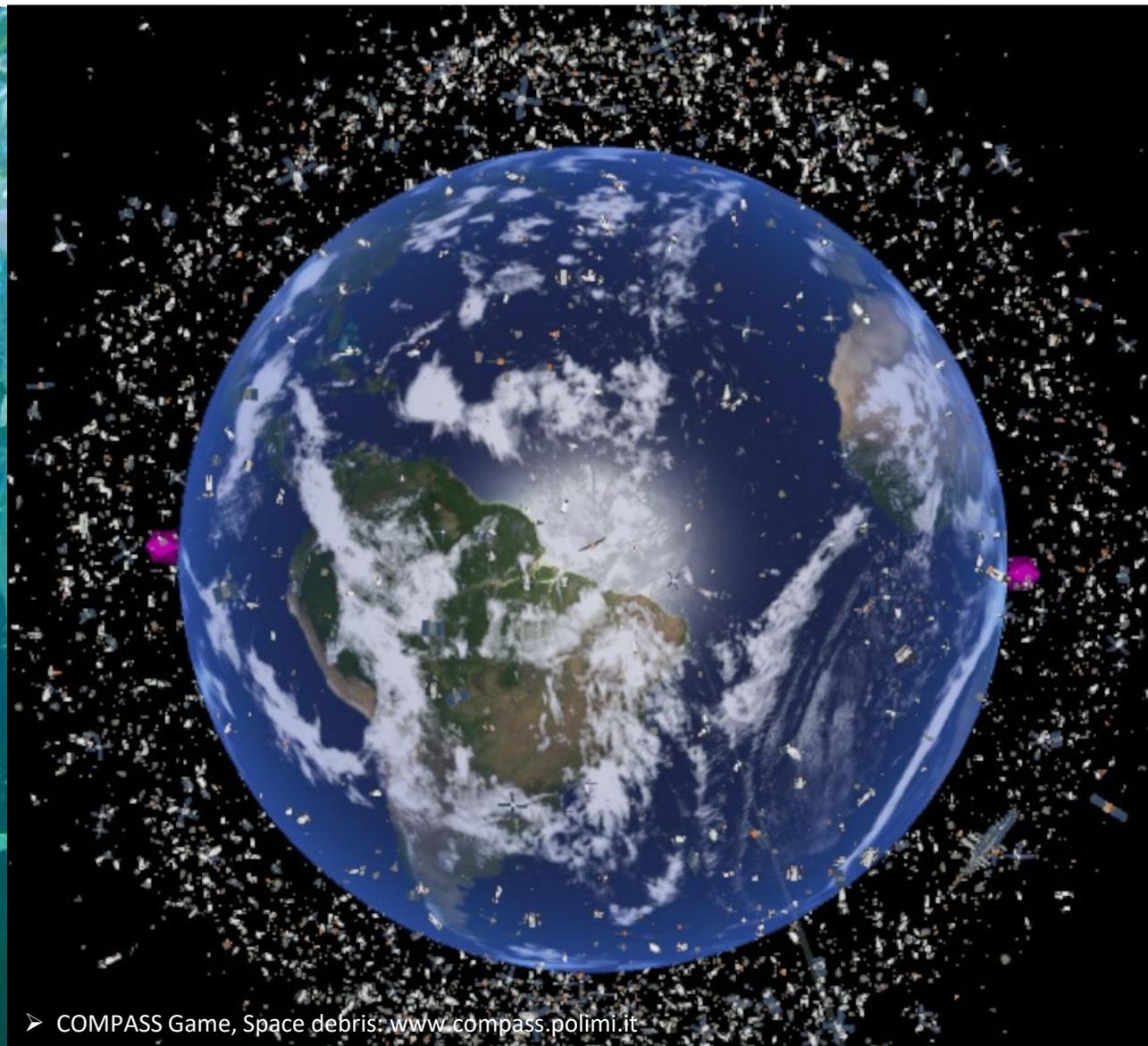
Nuovi attori nelle attività spaziali

Lo spazio come ambiente resiliente

Come armonizzare il boom delle attività spaziali con la loro futura sostenibilità?

Come misurare la capacità dell'ecosistema Spaziale?

Rappresentazione artistica rete globale delle telecomunicazioni.



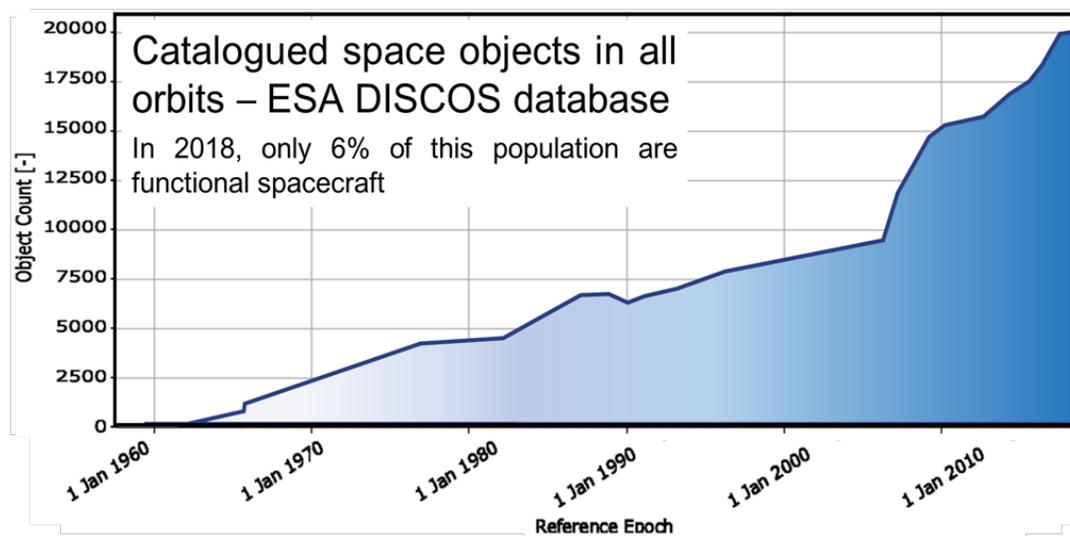
➤ <https://www.iklimhaber.org/plastigin-iklim-cevre-ve-insana-bedeli-i/>

➤ COMPASS Game, Space debris: www.compass.polimi.it

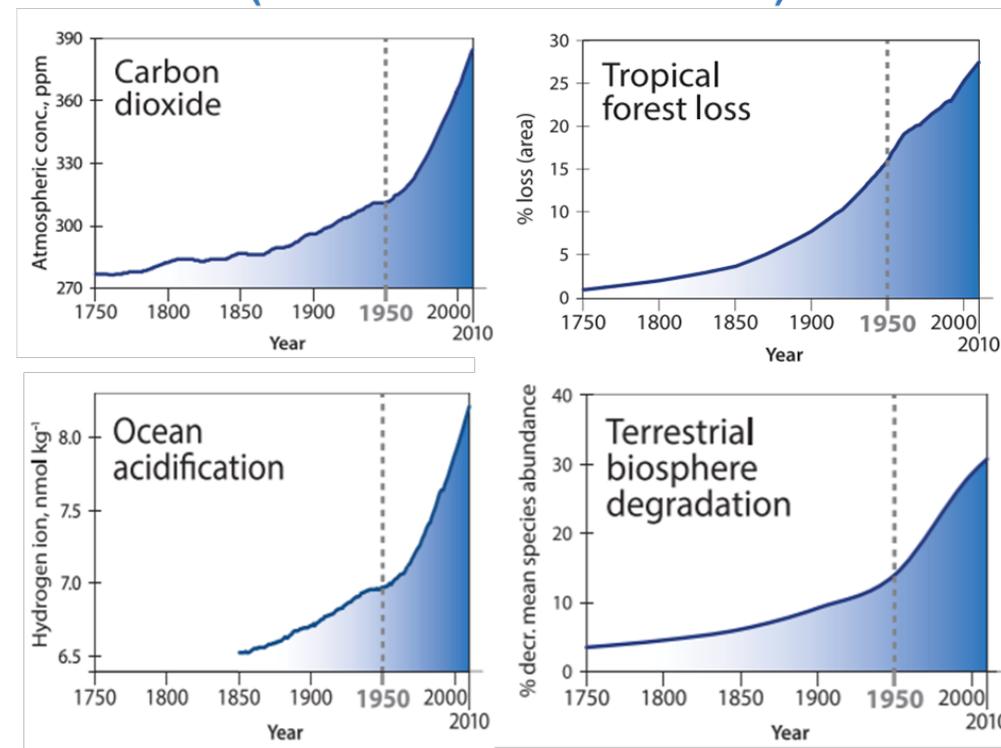


Space sustainability

Orbital environment trend (space debris growth)



Earth system trends (environmental stressors)

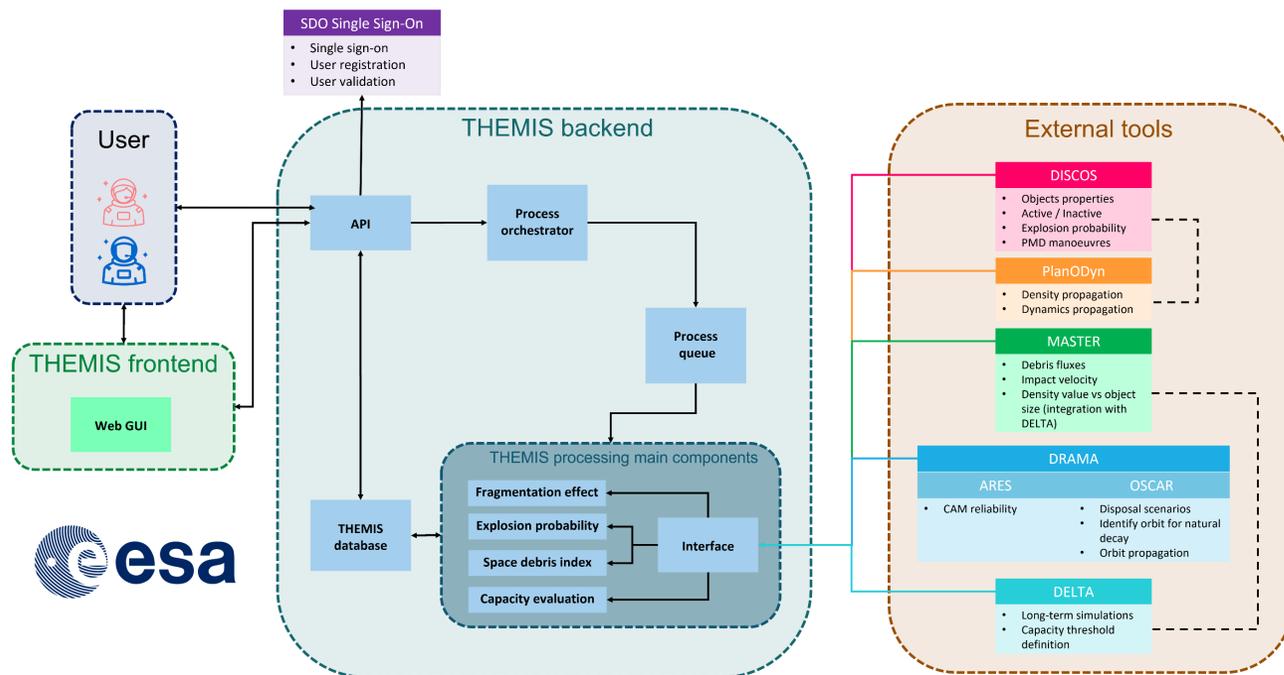


- Maury T., Loubet P., Trisolini M., Gallice A., Sonnemann G., Colombo C., "Assessing the impact of space debris on orbital resource in Life Cycle Assessment: a proposed method and case study", Science of the Total Environment, 2019. Earth system trend original image by Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., & Ludwig, C. (2015). The trajectory of the anthropocene: The great acceleration. Anthropocene Review, 2(1), 81–98. <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>

Come disegnare missioni ecologiche?

THEMIS: Tracking the Health of the Environment and Missions In Space:

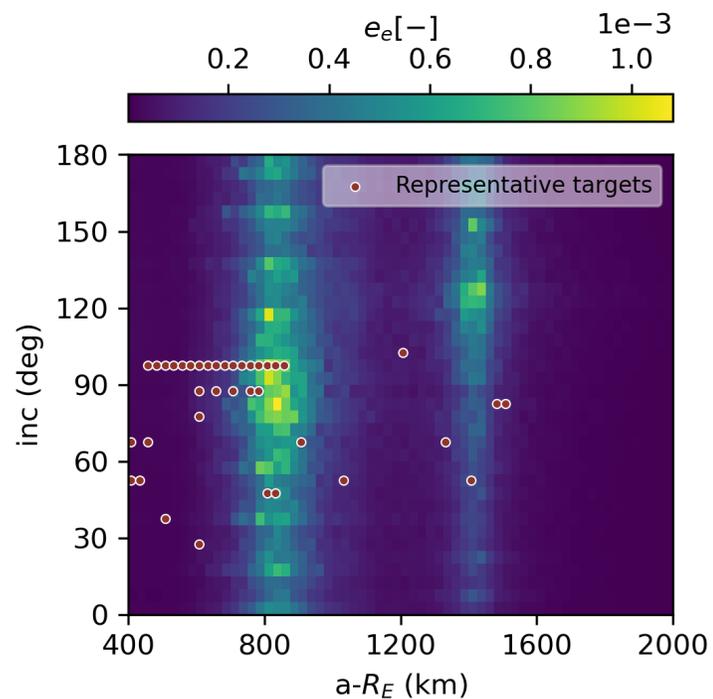
- To assess the **impact of a space mission on the space environment**
- To assess the **overall Space capacity** and the contribution of each mission to it



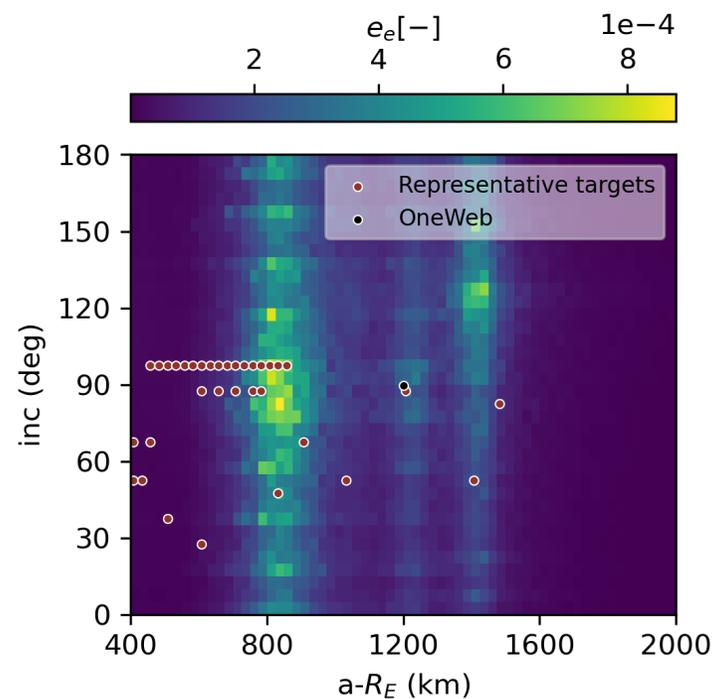
Mission life-cycle indicator of space debris.

► Colombo C., Letizia F., Trisolini M., Lewis H. G., Chanoine A., Duvernois P.-A., Austin J., Lemmens S., "Life Cycle Assessment Indicator for Space Debris", 7th European Conference on Space Debris, Darmstadt, Germany, 18-21 April 2017, paper 822

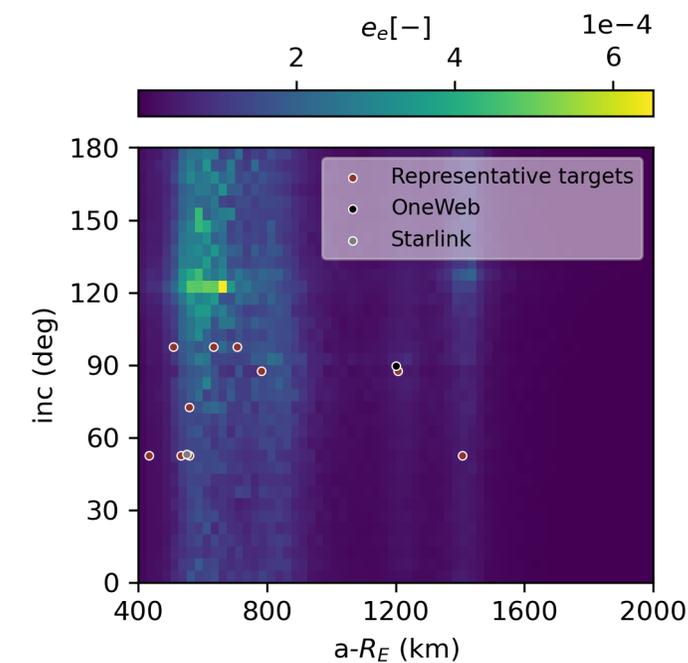
Effect maps



Effect map and targets without OneWeb and Starlink



Effect map and targets including OneWeb



Effect map and targets including OneWeb and Starlink

e.Cube mission



POLITECNICO MILANO 1863



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Obj. 1 – CAM. Development, validation and testing of on-board algorithms for autonomous collision avoidance

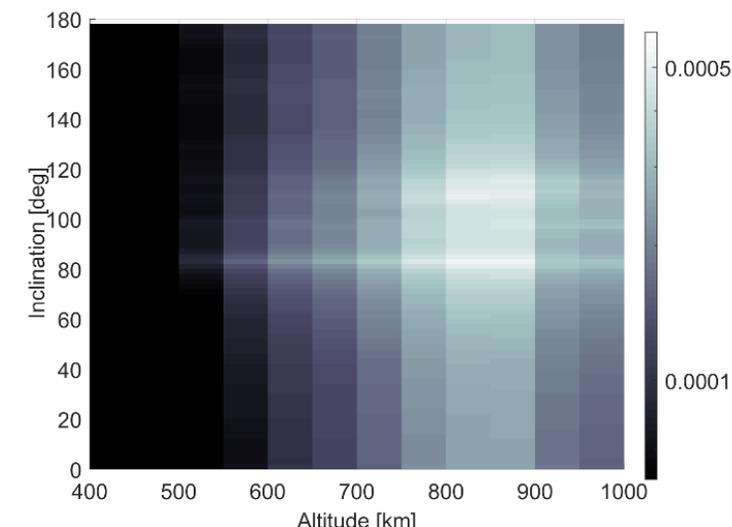
Obj. 2 – DEBRIS. Characterisation of untraceable space debris objects to update and improve space debris environmental models.

Obj. 3 – RE-ENTRY. Characterisation of the upper atmosphere for more accurate re-entry prediction and of the thermomechanical loads experienced by the spacecraft during re-entry.



- Sun-synchronous orbits candidates for a debris characterisation mission as they provide the possibility to collect a significant amount of data.
- SSO have directional fluxes (concentrated in the front part of the spacecraft), which allow for a better detection of particles and design of the payload.

Debris fluxes for orbits between 400 km and 1000 km.



Detriti spaziali: un problema di natura globale. La soluzione richiede una forte cooperazione internazionale per definire le misure di prevenzione e mitigazione.



Italia dallo Spazio. Crediti immagine: ESA/NASA.

These research activities have received funding from

- The European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (grant agreement No 679086 – COMPASS)
- The European Space Agency contract 4000133981/21/D/KS
- The Italian Space Agency Sviluppo di SW a supporto dei servizi SST per lo studio di detriti spaziali

Spazio e Sostenibilità Camilla Colombo, Politecnico di Milano



POLITECNICO
MILANO 1863



@COMPASS_ERC

www.compass.polimi.it