

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale  
«La configurazione orbitale della  
costellazione Starlink»***

Tutor universitario: Prof. Carlo Bettanini Fecia Di Cossato

Laureando: *Ivan Baldin*

Padova, 21/09/2023

## Cos'è Starlink?

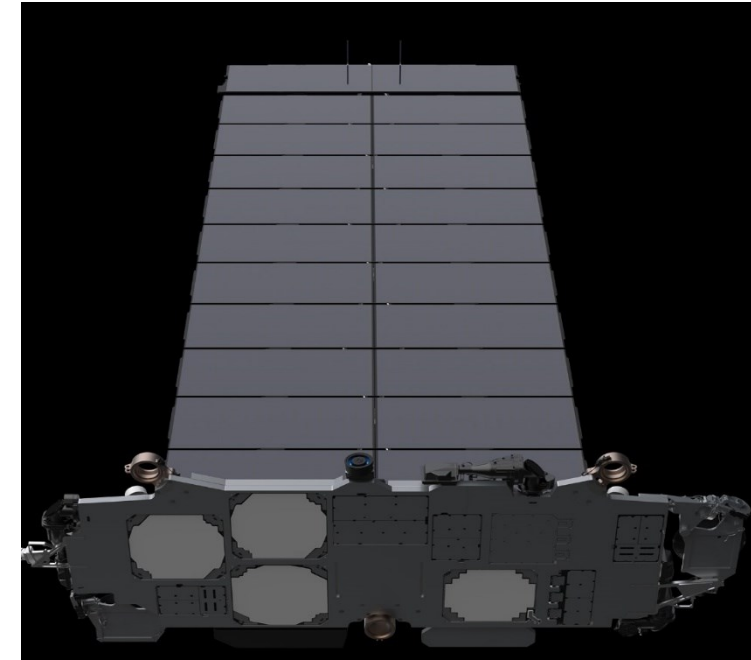
Starlink è un servizio di Internet a banda larga e a bassa latenza che si serve di una costellazione di satelliti a orbita bassa. Rete e servizio sono realizzati da SpaceX, società che costruisce i satelliti, li manda in orbita, realizza e vende i kit di montaggio e infine fornisce il servizio e l'assistenza.



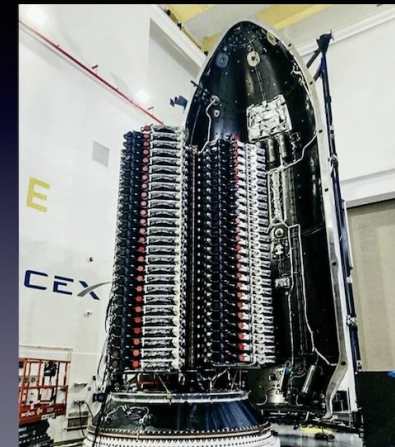
I singoli satelliti hanno le seguenti caratteristiche:

- La massa tra 220 e 295 kg, dimensioni di circa 3,2 metri per 1,2 e uno spessore di 20 cm
- Sono dotati di 4 antenne a schiera e 2 paraboliche.
- Un singolo array solare ripiegabile.
- Sistemi di propulsione a ioni.

È importante tenere conto che ci sono più versioni dei satelliti in orbita.



Starlink V1.5




Starlink V2 Mini



Falcon 9 è il primo razzo riutilizzabile di classe orbitale al mondo. La sua riusabilità consente a SpaceX di far tornare a terra le parti più costose del razzo, il che a sua volta riduce i costi di accesso allo spazio. È formato dal payload e da due stadi separati dall'interstadio.

FALCON 9  
**OVERVIEW**

HEIGHT	70 m / 229.6 ft
DIAMETER	3.7 m / 12 ft
MASS	549,054 kg / 1,207,920 lb
PAYLOAD TO LEO	22,800 kg / 50,265 lb
PAYLOAD TO GTO	8,300 kg / 18,300 lb
PAYLOAD TO MARS	4,020 kg / 8,860 lb



<
• • • • •

Il progetto è composto da due fasi:

- La prima fase è composta da circa 12 mila satelliti funzionanti in orbita entro fine marzo 2027. Ad oggi sono stati lanciati circa 4600 satelliti di cui 4400 operativi;
- La seconda fase prevede altri 30 mila satelliti per la quale SpaceX ha inoltrato una richiesta formale che dev'essere ancora approvata dalla Fcc ( Federal Communication Commission) e dalla Itu ( International Telecommunication Union);



Comunicazione tra i satelliti senza passare per le Stazioni di Terra

Sistema del Crosslink

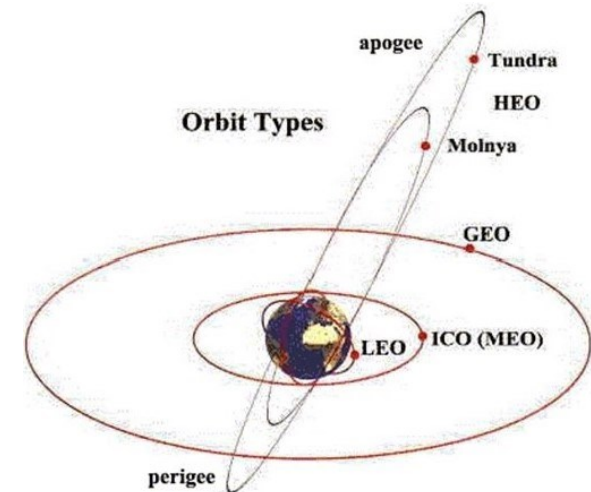
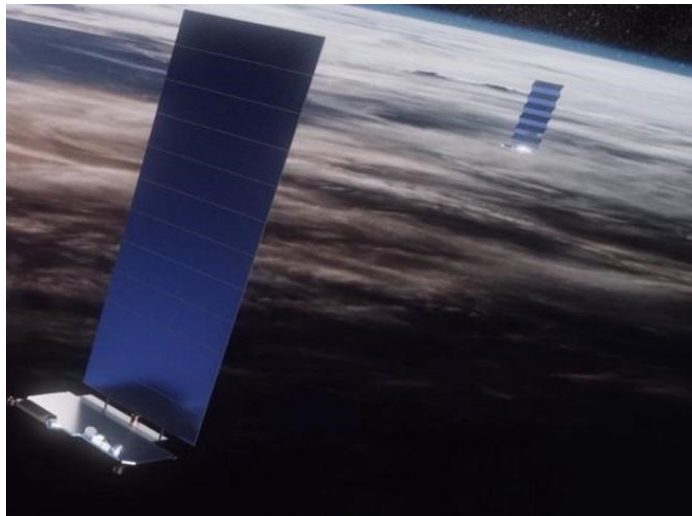
Data rate tra i 50 e i 150 Mbps  
e latenza tra i 20 e i 40 ms

$$R = \frac{V}{\tau_a}$$

Connettività globale ad alta qualità a banda elevata e con una bassa latenza

Orbita bassa (LEO)

Numero elevato di satelliti (12 mila)



Copertura costellazione Starlink



Orbita bassa (300-2000 km)



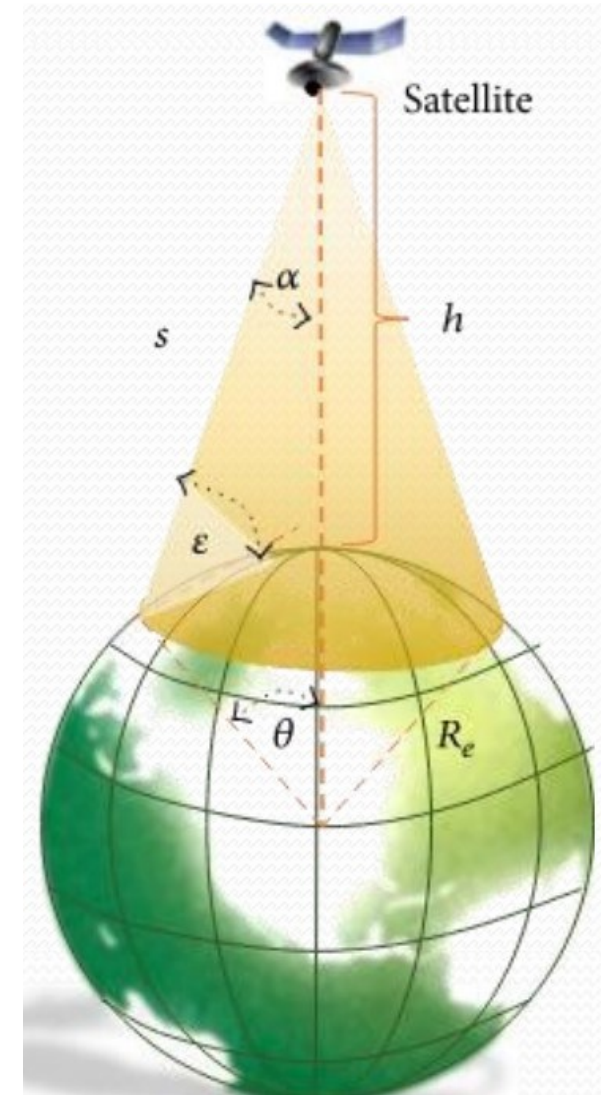
Piccola parte di superficie terrestre coperta dal  
singolo satellite



Numero elevato di satelliti per copertura globale

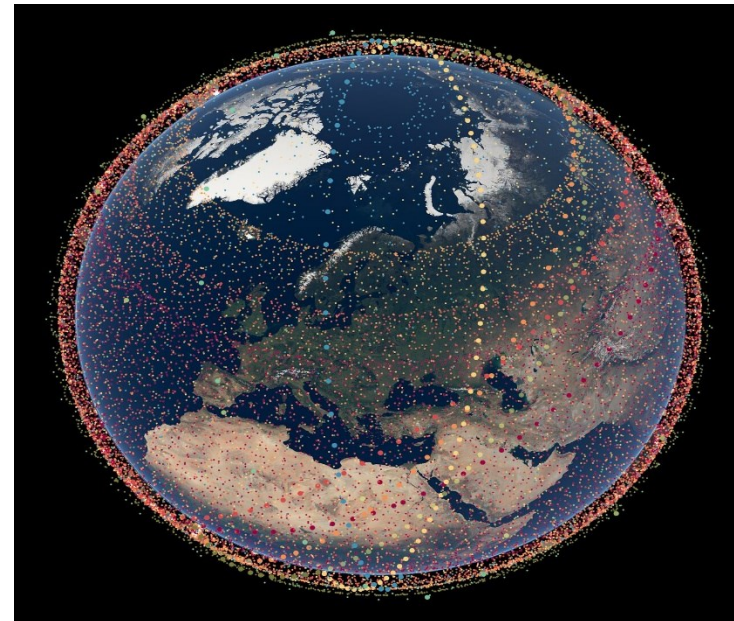


Concentrazione di satelliti nelle zone più  
popolate o in cui il servizio è diffuso

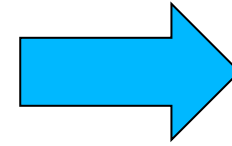
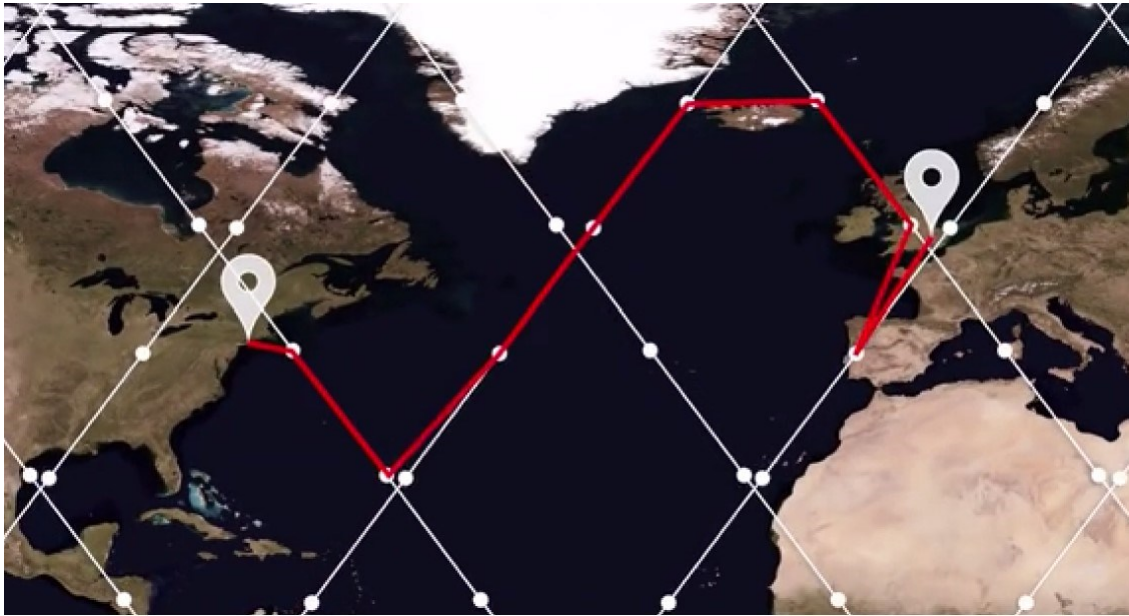


La costellazione Starlink è organizzata in gusci spaziali i quali danno origine a una rete multistrato. I gusci sono divisi nel seguente modo:

- Primo guscio: 1584 satelliti a 550 km di altitudine e inclinazione  $70^\circ$ .
- Secondo guscio: 1584 satelliti a 540 km di altitudine e inclinazione  $53^\circ$
- Terzo guscio: 720 satelliti a 570 km di altitudine e inclinazione  $70^\circ$ .
- Quarto guscio: 343 satelliti a 560 km di altitudine e inclinazione  $97,6^\circ$
- Quinto guscio: 172 satelliti a 560 km di altitudine e inclinazione  $97.6^\circ$ .
- 7518 satelliti orbitanti tra i 335 e i 345 km di altitudine e inclinazioni  $42^\circ$ ,  $48^\circ$ ,  $53^\circ$

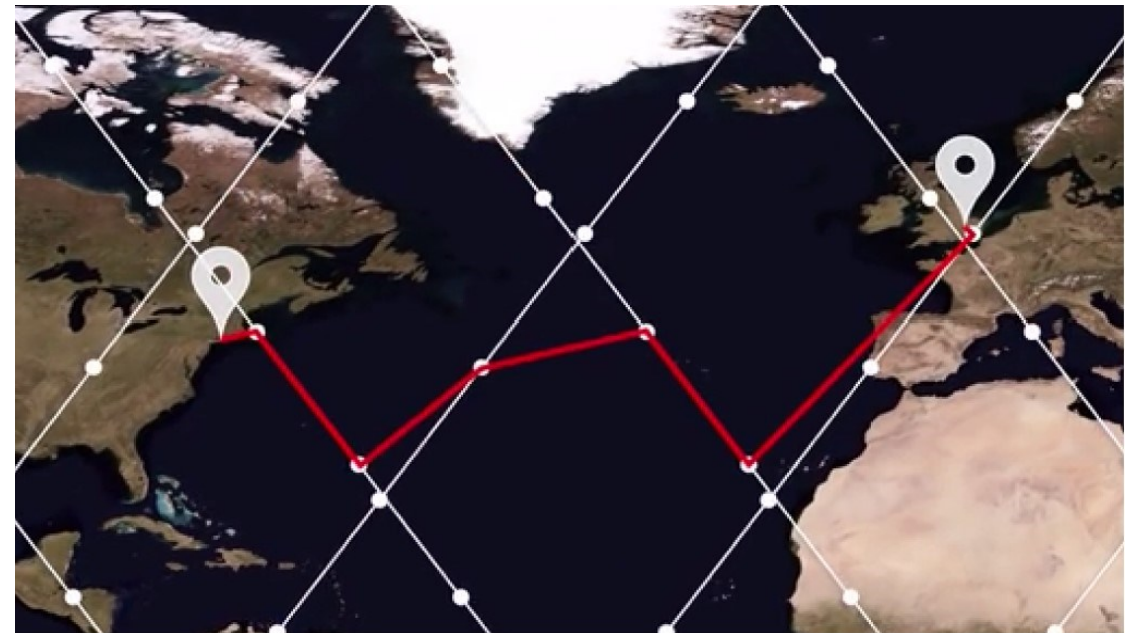
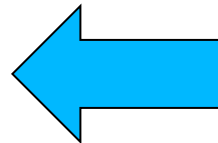






Primo collegamento

Collegamento successivo



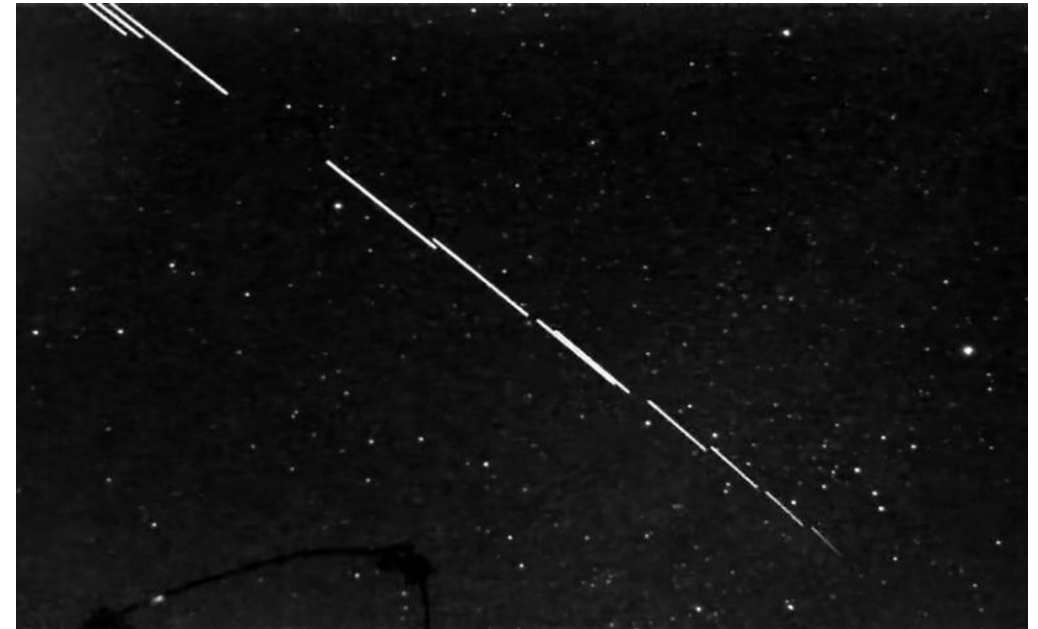
Il numero crescente di satelliti nell'orbita LEO porta a un aumento dell'inquinamento luminoso:

- Riflessione della luce solare;
- Sorgenti infrarosse;
- Coprono i corpi celesti di interesse per telescopi in orbita e a terra;
- Compromettono i dati scientifici



Le possibili soluzioni per poter effettuare osservazioni dalla Terra senza impedimenti possono essere:

- Rivestimenti speciali in grado di ridurre la riflessione (darksat, 2020)
- Sviluppo software per prevedere il passaggio dei satelliti evitando di danneggiare le immagini
- Satelliti equipaggiati con pannelli riflettenti che aiutano a impedire alla luce di raggiungere il suolo
- Modifiche al design dei satelliti
- Creazione di una corsia oscura



In conclusione, per poter operare in maniera ottimale, il progetto Starlink ha bisogno di:

- Una disposizione in orbita LEO a 5 gusci;
- Un numero elevato di satelliti in orbita per avere una copertura globale;
- I satelliti devono essere equipaggiati in modo tale da poter durare nel tempo e trasmettere il segnale attraverso il crosslink;
- Soluzione inquinamento luminoso.



- <https://www.spacex.com/vehicles/falcon-9/>
- <https://www.starlink.com/technology>
- [https://www.ilsoftware.it/articoli.asp?tag=Satelliti-Starlink-cosa-sono-e-comeosservarli-con-un-servizioonline\\_25409#:~:text=Seconda%20generazione%20di%20satelliti%20Starlink,momento%20del%20rilascio%20dei%20satelliti](https://www.ilsoftware.it/articoli.asp?tag=Satelliti-Starlink-cosa-sono-e-comeosservarli-con-un-servizioonline_25409#:~:text=Seconda%20generazione%20di%20satelliti%20Starlink,momento%20del%20rilascio%20dei%20satelliti)
- <https://www.spaceconomy360.it/comunicazioni-satellitari/starlink-la-rete-interneta-banda-larga-che-viene-dalle-stelle/>
- <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ab8016/pdf>
- Slide lezione DVAS
- <https://www.wired.it/article/starlink-inquinamento-luminoso/>
- Dynamics. Pitman, 1979.
- J. Kéchichian. «Motion in General Elliptic Orbit with respect to a Dragging and Precessing Coordinate Frame». In: Journal of Astronautical Sciences 46 (1998)
- C.A. Wagner. The gravity potential and force field of the Earth through fourth order. Technical note. NASA, 1966.
- <https://tecnologia.libero.it/starlink-manda-in-orbita-i-satelliti-di-seconda-generazione-65761>
- [https://www.eso.org/public/italy/images/starlinkgen2\\_earth/?lang](https://www.eso.org/public/italy/images/starlinkgen2_earth/?lang)
- <https://www.gexperience.it/spacex-lancia-22-satelliti-starlink-di-nuova-generazione-spaceflight-now/>
- <https://ts2.space.it/limpatto-ambientale-della-rete-satellitare-di-starlink/>