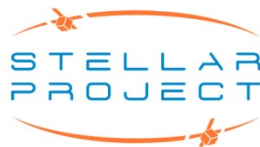


Seminario

Tecnologie e costellazioni satellitari emergenti

*Connettività inter-satellitare in banda ottica a supporto di
costellazioni ibride per SatCom e OT*

*Prof. Alessandro Francesconi
Università di Padova - Stellar Project srl*



03 Dicembre 2021

Sala Caccia Dominioni SMD - Via di Centocelle 301 Roma

Indice degli argomenti:

- StellarProject srl – introduzione
- Costellazioni LEO per SatCom e OT
- Connettività inter-satellitare in banda ottica
 - Applicazione a costellazioni SatCom
 - Applicazione a costellazioni OT
- Conclusioni

Stellar Project srl

- **Space deep tech startup**, spin-off dell'Università di Padova
- Offre **soluzioni tecnologiche innovative** per piccoli satelliti nella "New Space Economy" (nanosat-microsat-minisat)
- Prodotti e servizi:
 - **Rice-trasmittitori per telecomunicazioni in banda ottica**
 - Analisi del rischio di collisione con detriti spaziali a favore del mercato assicurativo spaziale



Rice-trasmettitori in banda ottica «LaserCube»

- Famiglia di terminali ottici per **piccoli satelliti e costellazioni**
Design modulare per **downlink e inter-satellite link**
- **Brevetto internazionale** per il sistema di puntamento
- **Design scalabile** in termini di dimensioni, massa e potenza
- **LaserCube-Downlink lanciato in orbita il 30-06-2021 con la missione Transporter-2 di Space X**



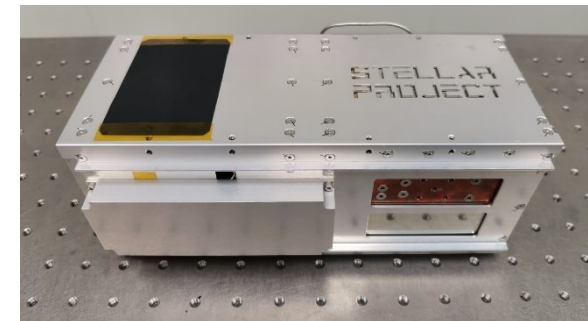
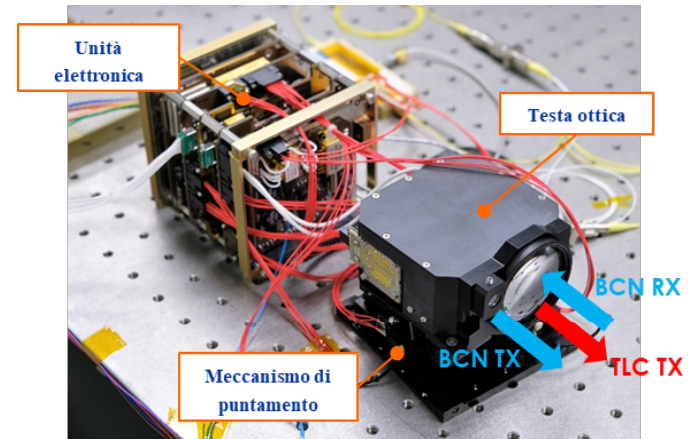
Sviluppo condotto con il supporto dell'ASI nell'ambito del programma ESA ARTES





LaserCube-ISL/DL

Specifications	Intersatellite Link	Down Link
Size	2U Cubesat 100x100x200 mm	
Mass	2 kg	
Power	30 W (telecom) < 4 W (idle)	25 W (telecom) < 4 W (idle)
Coarse Pointing Range	± 10 deg elevation and azimuth	
Pointing Accuracy	60 μ rad (coarse); 10 μ rad (fine)	
Wavelength	1550 nm (TX/RX); 808 nm (beacon)	
Data Rate	1-2 Gbps Down link from LEO	
Field of Regard	± 10 deg (coarse pointing system)	
Data /Power Interface	Can Bus / 18-40 V unregulated	



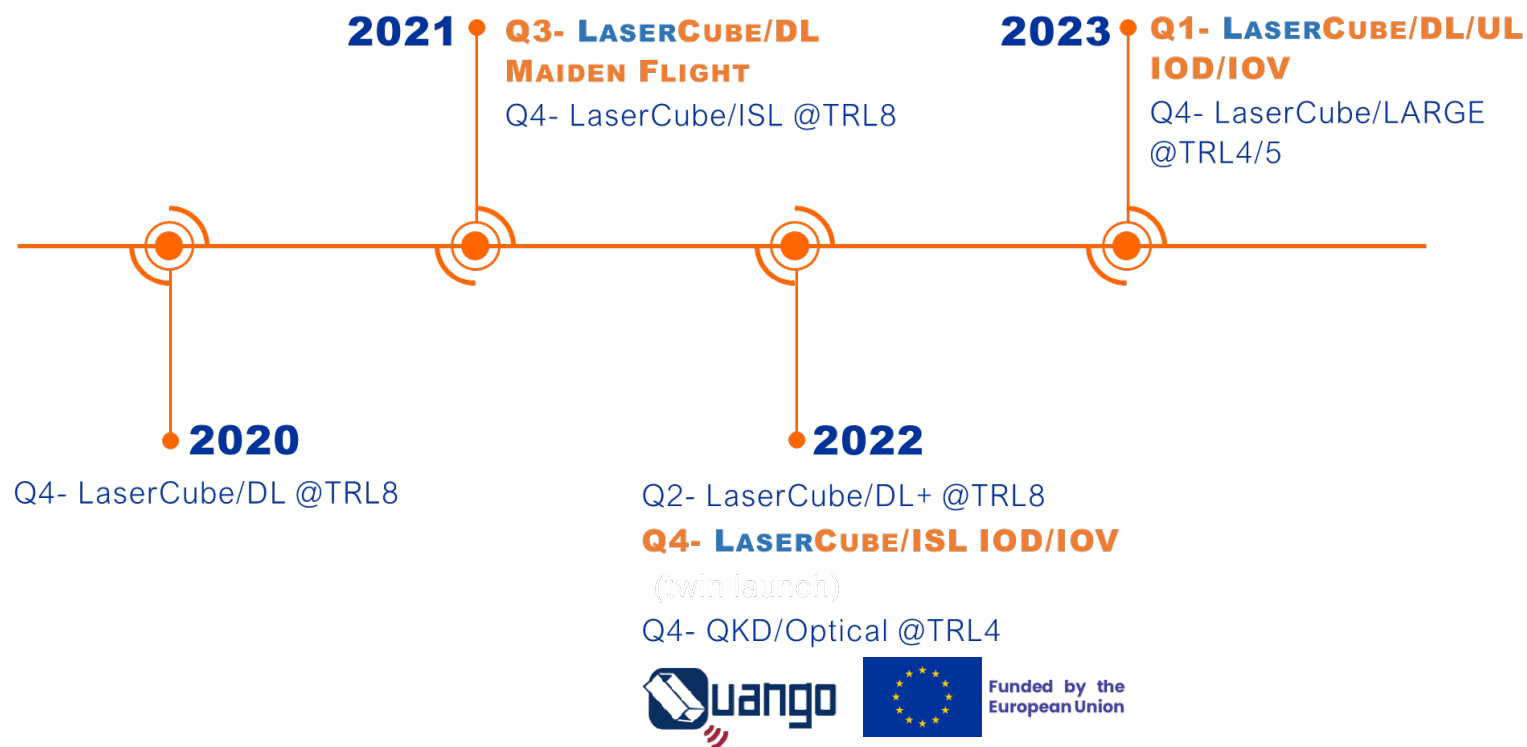


Rice-trasmittitori LaserCube: cronoprogramma

- **Terminali 2U (100x100x200 mm³)**
 - LaserCube-Downlink @TRL8 (lanciato in orbita il 30-06-21)
 - LaserCube-InterSatellite Link @TRL7 (lancio in Q4-2022)
 - LaserCube-Downlink/Uplink @TRL7 (lancio in Q1-2023)
- **Terminale inter-satellitare per costellazioni SatCom/OT**
 - LaserCube-Large: basato su LaserCube-ISL, bitrate fino a 1 Gbps e portata 4-5000 km – Oggi @TRL3 (sviluppo interno)



Rice-trasmittitori LaserCube: cronoprogramma



Indice degli argomenti:

- StellarProject srl – introduzione
- Costellazioni LEO per SatCom e OT
- Connettività inter-satellitare in banda ottica
 - Applicazione a costellazioni SatCom
 - Applicazione a costellazioni OT
- Conclusioni

Costellazioni LEO per SatCom e OT

- Notevole aumento del numero di satelliti lanciati nello spazio, specialmente in grandi costellazioni in orbita bassa (LEO)
 - 3-4 costellazioni con 1000+ satelliti per SatCom
 - 7-8 costellazioni da 100+ satelliti per OT
- Elevata numerosità richiesta per garantire **copertura globale** con **brevi tempi di rivisita** e **ridotta latenza**

Grandi costellazioni LEO: contesto e vantaggi

- **Riduzione del costo di lancio in LEO**
- Sviluppo di **piccole piattaforme** basate su design ricorrenti e **costi limitati** rispetto a satelliti tradizionali
- **Ridotti tempi di propagazione (SatCom)**
- **Elevata risoluzione (OT)**
- **Alta sopravvivenza** della costellazione (robustezza) e possibilità di **frequente aggiornamento** dell'infrastruttura

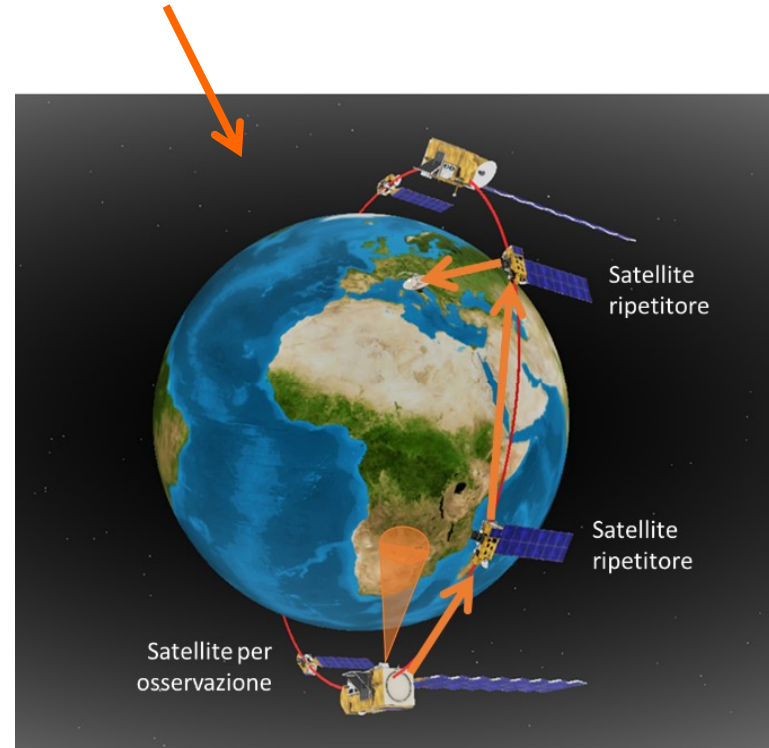
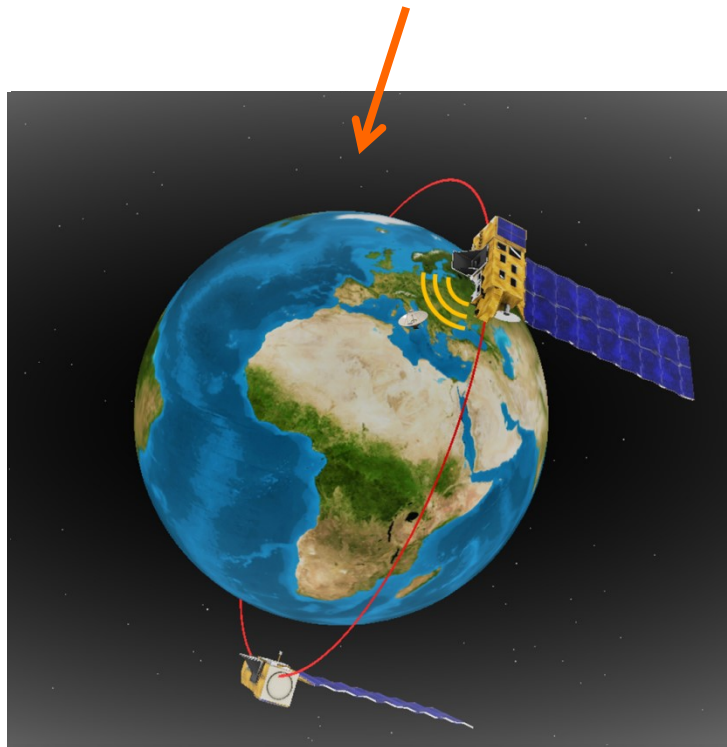
Grandi costellazioni LEO per OT

- I principali indicatori di prestazione per applicazioni OT sono la **risoluzione delle immagini** e l'«Age of Information»
- Costellazioni numerose implicano **brevi tempi di rivisita**, ma l'AoI si riduce solo se il dato può essere rapidamente trasmesso a Terra!
- Questo richiede un **numero elevato di stazioni di Terra**, con forte impatto sul **costo dell'infrastruttura** e sulla **dipendenza da reti terrestri** per la trasmissione del dato verso l'utente finale

Store&Forward vs. Inter-Satellite link

- Per ridurre l' Age of Information a pochi minuti, al posto della tradizionale architettura «Store&Forward», è conveniente utilizzare reti inter-satellitari che realizzino una **rete di connessioni direttamente nello spazio**
- Principali vantaggi:
 - **Indipendenza da infrastrutture terrestri**, anche di terze parti
 - Trasmissione quasi in **tempo reale**

Store&Forward vs. Inter-Satellite link



Questo è un esempio di costellazione ibrida «multifunzionale» SatCom/OT

Telecomunicazioni spaziali in banda ottica

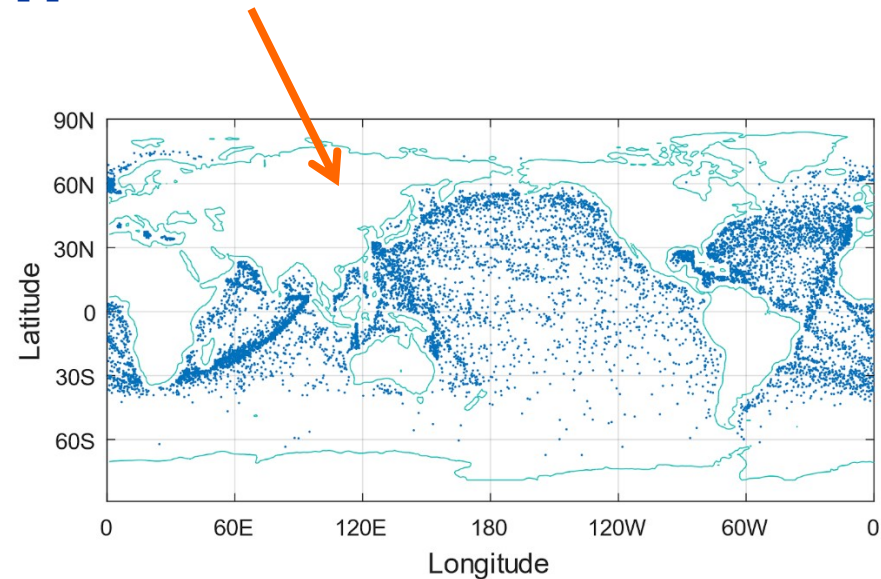
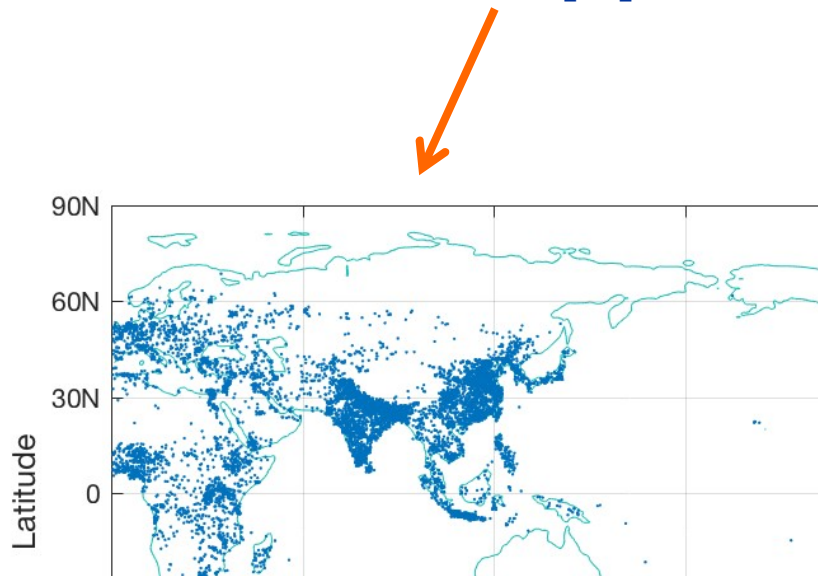
- Soluzione ideale per costellazioni SatCom, OT e ibride:
 - **Bitrate >50x rispetto a sistemi RF comparabili** in termini di ingombro / massa / potenza
 - Possibilità di stabilire comunicazioni ad altissima efficienza alle distanze richieste per reti satellitari sostenibili, i.e. **alcuni Gbps and alcune migliaia di km**
 - In caso di downlink: nessuna restrizione per l'utilizzo delle frequenze ed **elevata sicurezza della trasmissione**

Indice degli argomenti:

- StellarProject srl – introduzione
- Costellazioni LEO per SatCom e OT
- Connettività inter-satellitare in banda ottica
 - Applicazione a costellazioni SatCom
 - Applicazione a costellazioni OT
- Conclusioni

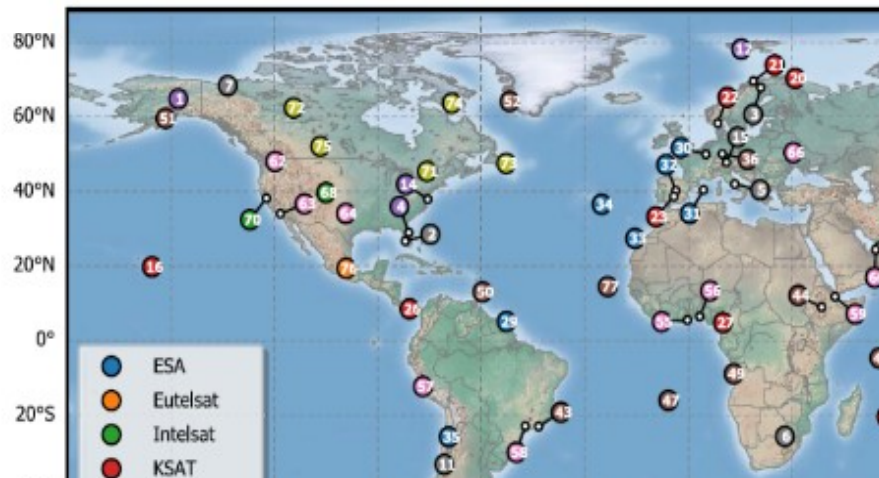
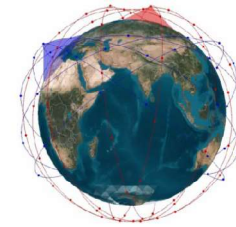
Applicazione a costellazioni SatCom: scenario

- Ipotizzate due distribuzioni random di 10'000 utenti in zone ad alta densità di popolazione oppure off-shore



Applicazione a costellazioni SatCom: scenario

- Distribuzione di 77 Stazioni di Terra (GS)
- Piccola-media costellazione



Cost. SatCom

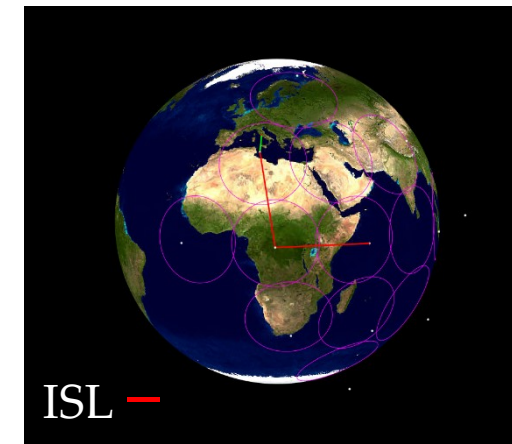
Quota	1000 km
Inclinazione	99.5°
Piani orbitali	6
Satelliti/piano	12
Satelliti totali	72

Applicazione a costellazioni SatCom: risultati

- Confronto in termini di $W_{90\%}$ i.e. **latenza massima** per almeno il 90% degli utenti – valore mediato sulle due costellazioni
- Si nota il beneficio offerto dalla connessione inter-satellitare (ISL)

Numero GS	Store & Forward	ISL 1 hop	ISL 2 hops
1 (Italia)	>300 min	>300 min	87 min
5 (Europa)	>300 min	190 min	30 min
20 (random)	28 min	13 min	11 min
50 (random)	17 min	11 min	10 min

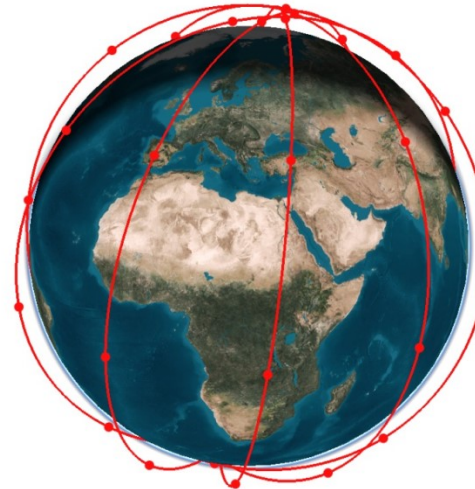
Valori comprensivi di tempo di accesso (in media ~10 min)



Applicazione a costellazioni OT: scenario

- Stessa distribuzione precedente, sia per le GS, sia per i siti terrestri dei quali si desidera acquisire un'immagine

Costellazione OT	
Quota	570 km
Inclinazione	97.7°
Piani orbitali	5
Satelliti/piano	8
Satelliti totali	40

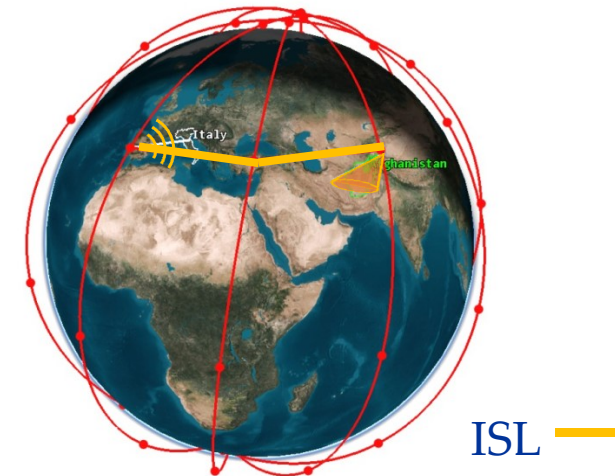


Applicazione a costellazioni OT: risultati

- Confronto in termini di $W_{90\%}$ i.e. **Age of Information massima** per almeno il 90% dei target osservativi
- Si nota il beneficio offerto dalla connessione inter-satellitare (ISL)

Numero GS	Store & Forward	ISL 1 hop	ISL 2 hops
1 (Italia)	>300 min	>300 min	127 min
5 (Europa)	>300 min	241 min	54 min
20 (random)	74 min	43 min	38 min
50 (random)	51 min	39 min	36 min

Valori comprensivi di tempo di accesso (in media ~35 min)



ISL —

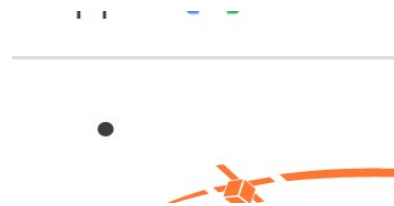
Indice degli argomenti:

- StellarProject srl – introduzione
- Costellazioni LEO per SatCom e OT
- Connettività inter-satellitare in banda ottica
 - Applicazione a costellazioni SatCom
 - Applicazione a costellazioni OT
- Conclusioni

Conclusioni

- Il diffuso interesse per **grandi costellazioni in orbita bassa** per applicazioni SatCom, OT e ibride risponde a esigenze strategiche per varie utenze civili, governativi e militari
- L'uso di connessioni inter-satellitari ad alta efficienza permette il sostanziale **abbattimento del tempo di risposta** di satelliti per SatCom e OT, oltre che la quasi **indipendenza da strutture terrestri** per la trasmissione del dato
- Per abilitare tali applicazioni, è essenziale lavorare allo sviluppo di un **rice-trasmittitore in banda ottica** italiano, compatibile con moderni satelliti LEO per SatCom e OT, con bitrate di ~ 1 Gbps e portata ~ 5000 km

Grazie per l'attenzione!



BRIGHT
IDEAS
FOR
LIGHT
SATELLITES

www.stellarproject.space

www.linkedin.com/company/stellarproject

info@stellarproject.space

Alessandro Francesconi, PhD

alessandro.francesconi@stellarproject.space