

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale***  
***«Dimensionamento preliminare di link budget***  
***e capacità computazionale di una***  
***costellazione di satelliti.»***

Tutor universitario: Ing. Lorenzo Olivieri

Co-Tutor universitario: Prof. Alessandro Francesconi

Laureando: *Jacopo Coccimiglio*

Padova, 09/2024

- 3.....Introduzione
- 4..... Obiettivi del lavoro
- 5.....Distanza massima ammissibile
- 6.....Prima stima degli orbitali
- 7.....Algoritmo di ottimizzazione
- 8.....Sottosistema di telecomunicazione
- 9.....Command and Data Handling
- 10.....Sottosistema di potenza
- 11.....Link nei satelliti server
- 12.....Conclusione
- 13.....Bibliografia

Gestione dei detriti spaziali attraverso cataloghi:

➔ È necessario quindi tracciare e catalogare il maggior numero possibile di oggetti

Ad oggi, tracciamento principalmente da terra

➔ Limitata risoluzione degli oggetti osservabili



Problema risolvibile con una costellazione per  
osservazione di detriti in-situ

Vantaggi:

- Maggiore risoluzione sia spaziale che temporale
- Aggiornamento più rapido dei dati nei cataloghi

**OBIETTIVO GENERALE:** progettare una costellazione per l'osservazione di detriti che funga da network il più possibile autosufficiente, formata da due tipi di satelliti: satelliti di rilevamento e satelliti server.

In questo studio ci si pone l'obiettivo di parametrizzare:

- distanza massima ammissibile per il link
- numero di orbitali necessari
- link budget
- capacità computazionali
- ingombri

- Definita in funzione di altitudine (H) e limite di visibilità scelto.
- La posizione limite trovata giace su un cono centrato sul satellite di riferimento

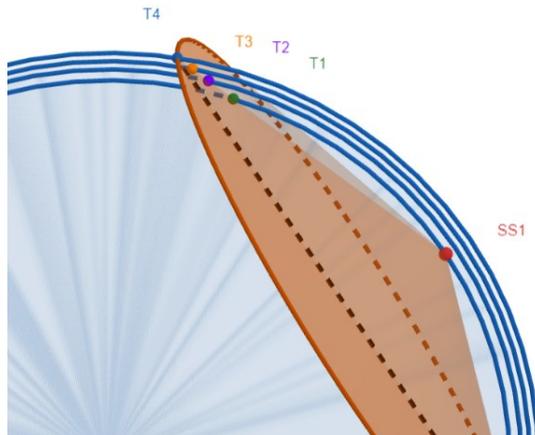
Una volta determinata la distanza massima ammissibile si verifica la fattibilità del link confrontando questo risultato con la distanza tra i due vettori posizione che descrivono i due satelliti.

Considerando:

- Altitudine server = 600km
- Altitudine terzo guscio = 1100km
- Limite di visibilità = 200km



Distanza Massima Ammissibile  $\approx$  5885km



*Limite di visibilità geometrico*

- Stimati in funzione delle specifiche della camera.
  - Con queste infatti si determina swath width (S) e distanza di osservazione (d).

Si ipotizza per la prima analisi di voler coprire una sfera di raggio H+d.

Passando in 2D:

$$P = \frac{C}{2S} = \frac{2\pi(H+d)}{2S}$$



Swath Width sulla circonferenza che descrive in 2D la sfera d'osservazione

Considerando:

- Primo guscio H=800km
- Distanza di osservazione d=100km
- Utilizzo delle 3 camere come su Skysat



$$P = \frac{C}{2(3S)} = 16532 \text{ orbitali nel primo guscio}$$

- Compromesso tra copertura e numero di orbitali.
- Basato su considerazioni geometriche sui triangoli che si formano tra due satelliti e la Terra.
- Da come output la distanza angolare tra satelliti dello stesso guscio in funzione dell'altitudine e della distanza d'osservazione.

Per il guscio 1 ad esempio:

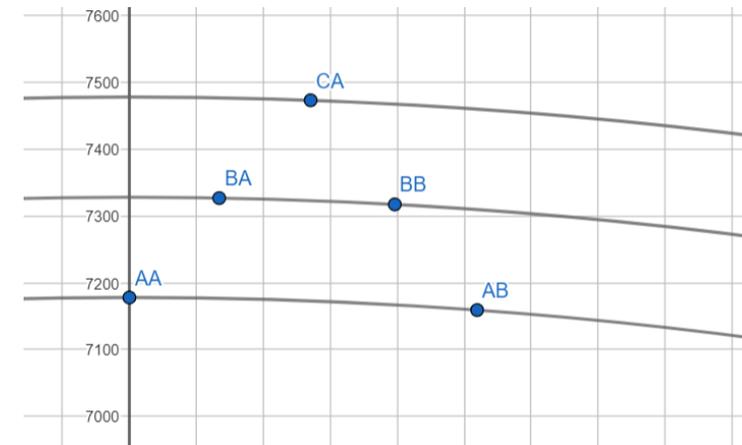
Semiperimetro  $\frac{P_t(d)}{2} = \frac{H_1 + H_3 + 4d}{2}$  e area  $A(d) = \sqrt{\frac{P_t}{2} \left(\frac{P_t}{2} - H_1\right) \left(\frac{P_t}{2} - H_3\right) \left(\frac{P_t}{2} - 4d\right)}$

altezza del triangolo  $x(d) = \frac{2A(d)}{H_3}$

Distanza lineare dal prossimo satellite:  $\varepsilon(d) = 2x(d)$

**OUTPUT** → distanza angolare  $\delta_1(d) = 2 \sin^{-1} \left( \frac{\varepsilon(d)}{2H_1} \right)$

➔ 176 orbitali totali



Distribuzione dei satelliti a «frecchia»

- Si è scelto un Optical Inter Satellite Link per il data rate vantaggioso

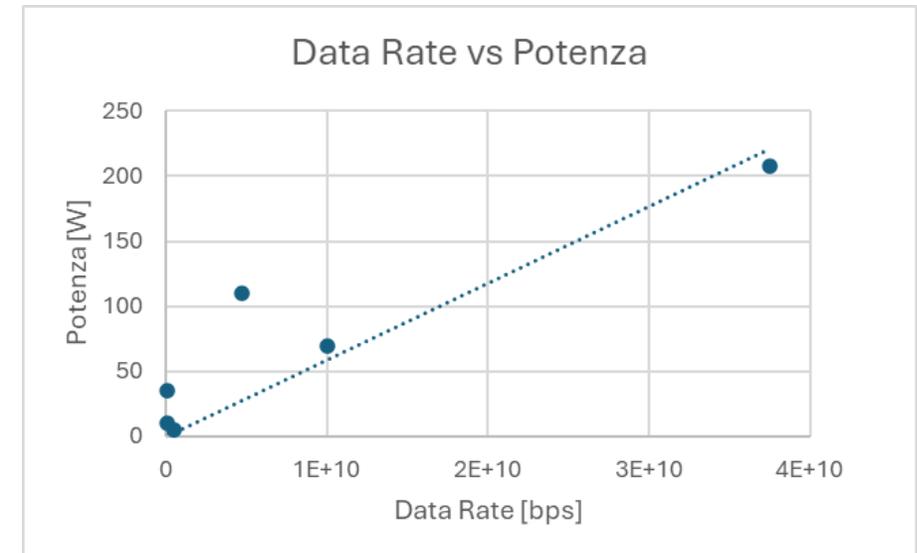
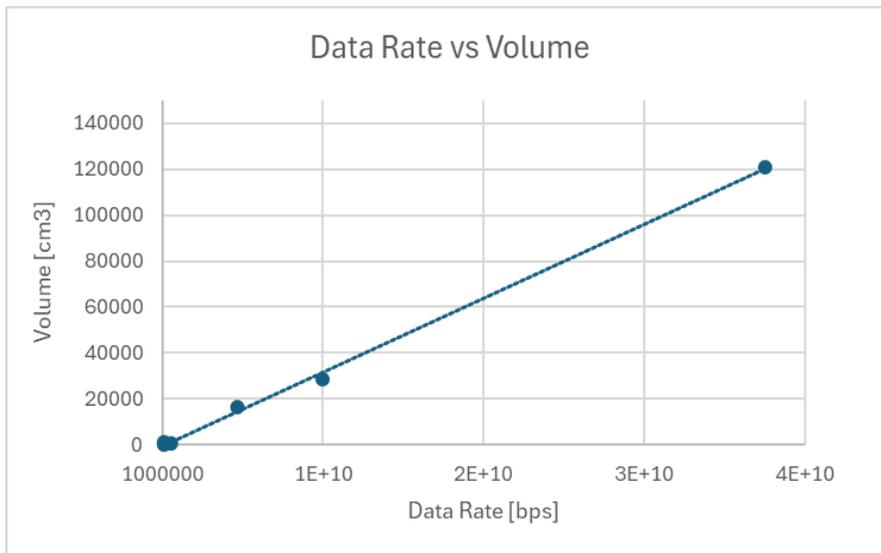
Svolti due tipi di calcoli:

- si è calcolata la potenza di trasmissione al variare della distanza e del link margin desiderato.
- stima degli ingombri e della potenza richiesta in funzione del Data Rate.

Ipotizzando un data rate di 10 Gbps si ottiene:

$$V \approx 30000 \text{ cm}^3$$

$$P \approx 60 \text{ W}$$



- Vengono definite le modalità di funzionamento del satellite.
- Valutando la schedule di queste durante un'orbita si stima RAM e mass storage.

Considerando:

- orbita circolare a 800km  1TB di mass storage e 8GB di RAM.

Basandosi poi sulla tabella:



*Dimensioni  $\approx 8000 \text{ cm}^3$*

*Peso  $\approx 5,5 \text{ kg}$*

*Potenza  $\approx 15 \text{ W}$*

		<b>Simple</b>	<b>Typical</b>	<b>Complex</b>	<b>Satellite Baseline</b>
<i>Size (cm<sup>3</sup>)</i>	<i>Command only</i>	1500-3000	2000-4000	5000-6000	3000
	<i>Telemetry only</i>	1500-3000	4000-6000	9000-10000	5000
	<i>Combined systems</i>	2500-6000	6000-9000	13000-15000	
<i>Weight (kg)</i>	<i>Command only</i>	1,5-2,5	1,5-3	4-5	2,5
	<i>Telemetry only</i>	1,5-2,5	2,5-4	6,5-7,5	3
	<i>Combined systems</i>	2,75-5,5	4,5-6,5	9,5-10,5	
<i>Power (nominal) (W)</i>	<i>Command only</i>	2	2	2	2
	<i>Telemetry only</i>	5-10	10-16	13-20	13
	<i>Combined systems</i>	7-12	13-18	15-25	

- Si ipotizza una potenza elettrica richiesta di 200W per dimensionare il pannello solare.
- Si è scelto un pannello a tripla giunzione con celle da 6x5cm.
- Coefficienti di temperatura a  $1 \times 10^{15} \text{ MeV/cm}^2$ .
- Le altre ipotesi fatte sono:

*Puntamento  $\pm 8^\circ$*

*$T_{MAX} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$*

*$\eta_{RAD} = 0,75$  Rendimento di perdita per radiazioni*

*$\eta_{TOT} = 0,92$  Prodotto degli altri rendimenti di perdita*

*$\eta_0 = 25,1\%$  rendimento cella*

*Fattore di riempimento  $f_p = 0,88$*

Con queste ipotesi si è stimata una superficie di circa  $1,25\text{m}^2$ .

- Si è stimato il numero di link che dovrà gestire il server con un algoritmo geometrico.
- Parametrizzato in funzione delle altitudini scelte e del limite di visibilità imposto.

Considerando:

- altitudine del server pari a 600km, gusci a 800, 950, 1100km
  - limite  $d=200\text{km}$
- ➔
- Ogni server si occuperà di 78 link.

Avendo 176 satelliti rilevatori si necessita quindi di almeno 3 piani orbitali con un server ciascuno.

Si è poi stimato che ogni server ha bisogno di 3,25 orbite per ricevere i dati da tutti i satelliti di sua competenza.

Tabella riassuntiva satelliti server

<b>Orbita</b>		
	Guscio 1	600km
<b>Link</b>		
	Link di competenza	78
	Link di competenza gestibili in un'orbita	24
<b>Generale</b>		
	Numero di server	almeno 3
	Ingombro satellite	$>1\text{m}^3$

Riassunto satelliti rilevatori

<b>Orbita</b>	3 gusci distanziati di 150km	
	Guscio 1	800km
	Guscio 2	950km
	Guscio 3	1100km
	Piani Orbitali	176
<b>Camere</b>	6 camere, una per lato	
	Distanza di osservazione	100km
	Risoluzione	36cm
	Data Rate	8 Gbps non compresso 0,8 Gbps se compresso
<b>Telecom</b>	Optical Inter Satellit Link OISL	
	Data Rate	10 Gbps
	Distanza massima	6000km
	Ingombro	30000cm <sup>3</sup>
	Potenza	60W
<b>C&amp;DH</b>	Driver più importante è il data rate	
	Mass storage	1TB
	RAM	8GB
	Ingombro	8000cm <sup>3</sup>
	Peso	5,5kg
	Potenza	15W
<b>Potenza</b>	Pannello solare a tripla giunzione	
	Potenza richiesta	200W
	Superficie pannello	1,25m <sup>2</sup>
<b>Generale</b>		
	Numero di Satelliti	176
	Ingombro satellite	max 1m <sup>3</sup>

Riassunto satelliti server

<b>Orbita</b>		
	Guscio 1	600km
<b>Link</b>		
	Link di competenza	78
	Link di competenza gestibili in un'orbita	24
<b>Generale</b>		
	Numero di server	almeno 3
	Ingombro satellite	>1m <sup>3</sup>

## Prossimi passi:

- Affinare i risultati basandosi su stime più precise.
- Analizzare la complessità del processo di propagazione orbitale, per definire il sottosistema di OBDH nei server.
- Trovare la strategia migliore per l'edge computing.

- [1] Lei Cheng, Gang Feng, Yao Suny, Mengjie Liu, Shuang Qin, “Dynamic Computation Offloading in Satellite Edge Computing”.
  - [2] Hai Li, Jinyang Yu, Lili Cao, Qin Zhang, Zhengyu Song, Shujuan Hou, “Multi-agent reinforcement learning based computation offloading and resource allocation for LEO Satellite edge computing networks”.
  - [3] Yafei Zhao, Jiaen Zhou, Zhenrui Chen, Xinyang Wang, “A DRL-Based Satellite Service Allocation Method in LEO Satellite Networks”.
  - [4] Min Jia, Liang Zhang, Jian Wu, Qing Guo, Xuemai Gu, “Joint Computing and Communication Resource Allocation for Edge Computing towards Huge LEO Networks”.
  - [5] Qing Li, Shangguang Wang, Xiao Ma, Qibo Sun, Houpeng Wang, Suzhi Cao, Fangchun Yang, “Service Coverage for Satellite Edge Computing”.
  - [6] Shengyu Zhang, Kwan L. Yeung, “Scalable routing in low-Earth orbit satellite constellations: Architecture and algorithms”.
  - [7] Francesco Valente, Vincenzo Eramo, Francesco G. Lavacca, “Optimal bandwidth and computing resource allocation in low earth orbit satellite constellation for earth observation applications”.
  - [8] Shangguang Wang, Qing Li, Mengwei Xu, Xiao Ma, Ao Zhou, Qibo Sun, “Tiansuan Constellation: An Open Research Platform”.
  - [9] Liang Qiao, Hongcheng Yan, Xiaoyi Zhou, Yong Xu, Luyuan Wang and Xin Wen, “Onboard Centralized ISL-Building Planning for LEO Satellite Constellation Networks”
  - [10] <https://www.eoportal.org/satellite-missions/skysat>
  - [11] Planet SkySat Imagery Product Specification Oct2019
  - [12] Jintao Liang, Aizaz U. Chaudhry, Eylem Erdogan, and Halim Yanikomeroglu, “Link Budget Analysis for Free-Space Optical Satellite Networks”
  - [13] Sunita Khichar, Pawan Kumar Inaniya, “Inter-satellite Optical Wireless Communication System Design using Diversity Technique with Filter and Amplifier”
  - [14] <https://pressbooks-dev.oer.hawaii.edu/epet302/front-matter/introduction/>
  - [15] J.R. Wertz ,W.J. Larson, Space Mission Analysis and Design
-

GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE