



**Politecnico
di Torino**

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in ingegneria aerospaziale e astronautica

Ottimizzazione delle sequenze per la rimozione multipla di detriti spaziali

**Candidato:
Marco Perello**

**Matricola:
s281630**

**Relatore:
Prof. Lorenzo Casalino**

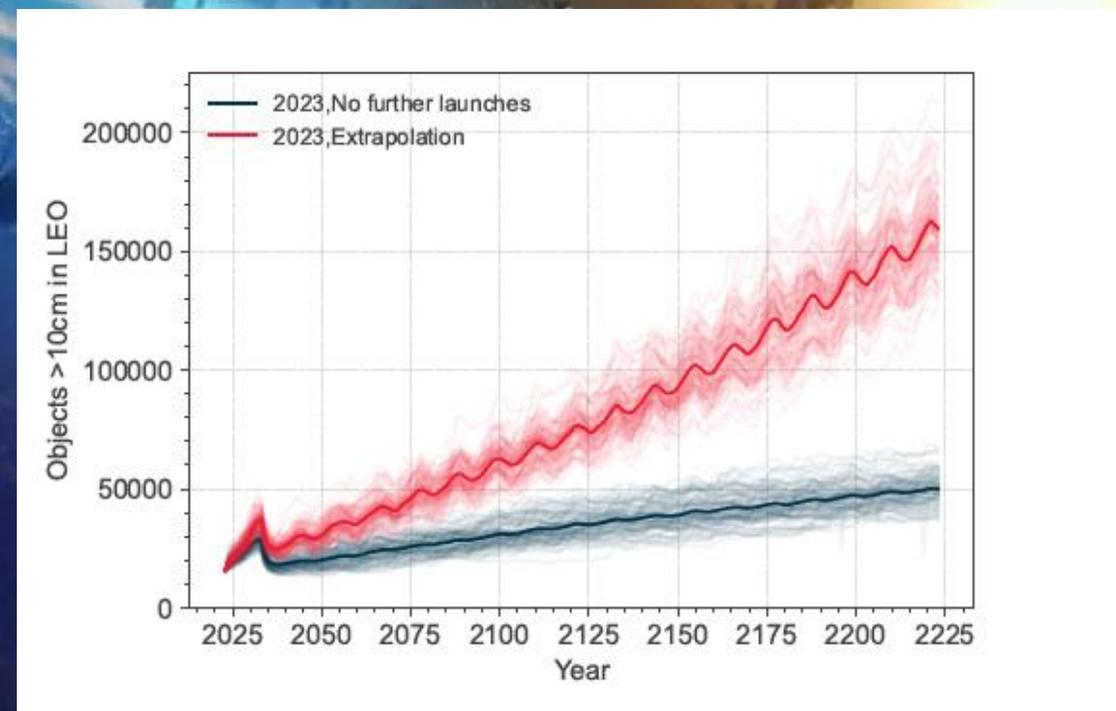
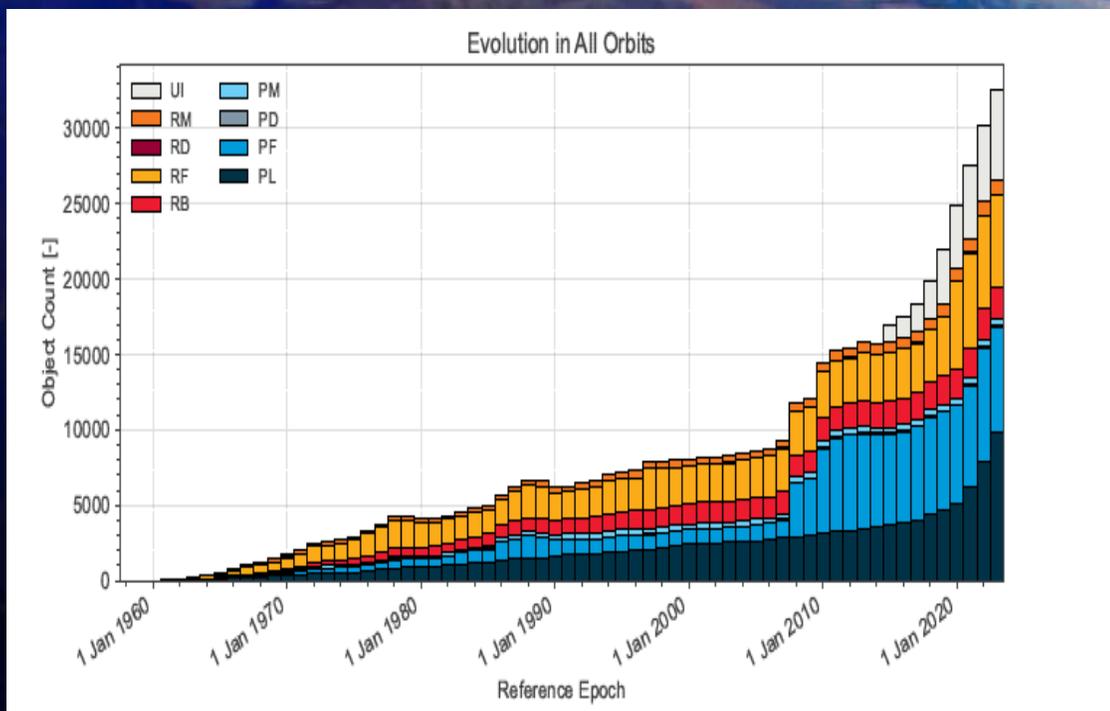
1. Introduzione



Politecnico
di Torino

Ottimizzazione delle sequenze per le missioni di rimozione
multipla di detriti spaziali

Statistiche detriti spaziali



Rimozione attiva dei detriti orbitali

1.Introduzione

FASE 1

- Lancio ed inserzione in orbita



FASE 2

- Rendez-vous e cattura del detrito



FASE 3

- Deorbitazione o Reorbitazione



Metodi ottimizzazione evolutivi

1.Introduzione

Alcuni esempi sono:

- ACO;
- Algoritmi genetici;
- PSO;
- Artificial bee colony method.

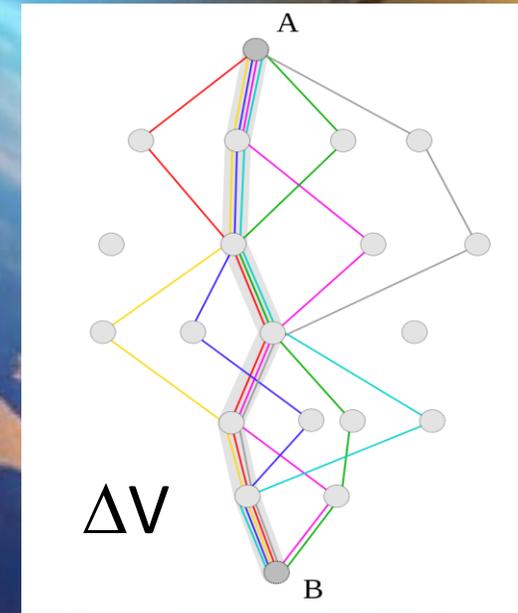
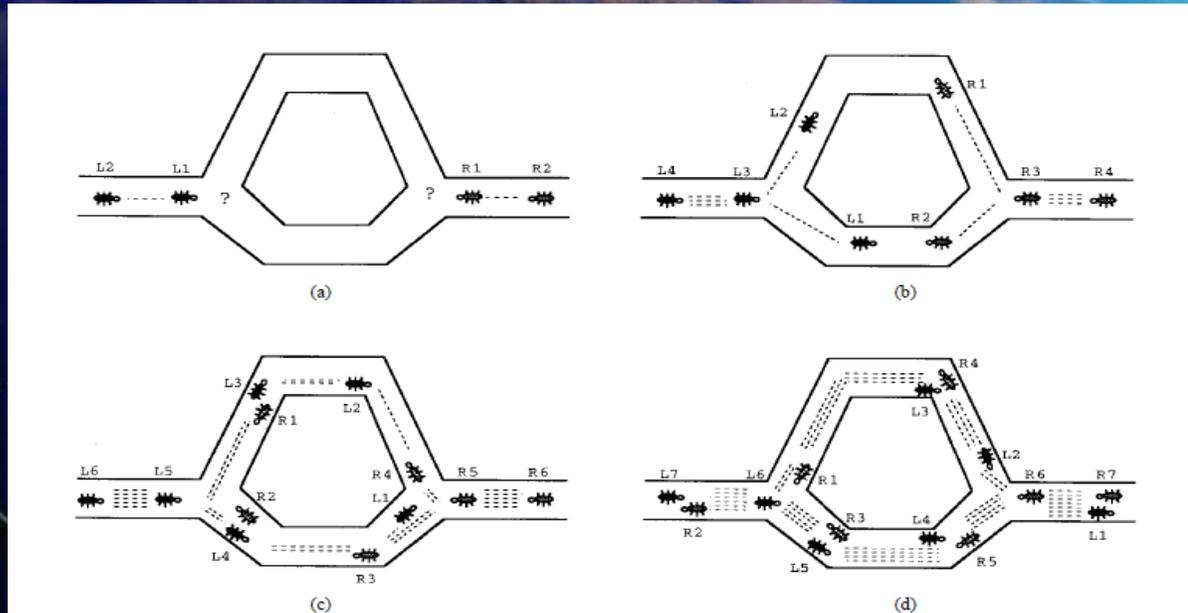


2. ACO e procedura di calcolo



Ant Colony Optimization algorithm

Aco e procedura di calcolo



Ant Colony Optimization algorithm

Aco e procedura di calcolo

Formulazione probabilistica ACO

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{il}^\alpha \eta_{il}^\beta}{\sum_{c_{ij} \in N(s^p)} \tau_{il}^\alpha \eta_{il}^\beta} & \text{se } c_{ij} \in N(s^p) \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{se } k \text{ è passata sull'arco } ij \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k$$



Simple ΔV Approximation for Optimization of debris to debris Transfers

1 impulso nel punto A	1 impulso nel punto B	1 impulso sia in a che in B
$\Delta v_A = \sqrt{(x_0)^2 + y^2 + z^2}$	$\Delta v_f = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$	$\begin{aligned} \Delta v_{tot} &= \sqrt{(s_x x)^2 + (s_y y)^2 + (s_z z)^2} \\ &+ \sqrt{(x - s_x x - \Delta x)^2 + (y - s_y y)^2 + (z - s_z)^2} \end{aligned}$

Definizioni di x , y , z

$$x = (\Omega_{k+1}(t_{k+1}) - \Omega_k(t_k)) \sin i_0 v_0$$

$$y = \frac{a_{k+1} - a_k}{2a_0} v_0 \quad v_0 = \sqrt{\frac{\mu}{a_0}}$$

$$z = (i_{k+1} - i_k) v_0$$



Flow chart ACO

Aco e procedura di calcolo



A wide-angle view of Earth from space, showing a dense field of space debris. The Earth's surface is visible in shades of blue and brown, with a bright blue atmospheric glow along the horizon. The sun is visible in the upper right corner, creating a bright yellow and orange glow. Numerous pieces of debris, including satellite components, solar panels, and fragments, are scattered across the field of view.

3. Risultati dell'analisi



Analisi con numero crescente di detriti

Risultati dell'analisi

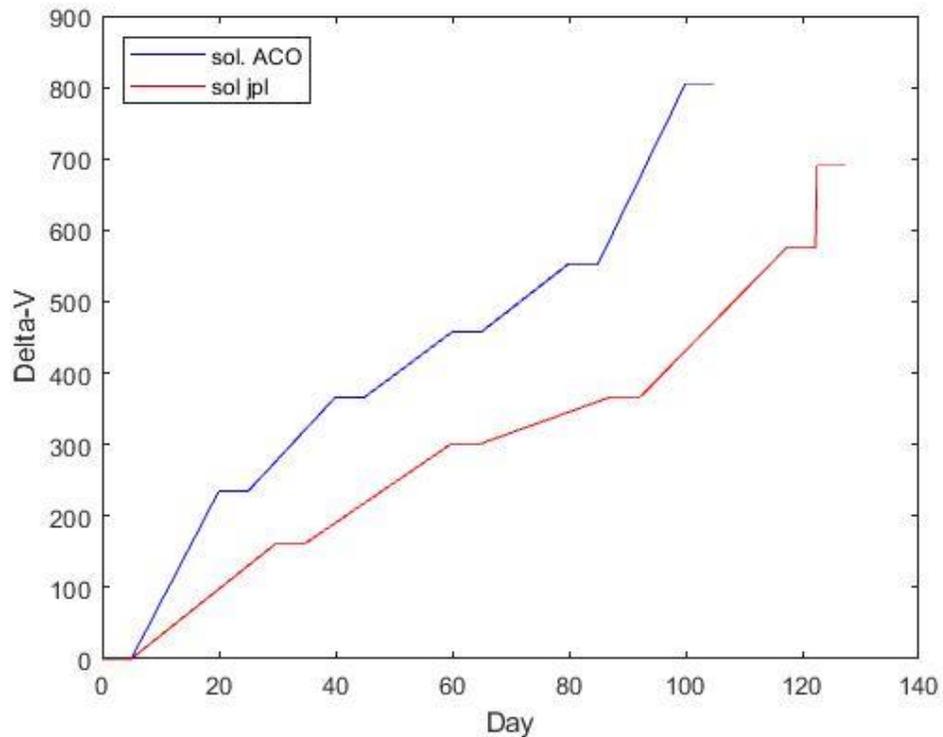
Fino a sei detriti

n° detriti	1°	2°	3°	4°	5°	totale
2	234,7527	0	0	0	0	234,7527
3	234,7527	131,7955	0	0	0	366,55
4	234,7527	131,7955	91,3098	0	0	457,8581
5	234,7527	131,7955	91,3098	95,6124	0	553,47
6	234,7527	131,7955	91,3098	95,6124	252,0178	805,4884

Analisi con numero crescente di detriti

Risultati dell'analisi

Confronto risultati JPL



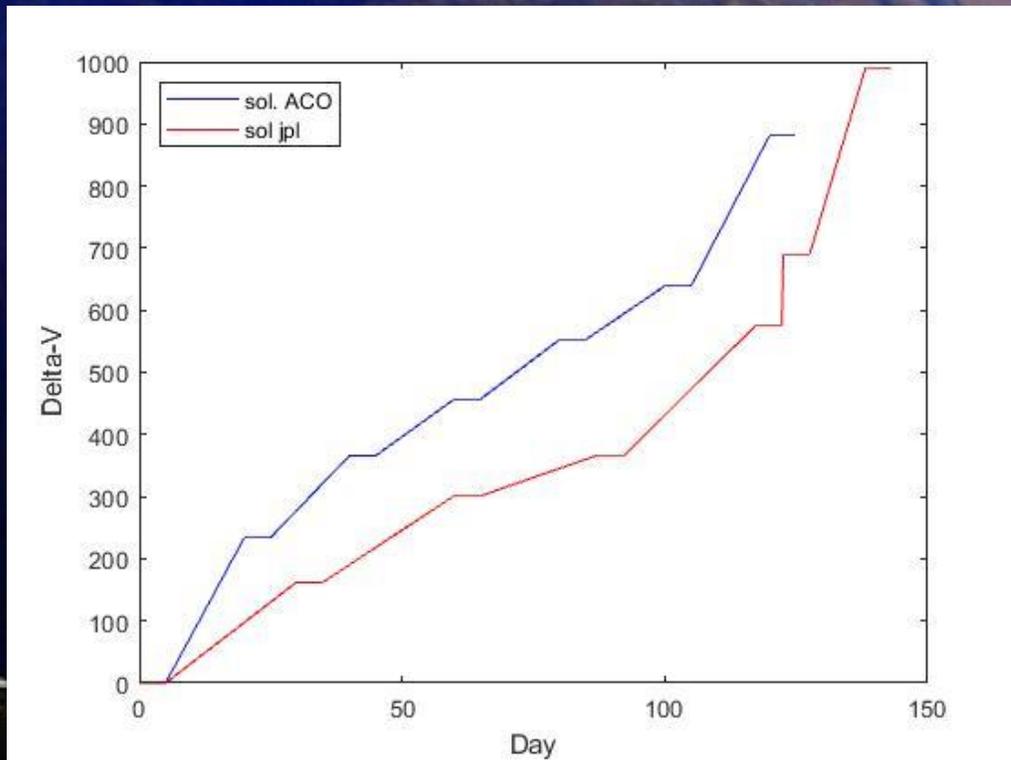
	Costi degli archi					totale
Jpl	161,8	139,2	65,8	208,2	115,2	690,2
ACO	234,527	131,7955	91,3098	95,6124	252,0178	805,4884

	Sequenze
Jpl	1,2,3,4,5,6
ACO	1,2,3,4,5,6

Analisi con numero crescente di detriti

Risultati dell'analisi

Analisi con sette detriti



sequenza	1°	2°	3°	4°	5°	6°	totale
A	234,7527	131,7955	91,3098	95,6124	252,0178	242.5293	1048
B	234,7527	131,7955	91,3098	95,6124	86,2972	243,1787	882,94

	Sequenze
Jpl	1,2,3,4,5,6,7
ACO	1,2,3,4,5,7,6

Analisi con numero crescente di detriti

Risultati dell'analisi

Oltre sette detriti

sequenze	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
C	234,7527	694,0545	165,4339	157,5665	97,6632	229,1002	237,8374
D	234,7527	154,1579	91,5097	219,1985	86,2972	243,1787	1056,5
A	234,7527	131,7955	91,3098	95,6124	252,0178	242,5293	1273,8

catena	sequenza	ΔV totale
C	1,2,8,4,3,5,7,6	1816,4 m/s
D	1,2,4,3,5,7,6,8	2085,6 m/s
A	1,2,3,4,5,6,7,8	2345,8175 m/s

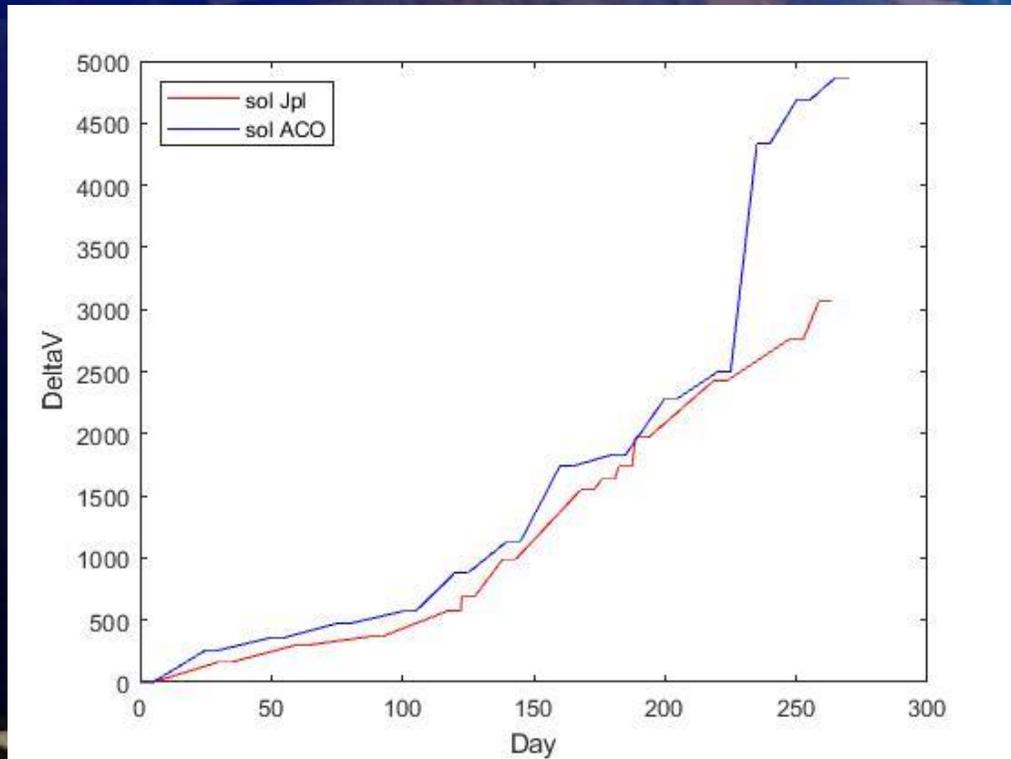
Numero di detriti	sequenze	ΔV
9	3,4,8,2,5,7,6,9,1	2219,4 m/s
10	4,3,2,8,5,7,10,6,9,1	2628 m/s
11	4,3,2,9,8,10,11,5,7,6,1	2802,3 m/s
12	4,2,3,8,12,10,11,5,7,6,9,1	3839,8 m/s
13	2,4,3,8,12,11,10,5,6,9,1,13,7	5053,6 m/s
14	2,4,3,5,12,11,10,6,7,14,13,1,9,8	5238,4 m/s

Suddivisione in 5 sotto-catene

Suddivisioni	Detriti	Durate
1°	Dal 1° al 5°	20 giorni
2°	Dal 5° all'8°	15 giorni
3°	Dall'8° all'11°	15 giorni
4°	Dall'11° al 13°	10 giorni
5°	13 e 14	10 giorni

Studio con durate diverse

Risultati dell'analisi



	sequenza	ΔV complessivo
1	1,2,3,4,5	570,5835 m/s
2	5,7,6,8	1169.6566 m/s
3	8,9,10,11	758.4387 m/s
4	11,12,13	2183.714 m/s
5	13,14	185,8120 m/s

Ne è emerso che l'ACO:

- ❖ è veloce e affidabile per insiemi di pochi detriti;
- ❖ Ha difficoltà a trovare la soluzione con molti detriti;
- ❖ Sarebbe molto complesso ottimizzare catene con trasferte con durate variabili