



**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

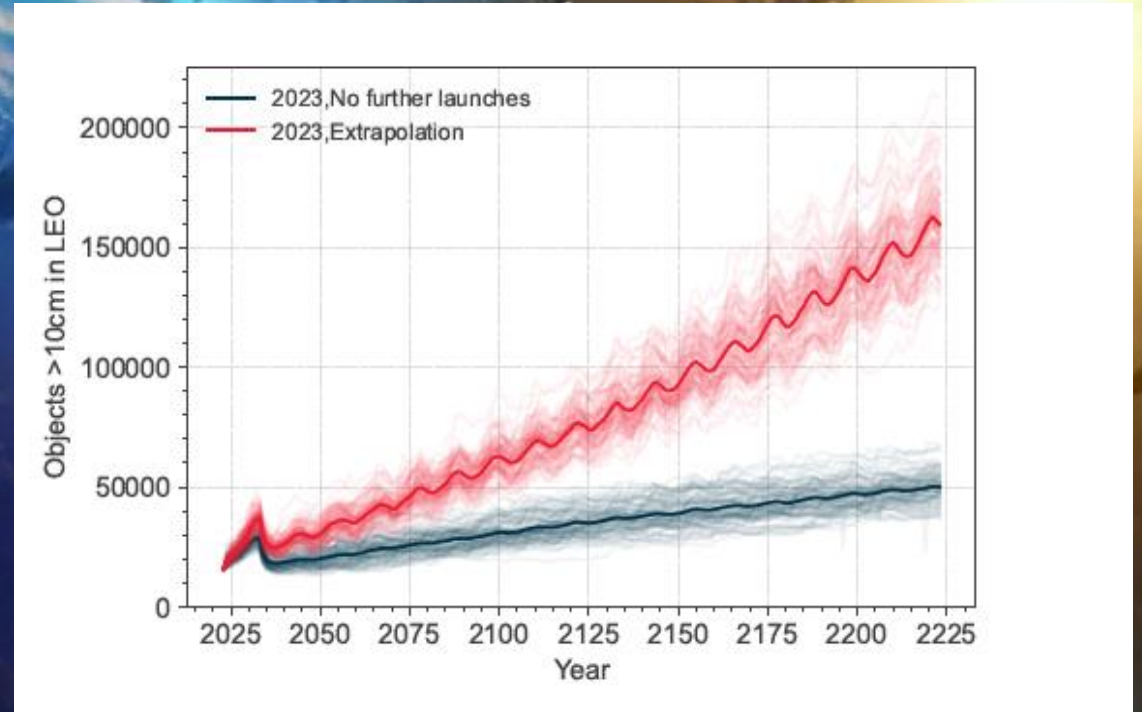
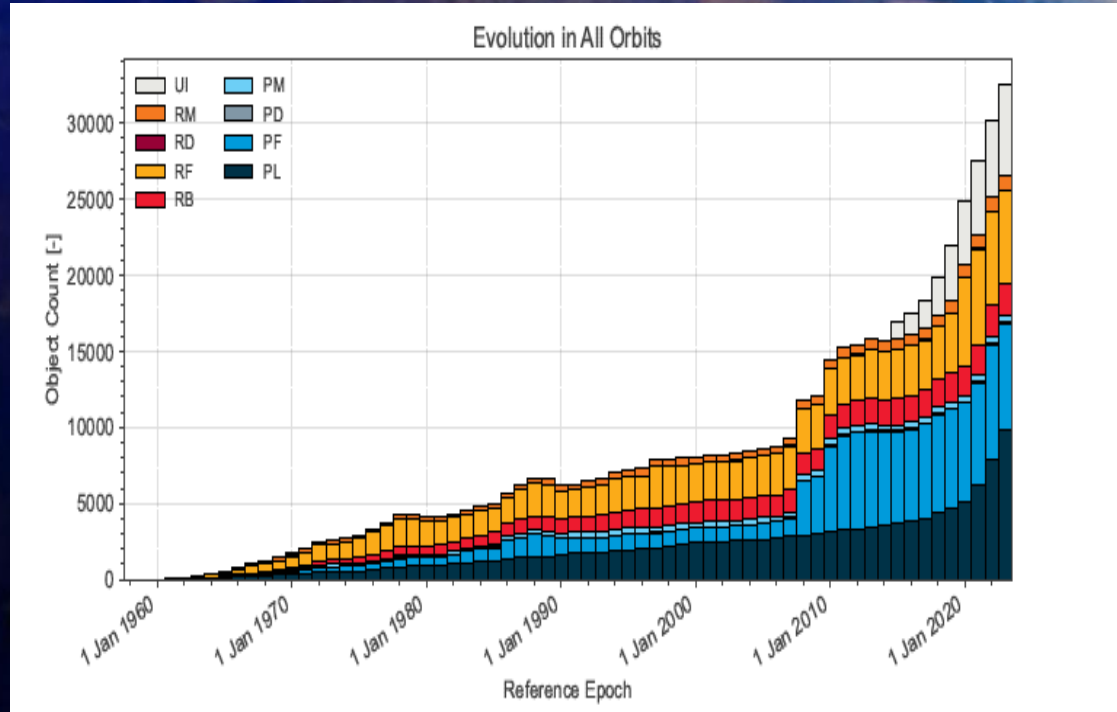


Politecnico  
di Torino

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

# Statistiche detriti spaziali

## 1.Introduzione



# 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

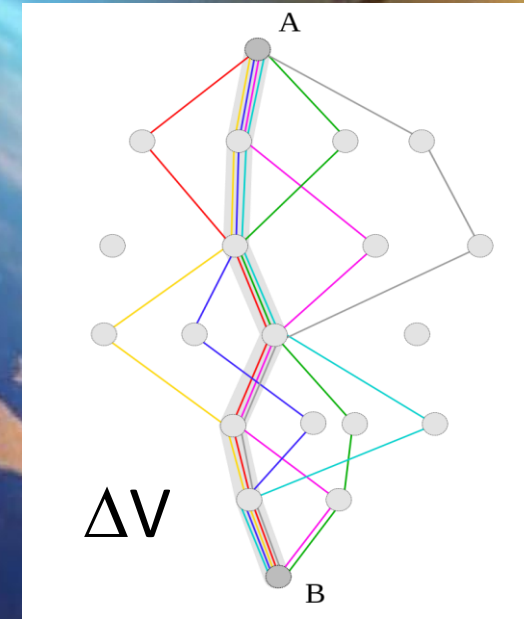
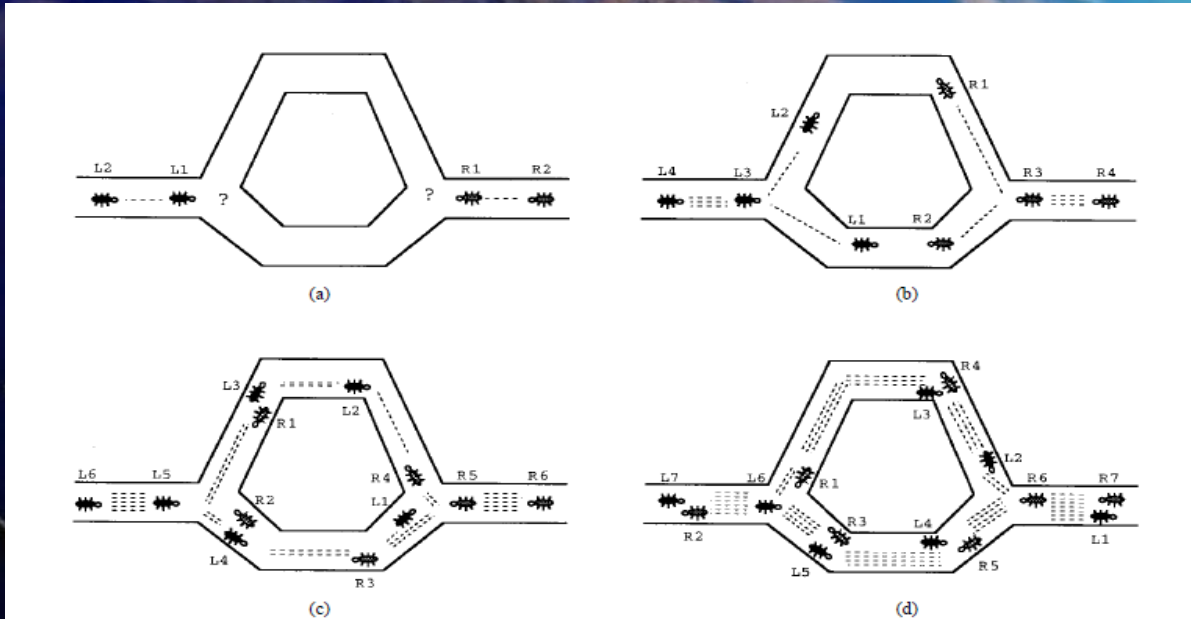


Politecnico  
di Torino

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

# 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 $\Delta V$ 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 $x, y, z$

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

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

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

# Dati in input

Aco e procedura di calcolo



# Flow chart ACO

Aco e procedura di calcolo



A dramatic space-themed background image showing a dense field of space debris, including various sized fragments and satellite components, floating above the Earth's horizon. The sun is visible on the right, creating a bright glow and illuminating the scene. The Earth's surface shows landmasses and oceans.

## 3. Risultati dell'analisi



# Analisi con numero crescente di detriti

Risultati dell'analisi

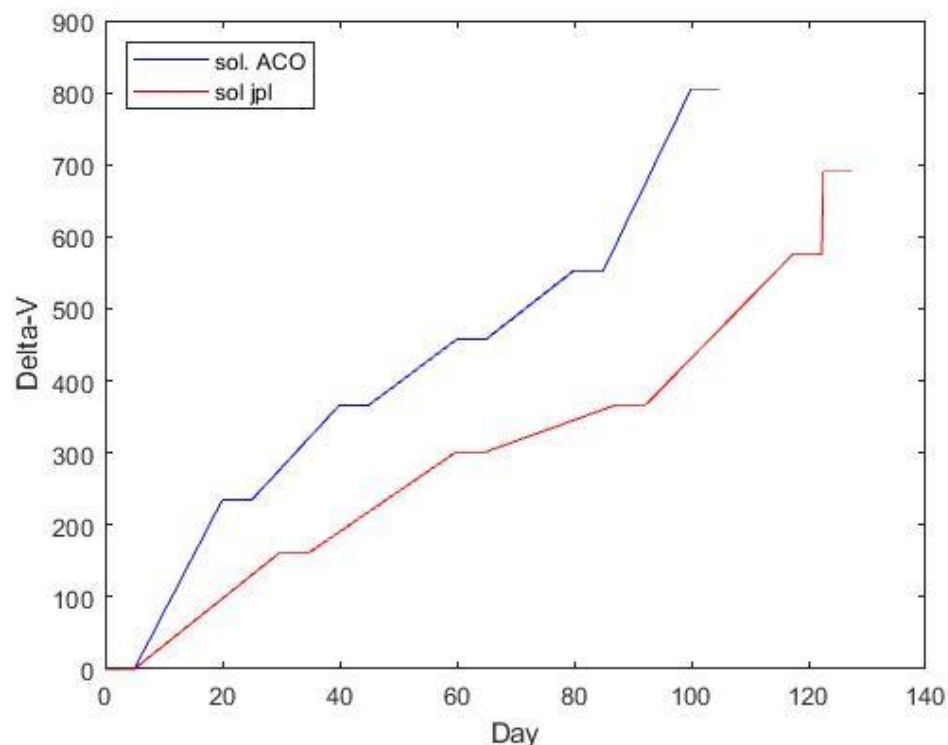
## Fino a sei detriti

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



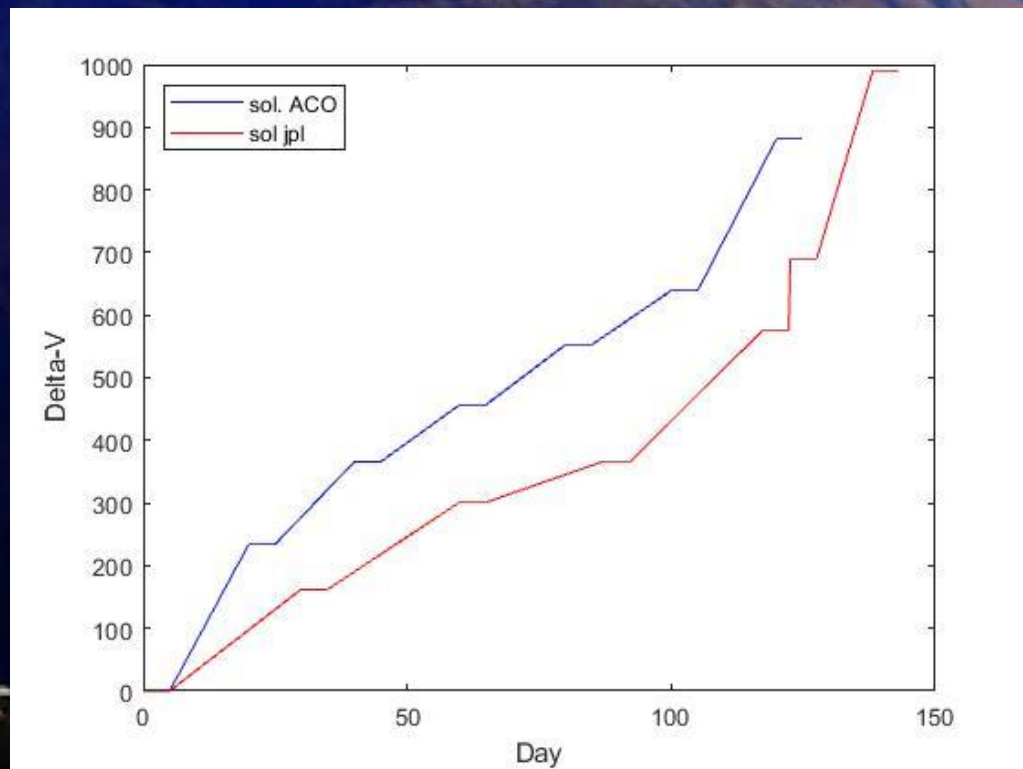
	Costi degli archi					totale
Jpl	161,8	139,2	65,8	208,2	115,2	690,2
ACO	234,527	131,7955	91,3098	95,6124	252,0178	805,4884

	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	$\Delta V$ 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	$\Delta V$
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

# Studio con durate diverse

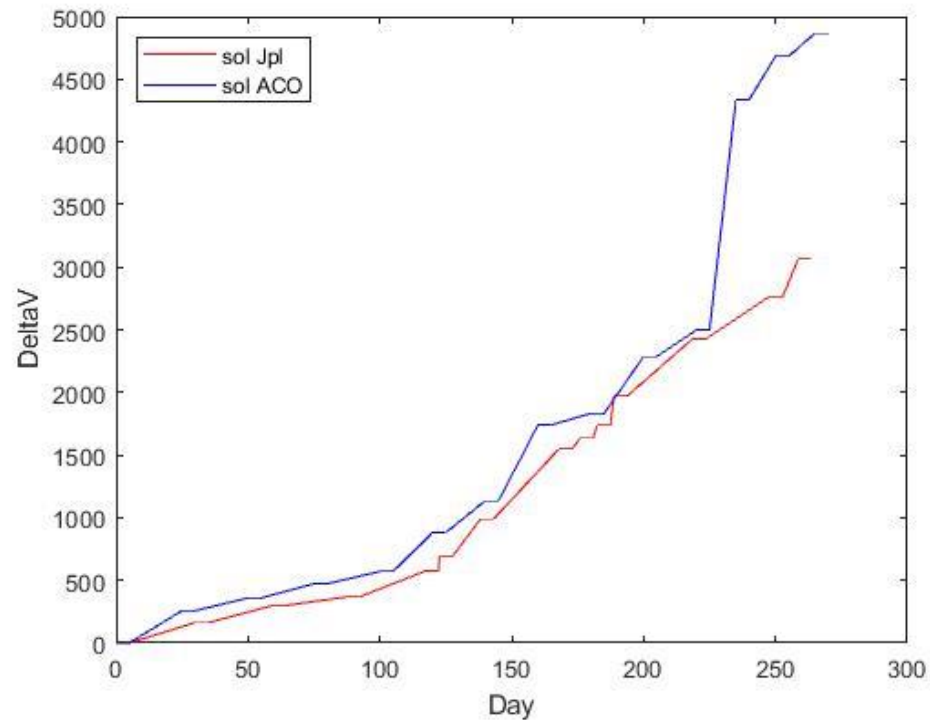
Risultati dell'analisi

## 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	$\Delta V$ 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