

INTERFEROMETRIC MISSION

ESA challenge

INDICE

01

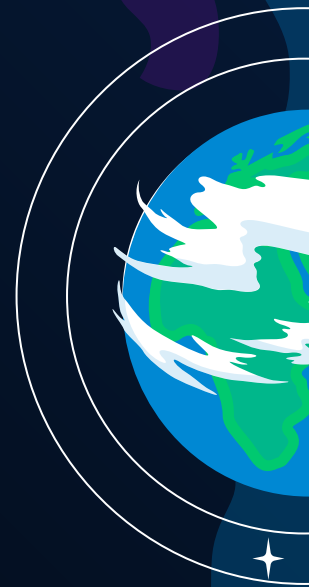
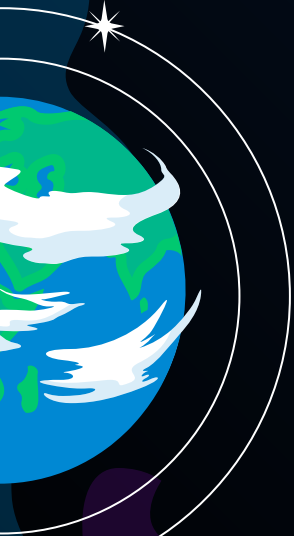
DESCRIZIONE PROBLEMA

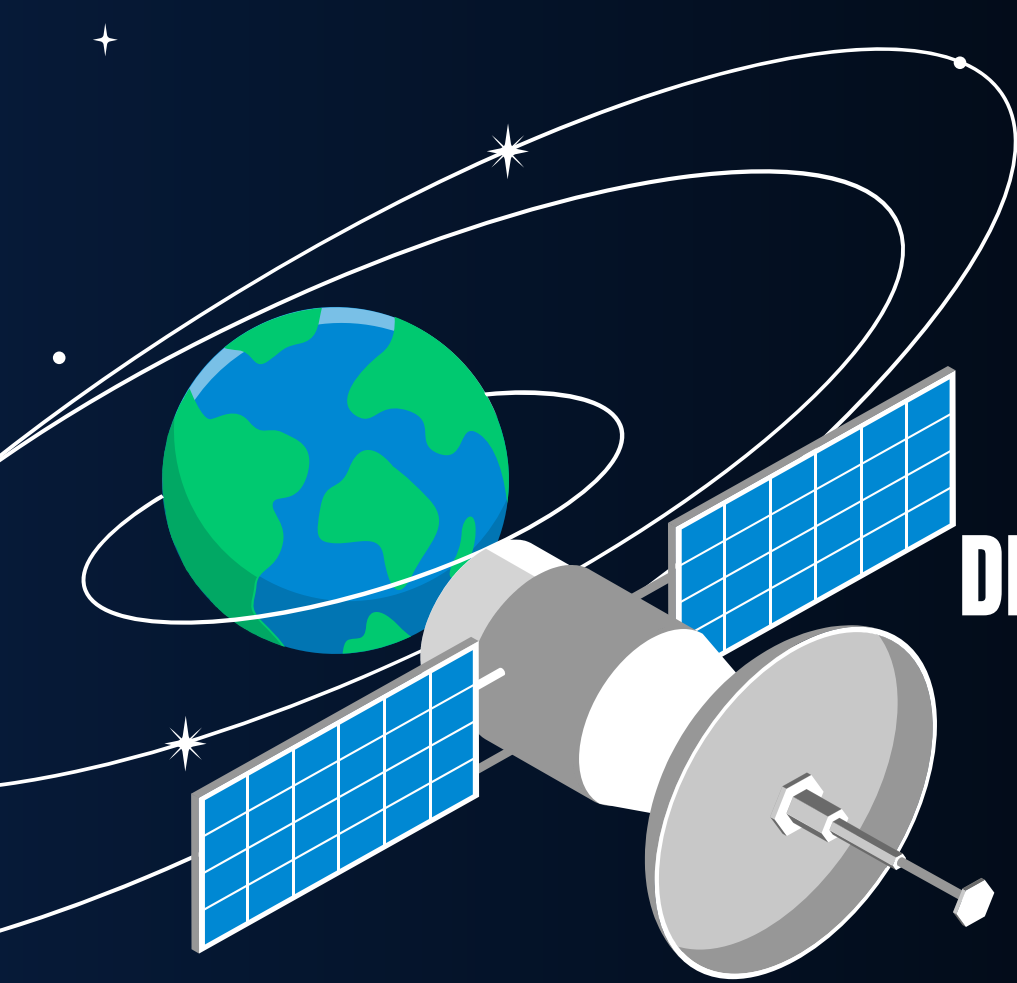
02

ALGORITMI UTILIZZATI

03

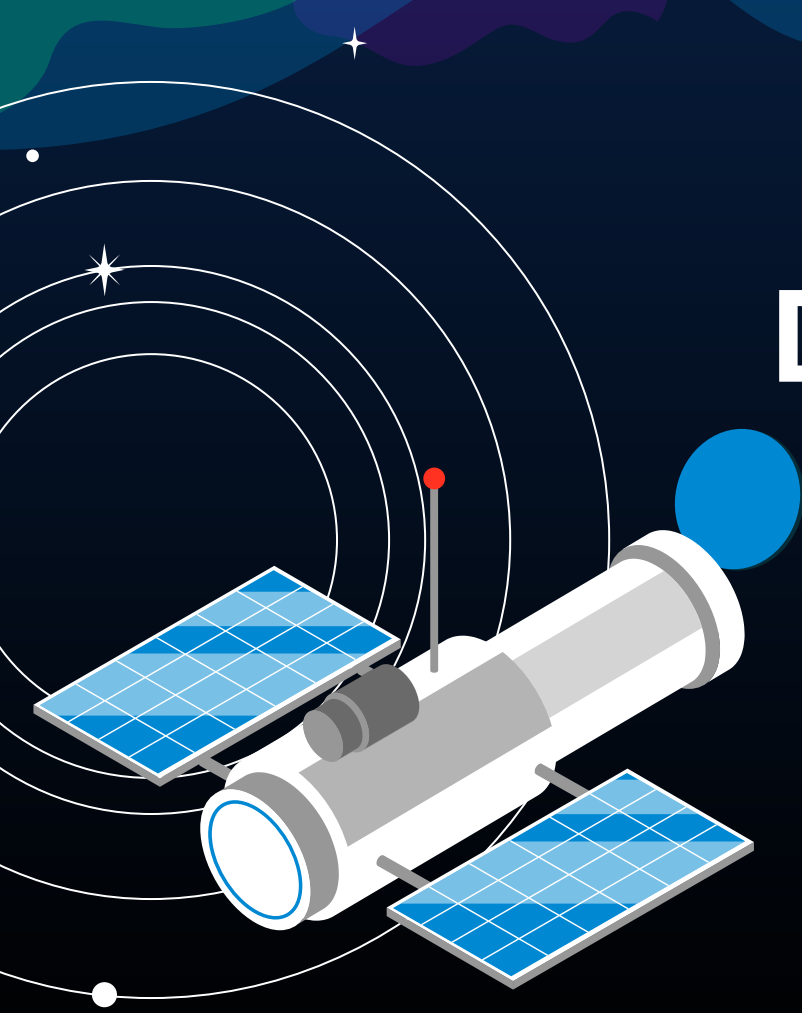
VALUTAZIONE PRESTAZIONI





01

DESCRIZIONE PROBLEMA



DESCRIZIONE PROBLEMA

OBIETTIVO PRINCIPALE

Configurare N satelliti (posizione e velocità iniziali) in modo da mantenere una configurazione utile per più orbite sui piani xy xz yz .

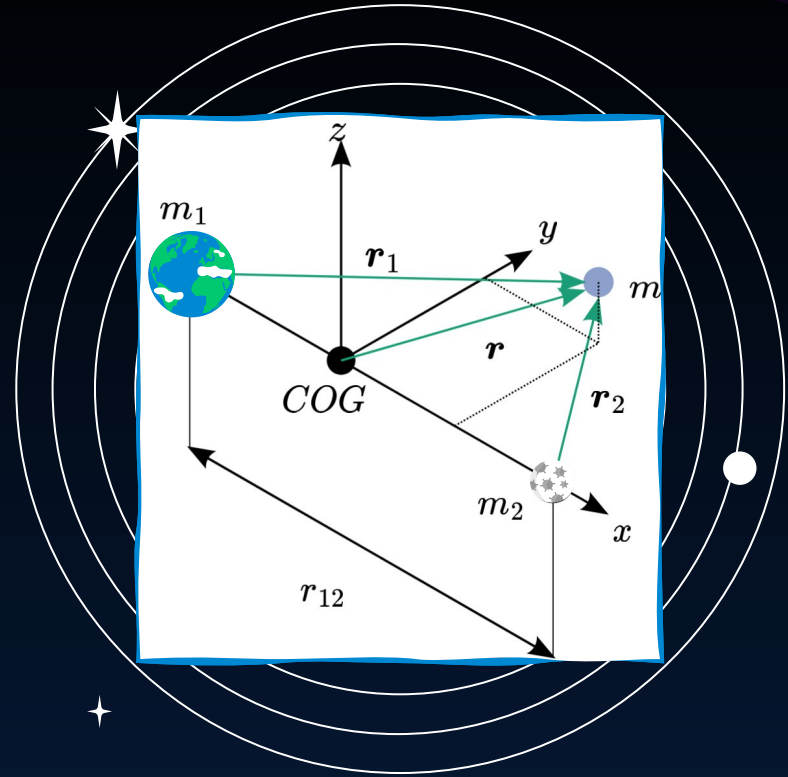
PERCHÉ

Per catturare immagini dai corpi celesti lontani, tramite satelliti, ci sono due possibilità:

- Costruire un **unico satellite** con un telescopio di grade diametro
- Utilizzare una **costellazione di satelliti** più piccoli e, tramite tecniche interferometriche, simularne un unico più grande

CENNI DEL MODELLO FISICO

Circular Restricted 3-Body Problem

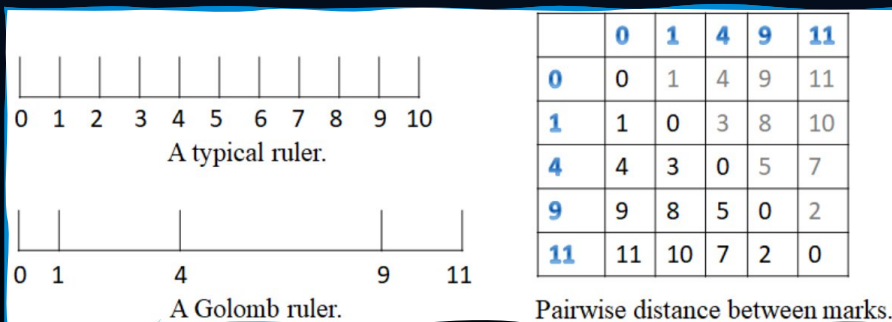


DISPOSIZIONE VOLUTA DEI SATELLITI

GOLOMB PATTERN

Un modello di Golomb è definito come un insieme di punti su una griglia tale per cui le distanze a coppie, non nulle, tra i vari punti sono **tutte distinte**;

➤ La griglia contiene solo pattern unici



PERCHÉ

l'interferometria su un'immagine osservata:

$$I_r = I_o * IFFT(OTF)$$

Optical Transfer Function (OTF) descrive come una «camera» cattura le frequenze spaziali di I_o

Descriviamo l'OTF mediante il piano-uv: rappresentazione nello spazio delle frequenze spaziali

Il piano-uv è collegata all'autocorrelazione del piano di osservazione

FORMALIZZAZIONE

DETTAGLI DEL PROBLEMA

La costellazione di S satelliti deve seguire una nave madre che orbita nel sistema Terra-Luna, cui sono fornite le condizioni iniziali a $t = 0$.

L'obiettivo di questa sfida è trovare le condizioni iniziali dei satelliti, in modo che questi rispettino il pattern di Golomb quanto più possibile per $T = 3$ periodi orbitali del satellite madre.

FUNZIONE OBIETTIVO

In ogni periodo, le posizioni dei satelliti vengono proiettati su tre piani: XY, XZ e YZ;

Viene poi applicata una griglia $N \times M$ alle posizioni dei satelliti e calcolata l'autocorrelazione;

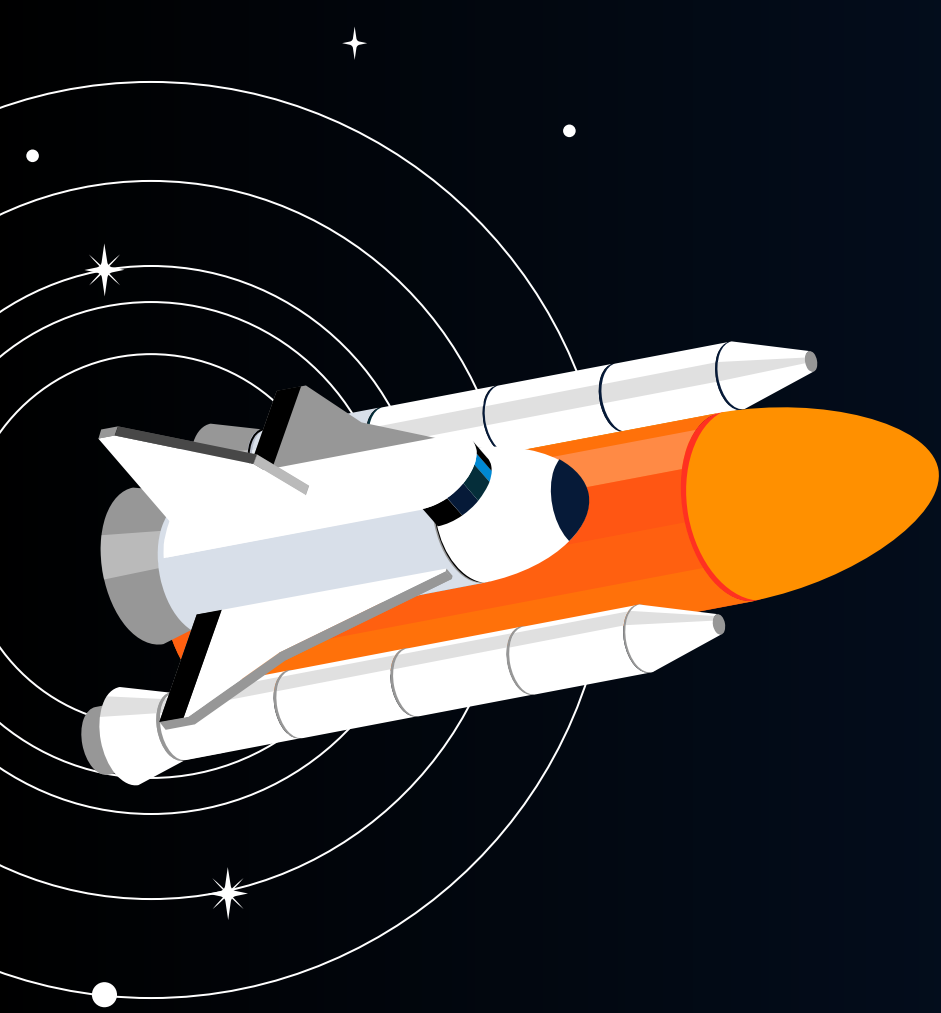
Viene poi calcolato lo «score» per ogni piano sulla base di quanti elementi non nulli ci sono sulla matrice di correlazione:

$$f_{ip} = \frac{K_{ip}}{(2M-1)(2N-1)}$$

Concludendo:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = [dx_1, \dots, dx_S, dy_1, \dots, dy_S, dz_1, \dots, dz_S, dvx_1, \dots, dvx_S, dvy_1, \dots, dvy_S, dvz_1, \dots, dvz_S] \\ f(x) = - \min_{i \in \{1,2,3\}} \sum_{p \in \{xy,xz,yz\}} f_{ip}(x) \end{array} \right.$$

** la ricostruzione ottima dell'immagine è un **obiettivo facoltativo** dato dipende anche da altri fattori*



02

ALGORITMI UTILIZZATI

ALGORITMI UTILIZZATI



• DIFFERENTIAL EVOLUTION

*Algoritmo Evolutivo basato su
differenze vettoriali*



GREY WOLF

*Algoritmo Collettivo ispirato alle
strategie di caccia dei lupi grigi*



NSGA-II

*Algoritmo Genetico specializzato
nei problemi multi-obiettivo*

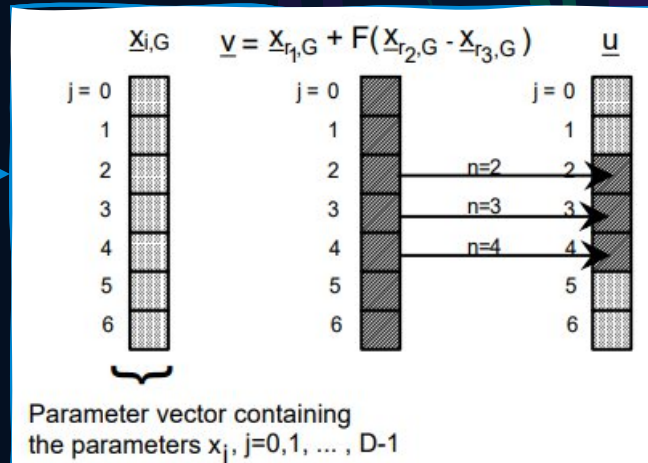
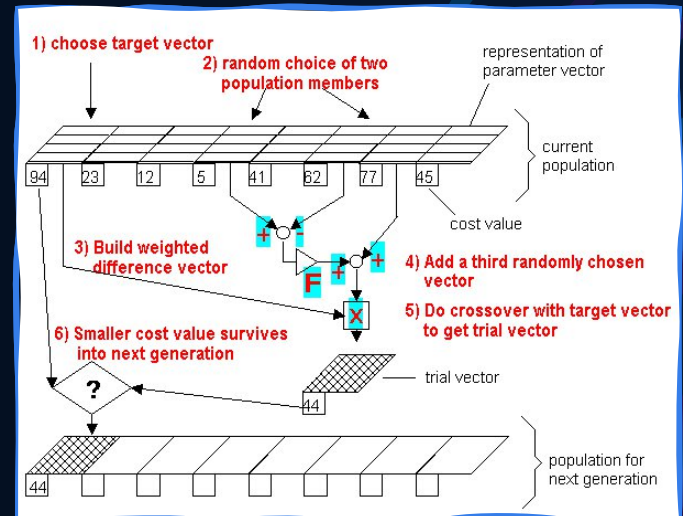
DIFFERENTIAL EVOLUTION

- **Algoritmo Evolutivo** basato differenze vettoriali;
- **Flessibile ed efficace** nella ricerca in spazi ad alta dimensionalità.

Generazione Nuova Popolazione best/1/bin

Per ogni vettore x_i appartenente alla popolazione attuale viene:

- **Mutazione:** $v_i = x_{best} + w(x_j - x_k)$ con $\begin{cases} i \neq j \neq k \\ w \in [0,2] \end{cases}$;
- **Clipping:** se uno degli elementi di v_i non si trova nello spazio di ricerca, questo viene riportato forzatamente al primo valore utile;
- **Crossover:** gli elementi del vettore x_i vengono sostituiti con quelli di v_i con probabilit  $CR \in [0,1]$ ottenendo cos  un vettore candidato \hat{v}_i ;
- **Selezione:** se \hat{v}_i   tale per cui $F(\hat{v}_i) < F(x_i)$, nel caso di problemi di minimizzazione, questo lo sostituisce nella prossima popolazione.



GREY WOLF



Ispirazione naturale:

Simula il comportamento di caccia dei lupi grigi, dove i lupi alfa, beta e delta guidano il branco verso la preda

Gerarchia sociale:

I lupi sono organizzati in una gerarchia sociale rigida:

- 1. Alfa:*** Leader, determina la direzione della caccia.
- 2. Beta:*** Aiuta l'alfa, influenza gli altri membri del branco.
- 3. Delta:*** Sottomesso all'alfa e al beta, dominano gli omega
- 4. Omega:*** Sono i capri espiatori, non prendono decisioni, sono gli ultimi a mangiare

Fasi principali della caccia:

- 1. Tracciare, inseguire ed avvicinare la preda***
- 2. Circondare e molestare la preda***
- 3. Attaccare***

Fase preliminare:

Inizializzo la popolazione X_i ($i = 1, 2, \dots, n$)

Inizializzo \vec{a} , \vec{A} , \vec{C}

Gerarchia sociale iniziale:

Calcolo la fitness per ogni agente (lupo):

X_α = Il miglior agente (fitness migliore)

X_β = il secondo miglior agente

X_δ = il terzo miglior agente

Inizio ciclo di caccia:

1. Ogni agente aggiorna la sua posizione seguendo α , β , δ

$$\vec{X}(t+1) = \frac{(\vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\alpha - \vec{X}|) + (\vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}|) + (\vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}|)}{3}$$

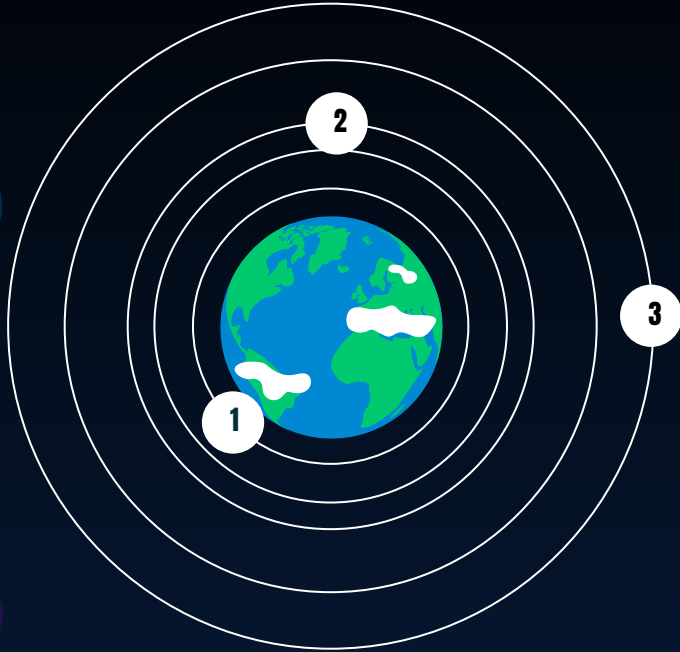
2. Aggiorniamo \vec{a} , \vec{A} , \vec{C}

3. Calcoliamo la fitness per ogni agente ed aggiorniamo la gerarchia

4. Il ciclo di ripete per ogni iterazione



NON-DOMINATED SORTING GENETIC ALGORITHM v2



1. *Algoritmo evolutivo multi-obiettivo basato su popolazioni*
2. *Efficiente nel trovare soluzioni non dominate e diversificate nel fronte di Pareto*
3. *Robusto nella gestione di obiettivi in conflitto e nella conservazione della diversità.*

• NSGA-II

NSGA-II: Evoluzione della Popolazione

Popolazione iniziale : Generata casualmente nello spazio di ricerca.

Ordinamento Pareto : Classificazione individuale in fronti non dominati basata sugli obiettivi.

$$\forall i \quad f_i(x_1) \leq f_i(x_2) \wedge \exists j, f_j(x_1) < f_j(x_2)$$

Crowding Distance : Distanza tra soluzioni nel fronte di Pareto per preservare la diversità.

$$D_i = \sum_{i=1}^N \frac{f_i^{k+1} - f_i^{k-1}}{f_i^{max} - f_i^{min}}$$

Generazione Nuova Popolazione

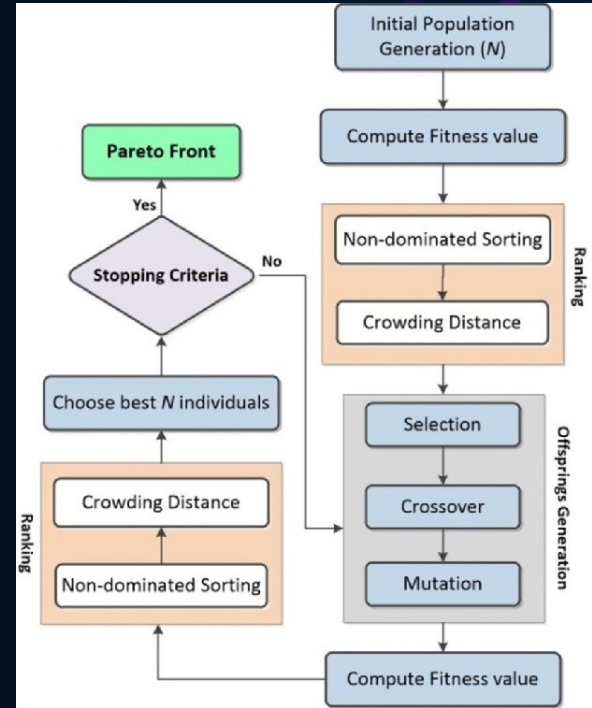
Selezione : Individui migliori (rank basso, alta distanza di affollamento) selezionati.

Crossover : Combina coppie di individui per generare soluzioni figlie.

Mutazione : Introduce variazione casuale per esplorare lo spazio di ricerca.

Iterazioni

Ripeti per un numero predefinito di generazioni o fino al raggiungimento di un criterio di arresto



• NSGA-II

SCELTA DELLE FITNESS

Abbiamo analizzato i dati sia per un problema semplice che per un problema di complessità media, utilizzando due approcci principali:

Metodo con 3 fitness: dove gli obiettivi erano basati sui fattori di riempimento ai tre istanti temporali specifici.

- **f1:** Fattore di riempimento relativo al primo istante temporale.
- **f2:** Fattore di riempimento relativo al secondo istante temporale.
- **f3:** Fattore di riempimento relativo al terzo istante temporale.

Metodo con 4 fitness: che, oltre ai fattori di riempimento, includeva come obiettivo aggiuntivo la minimizzazione della distanza media negativa tra i satelliti,

$$f_i = -\frac{1}{N} \sum_{i < j}^N |x_i - y_j|$$

GENERAZIONI: 100

• **POPOLAZIONE:** Proporzionale al numero di satelliti ($n.\text{sat} * 6 * 4$)

LIBRERIA: pygmo

03

VALUTAZIONE PRESTAZIONI



VALUTAZIONE PRESTAZIONI

CONFRONTO DEGLI ALGORITMI

- *NSGA-II è il più costoso in termini di risorse, ma offre una solida gestione per problemi multi-obiettivo.*
- *DE è meno costoso di NSGA-II ma può soffrire di inefficienze in spazi di ricerca ad alta dimensione.*
- *GWO è il più efficiente in termini di memoria e operazioni per popolazione, mentre, ha difficoltà nei problemi ad alta dimensione.*

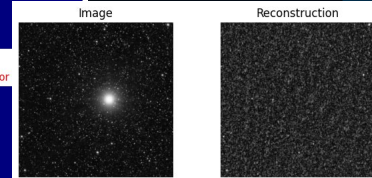
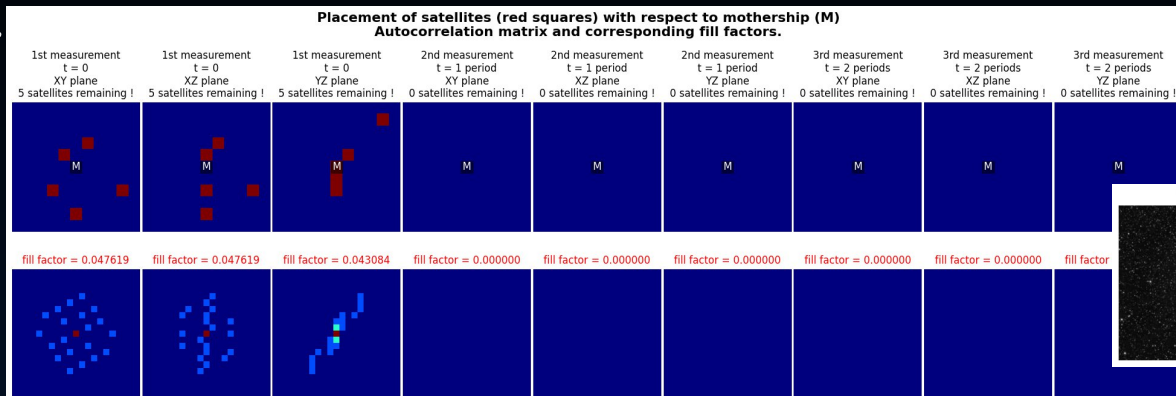
IMMAGINI USATE PER LA RICOSTRUZIONE



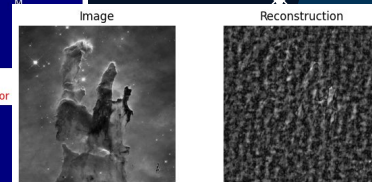
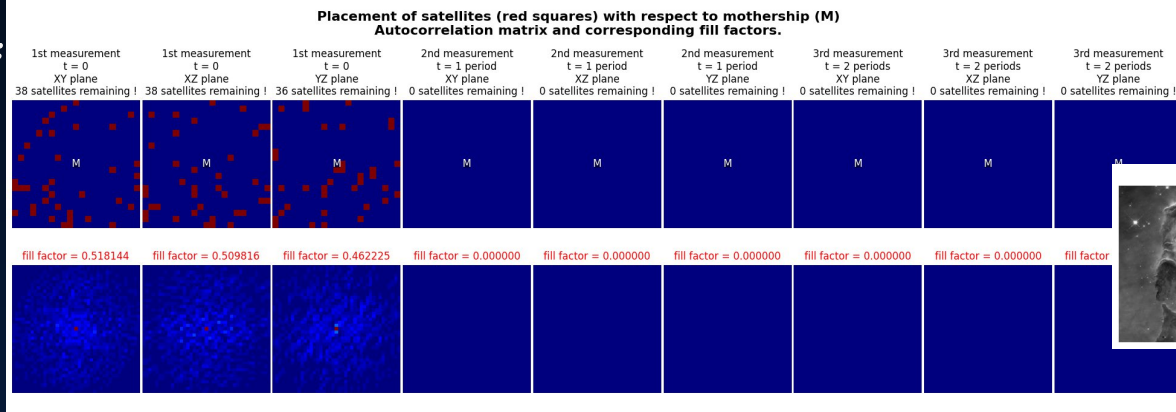
CASO NON OTTIMIZZATO

A solo scopo illustrativo, mostriamo le prestazioni di una soluzione generata casualmente con distribuzione uniforme

PROBLEMA SEMPLICE:



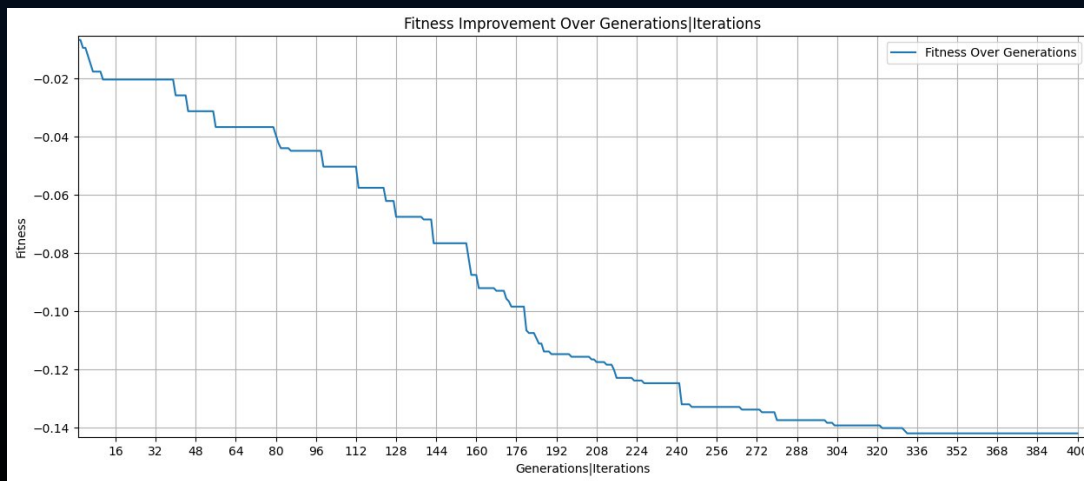
PROBLEMA MEDIO:



PROBLEMA 1 ($S = 5, N = M = 11$)

	FITNESS	DISTANZE UNICHE	SATELLITI IN GRIGLIA
GWA	-0.1428	95%	100%
DE	-0.1390	84%	99%
NSGA-2	-0.1428	36%	99%

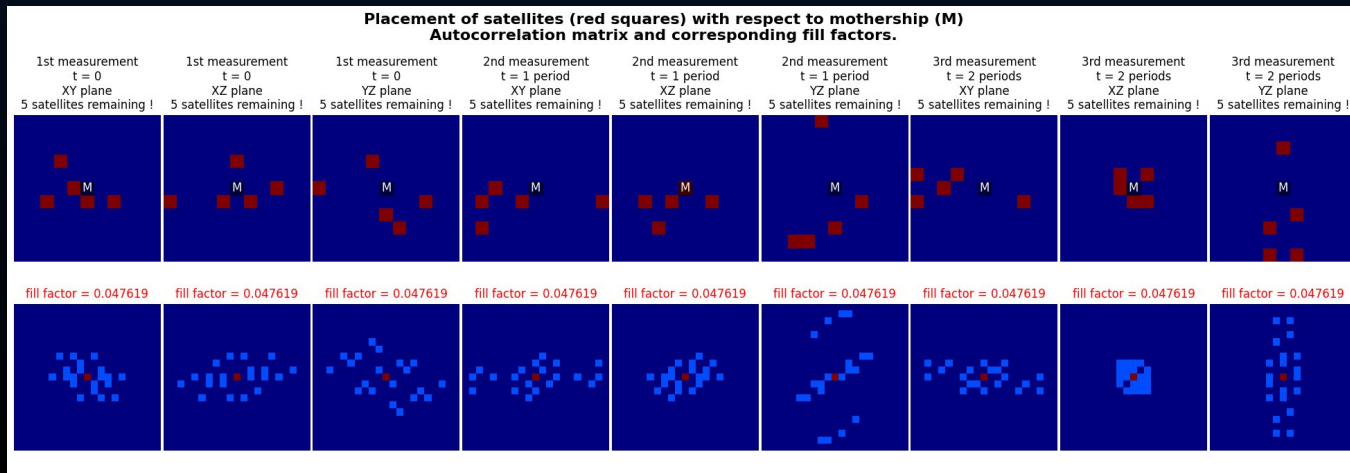
*Le metriche sono una media su 8 iterazioni



PROBLEMA 1 ($S = 5, N = M = 11$)

	FITNESS	DISTANZE UNICHE	SATELLITI IN GRIGLIA
GWA	-0.1428	95%	100%
DE	-0.1390	84%	99%
NSGA-2	-0.1428	36%	99%

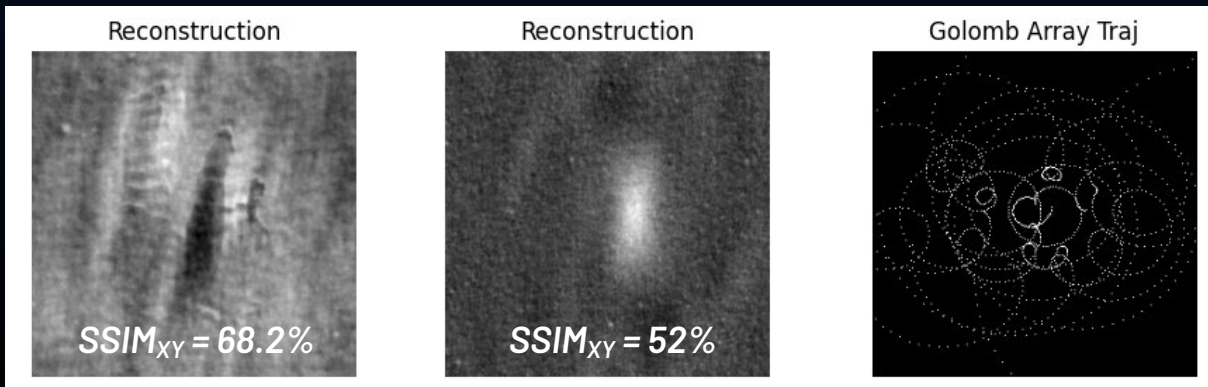
*Le metriche sono una media su 8 iterazioni



PROBLEMA 1 ($S = 5, N = M = 11$)

	FITNESS	DISTANZE UNICHE	SATELLITI IN GRIGLIA
GWA	-0.1428	95%	100%
DE	-0.1390	84%	99%
NSGA-2	-0.1428	36%	99%

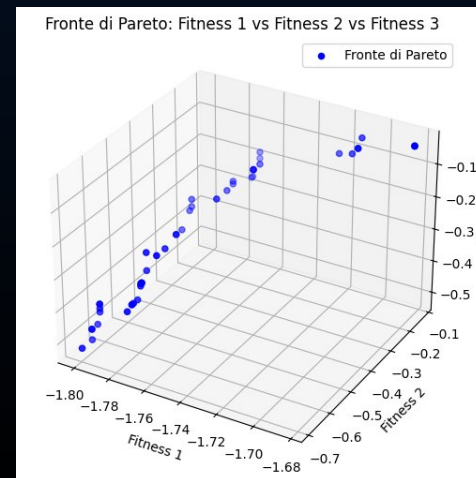
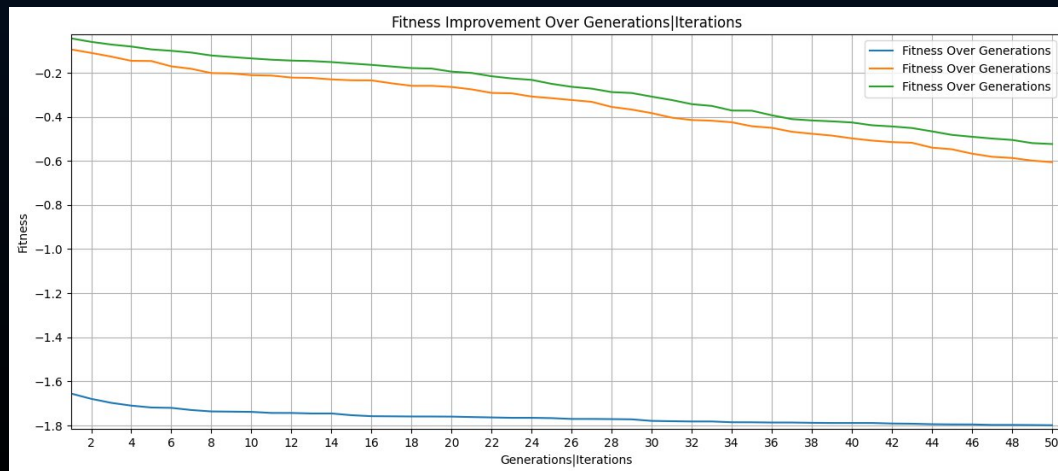
*Le metriche sono una media su 8 iterazioni



PROBLEMA 2 ($S = 40, N = M = 21$)

	FITNESS	DISTANZE UNICHE	SATELLITI IN GRIGLIA
GWA	-0.6980	2.6%	67%
DE	-0.5817	6.1%	71%
NSGA-2	-1.4229	11.2%	60%

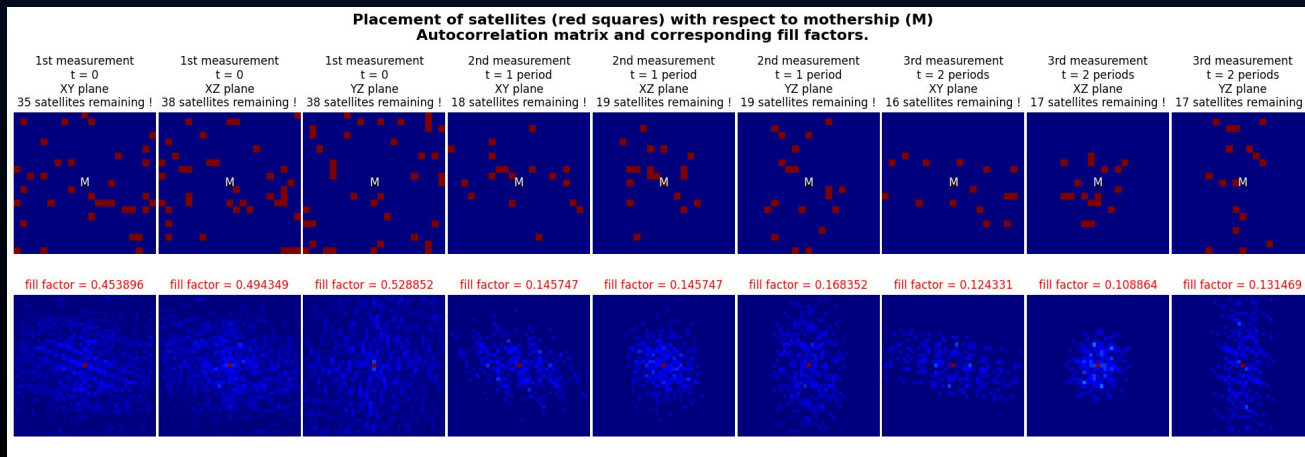
*Le metriche sono una media su 8 iterazioni



PROBLEMA 2 ($S = 40, N = M = 21$)

	FITNESS	DISTANZE UNICHE	SATELLITI IN GRIGLIA
GWA	-0.6980	2.6%	67%
DE	-0.5817	6.1%	71%
NSGA-2	-1.4229	11.2%	60%

*Le metriche sono una media su 8 iterazioni

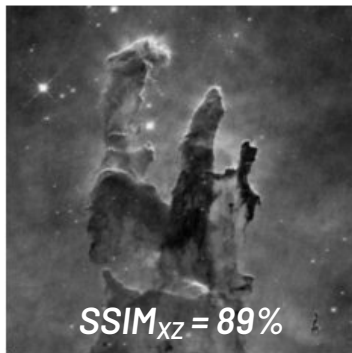


PROBLEMA 2 ($S = 40, N = M = 21$)

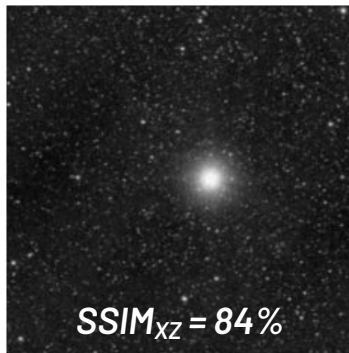
	FITNESS	DISTANZE UNICHE	SATELLITI IN GRIGLIA
GWA	-0.6980	2.6%	67%
DE	-0.5817	6.1%	71%
NSGA-2	-1.4229	11.2%	60%

*Le metriche sono una media su 8 iterazioni

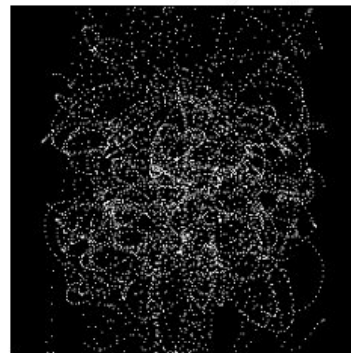
Reconstruction



Reconstruction

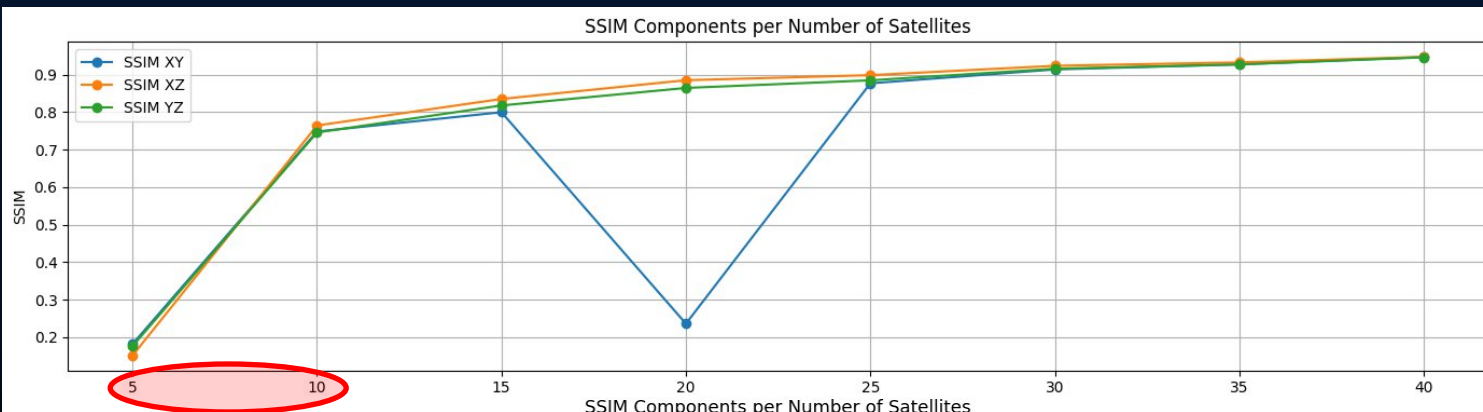


Golomb Array Traj

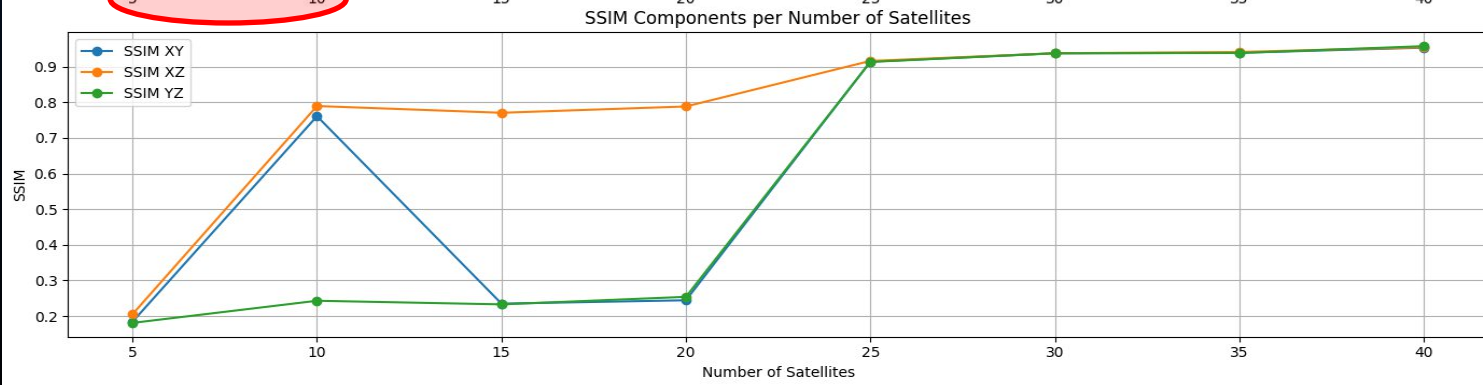


QUALE È IL NUMERO GIUSTO DI S ? ($N=M=21$)

DE:

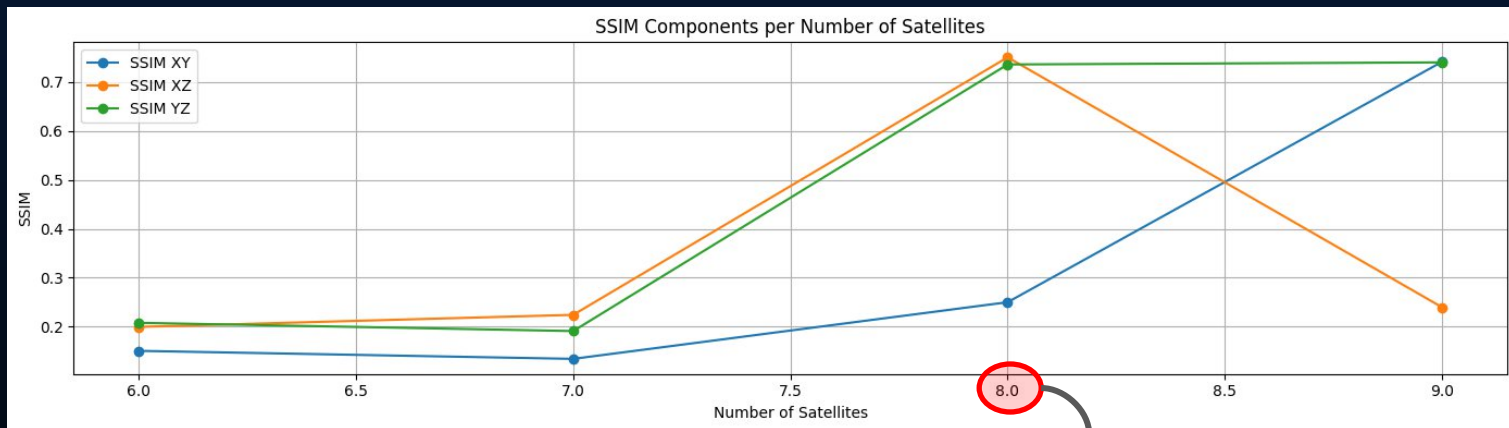


GWA:

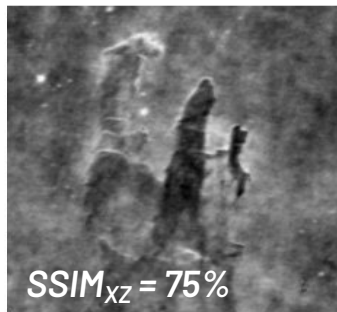


QUALE È IL NUMERO GIUSTO DI S ?

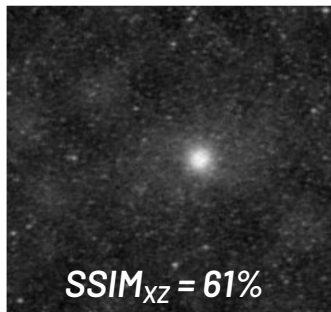
DE:



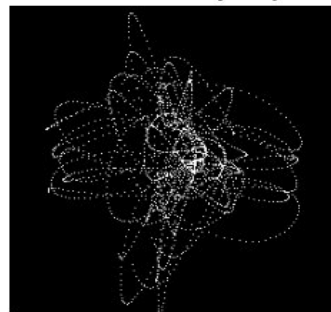
Reconstruction



Reconstruction



Golomb Array Traj



GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

- o *Di Lorenzo Giuseppe*
- o *Esposito Raffaele*
- o *Vallefuoco Agostino*

CREDITS: This presentation template was created by [Slidesgo](#), including icons by [Flaticon](#), and infographics & images by [Freepik](#)

