

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale  
Corso di Laurea in Ingegneria aerospaziale

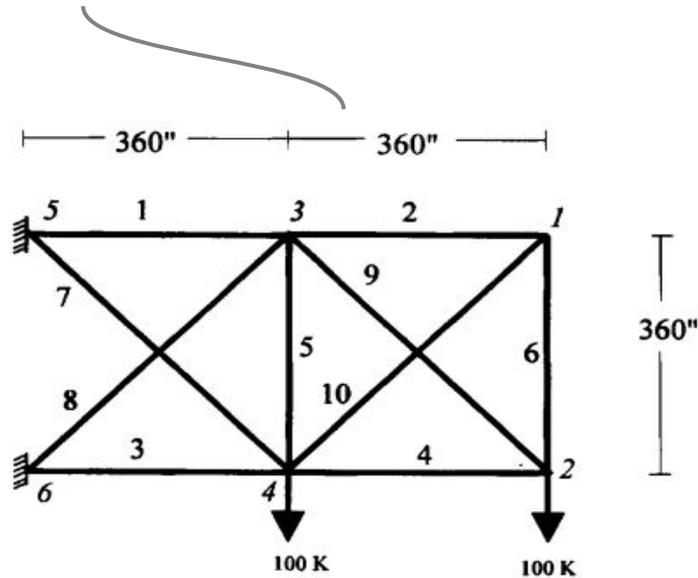
# ***Ottimizzazione di strutture reticolari tramite algoritmi genetici***

Tutor universitario: Prof. Ugo Galvanetto

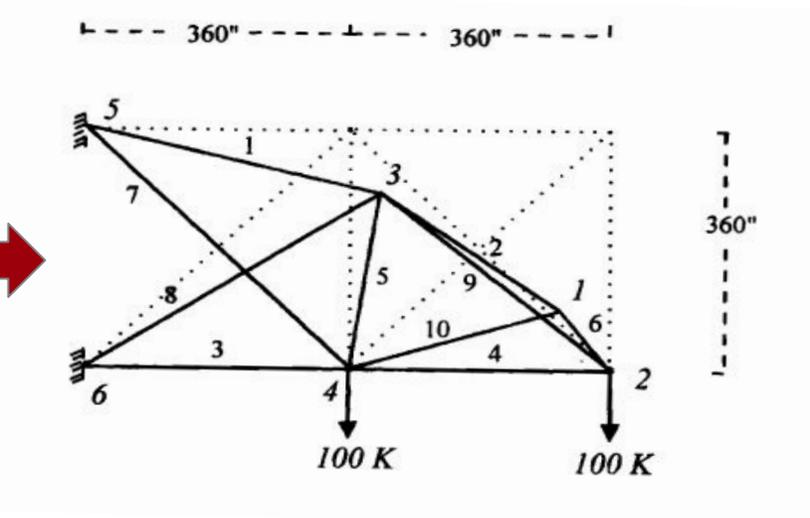
Laureando: *Tommaso Bari*

Padova 20/09/2024

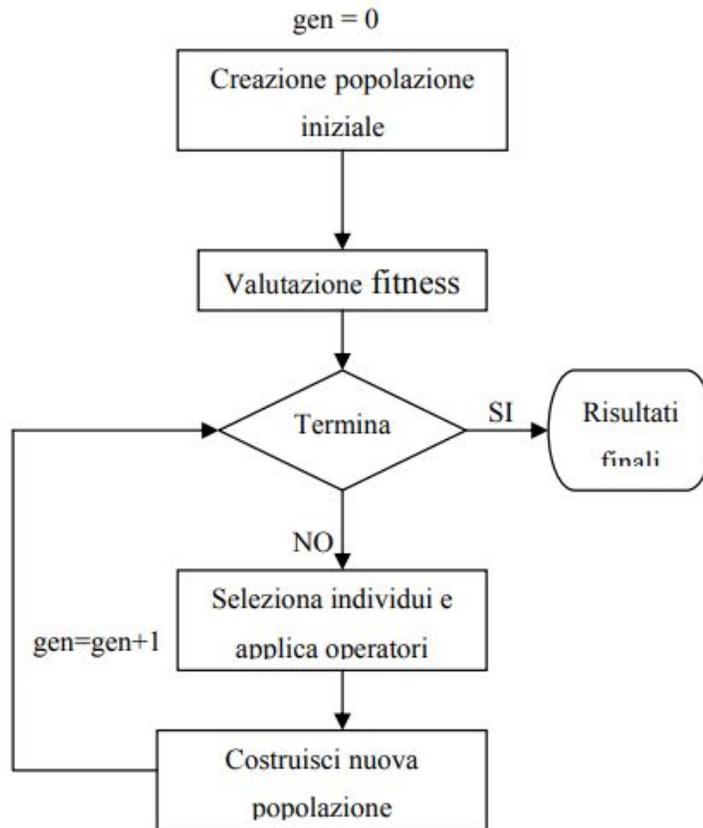
**Cosa? Strutture reticolari:** travi costituite da un insieme di aste collegate fra loro in punti detti nodi



**Come? Tramite** algoritmi genetici, essi si basano sul principio di selezione naturale Darwiniana. Implementati per la prima volta da John Holland nel 1975 [1]

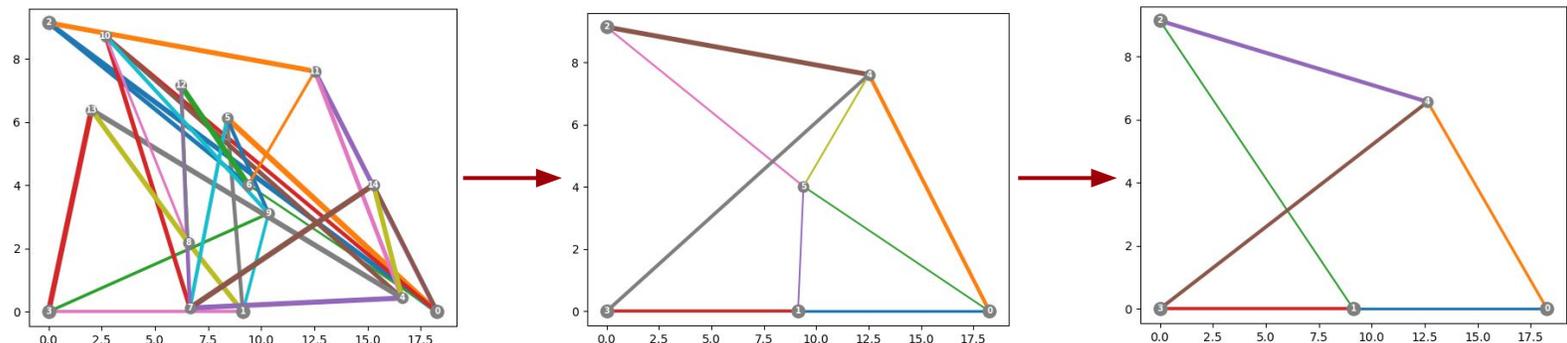


**Perchè?** migliorare l'efficienza di una struttura nel resistere ai carichi utilizzando meno materiale possibile



Schema di un classico algoritmo genetico [2]

1. Una soluzione (**fenotipo**) è rappresentata come individuo il cui genoma è utilizzato all'interno dell'algoritmo (**genotipo**)
2. Una popolazione di soluzioni viene fatta competere e ordinata in base alla **fitness** ossia capacità di risolvere il problema
3. Vengono selezionati gli individui con la **fitness** più elevata
4. Il genoma degli **individui** selezionati viene modificato tramite operatori genetici per creare la generazione successiva
5. Il ciclo continua fino a che non viene raggiunto l'obiettivo



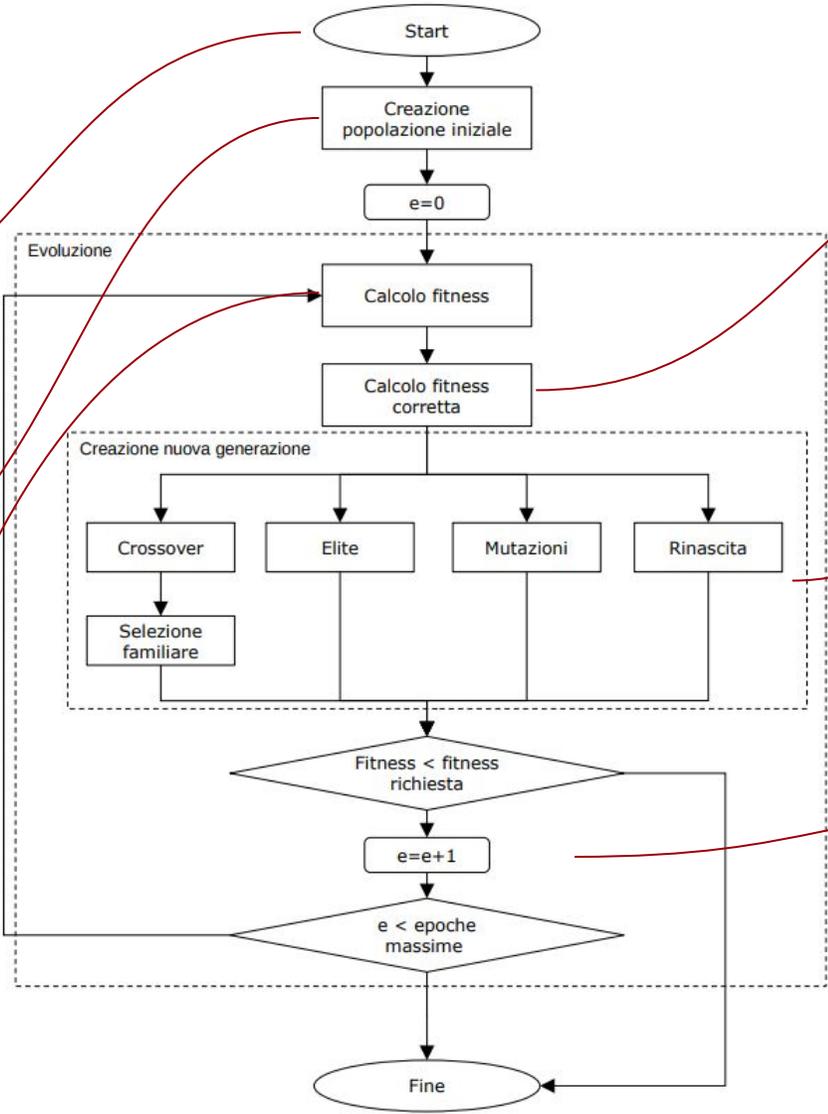
[2] G. Folino, «Algoritmi evolutivi e programmazione genetica: strategie di progettazione e parallelizzazione,» Consiglio Nazionale delle Ricerche Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni, RT-ICAR-CS-03-17, 2003.

Algoritmo scritto in **Python** con l'ausilio delle librerie **numpy** (matrici) e **matplotlib** (grafica)

**1.** Definizione di vincoli e carichi esterni del problema

**2.** Generazione della popolazione iniziale di travature reticolari in modo semi casuale

**3.** Calcolo della fitness della struttura: le strutture più leggere ed efficienti avranno fitness maggiore



**4.** Correzione della fitness per il mantenimento di una corretta diversità genetica

**5.** Creazione della nuova generazione di individui a partire dai migliori grazie agli operatori genetici

**6.** Verifica del raggiungimento degli obiettivi: se non raggiunti si riparte dal passo 3 con la nuova generazione

- **Fenotipo:** come appare l'individuo
- **Genotipo:** come la l'individuo è codificato all'interno dell'algoritmo

Nodi: vettori riga

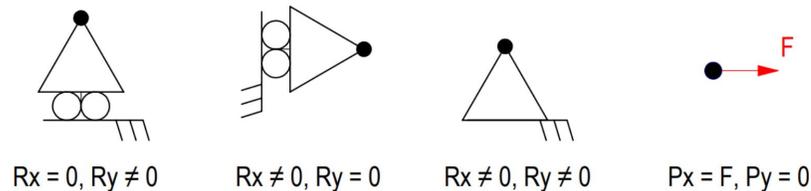
$$n_i = \begin{bmatrix} x_i, y_i, & u_i, v_i, & R_{x,i}, R_{y,i}, & P_{x,i}, P_{y,i} \end{bmatrix}$$

Coordinate
Vincoli

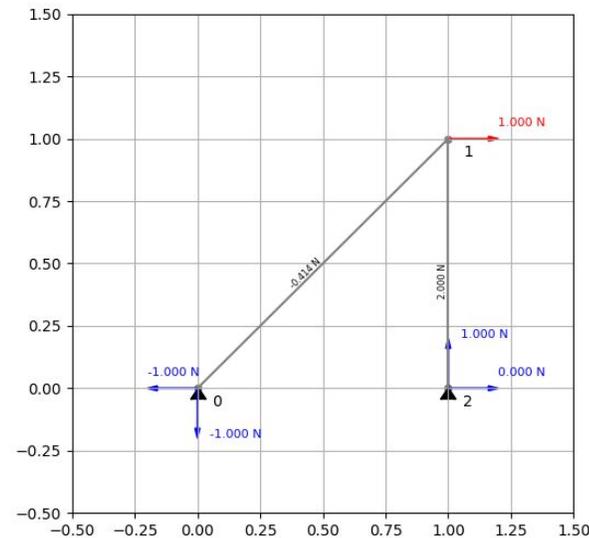
Spostamenti
Carichi esterni

Aste: matrici di adiacenza

$$A(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{se } i \text{ è connesso a } j \text{ da un asta} \\ 0 & \text{se } i \text{ e } j \text{ non sono collegati} \end{cases}$$



Rappresentazione di vincoli e carichi esterni sui nodi



Esempio di struttura reticolare (fenotipo, sx) e la sua codifica (genotipo, dx)

	x	y	u	v	Rx	Ry	Px	Py
0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
1	1	1	3,828	-1	0	0	1	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0

connessioni				aree				sforzi			
	0	1	2		0	1	2		0	1	2
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1,414	0
1	1	0	1	1	1	0	1	1	1,414	0	-1
2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	-1	0

tensioni				efficienza				lunghezze			
	0	1	2		0	1	2		0	1	2
0	0	1,414	0	0	0	-0,414	0	0	0	1,414	0
1	1,414	0	-1	-0,414	0	0	0	1,414	0	0	1
2	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	1	0

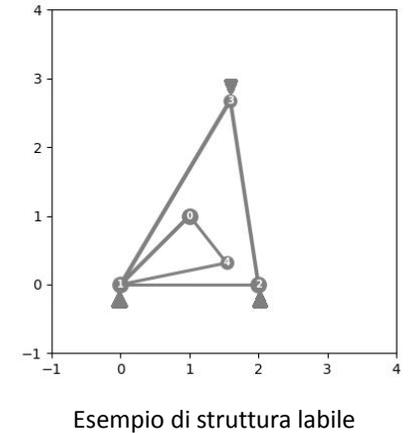
- **Fitness:** quantificazione della capacità dell'individuo di raggiungere la soluzione

$$f = \begin{cases} 1 & \text{struttura non valida} \\ 1 - 10^{-\sigma_{max}/\sigma_{amm}} & \text{se } \sigma_{max} > \sigma_{amm} \\ 1 - 10^{-d_{max}/d_{amm}} & \text{se } d_{max} > d_{amm} \\ 1 - (\eta_m + 0.1) & \text{nel resto dei casi} \end{cases}$$

1. Strutture labili  
2. Strutture con aste collineari

1. Verifica a rottura  
2. Verifica a buckling

Deformazione massima



- **Fitness corretta:** correzione del valore sulla base del numero di individui con fitness simile.

**TROPPI INDIVIDUI  
SIMILI**



**POCA DIVERSITÀ'  
GENETICA**

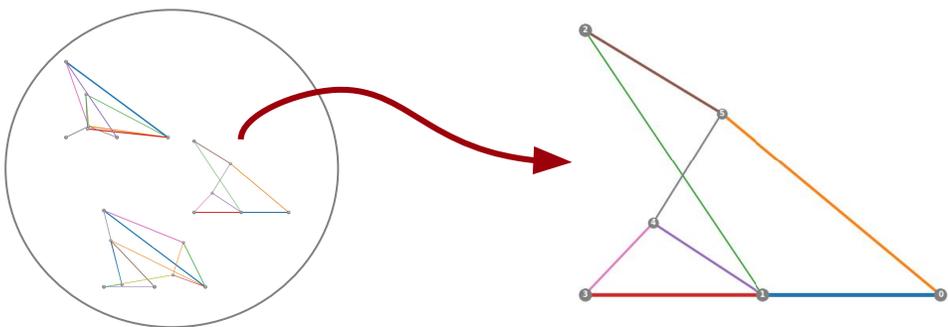


**CONVERGENZA  
PREMATURA**

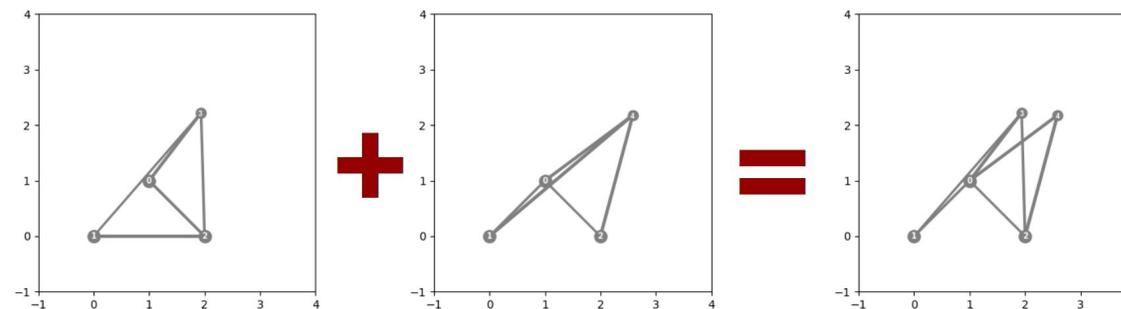
Fitness corretta —  $f_c = 2^n f$  — Fitness

Numero di individui simili

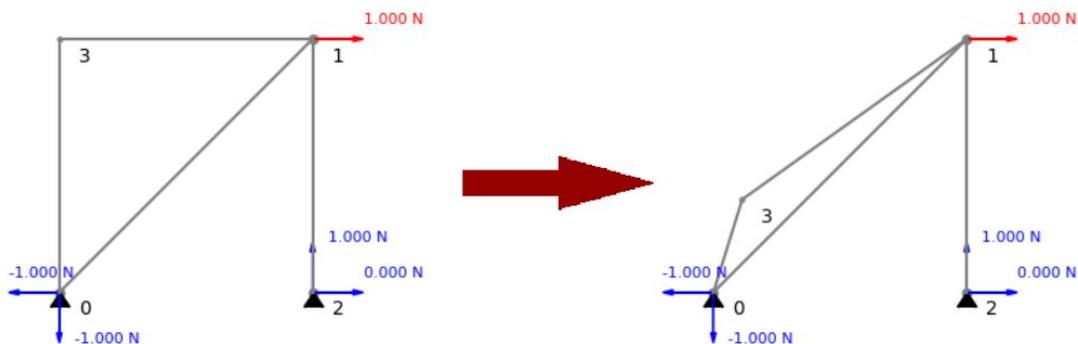
**Elitismo:** passaggio di un individuo da una generazione all'altra senza modifiche al genoma



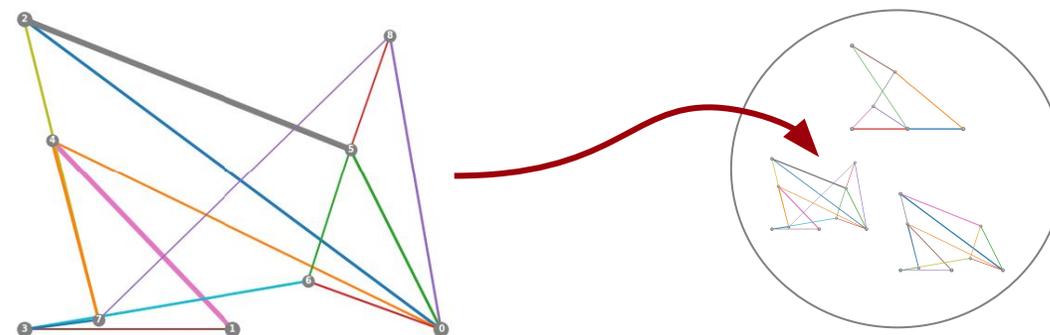
**Crossover:** creazione di un nuovo individuo figlio a partire dal genoma di 2 genitori



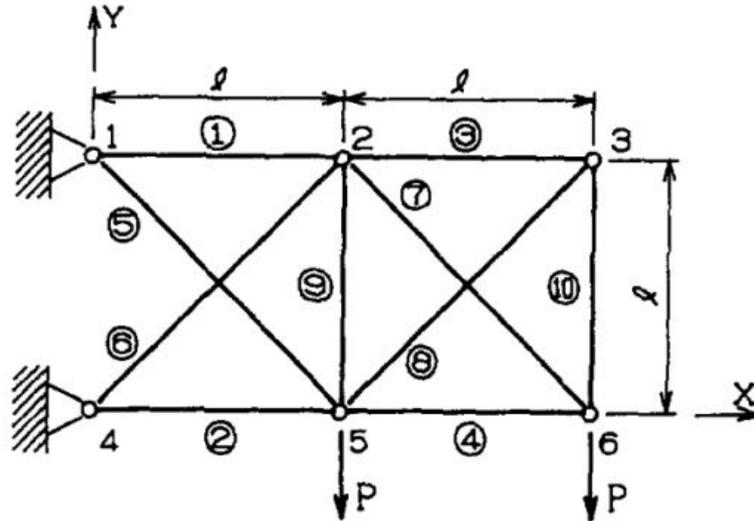
**Mutazioni:** modifiche casuali al genoma di un individuo



**Rinascita:** generazione di individui nuovi con genoma casuale (come la popolazione iniziale)



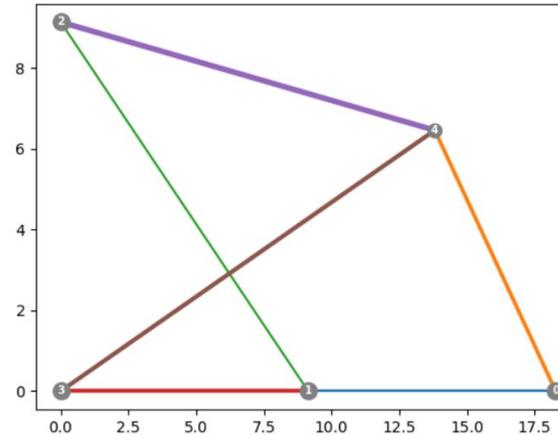
## IL PROBLEMA



Problema delle 10 aste [3]

- Carico applicato ai nodi inferiori  $P = 445000 \text{ N}$
- Lunghezza unitaria  $l = 9.14 \text{ m}$
- Densità  $\rho = 2.77 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
- Modulo elastico  $E = 6.9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
- Tensione limite consentita  $\sigma_{amm} = 1.72 \text{ N/m}^2$
- Spostamento massimo consentito  $v_{max} = \pm 5.08 \times 10^{-2}$

## LA SOLUZIONE

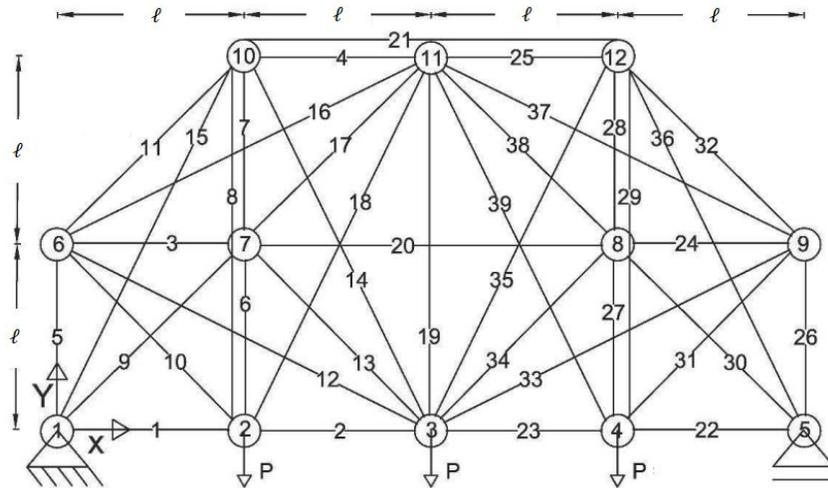


	massa [kg]
Aminifar, Aminifar, 2013	2261.42
E. Perez, Behdi, 2007	2278.55
Galante, 1996	2492.15
Petrovi, 2017	2257.24
Frans, Arfiadi, 2014	2122.62
Mortazavi, Toğan, 2016	2704.80
<b>Questo elaborato</b>	<b>2214.13</b>

Risultati e confronto con la letteratura

- 2000 generazioni con 100 individui ciascuna.
- Coefficiente di mutazione totale pari a 1%, (33% variazione posizione nodi, 33% aree, 22% connessioni, 11% per inserimento nodi e 1% per eliminazione nodi)
- Rinascita pari a 5% della popolazione
- Elitarismo 1% della popolazione

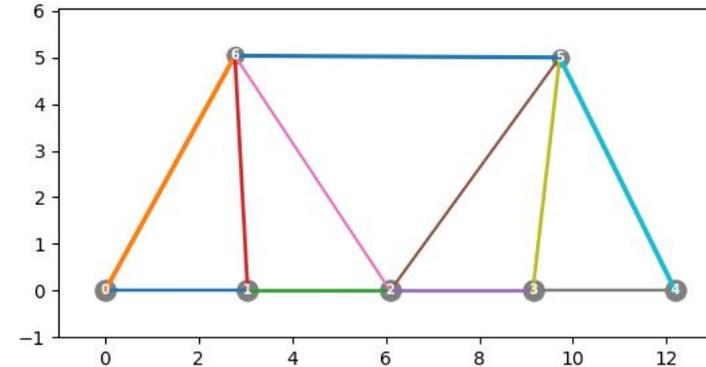
## IL PROBLEMA



Problema delle 39 aste [4]

- Carico applicato ai nodi inferiori  $P = 445000 \text{ N}$
- Lunghezza unitaria  $\ell = 9.14 \text{ m}$
- Densità  $\rho = 2.77 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
- Modulo elastico  $E = 6.9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
- Tensione limite consentita  $\sigma_{\text{amm}} = 1.72 \text{ N/m}^2$
- Spostamento massimo consentito  $v_{\text{max}} = \pm 5.08 \times 10^{-2}$

## LA SOLUZIONE



	massa [kg]
Deb, Gulati, 2001	87.16
Mortazavi, Toğan, 2016	82.37
Harsono, Prayogo, Prasetyo et al., 2020	85.21
Tejani, Savsani, Patel et al., 2018	86.22
Dang, Nguyen-Van, Thai et al., 2022	86.76
<b>Questo elaborato</b>	<b>106.15</b>

- 2000 generazioni con 100 individui ciascuna.
- Coefficiente di mutazione totale pari a 1%, (33% variazione posizione nodi, 33% aree, 22% connessioni, 11% per inserimento nodi e 1% per eliminazione nodi)
- Rinascita pari a 5% della popolazione
- Elitarismo 1% della popolazione

1. Il processo di evoluzione funziona andando a ricercare la miglior soluzione al problema posto.
2. Miglioramento del processo di generazione della popolazione iniziale: meglio gli individui sono diversificati all'inizio più facilmente l'algoritmo converge.
3. Introduzione di meccanismi complessi per il mantenimento della diversità genetica.
4. Parallelizzazione del calcolo per rendere più veloci le simulazioni.
5. Introduzione di un ottimizzazione multi obiettivo (ottimo paretiano) in modo da analizzare massa ed efficienza strutturale separatamente.