

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

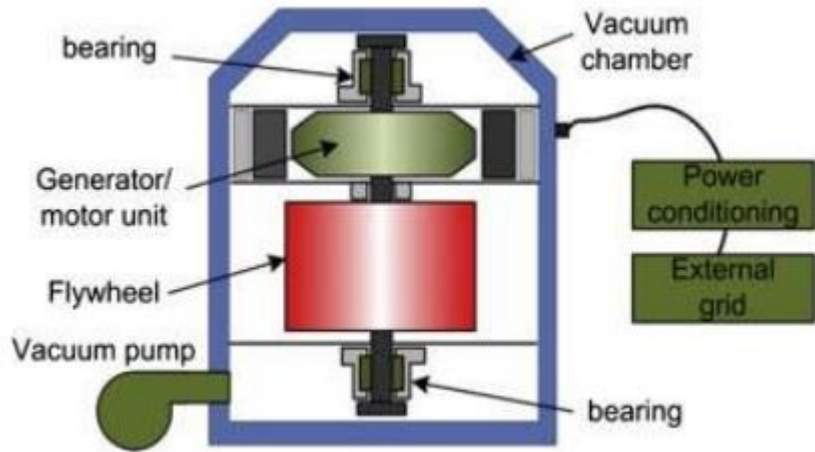
Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

***Relazione per la prova finale:
Analisi di una sospensione magnetica per
volano per applicazioni di accumulo energetico***

Tutor universitario: Prof. M. Andriollo

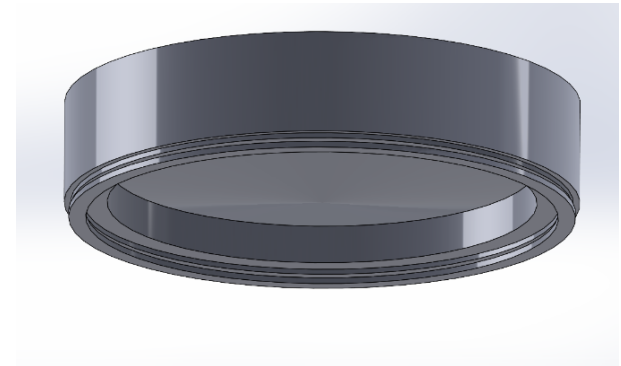
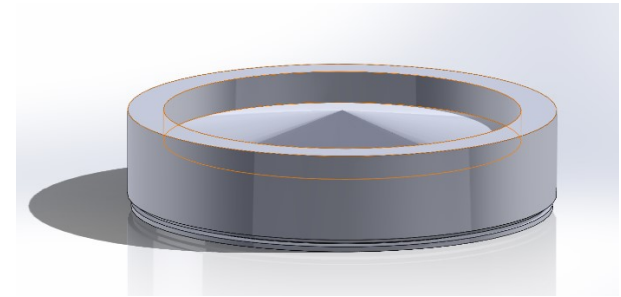
Laureando: *Leonardo Magliani*

Padova, 23/03/2023

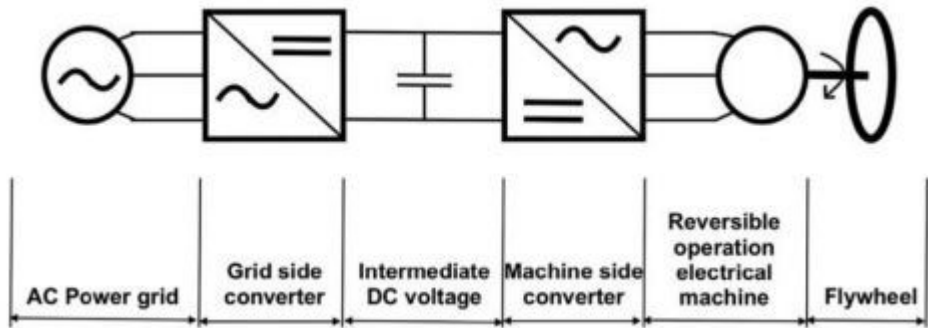


$$E = \frac{1}{2} J \omega^2$$

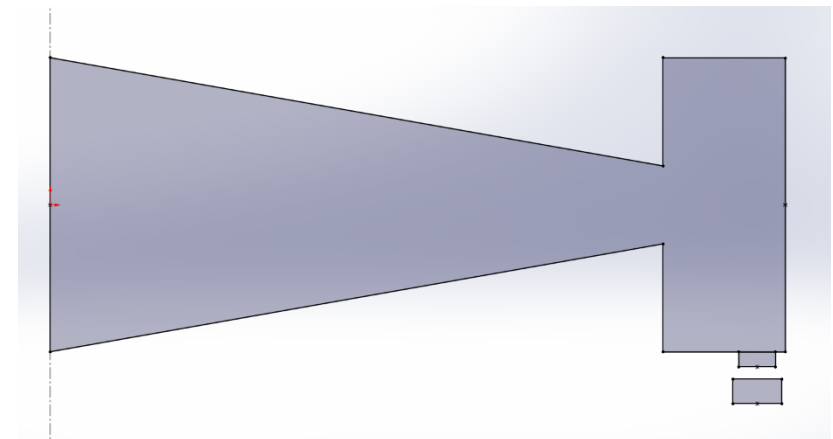
$$E_{K,m} = \frac{E}{m} \Big|_{max} = K \frac{\sigma_{max}}{\rho} \left[\frac{J}{kg} \right]$$

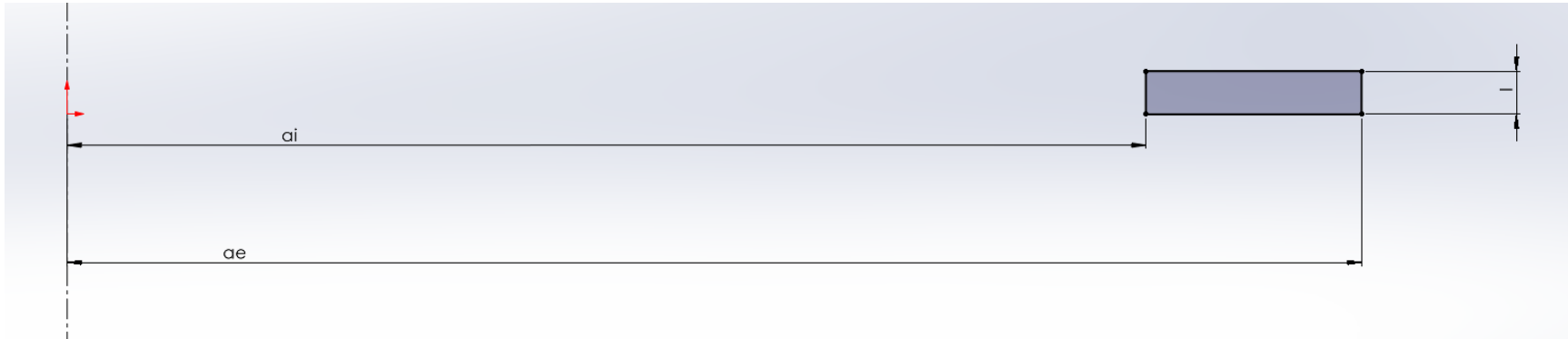


www.dii.unipd.it

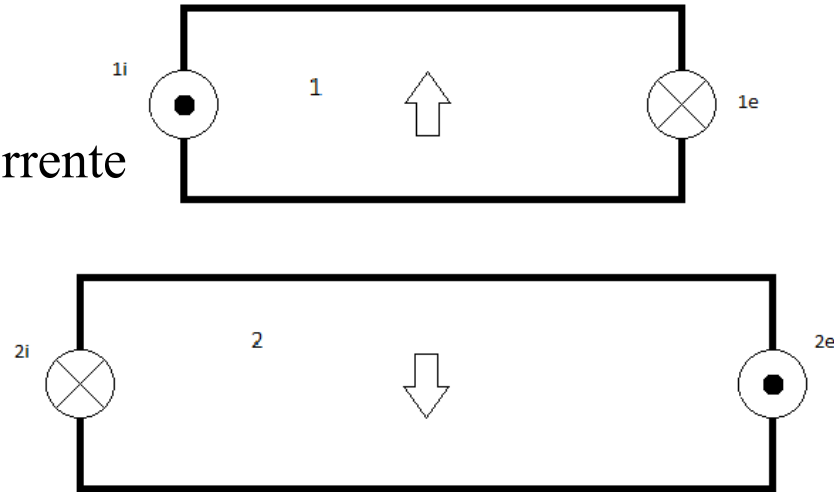


Soluzione energy intensive: le batterie
Soluzione power intensive: i volani (FESS)





Cuscinetti attivi: bobine percorse da corrente
Cuscinetti passivi: magneti permanenti



$$F = f_z(a_{1e}, a_{1i}, l_1, a_{2e}, a_{2i}, l_2, g) H_{c1} H_{c2}$$

$d_{m_{i,j}} = a_i + a_j$ diametro medio (m. aritmetica)

$d_{g_{i,j}} = 2\sqrt{a_i a_j}$ diametro medio (m. geometrica)

$\Delta_{i,j} = |a_i - a_j|$ distanza in senso radiale

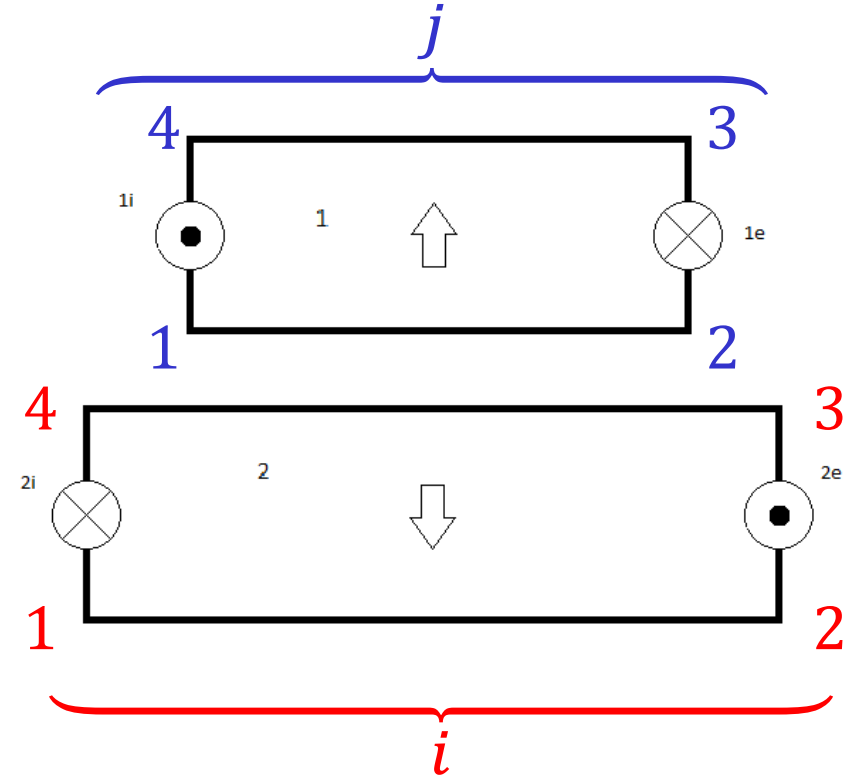
$h_{z_{i,j}} = |a_i - a_j|$ distanza in senso assiale

$$K(k) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1 - k \sin^2(\theta)}} d\theta,$$

$$E(k) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k \sin^2(\theta)} d\theta,$$

$$\Pi(n, k) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{(1 - n \sin^2(\theta))\sqrt{1 - k \sin^2(\theta)}} d\theta$$

integrali ellittici completi
del 1°, 2° e 3° ordine



$$f_z(a_{1e}, a_{1i}, l_1, a_{2e}, a_{2i}, l_2, g)$$

$$\frac{\mu_0}{2} \sum_{\substack{i=1,\dots,4 \\ j=1,\dots,4}} \pm \frac{h_{z_{i,j}} \left((d_{m_{i,j}}^2 + h_{z_{i,j}}^2) \left(K \left(\frac{d_{g_{i,j}}^2}{d_{m_{i,j}}^2 + h_{z_{i,j}}^2} \right) - E \left(\frac{d_{g_{i,j}}^2}{d_{m_{i,j}}^2 + h_{z_{i,j}}^2} \right) \right) - \Delta_{i,j}^2 \left(\Pi \left(\frac{d_{g_{i,j}}^2}{d_{m_{i,j}}^2} \mid \frac{d_{g_{i,j}}^2}{d_{m_{i,j}}^2 + h_{z_{i,j}}^2} \right) - K \left(\frac{d_{g_{i,j}}^2}{d_{m_{i,j}}^2 + h_{z_{i,j}}^2} \right) \right) \right)}{\sqrt{d_{m_{i,j}}^2 + h_{z_{i,j}}^2}}$$

massa di progetto del volano:

$$M = 100kg$$

traferro di progetto:

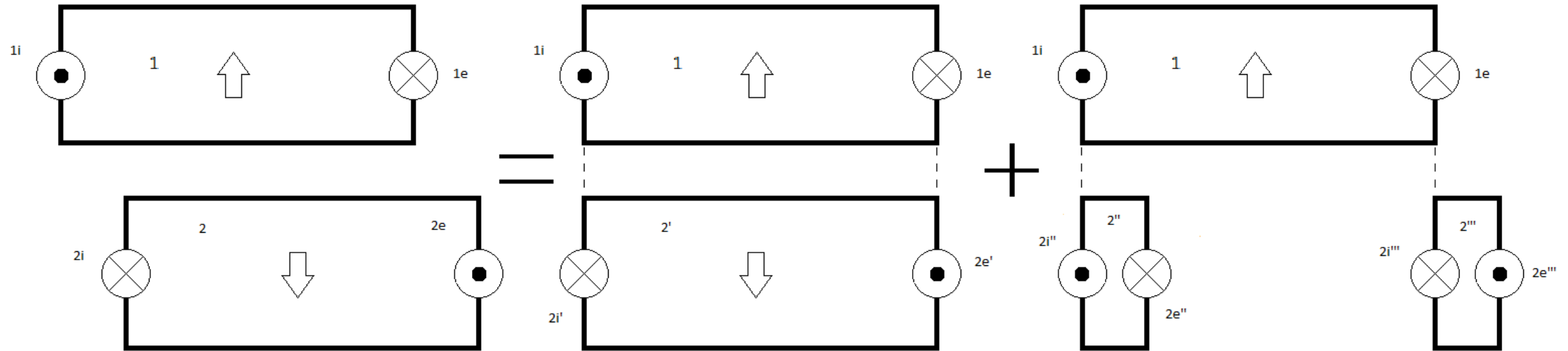
$$g = 5mm$$

magneti permanenti in Nd-Fe-B:

$$\begin{cases} H_c & = 850 \text{ kA/m} \\ \rho & = 7900 \text{ kg/m}^3 \end{cases}$$

variabili residue: $a_{1e}, a_{1i}, l_1, a_{2e}, a_{2i}, l_2, g, H_{c1}, H_{c2}$

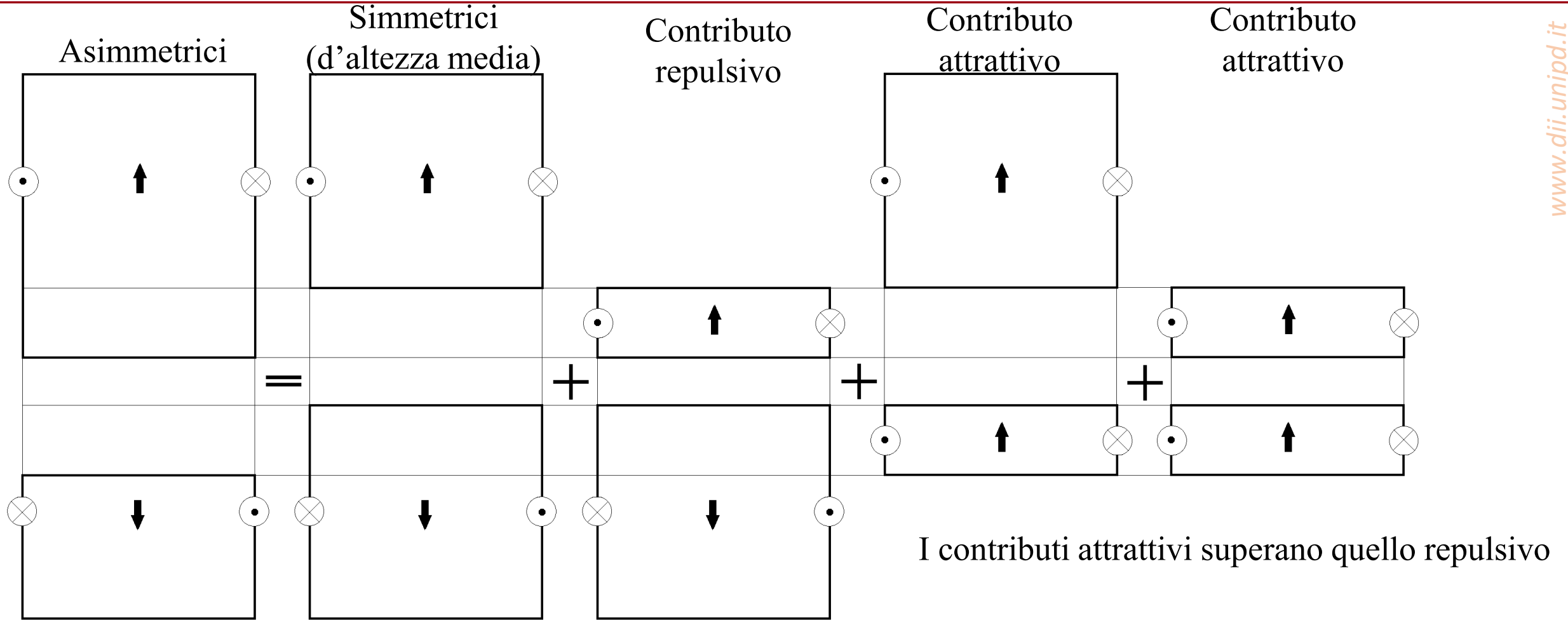
Ragionando a parità di volume:



Intuitivamente: conviene che le dimensioni radiali siano le stesse

Restano quindi le variabili:

$$a_{1i} = a_{2i} = a_i, a_{1e} = a_{2e} = a_e, l_1 \text{ e } l_2$$



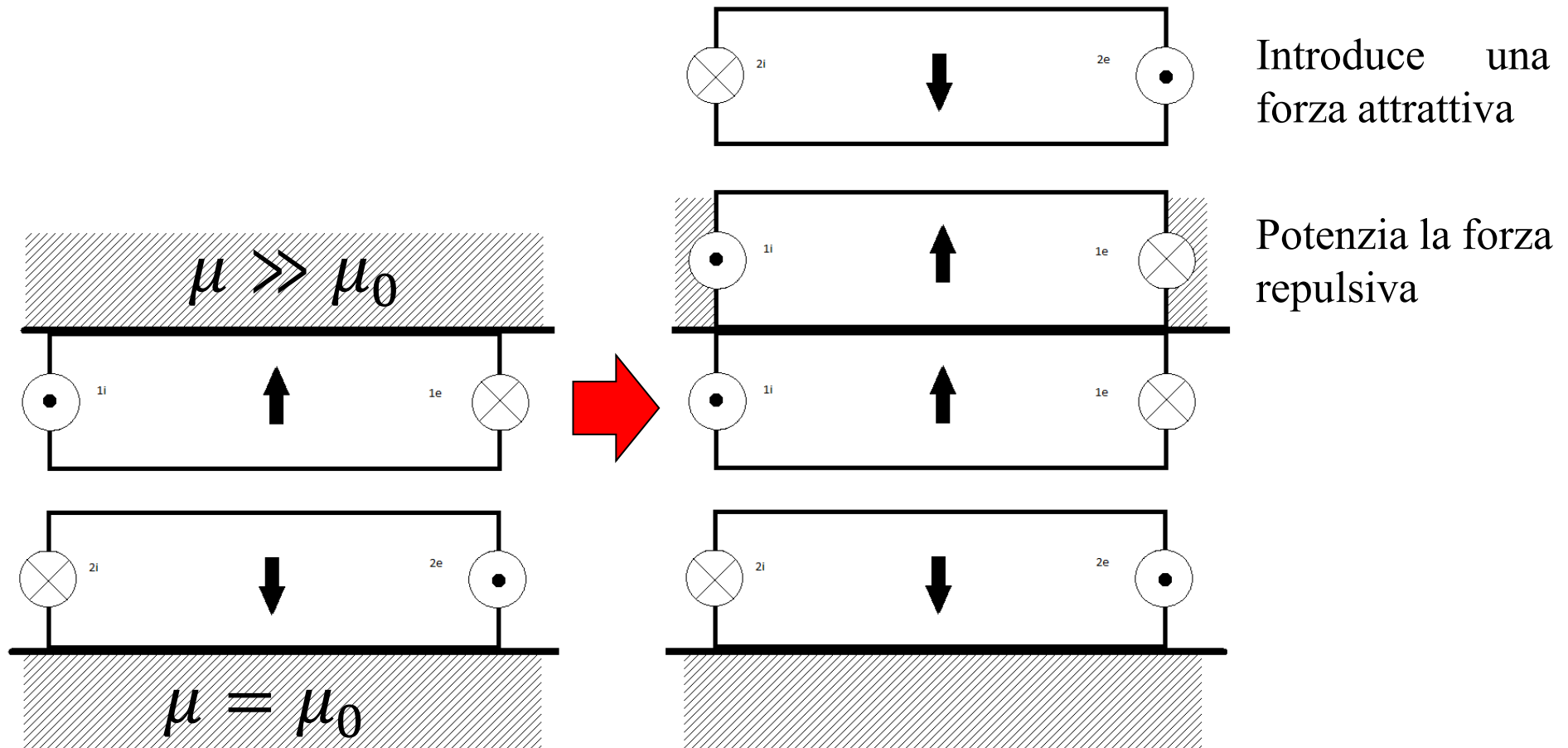
Anche le altezze dei magneti siano le stesse: $l_1 = l_2 = l$

Restano quindi le variabili: a_i, a_e, l

L'altezza del magnete l diventa una variabile dipendente da a_e ed a_i imponendo che la forza di repulsione uguagli la forza peso

$$H_c^2 f_z(a_e, a_i, l) = Mg + \rho(a_e^2 - a_i^2)\pi l g$$

restano quindi le sole variabili residue a_e ed a_i



Per il principio dell'immagine, il volano ferromagnetico specchia al suo interno i due cuscinetti.

$$V = (a_e^2 - a_i^2)\pi l$$

volume del magnete (da minimizzare)

$$df_z = \frac{f_z(g + dg) - f_z(g)}{dg}$$

rigidità assiale della sospensione magnetica
(da massimizzare in valore assoluto)

Il vincolo di uguaglianza tra forza di repulsione e forza peso è intrinsecamente soddisfatto avendo ricavato l'altezza del magnete in base a tale condizione:

$$H_c^2 f_z(a_e, a_i, l) = Mg + \rho(a_e^2 - a_i^2)\pi l g$$

EVALUATION: An expectation calculated for every parent: how many children from each

STOPPING CRITERIA: Convergence, generation limit, time limit

NEW GENERATION:

THE APPROACH:

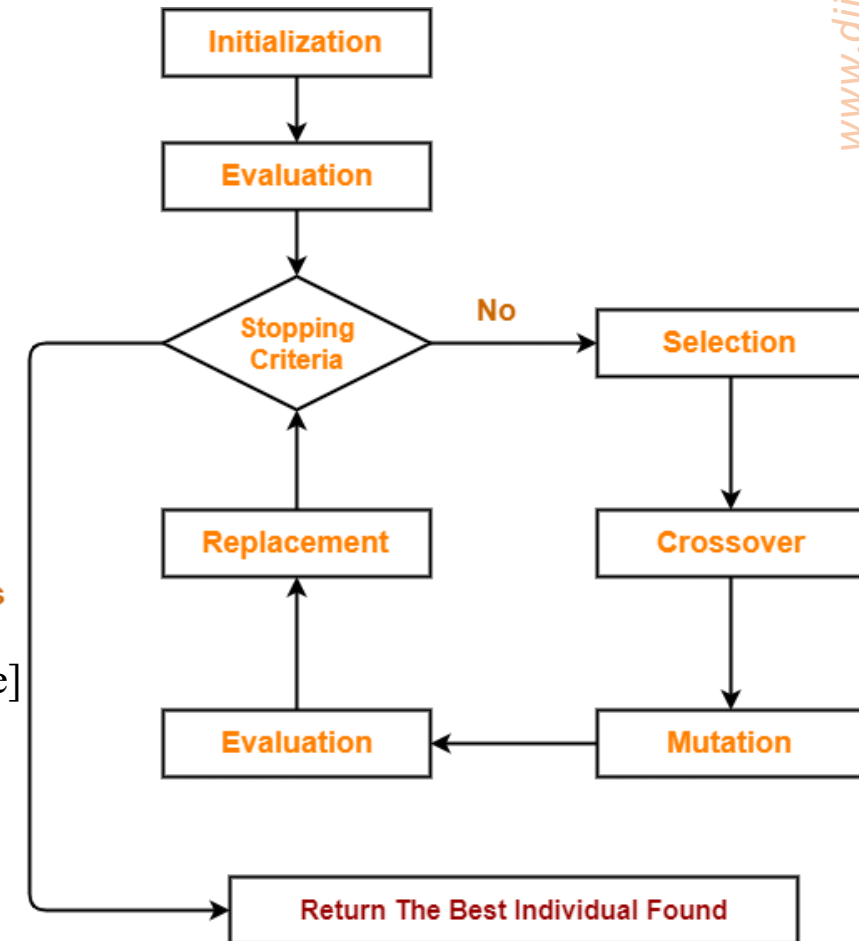
- Elite: the individuals that are guaranteed to survive
- Crossover: individuals created by crossover of a pair of parents
- Mutation: individuals created by introducing a random change to a single parent

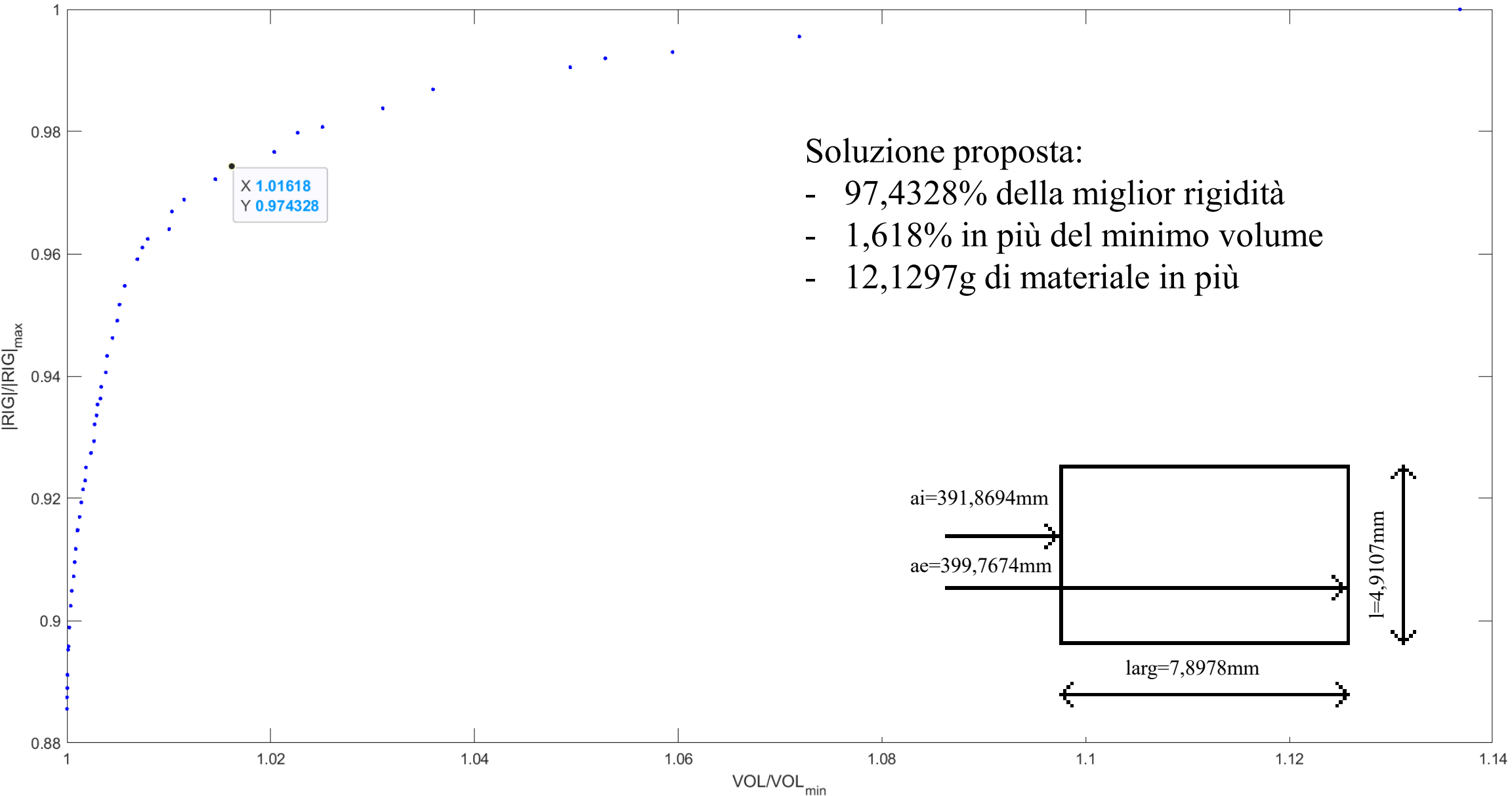
THE PROGRAM:

- Elite: the parents who performed best automatically survive
- Crossover children: random weighted average of the parents (of their vector entries)
- Mutation: making random changes to a single parent (add a random vector from a gaussian distribution)

THE SETTINGS:

- | | | |
|-----------------------|---|---------------------|
| - PopulationSize | 150 | [not default value] |
| - EliteCount | $\text{ceil}(0.05 * \text{PopulationSize})$ | 8 [default size] |
| - CrossoverFraction | 0.8 | 114 [default size] |
| - [Mutation children] | [the remaining] | 28 [default size] |





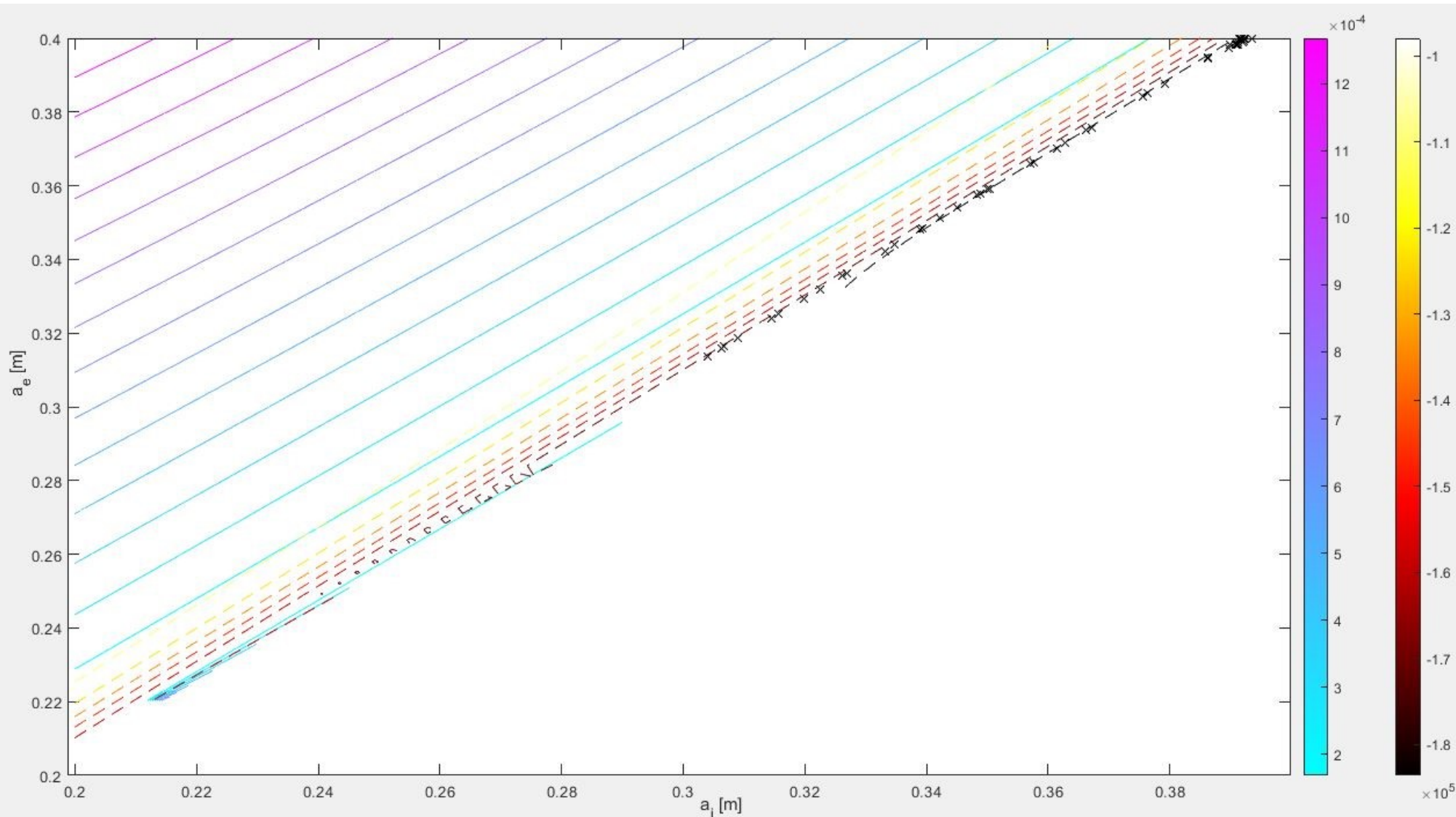


Grafico a tutto
campo:

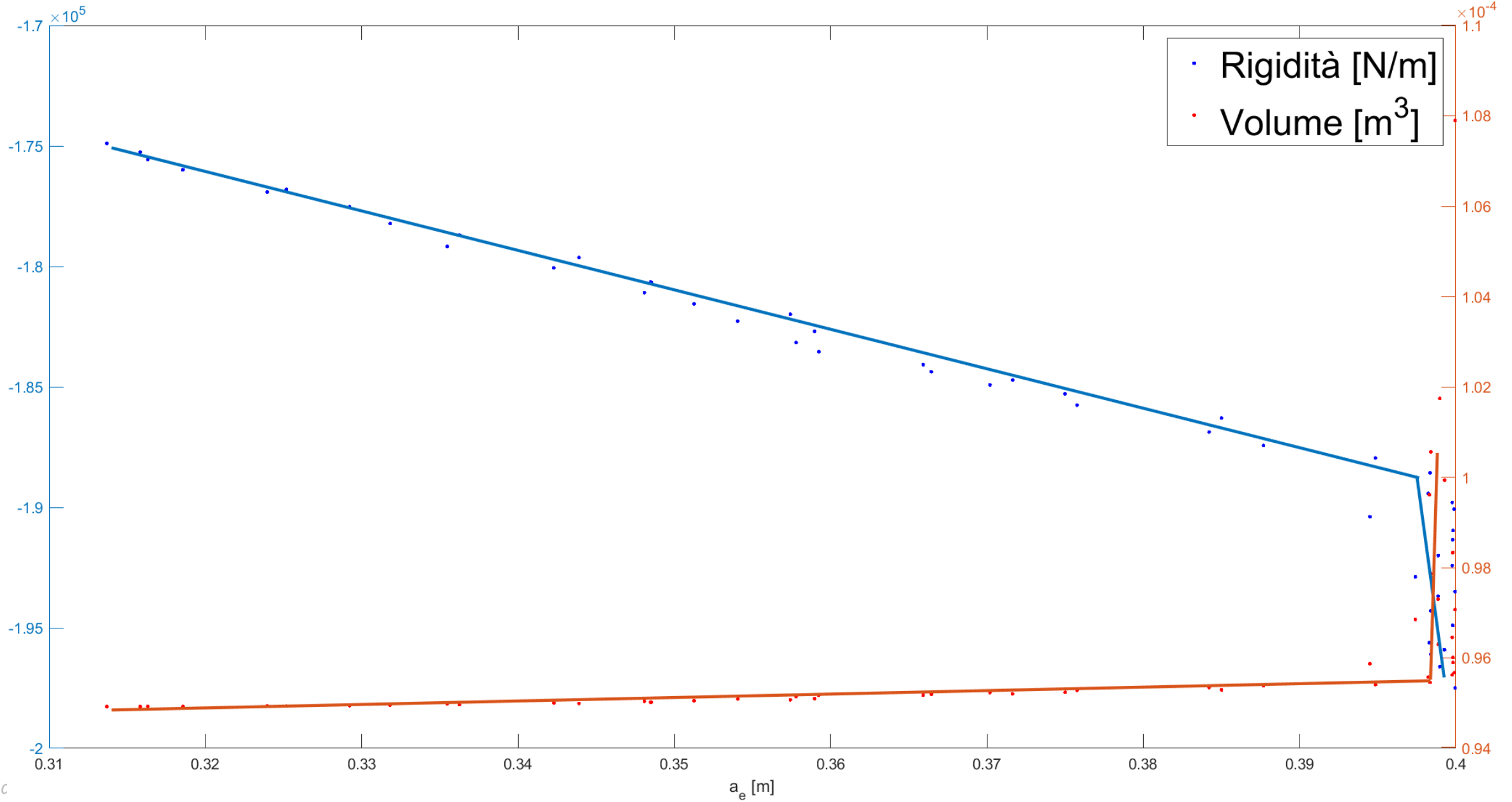
$$0,1 < a_i < a_e < 0,9 \text{ [m]}$$

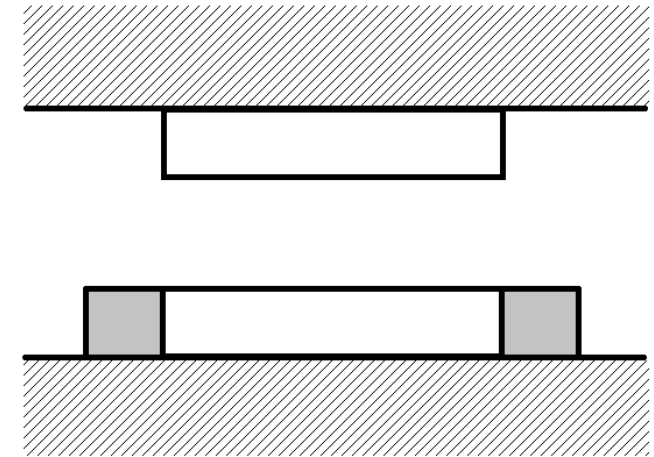
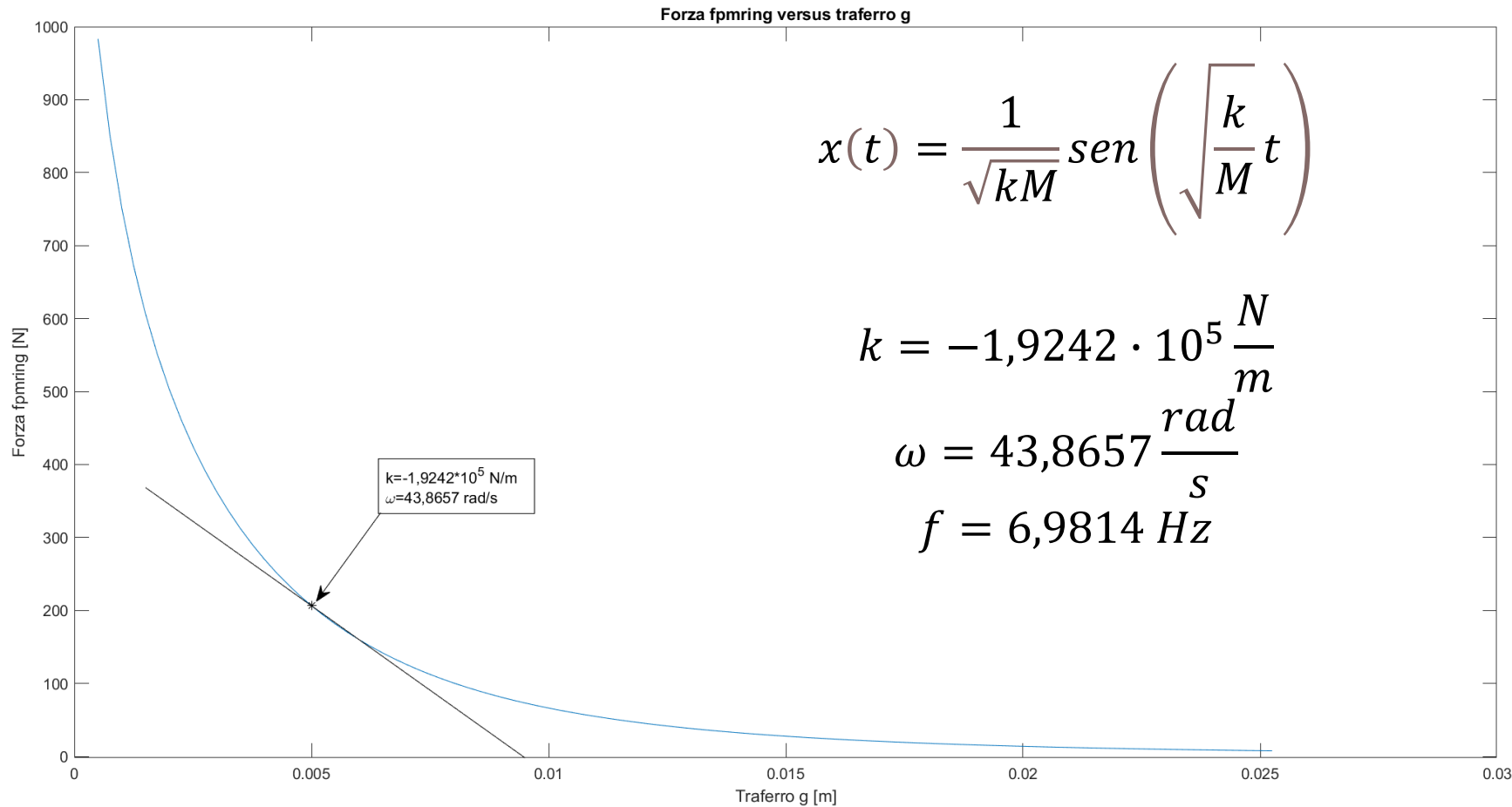
Grafico a campo
ristretto: entro i
constraints, coi
risultati
dell'ottimizzazione

$$0,2 < a_i < a_e < 0,4 \text{ [m]}$$

Volumi: linee
continue in toni
freddi

Rigidità: linee
tratteggiate in
toni caldi





Soluzione a toro in alluminio per
riassorbire le perturbazioni

Questa tesi si proponeva l'obiettivo di trovare una configurazione geometrica che minimizzasse volume e rigidità delle sospensioni magnetiche a sostegno di un volano per applicazioni di accumulo energetico.

Il punto di partenza era una formula matematica troppo ricca di variabili per essere studiata agevolmente, ma con assunzioni lecite la si è ricondotta ad una più semplice, consentendo l'implementazione nell'algoritmo genetico di Matlab. Ottenute le soluzioni ottimali, se ne è osservata una in particolare.

Considerato quindi che si sono trovate le soluzioni, la consegna della tesi è risolta.

Altri spunti di ricerca: analisi per cuscinetti diversi: di diverse geometrie, di altri materiali (multimateriali), o persino varie combinazioni fra attivi e passivi.

Grazie per l'attenzione!