

Principi e Metodologie della Progettazione Meccanica

ing. F. Campana
a.a. 06-07

Lezione 11: CAE e Ottimizzazione Strutturale

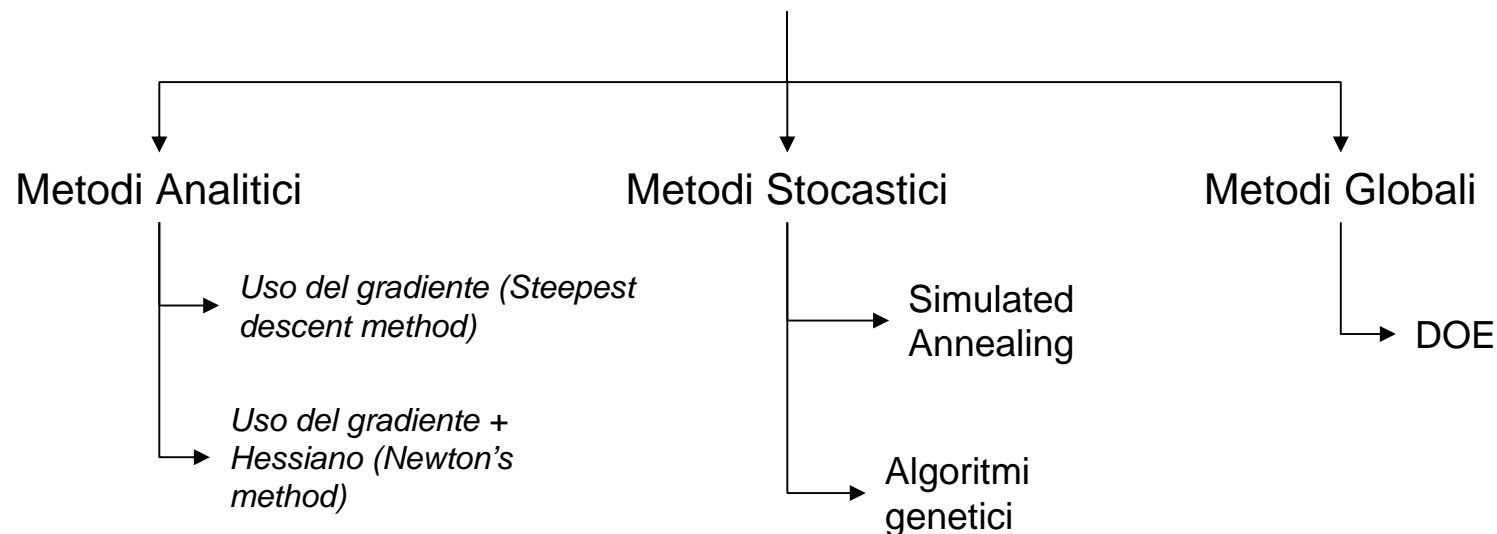
Il ruolo dell'ottimizzazione nell'ambito della progettazione meccanica

- Durante la progettazione si ricorre molto spesso a principi e procedure di ottimizzazione.
- La formulazione classica di un problema di ottimizzazione consiste nella ricerca di un vettore $\underline{X}^*=(X^*_1, X^*_2, \dots, X^*_n)$ tale che $F(\underline{X}^*) = \min F(\underline{X})$, rispettando i vincoli:
 - $X_i \in [X_{i_lower} \ X_{i_upper}]$
 - $g_i(\underline{X}) \geq 0 \quad i=1, \dots, m$

Per variabili di controllo, \underline{X} , continue nell'intervallo sono disponibili diversi algoritmi di ricerca del minimo sia vincolato che libero ($m=0$).

- Nell'ambito dell'ottimizzazione strutturale i problemi riconducibili a questo tipo sono quelli di ricerca della dimensione ottimale al fine di aumentare la resistenza o la rigidezza oppure ridurre il peso, la freccia massima, ...

Metodi di ricerca del minimo per funzioni a più variabili



Nei metodi analitici generalmente la funzione obiettivo viene stimata dal calcolo FEM attraverso tecnica perturbativa: la $F(\underline{X})$ viene valutata per perturbazioni Δx_i di ciascuna variabile x_i al fine di calcolarne il gradiente.

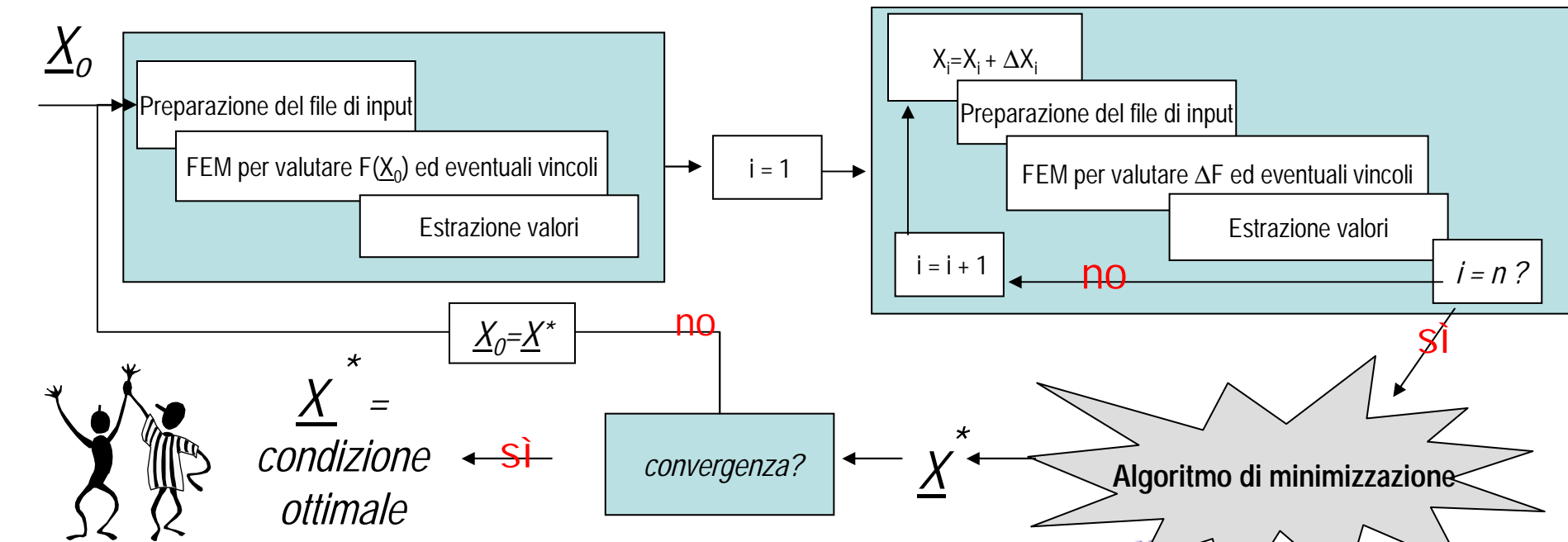
La funzione obiettivo può essere una grandezza nodale oppure una combinazione di più grandezze nodali opportunamente calcolata/estratta dall'output della simulazione

Le variabili di controllo se grandezze geometriche sono parametri variabili del file di input da cui si genera la mesh

I vincoli possono essere funzione sia dei parametri geometrici che delle grandezze nodali/di elemento

Iter di impostazione di problema di ottimizzazione tramite FEM

- Per realizzare un'ottimizzazione strutturale è necessario:
 - un algoritmo di ricerca del minimo
 - un programma di creazione automatica del file di input della mesh al variare della geometria
 - un programma di estrazione automatica dal file di output della soluzione FEM del valore corrente della funzione obiettivo



Interfaccia CAD/FEM

Esistono ambienti CAD in grado di fare calcolo strutturale a partire dal modello solido. Molto spesso in questi casi i modelli solidi sono direttamente discretizzati in elementi brick e l'applicazione dei carichi e dei vincoli deve essere agganciata a superfici (si veda ad esempio FEMAP express in Solid Edge V18).

L'uso di moduli FEM specifici (quali ad es. Ansys o Dyna o Marc ...) permettono di schematizzare le strutture in maniera più efficiente snellendo i tempi di calcolo: i carichi ed i vincoli si possono applicare direttamente sui nodi, si possono creare vincoli di simmetria studiando porzioni di struttura, si possono usare elementi trave ed aste senza modellare la struttura in brick, ...

Intefacciare i modelli CAD con prodotti FEM diversi non è una procedura banale poiché ciascun ambiente CAD ha il suo protocollo di salvataggio dati non leggibile dagli altri. Tra i **formati neutri** di esportazione modelli solidi si ricorda il **formato iges**. Geometrie complesse, con molti raccordi e variazioni di sezione tipo loft o spessori sottili, sono esportabili solo in maniera parziale (non si esportano i volumi ma solo le superfici esterne) e richiedono una fase di "ricucitura" o **defeathering** dei dettagli.

Per approfondimenti si veda il sito <http://www.nist.gov/iges/>

Ottimizzazione Topologica

Agganciando le tecniche di ottimizzazione alla simulazione FEM possiamo realizzare processi di ottimizzazione della forma nel rispetto delle grandezze strutturali (ad es. scegliere la configurazione ottimale dei nodi di una struttura reticolare migliorando la rigidità).

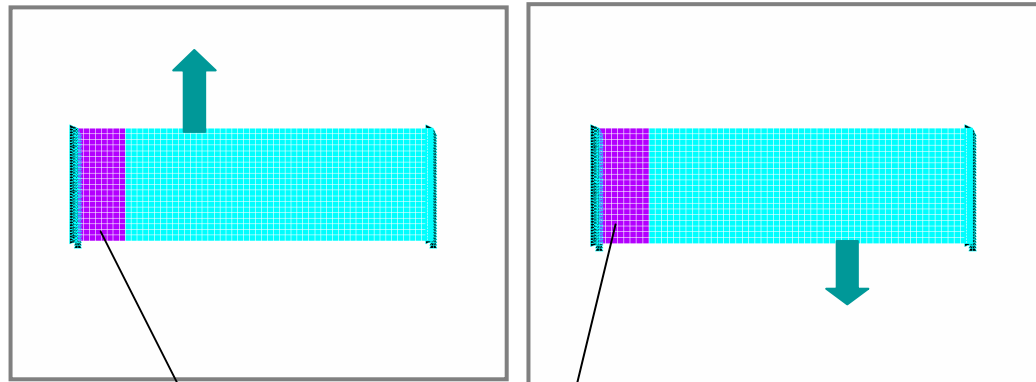
La funzione obiettivo è rappresentata dalla grandezza strutturale di interesse mentre le variabili di controllo sono gli elementi ovvero la distribuzione di volume nell'area di controllo.

Con l'ottimizzazione topologica si migliora la forma da assegnare ad un componente, mentre con la progettazione dei parametri geometrici di progetto si migliorano le dimensioni relative nel rispetto ad esempio della resistenza, senza apportare sostanziali modifiche topologiche nella distribuzione delle masse.

A seguire si danno degli esempi realizzati con Ansys

Alcuni esempi realizzati con Ansys

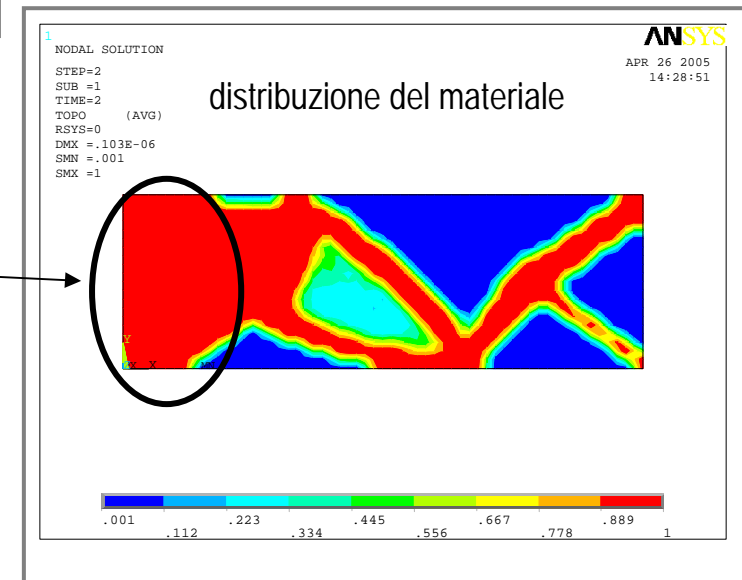
- Ottimizzare la rigidità di una trave sottoposta alle due condizioni di carico sotto illustrate imponendo che il volume della struttura si riduca almeno del 50%



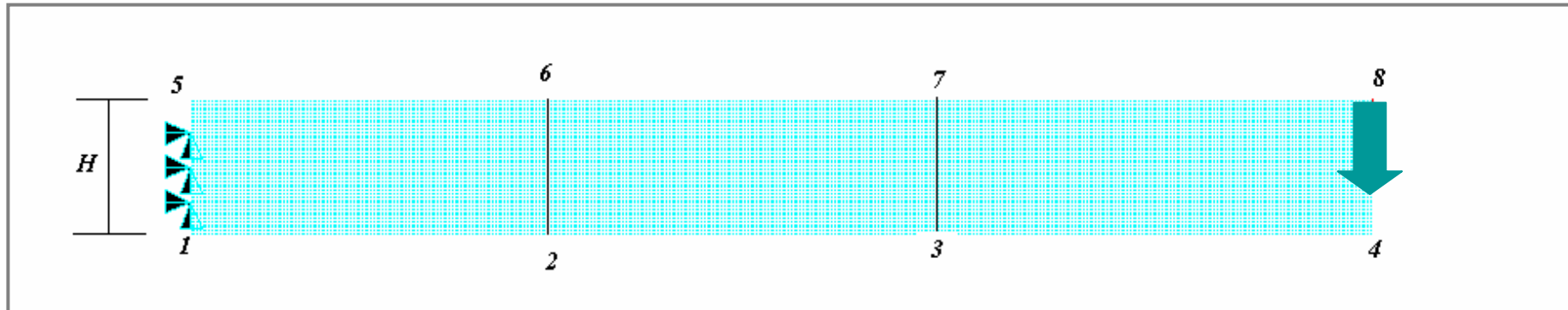
zona non soggetta a modifiche di volume

Funzione obiettivo: inverso della rigidità (ricerchiamo il minimo della funzione “cedevolezza”)

Funzione vincolo : Volume < 0.5



- Ottimizzare il peso di una trave incastrata limitando la tensione ammissibile e la freccia massima



Funzione obiettivo : Volume

Variabili di progetto	Limite inferiore	Limite superiore
H15 (altezza alla radice)	0.01m	0.5m
H26(altezza a distanza 0.3m)	0.01m	0.5m
H37(altezza a distanza 0.6m)	0.01m	0.5m
H48(altezza all'estremità libera)	0.01m	0.5m

Variabili di stato	Limite inferiore	Limite superiore
σ_{\max} → <i>Nel nodo di sollecitazione max</i>	-	200MPa
$U_{y\max}$ → <i>Nel nodo di spostamento massimo</i>	-	0.4mm



N.B. Erano già nell'intervallo ammissibile

Variabili di stato	Progetto iniziale	Progetto migliore con subproblem method	Progetto migliore con first order method
$U_{y_{max}}$	2.96e-3m	3.3e-3m	3.4e-3m
σ_{max}	135MPa	84MPa	87MPa
H15	0.1m	0.1045m	0.105m
H26	0.1m	0.066m	0.062m
H37	0.1m	0.0357m	0.032m
H48	0.1m	0.034m	0.024m
Volume	0.45e-3m ³	0.26e-3m ³	0.24e-3m ³

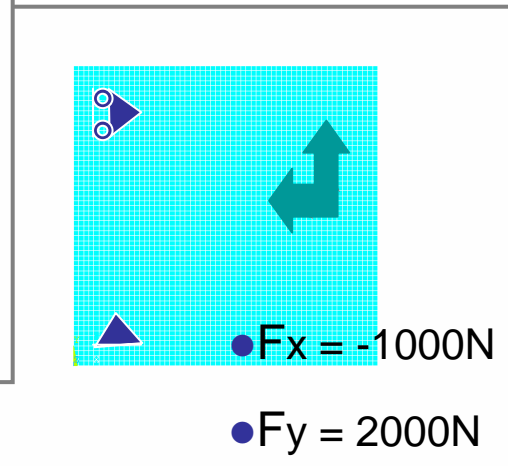
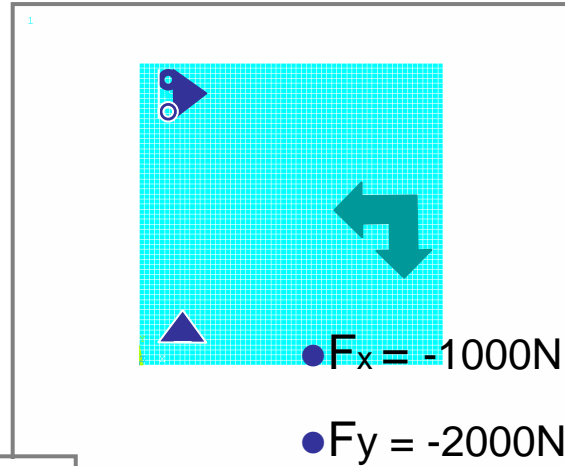
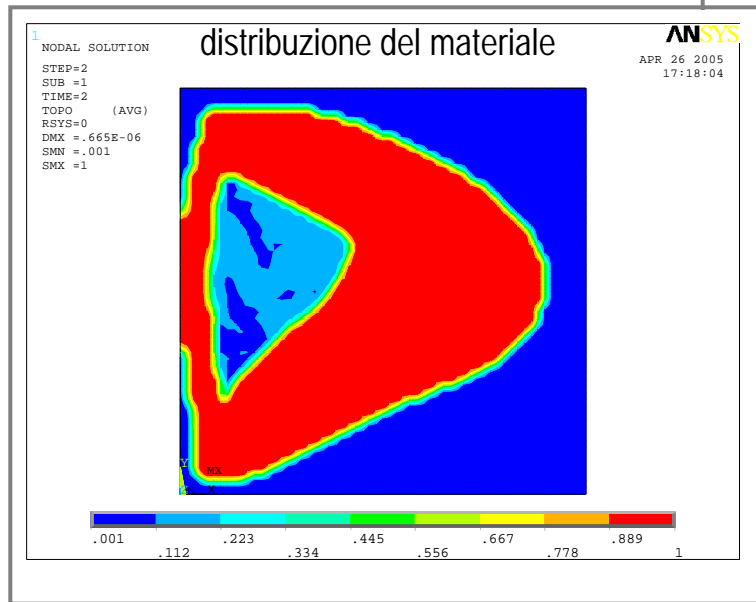
-37%

-40%

- Ricercare la massima rigidezza con volume $< 50\%$

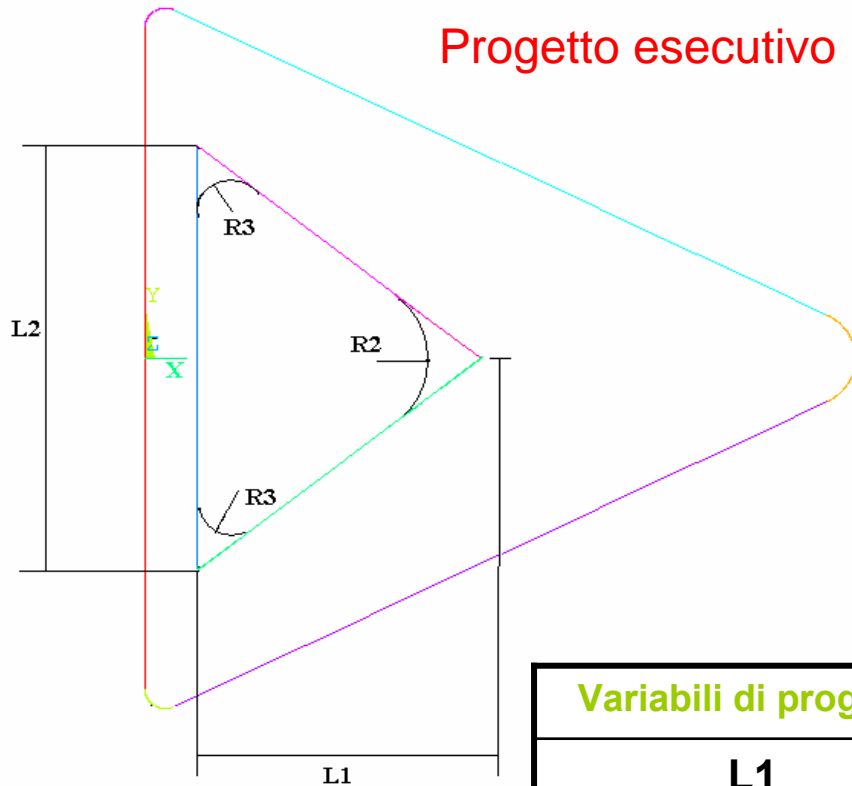
Funzione obiettivo: cedevolezza (ricerchiamo il minimo della funzione “cedevolezza”)

Funzione vincolo : Volume < 0.5



Trovata la topologia ottimale procediamo all'ottimizzazione della resistenza ...

Progetto esecutivo



Variabili di progetto per ottimizzazione resistenza:

- L1, L2
- R1, R2, R3
- spessore

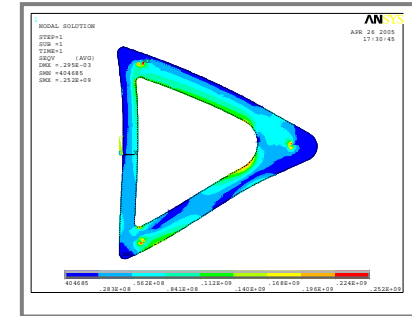
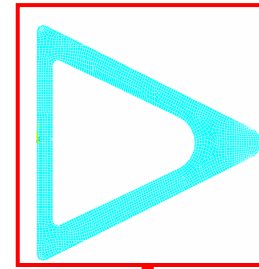
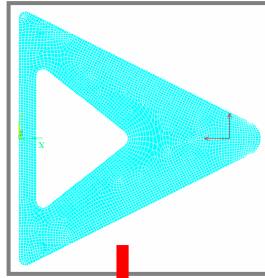
Funzione obiettivo : Volume

Variabili di progetto	Limite inferiore	Limite superiore
L1	0.1m	0.27m
L2	0.15m	0.28m
R2	0.001m	0.05m
R3	0.001m	0.01m
Spessore della piastra	0.002m	0.008m

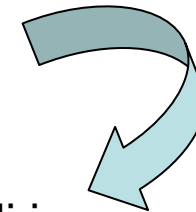
Variabili di stato	Limite inferiore	Limite superiore
σ_{max}	-	350MPa
$U_{y_{max}}$	-	0.4mm

Nel nodo di sollecitazione max

Nel nodo di spostamento massimo



Variabili	Progetto iniziale	Migliore progetto con subproblem method
U _y max	0.135e-3m	0.3e-3m
σ _{max}	64MPa	228MPa
L1	0.13m	0.24m
L2	0.175m	0.21m
R2	0.008m	0.035m
R3	0.004m	0.006m
Tk	0.007m	0.006m
Volume	0.24e-3m ³	0.139e-3m ³



Dimensioni ottimali in
funzione della resistenza