

Gli Indici dei Materiali

Ingegneria Industriale

Cosa significano quelle formule? Sono i criteri di efficienza del progetto



Problema iniziale

**uno strumento che consenta
di accedere al vino
contenuto all'interno di una
bottiglia con il tappo di
sughero**

Strategia per la progettazione

Individuare le richieste del progetto

Selezionare per vincoli

Classificare per obiettivi

Determinare i criteri di efficienza

Trovare la migliore soluzione

- Quale compito deve svolgere lo strumento?
- Quali sono i vincoli?
- Quale aspetto vogliamo massimizzare/minimizzare?
- Quali sono i gradi di libertà?

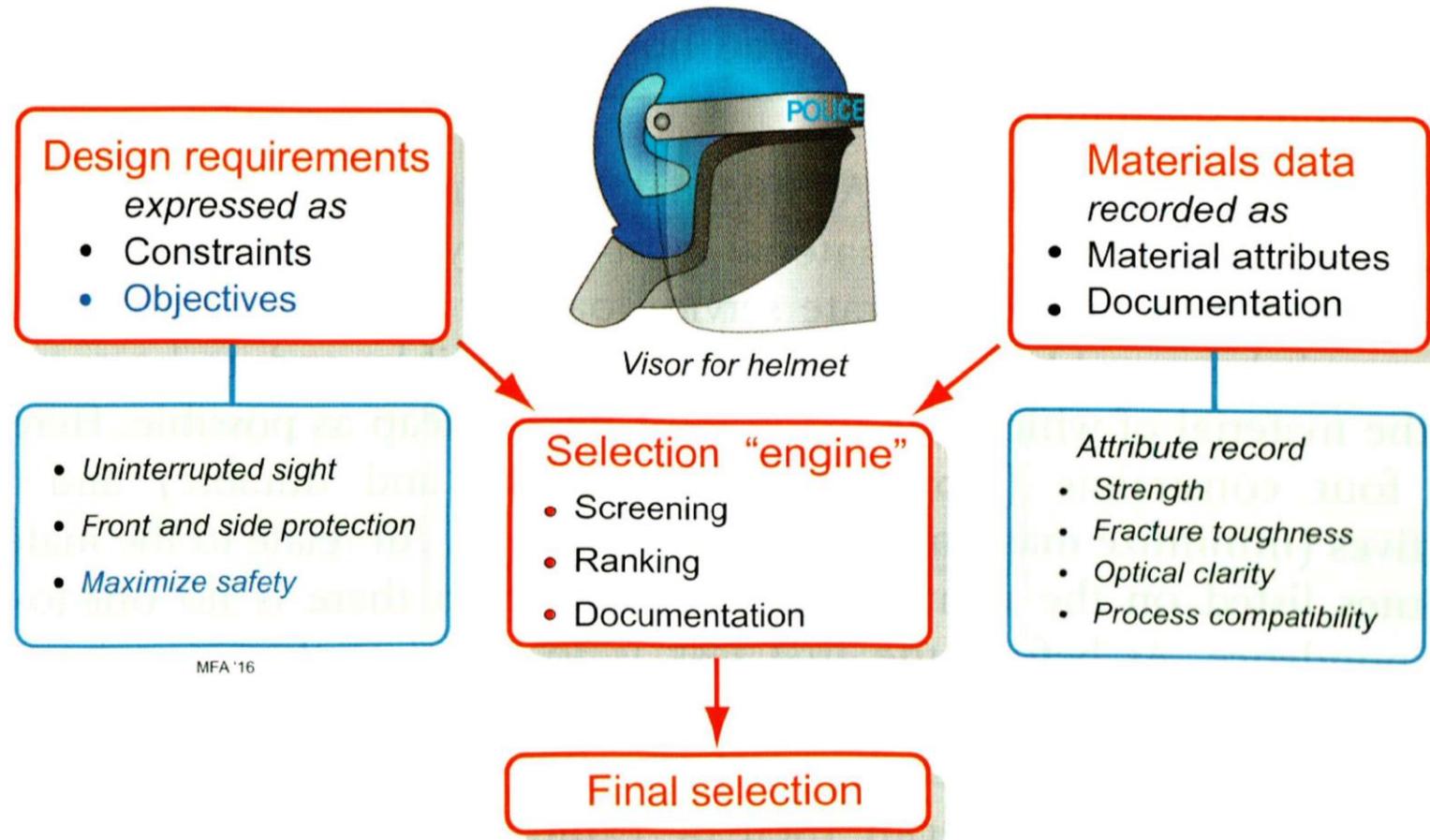
FUNZIONE

VINCOLI

OBIETTIVI

VARIABILI LIBERE

Strategia per la progettazione



- **FUNZIONE**: sostenere un peso, contenere una pressione, trasmettere il calore...
- **OBIETTIVI**: meno costoso possibile, più leggero possibile, più resistente possibile
- **VINCOLI**: la lunghezza è fissa, il pezzo deve sostenere un carico, una temperatura
- **VARIABILI LIBERE**: la scelta del materiale, la forma della sezione

- **VINCOLI INDEROGABILI**: il pezzo DEVE soddisfare le specifiche (spesso meccaniche): una trave che deve sostenere un certo carico (altrimenti crolla la costruzione !!)
- **VINCOLI NEGOZIABILI**: il pezzo DOVREBBE soddisfare le specifiche (spesso estetiche o economiche): la trave dovrebbe costare meno di

Trovare la migliore soluzione

Individuare le richieste del progetto



TUTTI I MATERIALI

Selezionare per vincoli

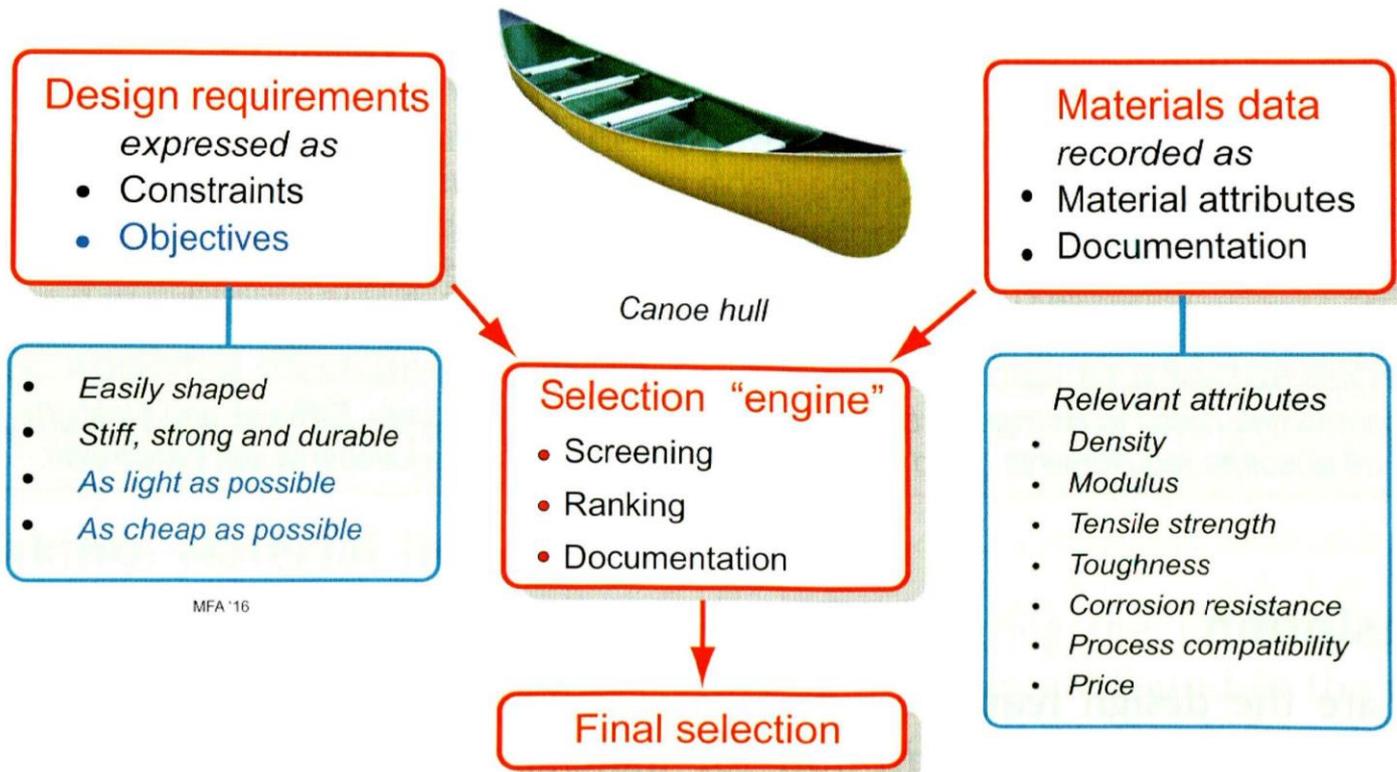
Classificare per obiettivi

Determinare i criteri di efficienza



SELEZIONE DEL
MATERIALE

Strategia per la selezione

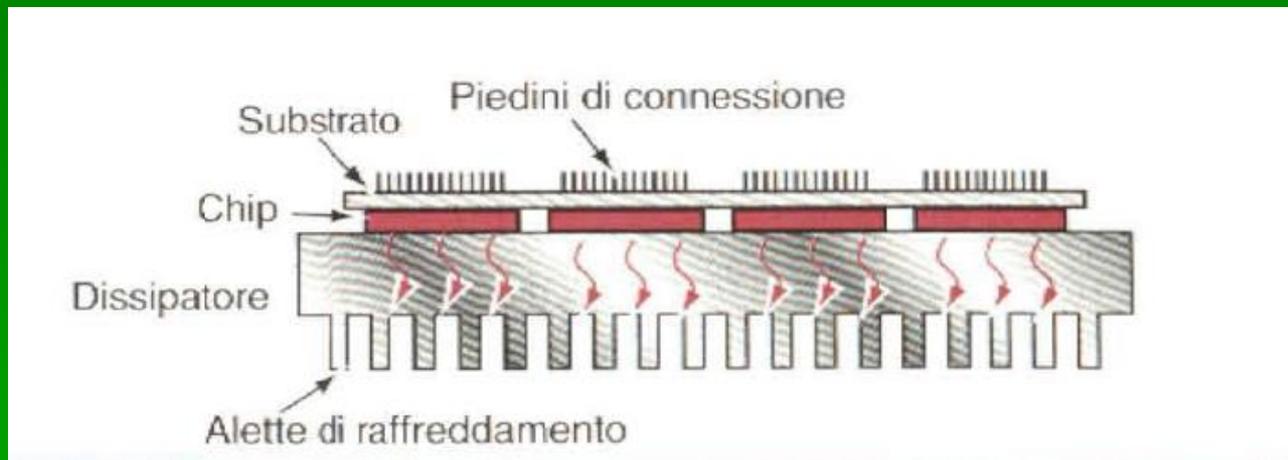


Criteri di efficienza e Indici dei Materiali

**l' INDICE di Materiale (M) è una
combinazione di proprietà del
materiale che caratterizza le
prestazioni del componente in una
data applicazione**

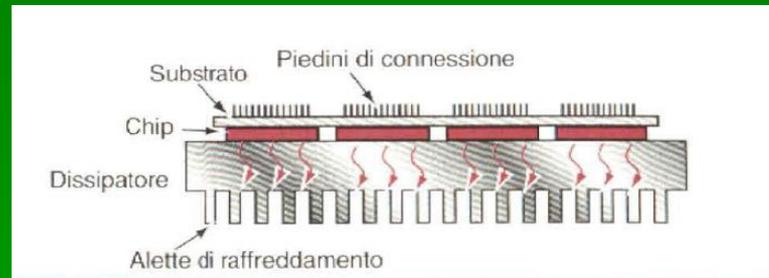
*Es.: un componente strutturale svolge “una
funzione” – si vuole sapere quali materiali
ottimizzano le prestazioni di quel componente*

Es.: Dissipatore di calore per microchips



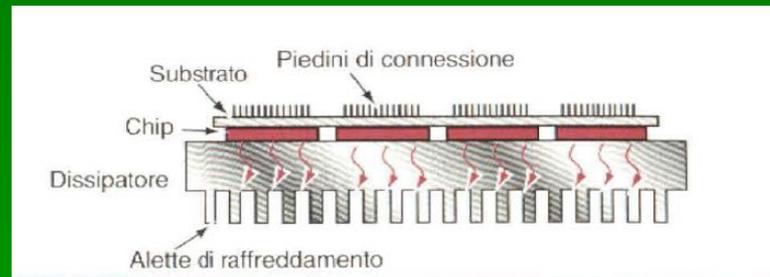
Selezionare il miglior materiale per il dissipatore

Es.: Dissipatore di calore per microchips



il miglior materiale sarà quello che garantisce la maggiore dissipazione termica ma il migliore isolamento elettrico

Es.: Dissipatore di calore per microchips



Funzione: dissipare il calore

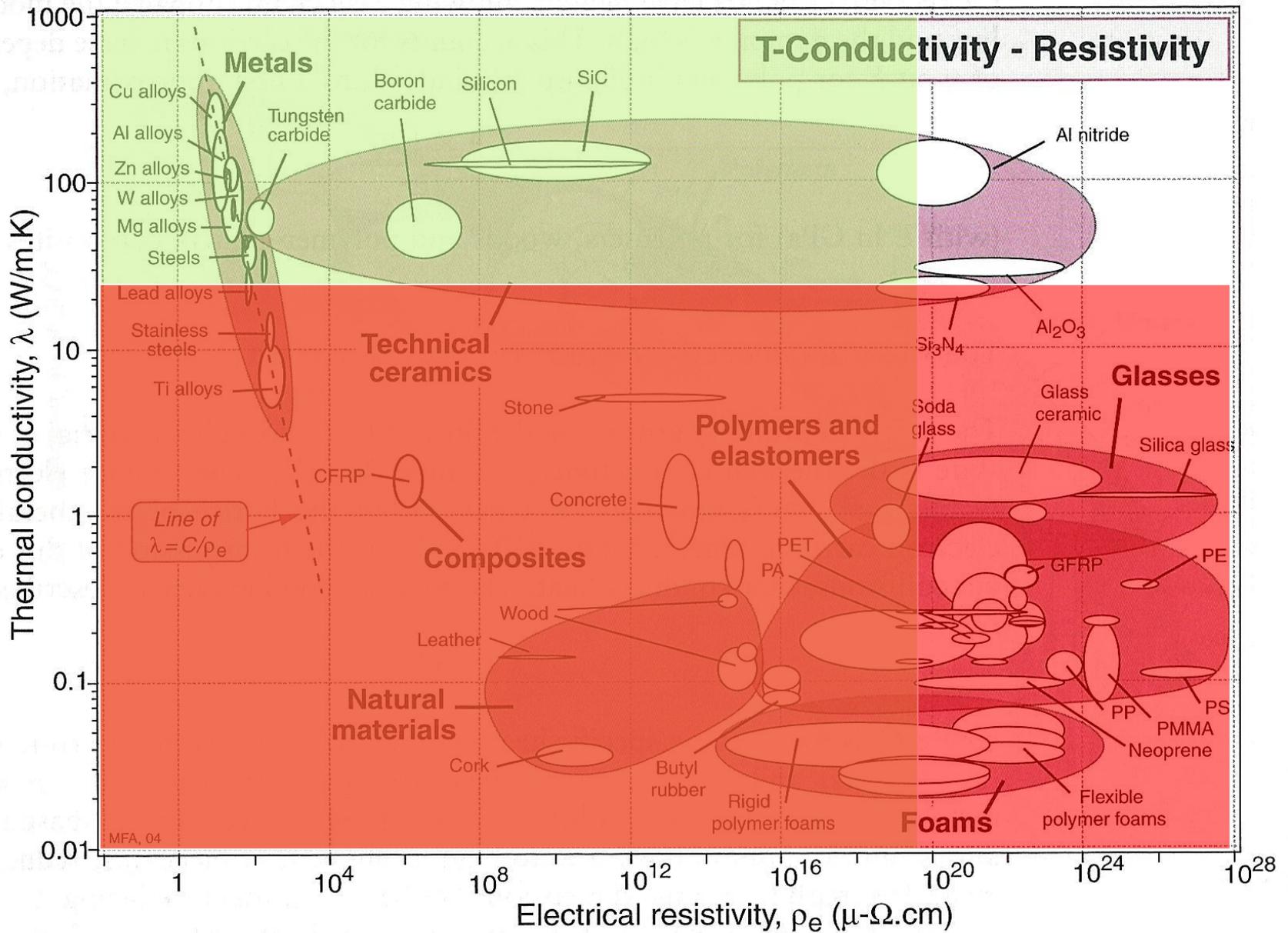
Vincoli: $\rho_e > 10^{19} \mu\Omega \cdot \text{cm}$, le dim. sono fissate

Obiettivo: massimizzare λ

Variabili libere: il materiale

Es.: Dissipatore di calore per microchips

- In questo esempio il VINCOLO è il CRITERIO DI SCELTA (*fissa un attributo limite*)
- OBIETTIVO: tra i materiali che soddisfano i vincoli si cercheranno quelli che hanno maggiore conducibilità termica (*classificazione per obiettivi*)

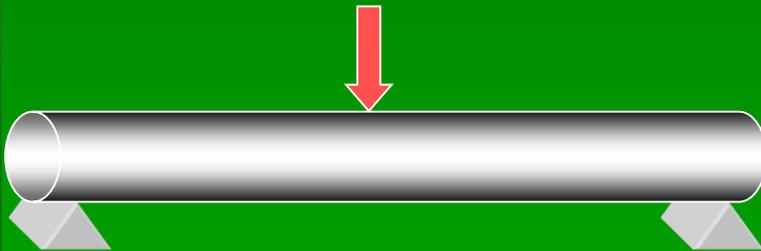


Questo è un caso «semplice» in cui vincoli e obiettivi non sono in relazione tra loro e l'INDICE del materiale M è λ cioè semplicemente una proprietà del materiale stesso !

Elementi strutturali semplici



asta: carico a trazione



trave: carico a flessione



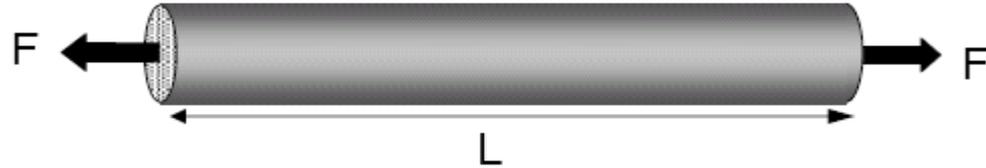
albero: carico a torsione



colonna: carico a
compressione

esempio: ricavare l'indice di materiale per il componente strutturale "asta"

componente strutturale sottoposto a trazione



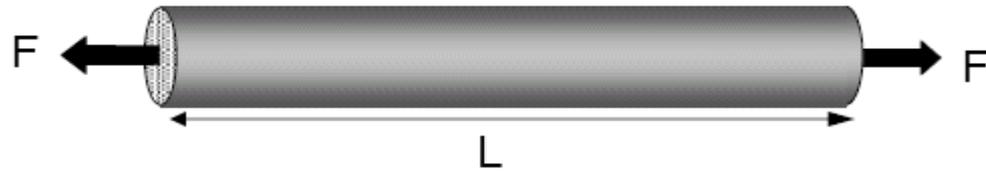
1. funzione: resistere a trazione

2. obiettivo: minimizzare la massa

3. vincoli: la lunghezza è data
deve sopportare F
deve essere tenace

4. variabili libere: il materiale
area della sezione

componente strutturale
sottoposto a trazione



2. obiettivo: minimizzare la massa

$$m = AL\rho$$

3. vincoli: deve sopportare F

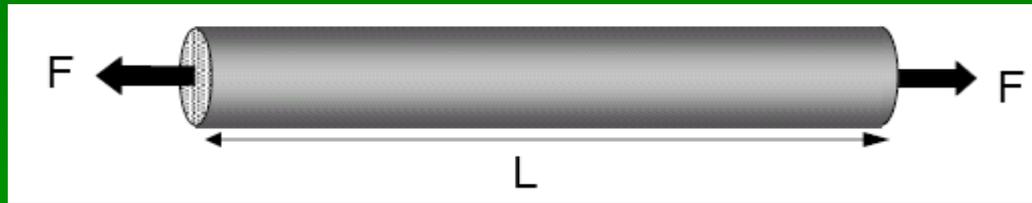
$$F/A \leq \sigma_f$$

$$m \geq FL \left(\frac{\rho}{\sigma_f} \right)$$

$$M = (\sigma_f / \rho)$$

Eliminando "A" e
combinando le due
equazioni si ottiene
l'indice M

**L'asta più leggera che
sopporta il carico F senza
rompersi è....**



**....quella con l'indice M di
valore più alto**

$$M = \frac{\sigma_f}{\rho}$$

è una "resistenza
specifica"



per selezionare il materiale si usa il grafico $\sigma_f - \rho$

il grafico è in scala logaritmica per cui l'indice M viene riscritto:

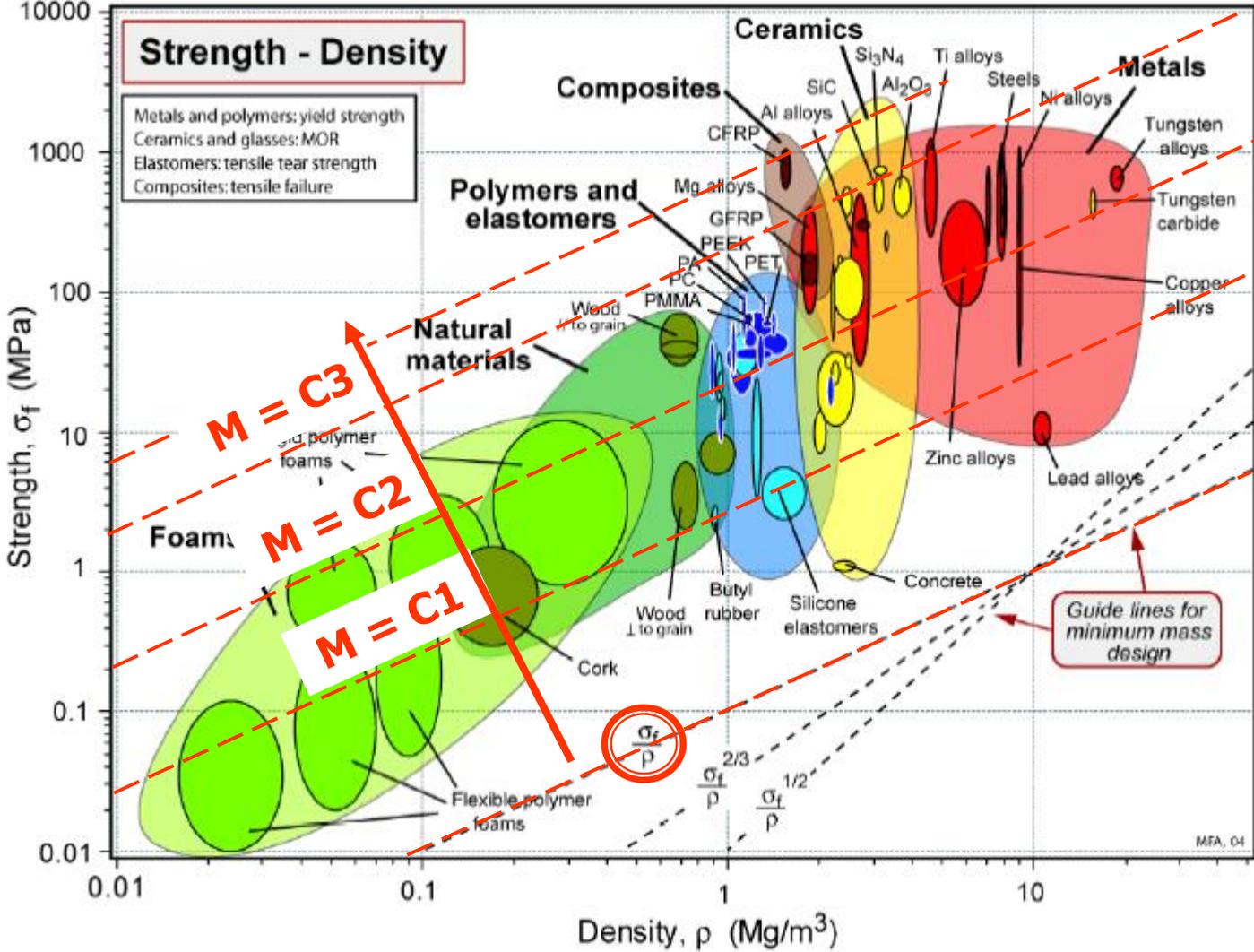
$$M = \frac{\sigma_f}{\rho}$$

$$\log M = \log \sigma_f - \log \rho$$

$$\log \sigma_f = \log \rho + \log M$$

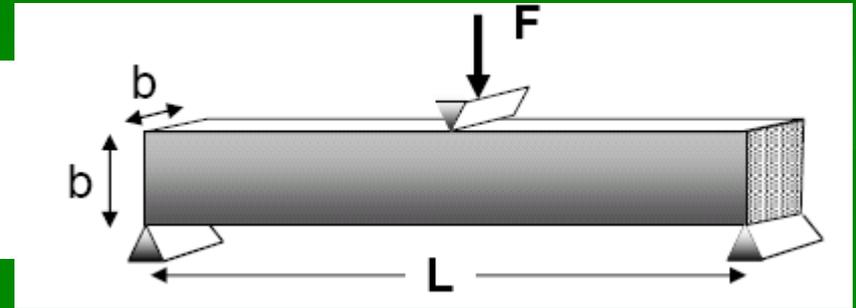
**che danno sul grafico linee
parallele di intercetta M e
pendenza 1**

le linee tracciate sono linee con $M = \text{cost}$



esempio: ricavare l'indice di materiale per il componente strutturale "trave"

componente strutturale sottoposto a flessione



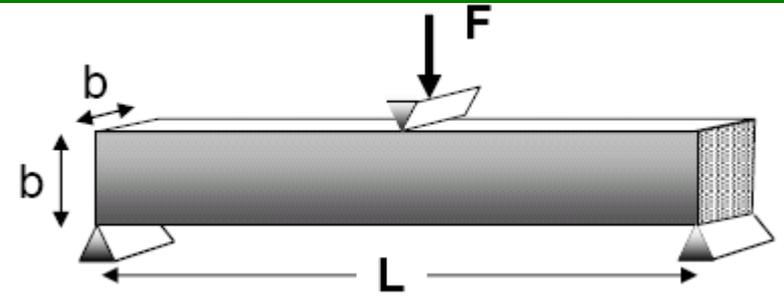
1. funzione: resistere a flessione

2. obiettivo: minimizzare la massa

3. vincoli: la lunghezza data è L
deve avere rigidezza S

4. variabili libere: il materiale
lunghezza lato b

componente strutturale
sottoposto a flessione



2. obiettivo: minimizzare la massa

$$m = b^2 L \rho$$

3. vincoli: deve avere rigidezza S

$$S = \frac{F}{\delta} \geq \frac{C_1 EI}{L^3}$$

$$I = \frac{b^4}{12} = \frac{A^2}{12}$$

$$m \geq \left(\frac{12S}{C_1 L} \right)^{1/2} (L^3) \left(\frac{\rho}{E^{1/2}} \right)$$

$$M = \frac{E^{1/2}}{\rho}$$

Combinando le
due equazioni si
ottiene l'indice M

per selezionare il materiale si usa il grafico E - ρ

il grafico è in scala logaritmica per cui l'indice M viene riscritto:

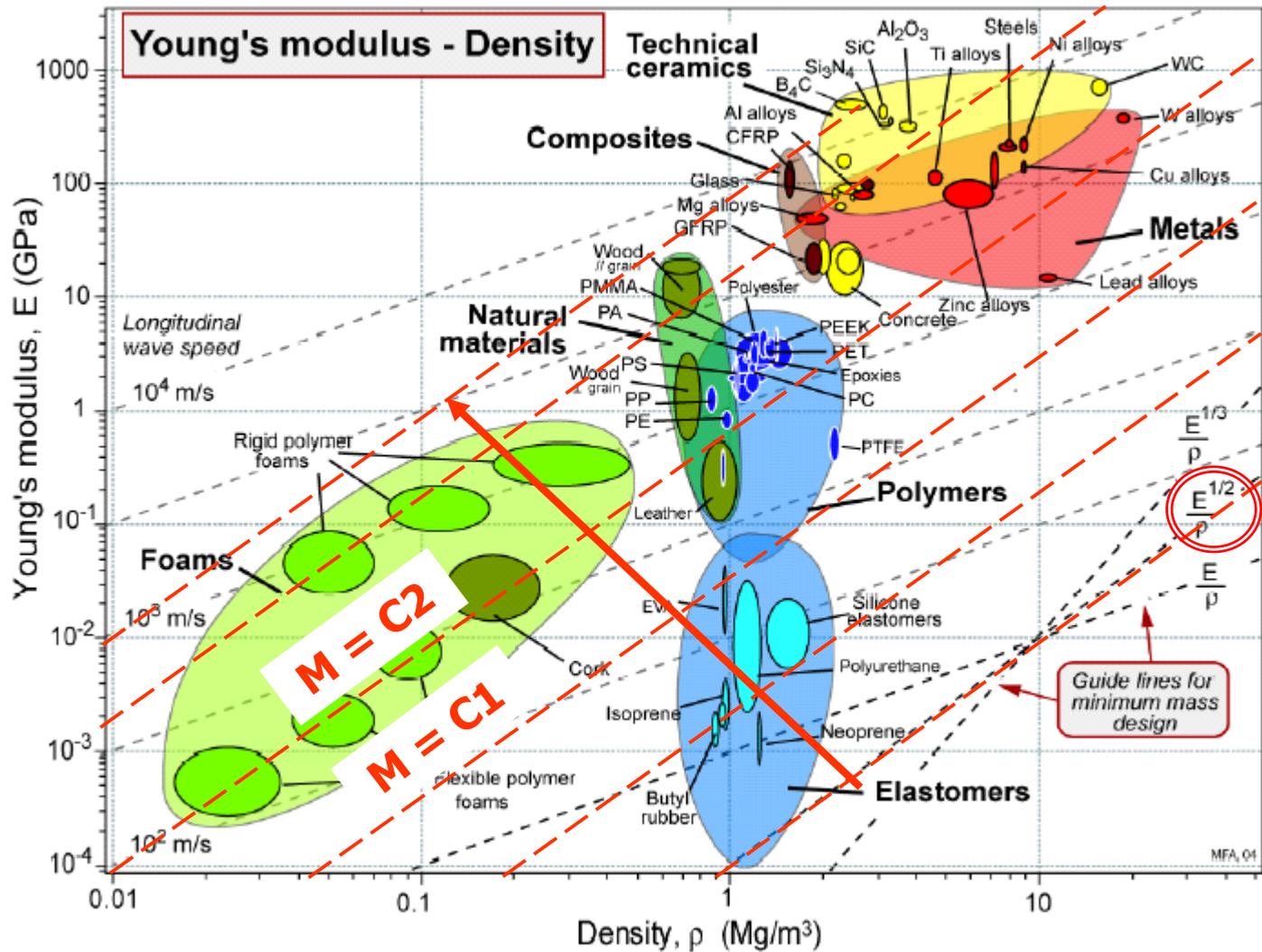
$$M = \frac{E^{1/2}}{\rho}$$

$$2 \log M = \log E - 2 \log \rho$$

$$\log E = 2 \log \rho + 2 \log M$$

**che danno sul grafico linee
parallele di pendenza 2**

le linee tracciate sono linee con $M = \text{cost}$



Più in generale: come si derivano gli indici??

- Un elemento/componente strutturale deve:
 - SVOLGERE UNA FUNZIONE:
 - Sostenere un carico
 - Trasmettere il calore
 - SODDISFARE DEI VINCOLI:
 - Non si deve deformare plasticamente
 - Deve avere una conducibilità minima

... insomma garantire certe “PRESTAZIONI” = ottimizzazione delle proprietà

Le proprietà (massa, volume, costo..) di un elemento sono funzioni di:

$$P = f(F, G, M)$$

F = la funzione strutturale richiesta

G = parametri geometrici

M = proprietà del materiale

**La progettazione di un
componente è la scelta
del MATERIALE e della
GEOMETRIA per
massimizzare
(o minimizzare)**

P

F, G ed M dell'equazione precedente, generalmente, sono indipendenti cioè.....

$$P = f_1(F) \cdot f_2(G) \cdot f_3(M)$$



Indice del materiale

L'ottimizzazione del materiale può essere fatta indipendentemente da F e G e quindi anche se non conosco i dettagli del progetto

Alcuni esempi di Indici dei Materiali

funzione	P	Vincoli	Indice M
asta	min. peso	rigidezza	$\frac{E}{\rho}$
trave	min. peso	rigidezza	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$
trave	min. peso	resistenza	$\frac{\sigma_f^{2/3}}{\rho}$

... Ho fissato i criteri di efficienza

