

Università degli Studi di Trieste  
Dipartimento di Ingegneria e Architettura  
A.A. 2019-2020

Corso di Laurea in Ingegneria Civile ed Ambientale  
**Corso di Chimica e Tecnologia dei Materiali**

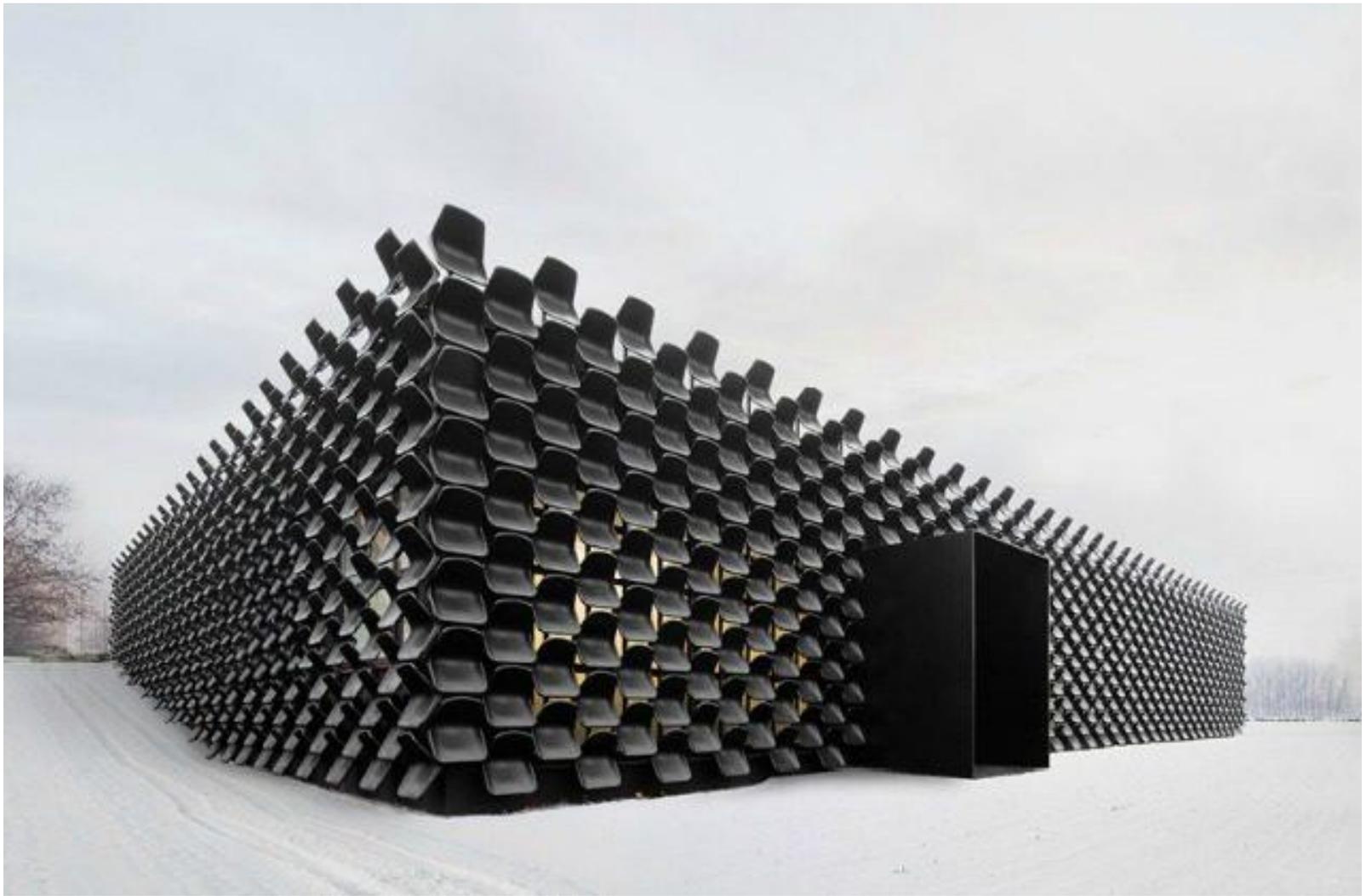
**Modulo 2: Tecnologia dei Materiali**

**- Lezione 11: Polimeri -**

**Barbara Codan**

**bcodan@units.it**

**Dipartimento di Ingegneria e Architettura  
Università degli Studi di Trieste**



CHYBIK + KRISTOF (Brno)

# Definizione di materia

La **materia** di cui è formato il mondo è composta da particelle discrete aventi una grandezza submicroscopica, le cui leggi sul comportamento sono definite dalle teorie atomiche.

Gli stati di organizzazione della materia sono vari:

*Disordine completo*



*Ordine parziale (a corto raggio)*



*Ordine perfetto (quasi)*

***Stato gassoso***



***Stato liquido***



***Stato solido***

# Classi di materiali

I diversi materiali possono essere classificati secondo:

1. la composizione
2. le proprietà
3. la microstruttura



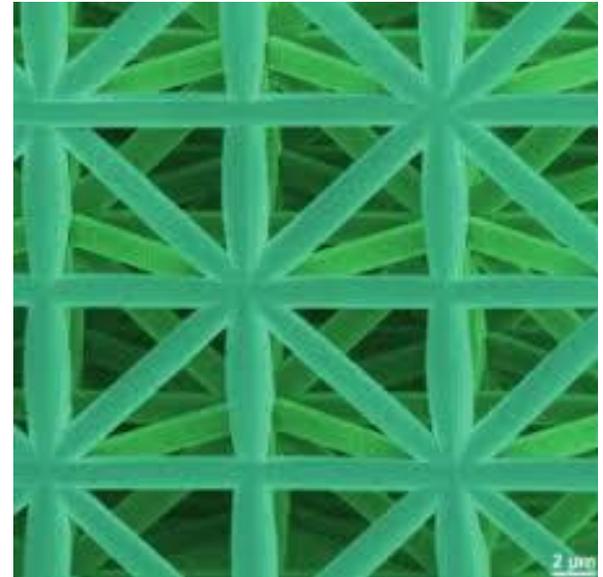
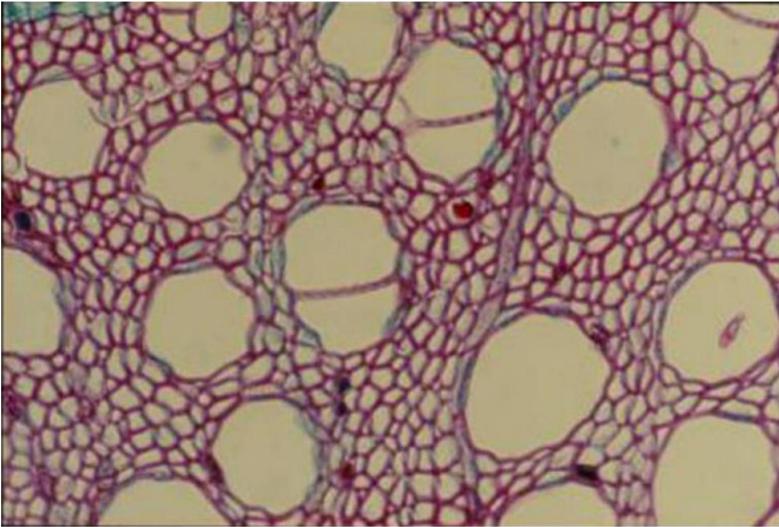
# Composizione



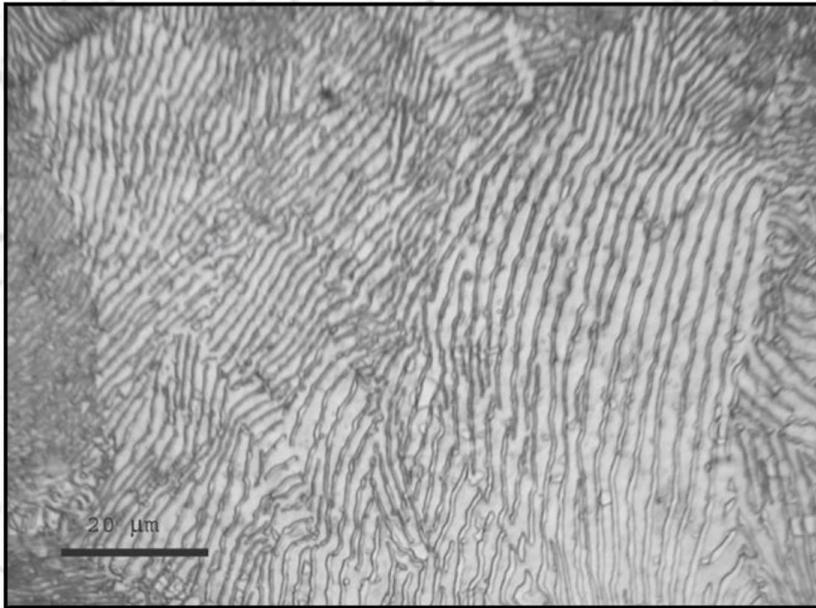
# Proprietà



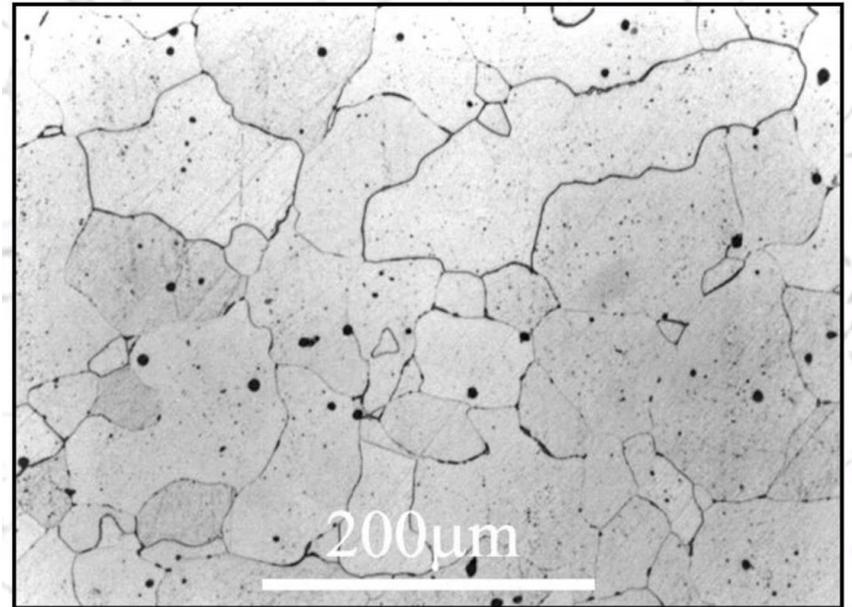
# Microstruttura



# Microstruttura

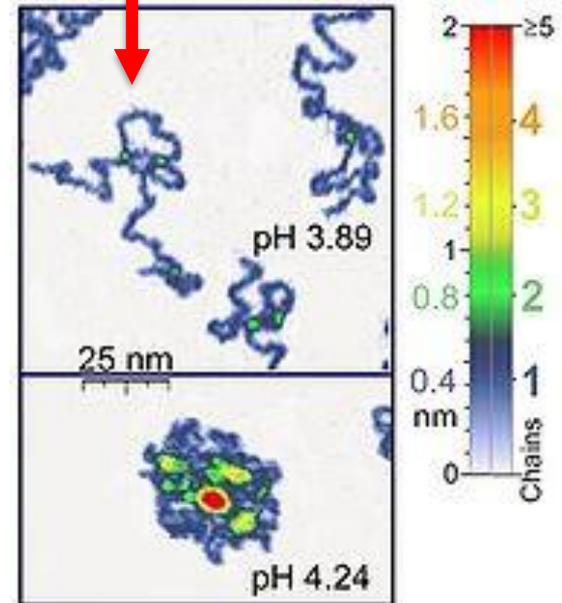
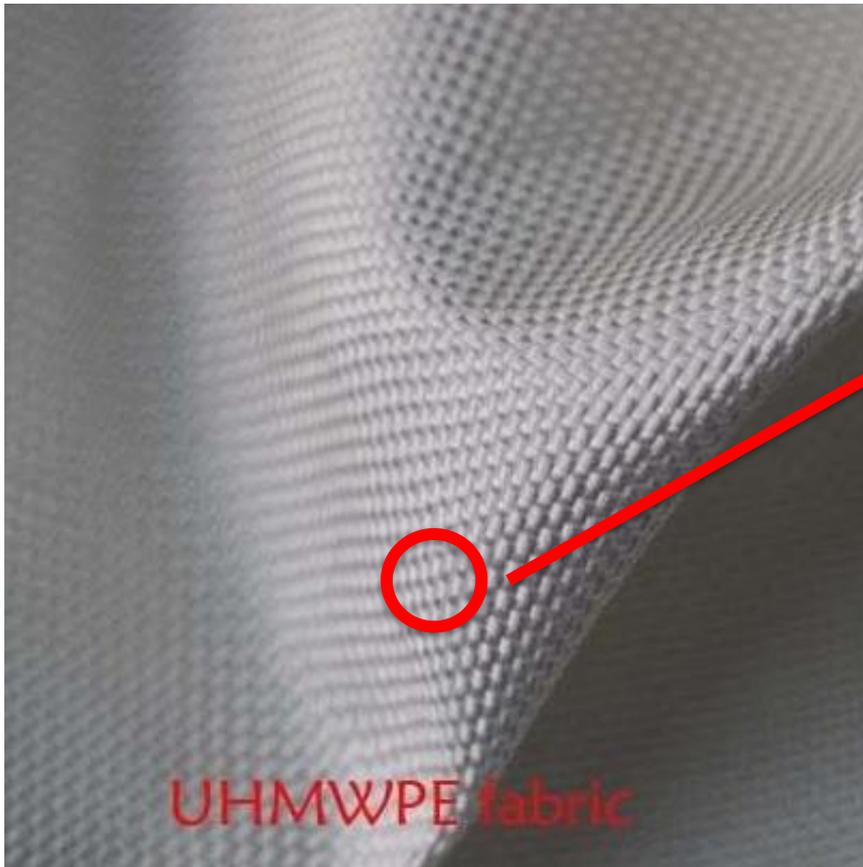


Perlite



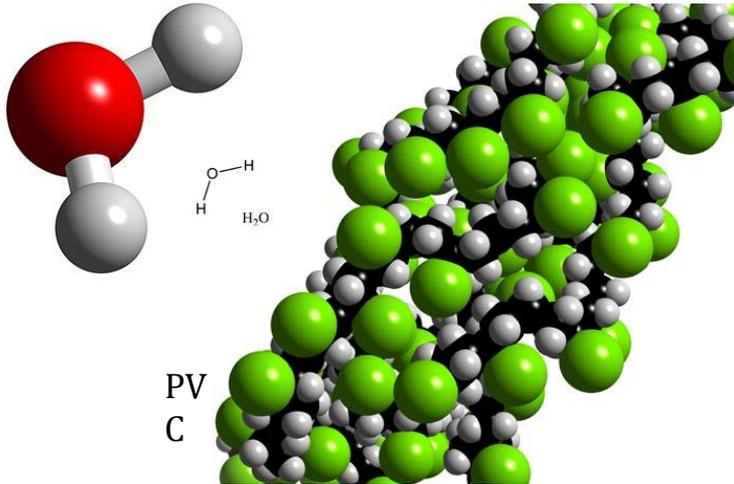
Ferrite

# I polimeri



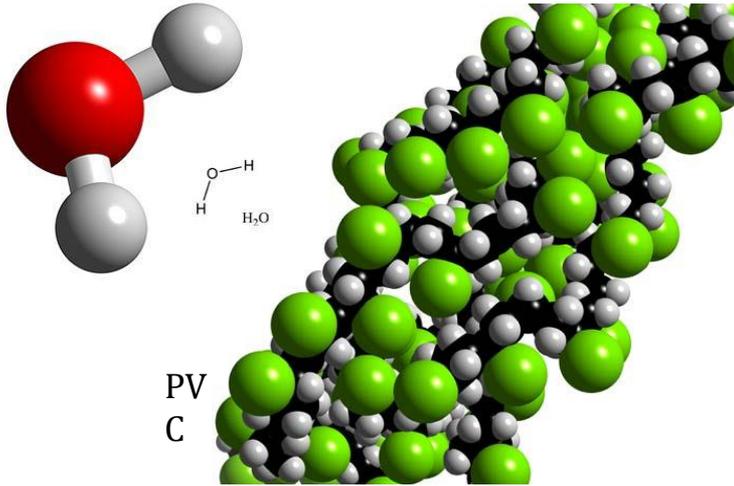
# I polimeri

I polimeri (dal greco πολυς + μέρος = molte parti) sono **macromolecole**, ovvero molecole con un elevato peso molecolare, costituite dalla ripetizione di molecole più semplici dette **monomeri**, legate tra loro da legami di tipo covalente.



# I polimeri

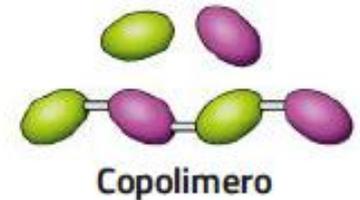
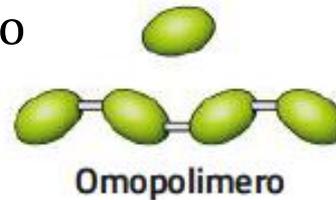
I polimeri (dal greco πολυς + μέρος = molte parti) sono **macromolecole**, ovvero molecole con un elevato peso molecolare, costituite dalla ripetizione di molecole più semplici dette **monomeri**, legate tra loro da legami di tipo covalente.



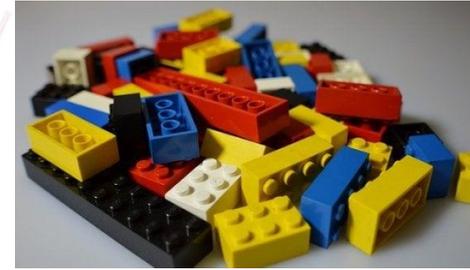
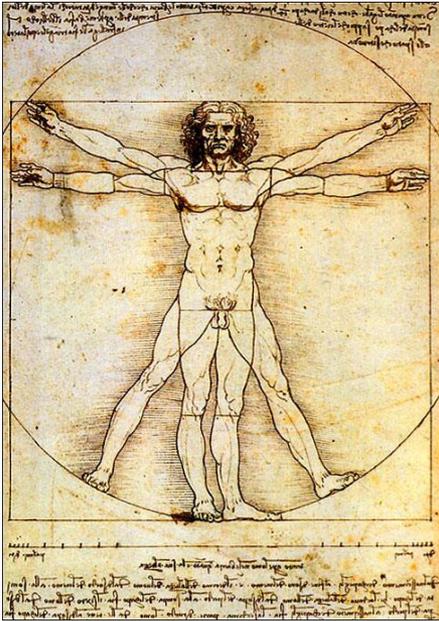
I polimeri si rappresentano attraverso l'**unità ripetente**, che corrisponde al gruppo di atomi che si ripete  $n$  volte lungo la catena polimerica e costituisce l'unità strutturale fondamentale di una macromolecola.

Le catene possono essere formate da uno o più tipi di monomero:

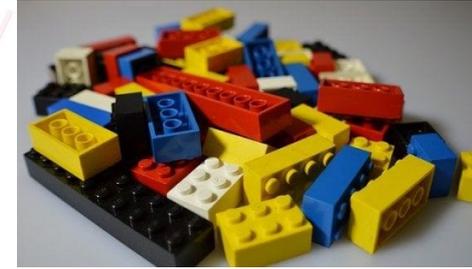
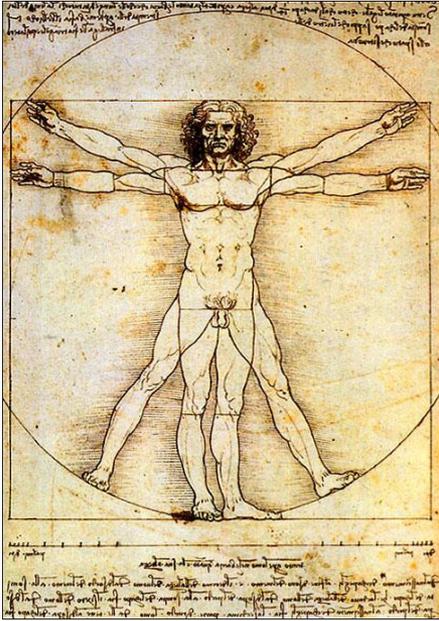
- un solo tipo di monomero forma un **omopolimero**;
- monomeri diversi formano un **copolimero**.



# Dove si trovano i polimeri



# Dove si trovano i polimeri



I **polimeri naturali** o *biomolecole* sono macromolecole di origine biologica e rappresentano i costituenti fondamentali degli organismi viventi.

Appartengono a questa classe:

- i carboidrati (cellulosa, amido e glicogeno);
- le proteine;
- gli acidi nucleici (DNA, RNA).

I **polimeri sintetici** sono prodotti attraverso reazioni chimiche di sintesi, a partire da monomeri ottenuti dalla lavorazione del petrolio.

Ne sono esempi:

polietilene; Teflon®; cellophane®; plexiglas®; nylon; fibre acriliche.

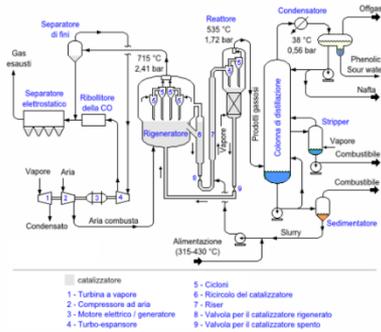
# Produzione di polimeri

Il processo che porta alla formazione del polimero prende il nome di polimerizzazione.

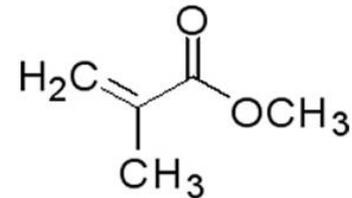
## PETROLIO



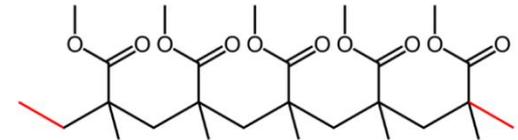
## CRACKING



## MONOMERO



## POLIMERO



# Sintesi dei polimeri

I polimeri sono prodotti attraverso due meccanismi:

- polimerizzazione di **addizione** o a catena;
- polimerizzazione di **condensazione** o a stadi.

Il meccanismo di sintesi dipende dalle caratteristiche chimiche dei monomeri di partenza, cioè segue la reattività dei gruppi funzionali presenti nei reagenti.

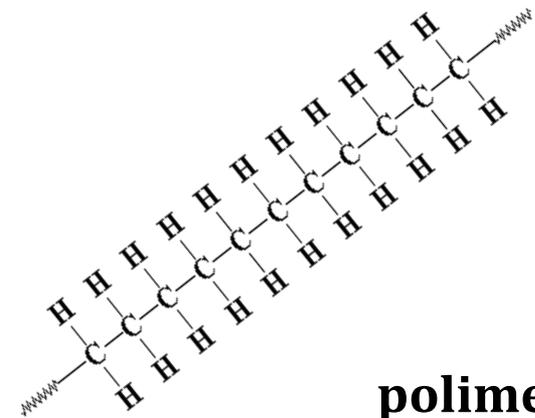


Un polimero ottenuto  
per addizione



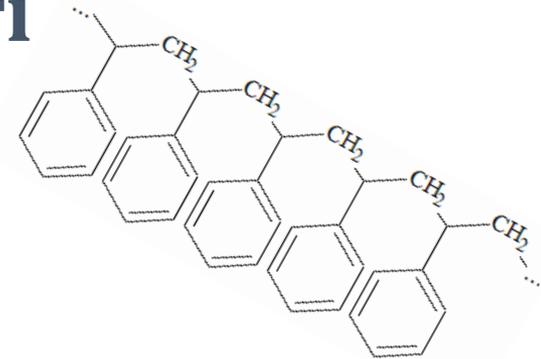
Un polimero ottenuto  
per condensazione

# Sintesi dei polimeri



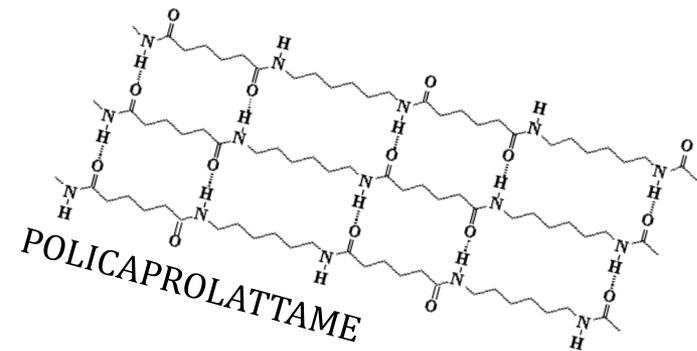
PE

**polimerizzazione per addizione:** il polimero si forma per addizioni successive del monomero. Il meccanismo è detto anche *polimerizzazione a catena* perché ogni passaggio dipende da quello precedente.

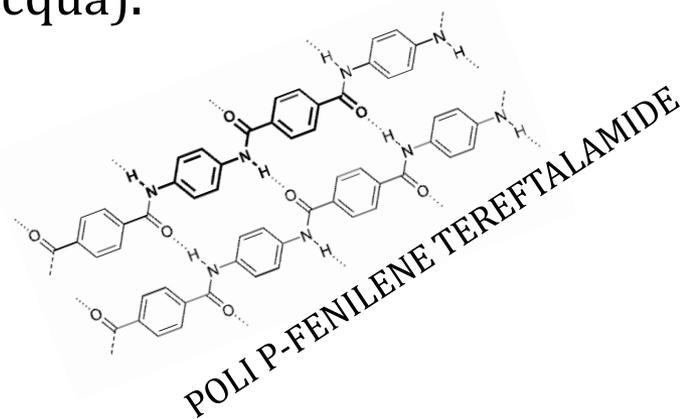


PS

**polimerizzazione per condensazione:** i monomeri coinvolti devono essere almeno bifunzionali e la reazione è accompagnata dall'eliminazione di molecole con massa molecolare ridotta (come l'acqua).



POLICAPROLATTAME



POLI P-FENILENE TEREFTALAMIDE

# Catene

## LINEARE

Queste lunghe catene sono flessibili e possono essere immaginate come una **massa di spaghetti**, ove ciascun cerchio rappresenta un'unità monomerica.



## RAMIFICATE



I polimeri possono essere sintetizzati in modo che dalla catena si dipartano **ramificazioni laterali**. Con la formazione delle ramificazioni si riducono le capacità di impacchettamento della catena, per cui **la densità del polimero diminuisce**. Gli stessi polimeri che formano strutture lineari possono anche essere polimeri ramificati.

# Catene

## POLIMERI A LEGAMI INCROCIATI

Spesso questi **legami incrociati** si ottengono mediante aggiunte di atomi o molecole che si legano alla catena principale con legami covalenti. Molti **materiali gommosi ed elastici** presentano legami incrociati, e nelle gomme tale caratteristica è chiamata **vulcanizzazione**.

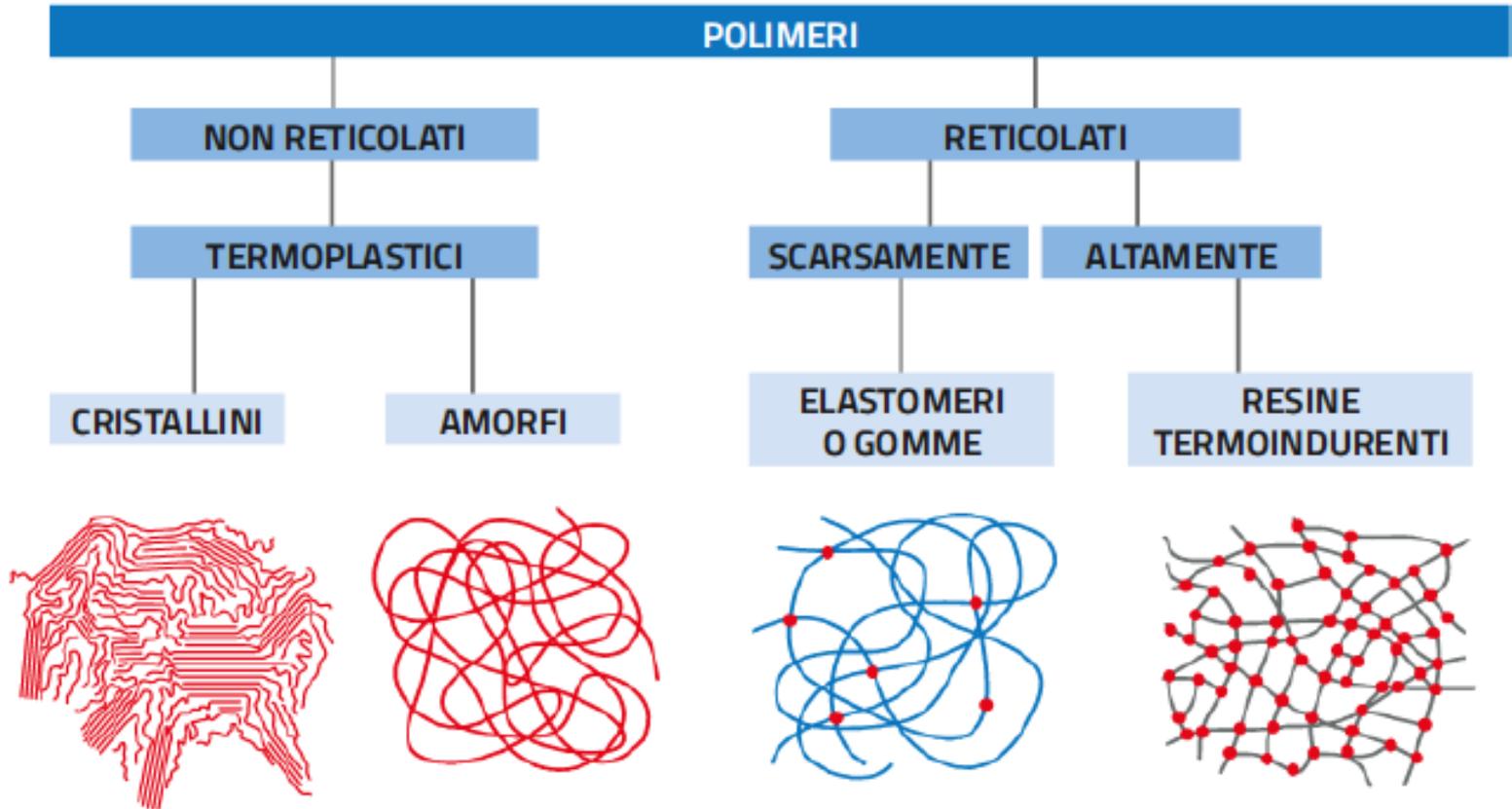


## POLIMERI RETICOLATI



Le unità monomeriche trifunzionali che hanno tre legami covalenti attivi formano **reti tridimensionali** e sono denominati **polimeri reticolati**. In effetti, un polimero che presenta un elevato grado di legami incrociati può essere classificato come un polimero a rete. Questi materiali **hanno proprietà meccaniche e termiche caratteristiche** e tra essi vi sono le resine epossidiche e le fenolo-formaldeide.

# Proprietà dei polimeri



# Classificazione

## TERMOPLASTICI

Polimeri lineari le cui catene sono tenute assieme da legami deboli. Se si somministra sufficiente energia termica, le catene si staccano e il materiale fonde.



## TERMOINDURENTI

Polimeri con struttura reticolata che impedisce il distacco delle catene con la temperatura, per cui, se riscaldati si bruciano e non fondono.

## ELASTOMERI

Possono subire grandi deformazioni sotto sforzo (anche di bassa intensità) e recuperano rapidamente forma e dimensioni iniziali quando viene tolto il carico.



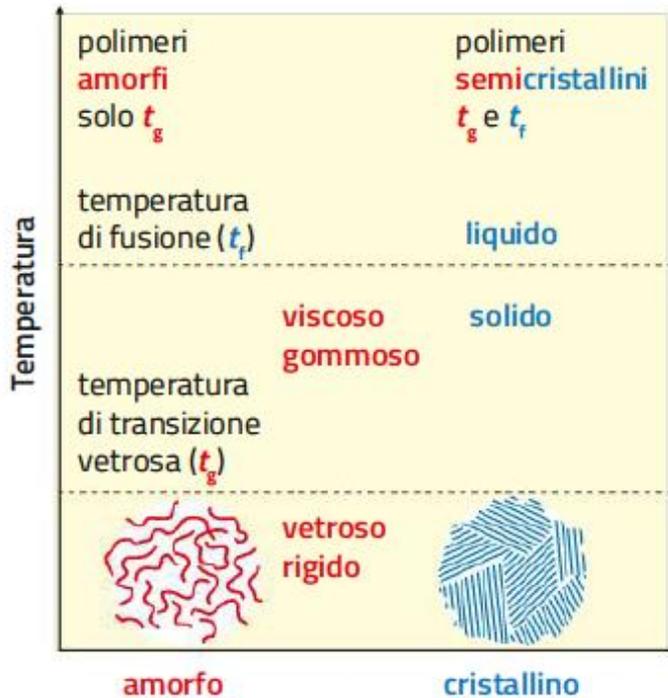
# Proprietà dei polimeri



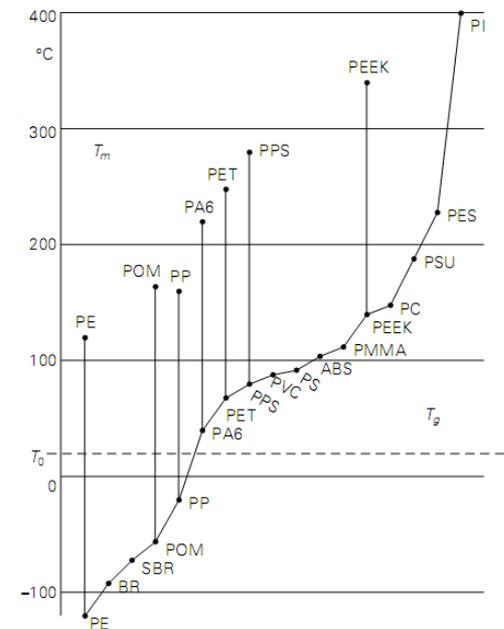
Water Cube (Pechino)

# Transizione vetrosa

La **transizione vetrosa** è un fenomeno che si verifica nei materiali amorfi e semicristallini (vetro e polimeri) e consiste nella trasformazione dallo stato amorfo vetroso e lo stato amorfo gommoso, liquido molto rigido e caratterizzato da elevata viscosità.



*La temperatura di transizione vetrosa determina il passaggio da uno stato all'altro.*



<b>Termoplastici</b>	<b>ISO</b>	<b>Tg</b>	<b>Tf</b>
Poliammide 6.6	PA6.6	50	275
Poliammide 6	PA6	40	220
Polibenzimidazolo	PBI	413	-
Cristalli liquidi	LCP	-	280/320
Polifenilsulfone	PES	220	-
Polioossimetilene	POM	-	165
Polieterchetone	PEEK	143	43
Acetaliche	CA	- 85	180
Polifenilenesolfuro	PPS	85	285
Polietilene bassa densità	LDPE	- 110	115
Polietilene nalta densità	HDPE	- 90	137
Polieterimmide	PEI	217	-
Polipropilene	PP	-17	168
Polietilene bassa densità	XLPE	- 40	-
Polietilentereftalato	PET	74	255
Polistirolo	PS	100	*
Poliacrilonitrile	PAN	110	310**
Policarbonato	PC	150	amorfo
Polivinilcloruro	PVC	84	90% amorfo
Poliuretano	TPU	-30	120
Politetrafluoroetilene	PTFE	- 73	355
Poli (4-metil-1-pentene)	PMP	303	523
Poli-1-butene	PB-1	249	411
Ossido di polietilene	PEO	206	342
Polimetilmetacrilato	PMMA	120	amorfo
Kevlar		580 ÷ 620	780 ÷ 870
Polibutilentereftalato	PBT	70	220

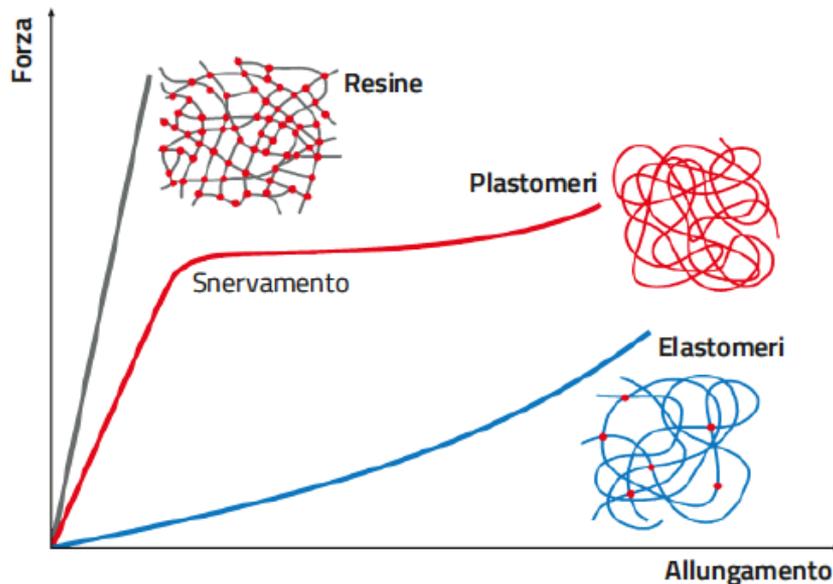
<b>Elastomeri</b>	<b>ISO</b>	<b>Tg</b>	<b>Tf</b>
Polidimetilsilossano (Siliconi)	MQ	- 120	*
Policloroprene	CR	- 40	80
Polibutadiene	BR	- 100	10*
Gomma Naturale	NR	- 50	80
Poliisoprene	IR	- 50	90
Copolimero butadiene stirene	SBR	- 40	100
Terpolimero etilene propilene	EPDM	- 45	150
Butadiene acrilonitrile	NBR	- 40	130
Nitrilica idrogenata	HNBR	- 40	150
Polietilene cloro solfato	CSM	- 35	120
Acrilato di etile	ACM	- 30	150
Etilen-acrilica	AEM	- 30	170
Uretanica polietere	EU	- 30	100
Uretanica poliestere	AU	- 30	100
Poliepicloridina	ECO	- 40	135

# Classi di materiali: proprietà

- ***Proprietà meccaniche***: relative al comportamento dei materiali quando vengono sottoposti a sollecitazioni meccaniche (ad un sistema di forze).
- ***Proprietà fisiche***: relative al comportamento dei materiali sotto l'azione di stimoli fisici quali la temperatura, i campi elettrici e magnetici, ecc.
- ***Proprietà chimiche***: relative alla resistenza dei materiali all'ambiente in cui essi operano.

# Proprietà MECCANICHE

- **Proprietà meccaniche:** relative al comportamento dei materiali quando vengono sottoposti a sollecitazioni meccaniche (ad un sistema di forze).



**Modulo elastico o di Young**

**Resistenza a trazione**

**Limite di snervamento**

**Tenacità**

**Modulo di taglio  $G$**

**Resistenza a flessione**

**Coefficiente di Poisson  $\nu$**

**Resilienza**

**Durezza**

**Limite di fatica**



# Proprietà FISICHE

- ***Proprietà fisiche***: relative al comportamento dei materiali sotto l'azione di stimoli fisici quali la temperatura, i campi elettrici e magnetici, ecc.
  - *Peso specifico*
  - *Densità*
  - *Temperatura di fusione*
  - *Temperatura di ebollizione*
  - *Calore specifico*
  - *Conduttività termica*
  - *Conduttività elettrica*
  - *Dilatabilità termica*
  - *Permeabilità*
  - *Opacità*
  - *Colore*

# Proprietà CHIMICHE

- ***Proprietà chimiche***: relative alla resistenza dei materiali all'ambiente in cui essi operano.
  - ***Resistenza alla corrosione***
  - ***Idrofilia/idrofobia***
  - ***Igroscopia***
  - ***pH***
  - ***Punto di fumo***

# DIAGRAMMI DI ASHBY

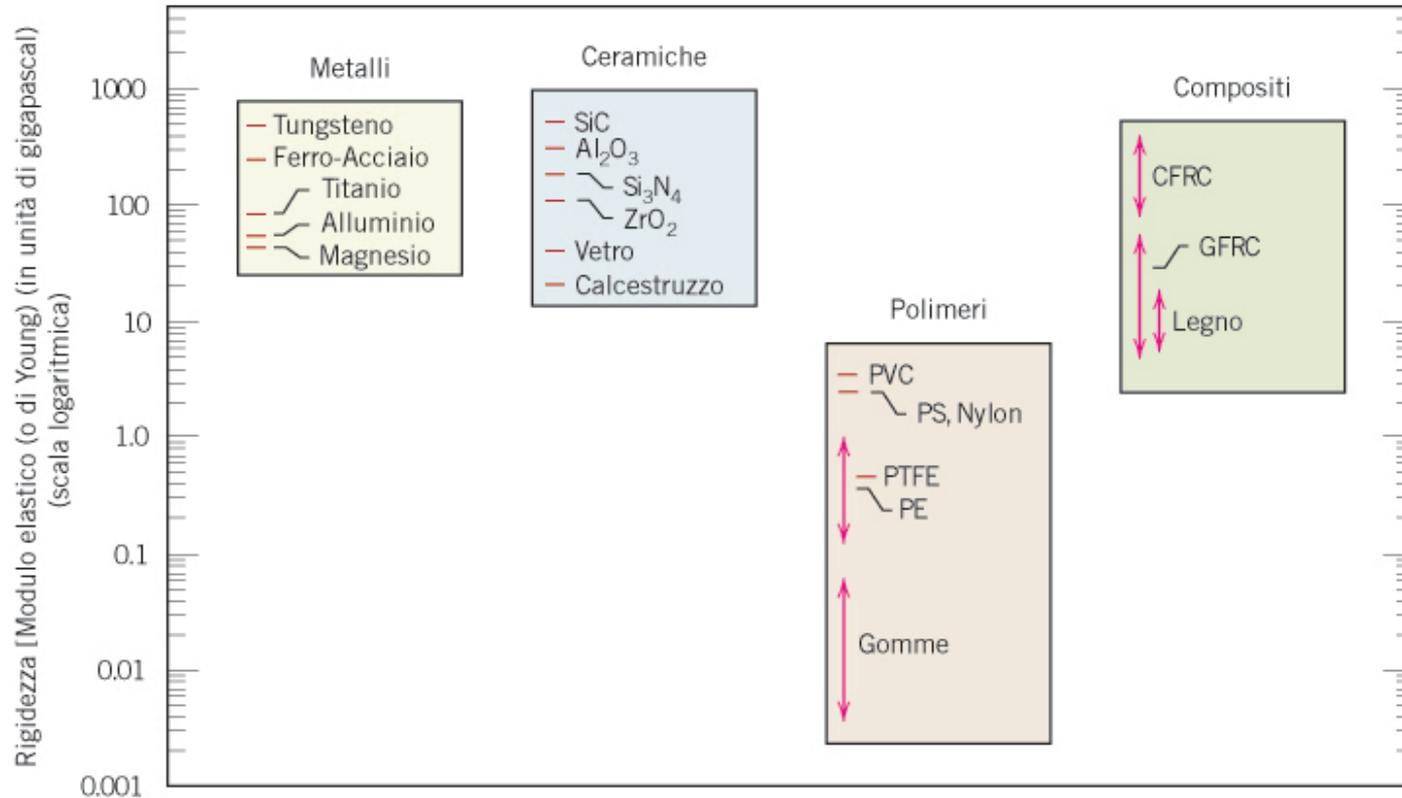
# Diagrammi di Ashby

I diagrammi o mappe di Ashby vengono utilizzati per scegliere il materiale (o i materiali) per un'applicazione specifica.

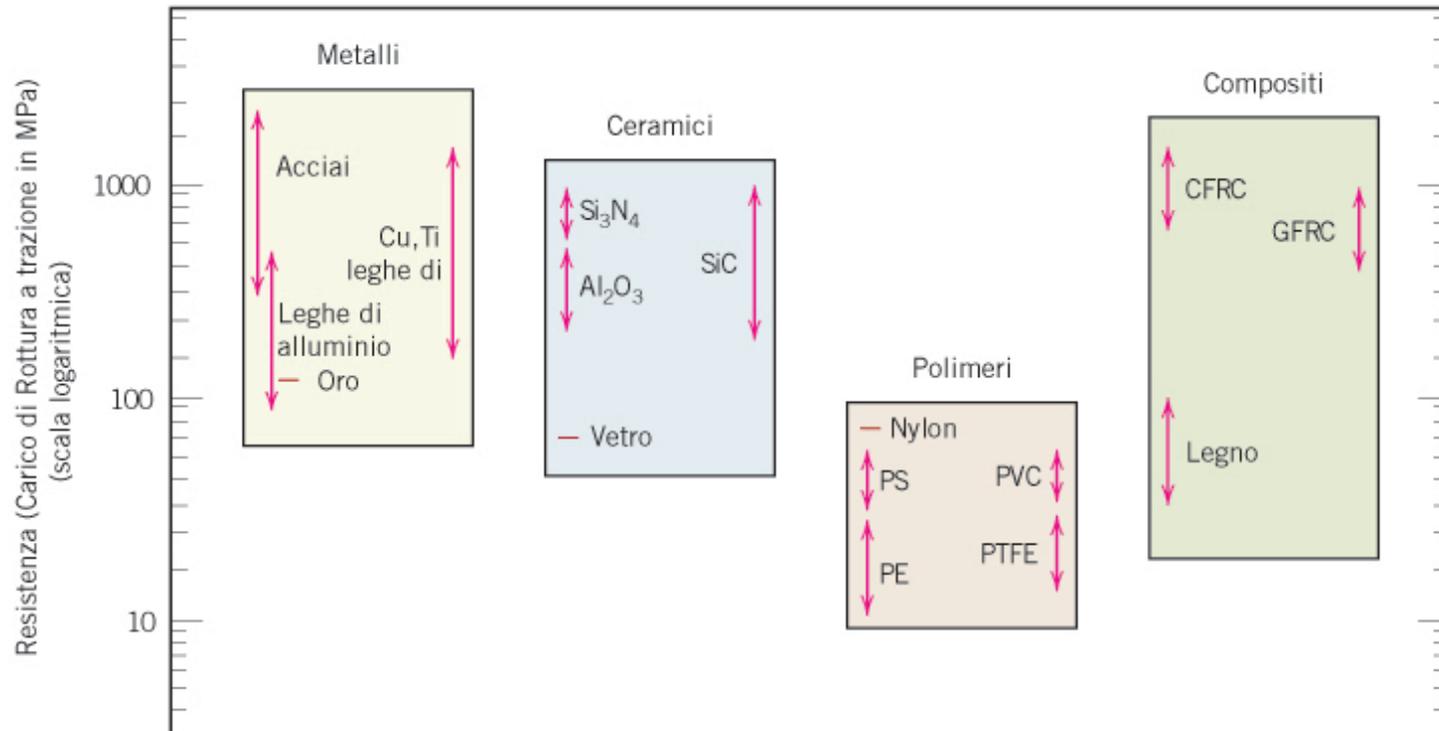
I gruppi che vengono individuati nei diagrammi di Ashby spesso corrispondono a classi di materiali, come:

- polimeri, ceramici, metalli;
- materiali ingegnerizzati (compositi, schiume)
- materiali naturali (legno, ossa)

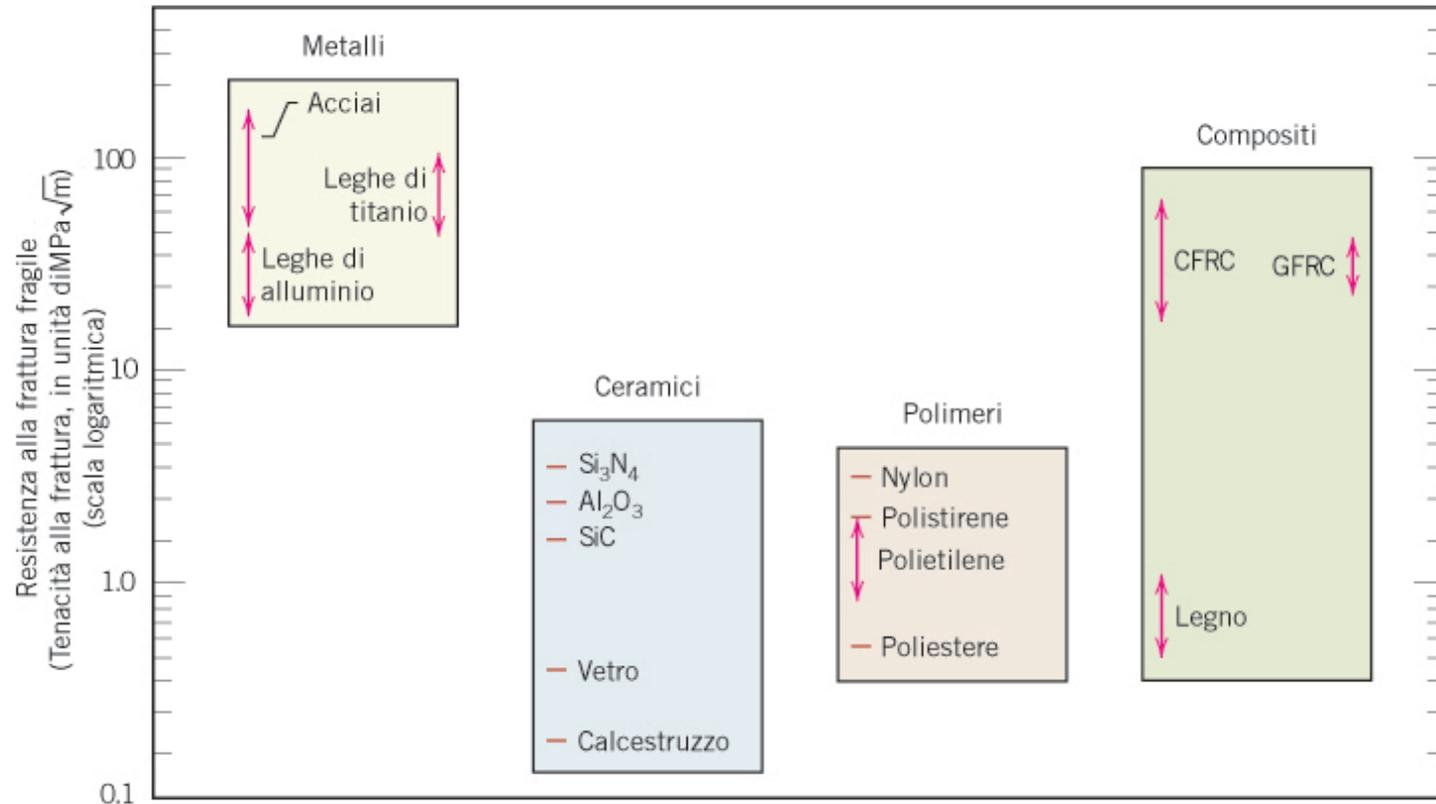
# Classificazione dei materiali: modulo elastico E



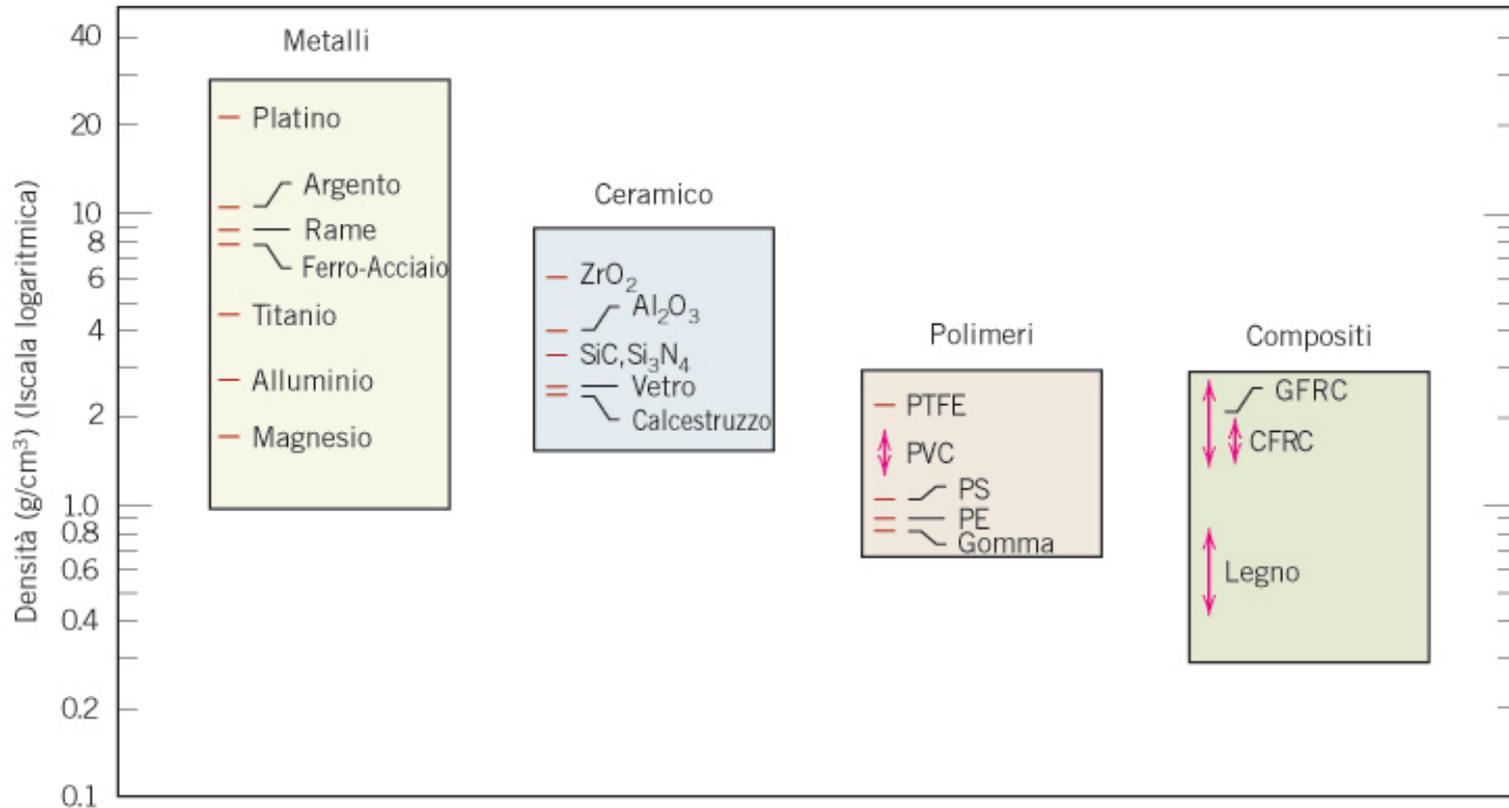
# Classificazione dei materiali: carico di rottura



# Classificazione dei materiali: fragilità



# Classificazione dei materiali: densità



# Progetto



Progettare una tensiostruttura  
smontabile e trasportabile

## **Requisito della struttura:**

Componente leggero e rigido allo stesso tempo.

## **Quali caratteristiche/proprietà ricerca?**

- Meccaniche

- Fisiche

- Chimiche

## **Requisito della struttura:**

Componente leggero e rigido allo stesso tempo.

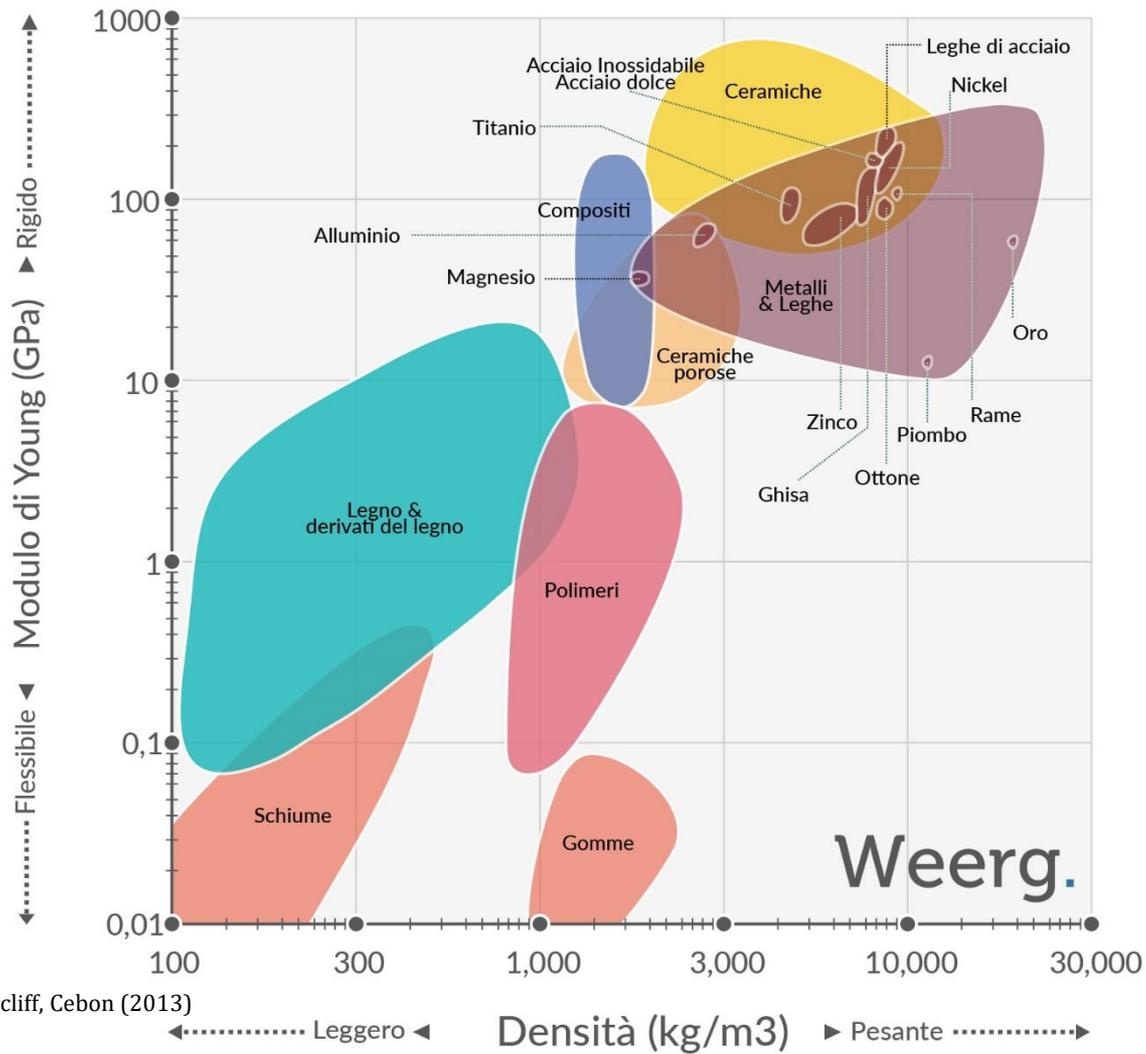
## **Quali caratteristiche/proprietà ricerca?**

- Meccaniche

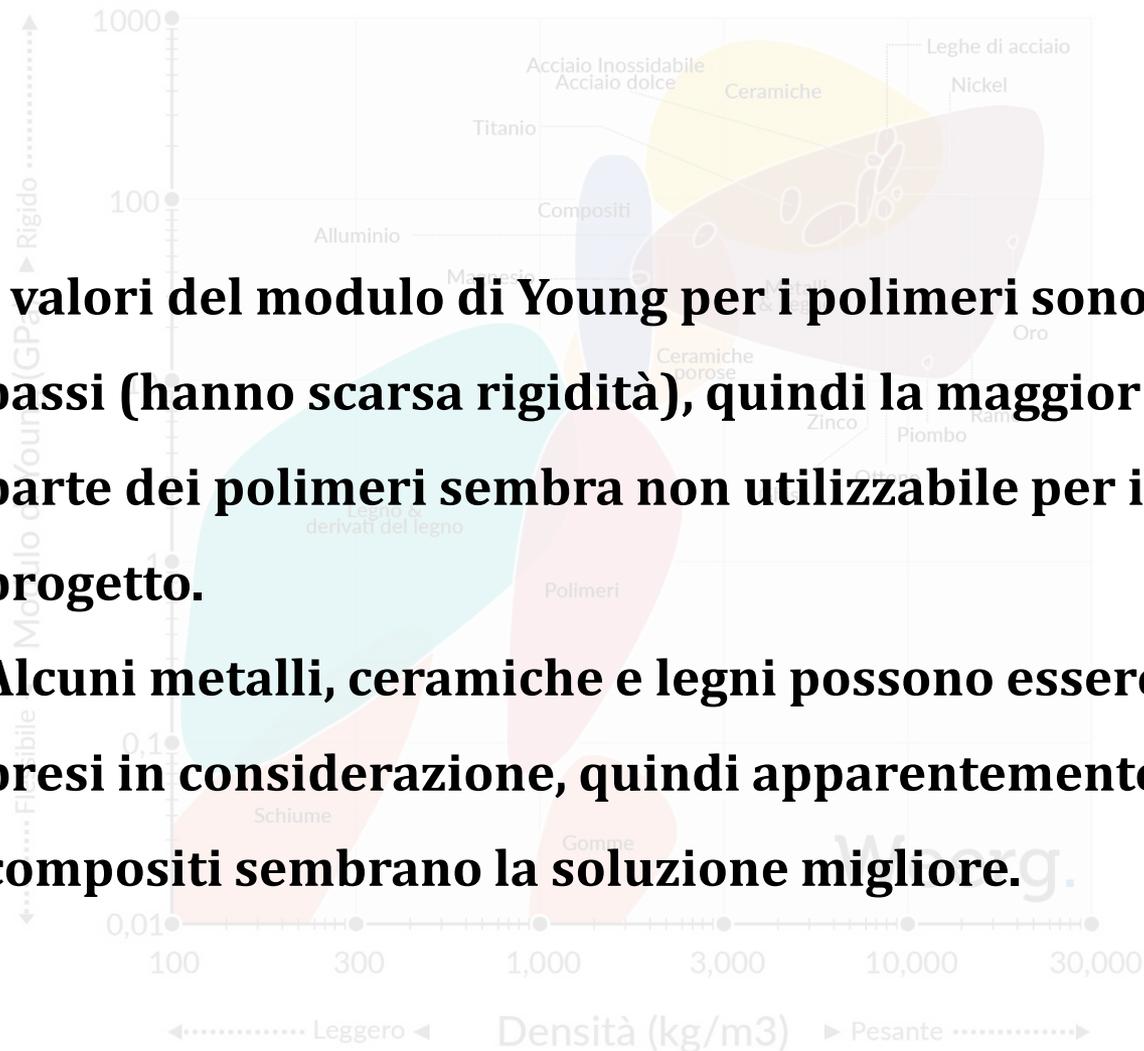
- Fisiche

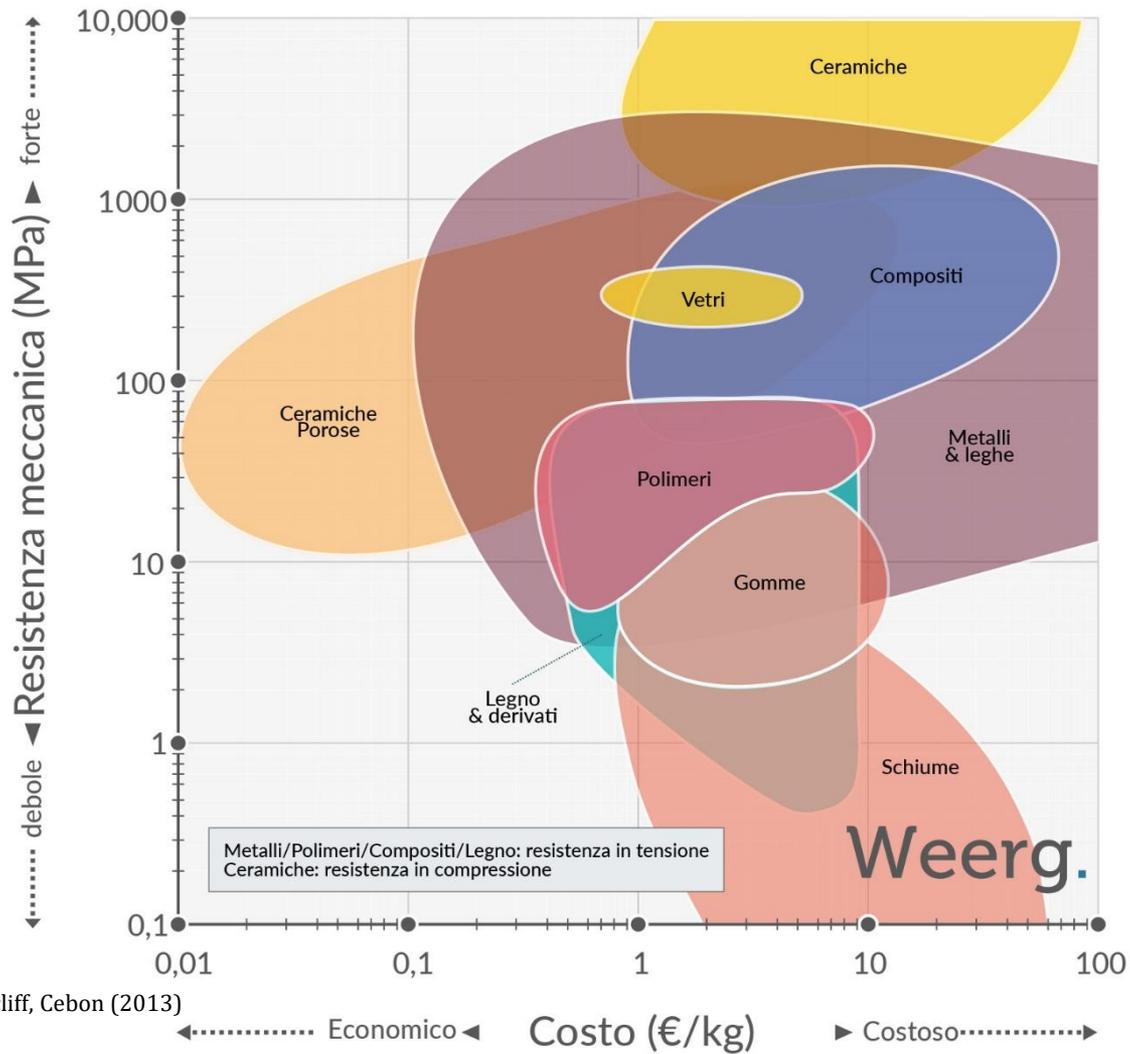
- Chimiche

Cominciamo con la mappa che vedete qui subito sotto che mette in relazione “modulo di Young”/”densità”.



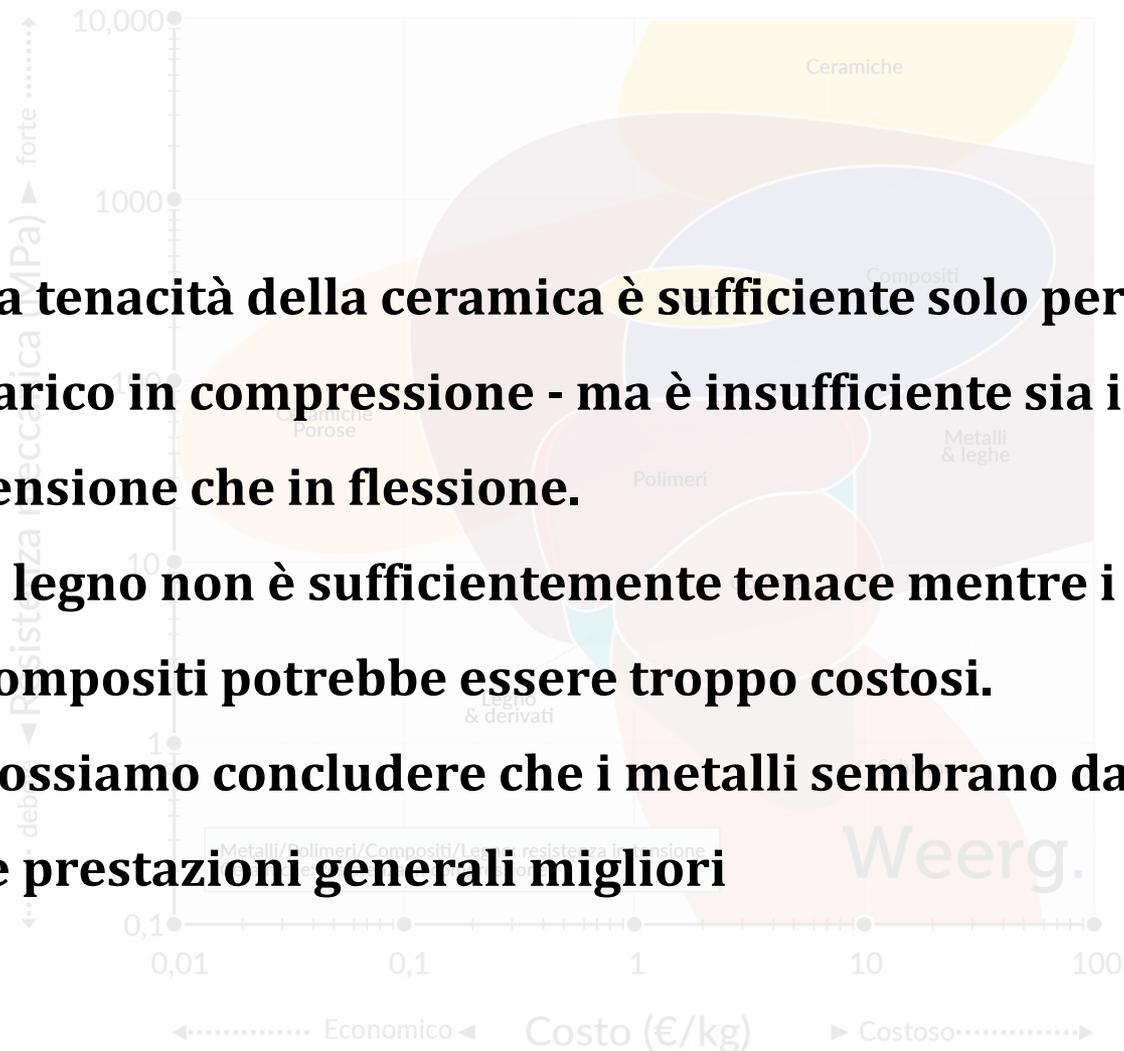
- **I valori del modulo di Young per i polimeri sono bassi (hanno scarsa rigidità), quindi la maggior parte dei polimeri sembra non utilizzabile per il progetto.**
- **Alcuni metalli, ceramiche e legni possono essere presi in considerazione, quindi apparentemente i compositi sembrano la soluzione migliore.**

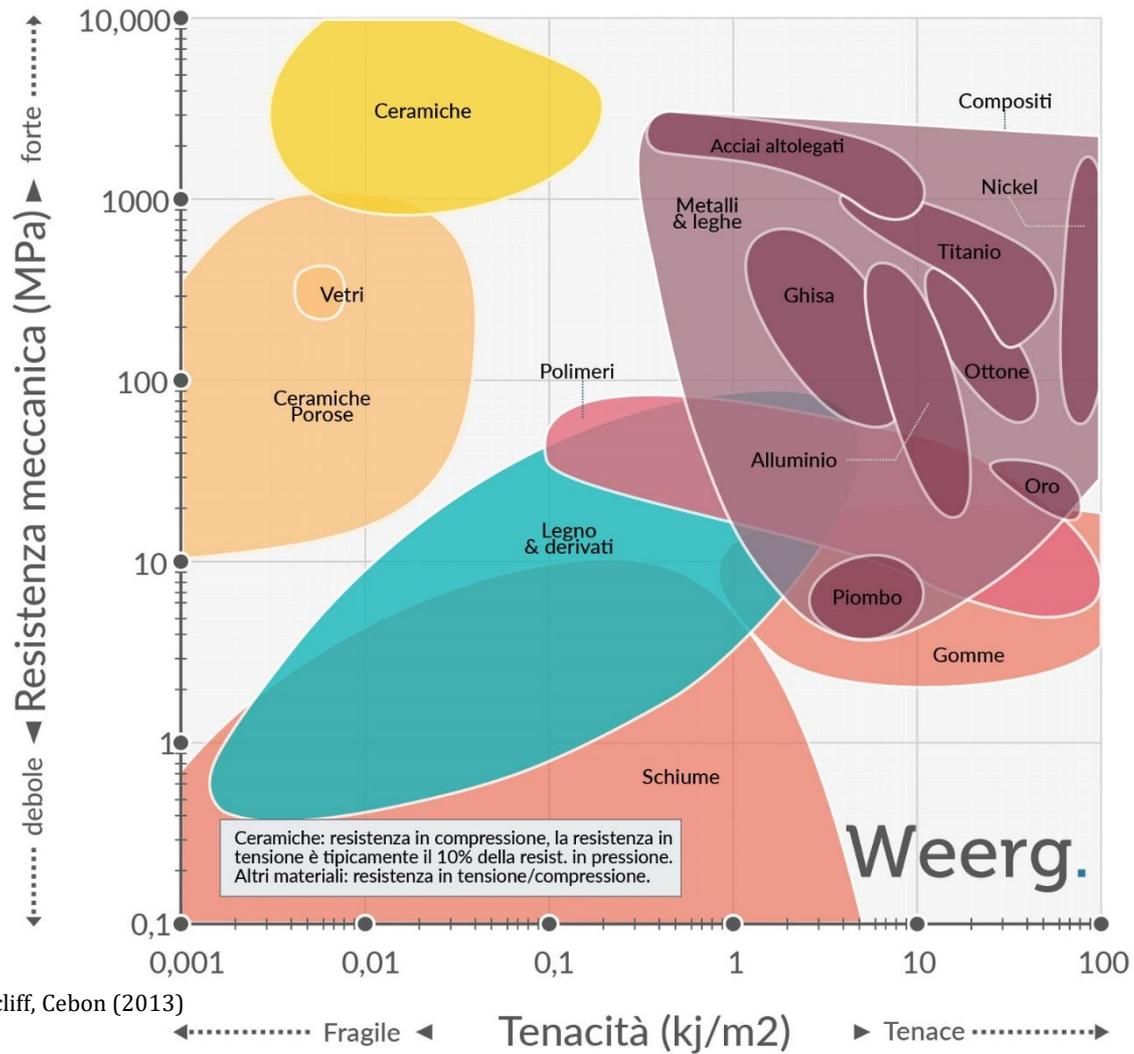




Ashby, Shercliff, Cebon (2013)

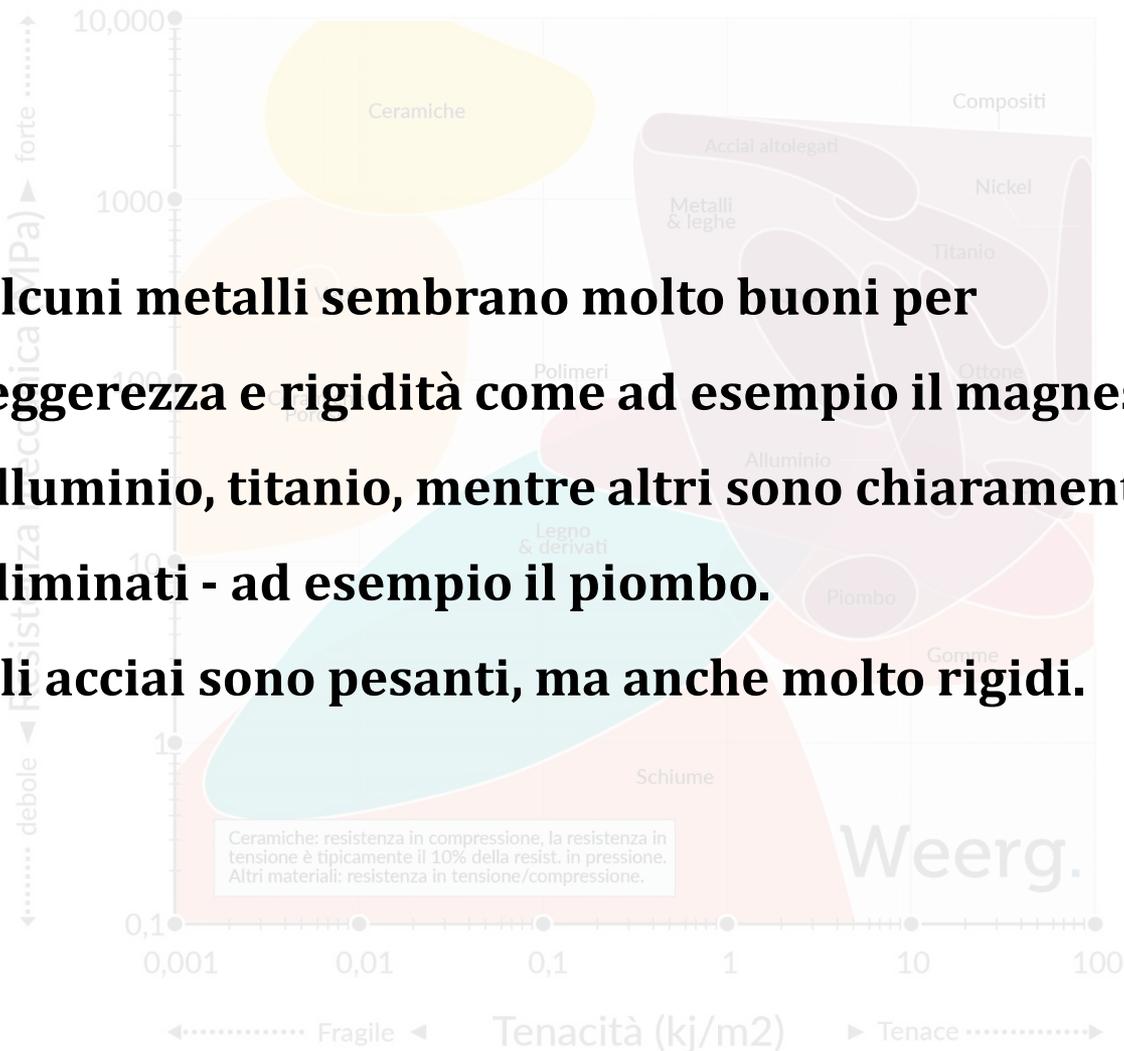
- **La tenacità della ceramica è sufficiente solo per il carico in compressione - ma è insufficiente sia in tensione che in flessione.**
- **Il legno non è sufficientemente tenace mentre i compositi potrebbe essere troppo costosi.**
- **Possiamo concludere che i metalli sembrano dare le prestazioni generali migliori**





Ashby, Shercliff, Cebon (2013)

- **Alcuni metalli sembrano molto buoni per leggerezza e rigidità come ad esempio il magnesio, alluminio, titanio, mentre altri sono chiaramente eliminati - ad esempio il piombo.**
- **Gli acciai sono pesanti, ma anche molto rigidi.**





# Riassumendo

- **Confrontando due (o anche più) mappe** le proprietà necessarie per soddisfare i principali requisiti di progettazione possono essere valutate rapidamente.
- I grafici possono essere utilizzati per **individuare le migliori classi di materiali**, e poi per guardare più in dettaglio all'interno di queste classi.
- Ci sono **molti altri fattori** ancora da considerare, in particolare i metodi di fabbricazione, lo spessore e la forma del componente, le tolleranze ed altro.

# Diagrammi di Ashby

La progettazione di un elemento strutturale dipende da tre parametri (o gruppi di parametri, detti indice di performance):

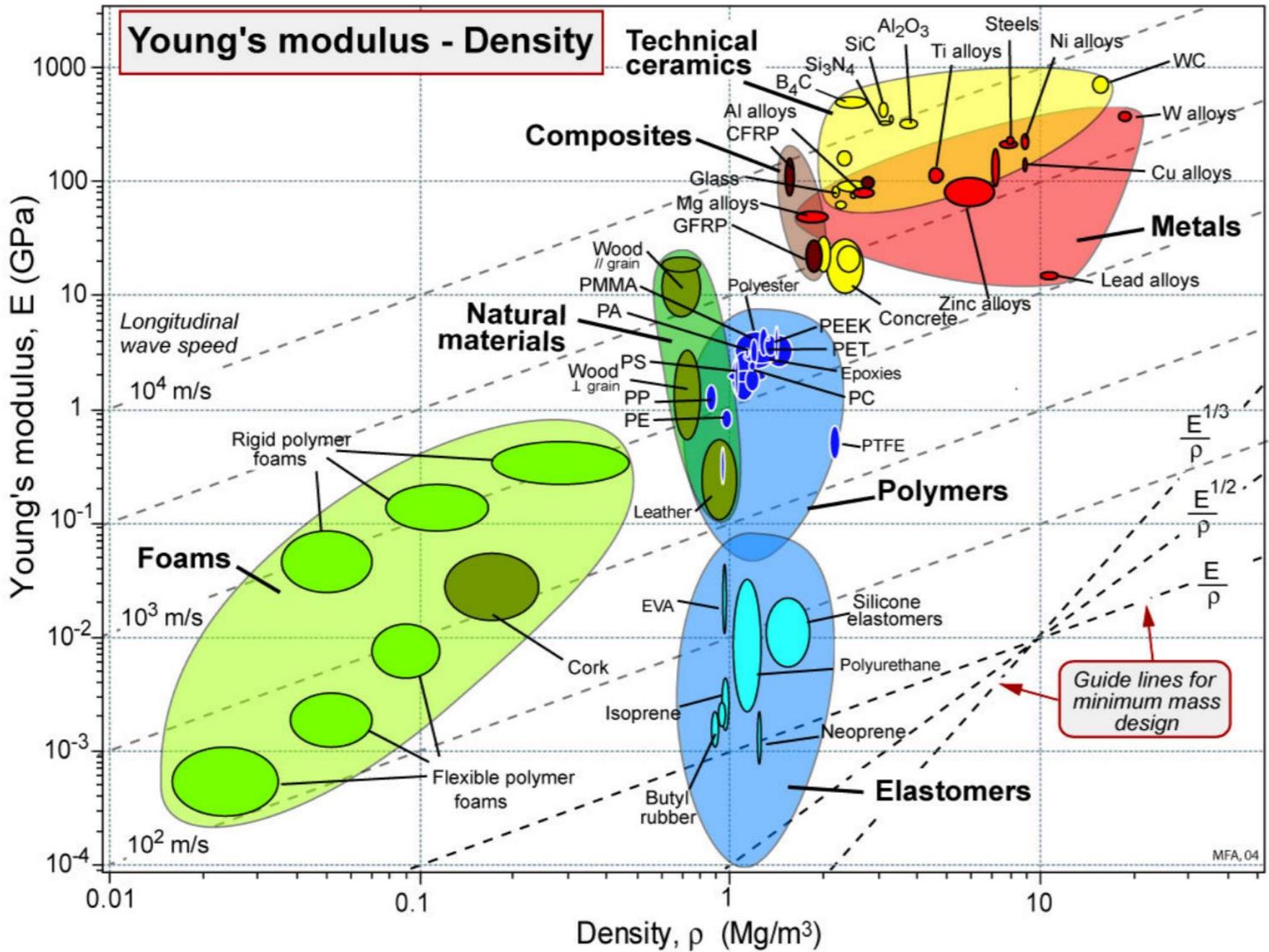
- Funzionalità (F), Geometria (G) e proprietà del materiale (M)

Si possono valutare, anche quantitativamente le relazioni tra gli indici, definendo la funzione di performance p:

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

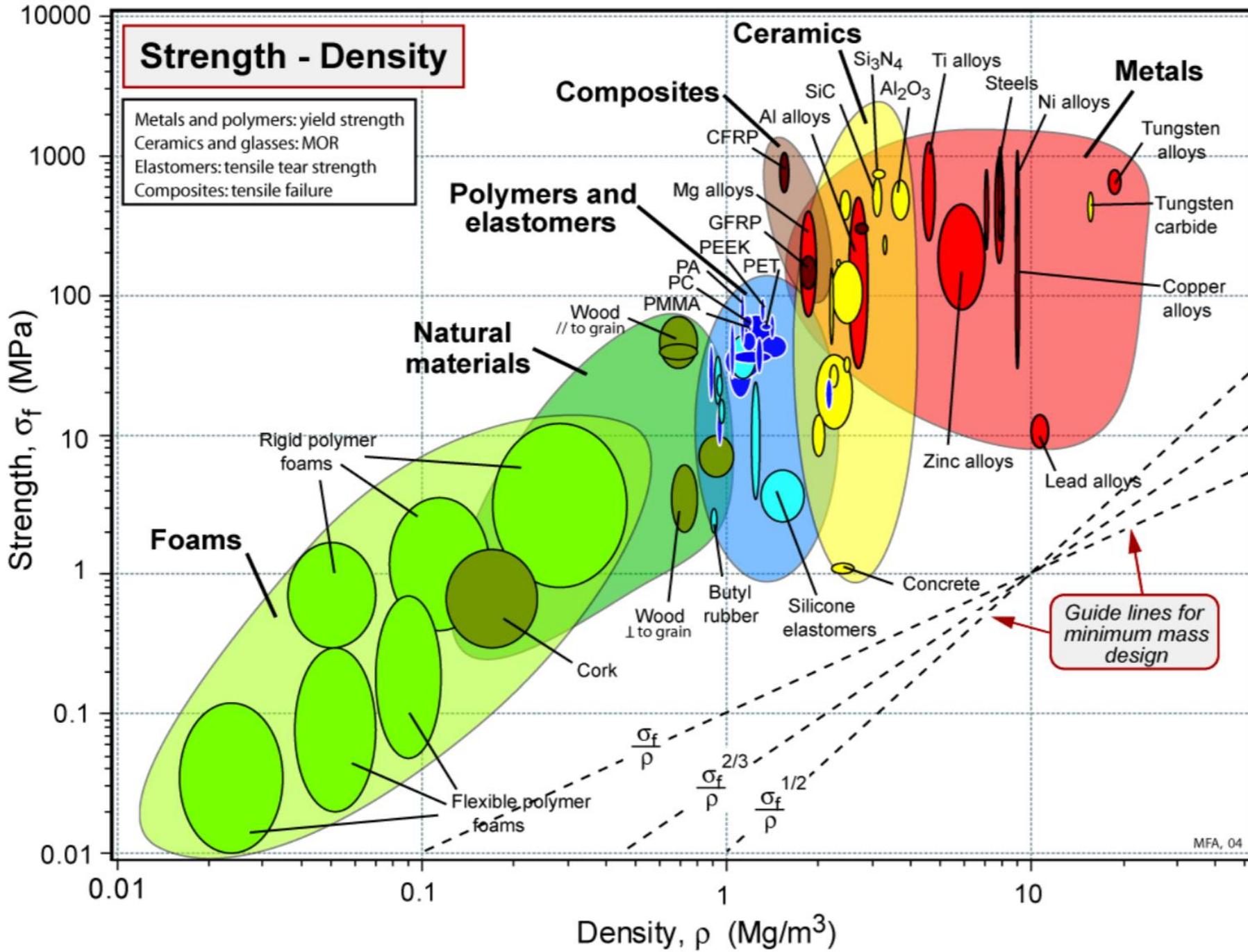
Separando la funzione sopra, si può ottenere la funzione p come il prodotto di tre funzioni che dipendano solo dai singoli parametri:

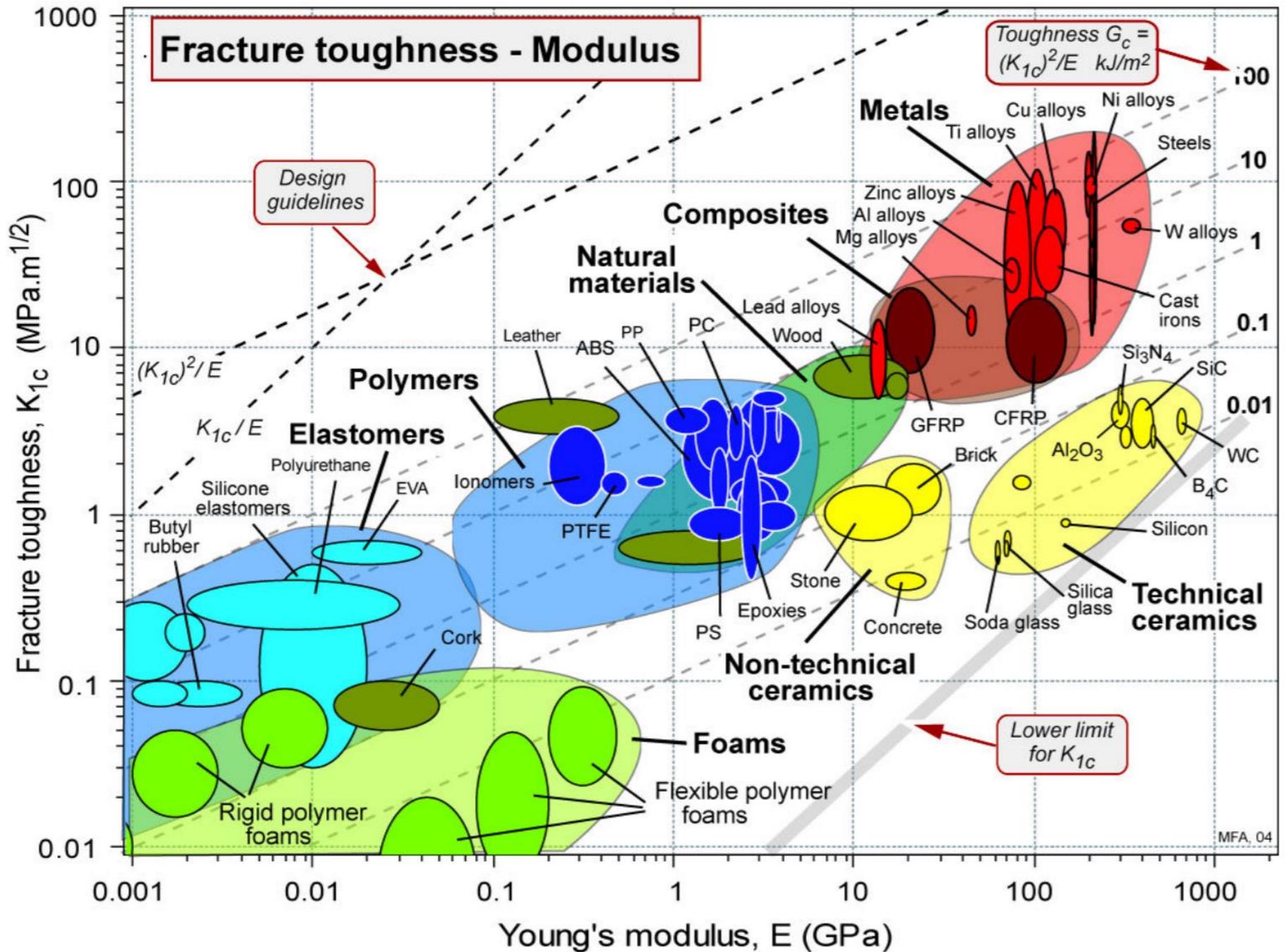
$$p = f_1(F) \cdot f_2(G) \cdot f_3(M)$$

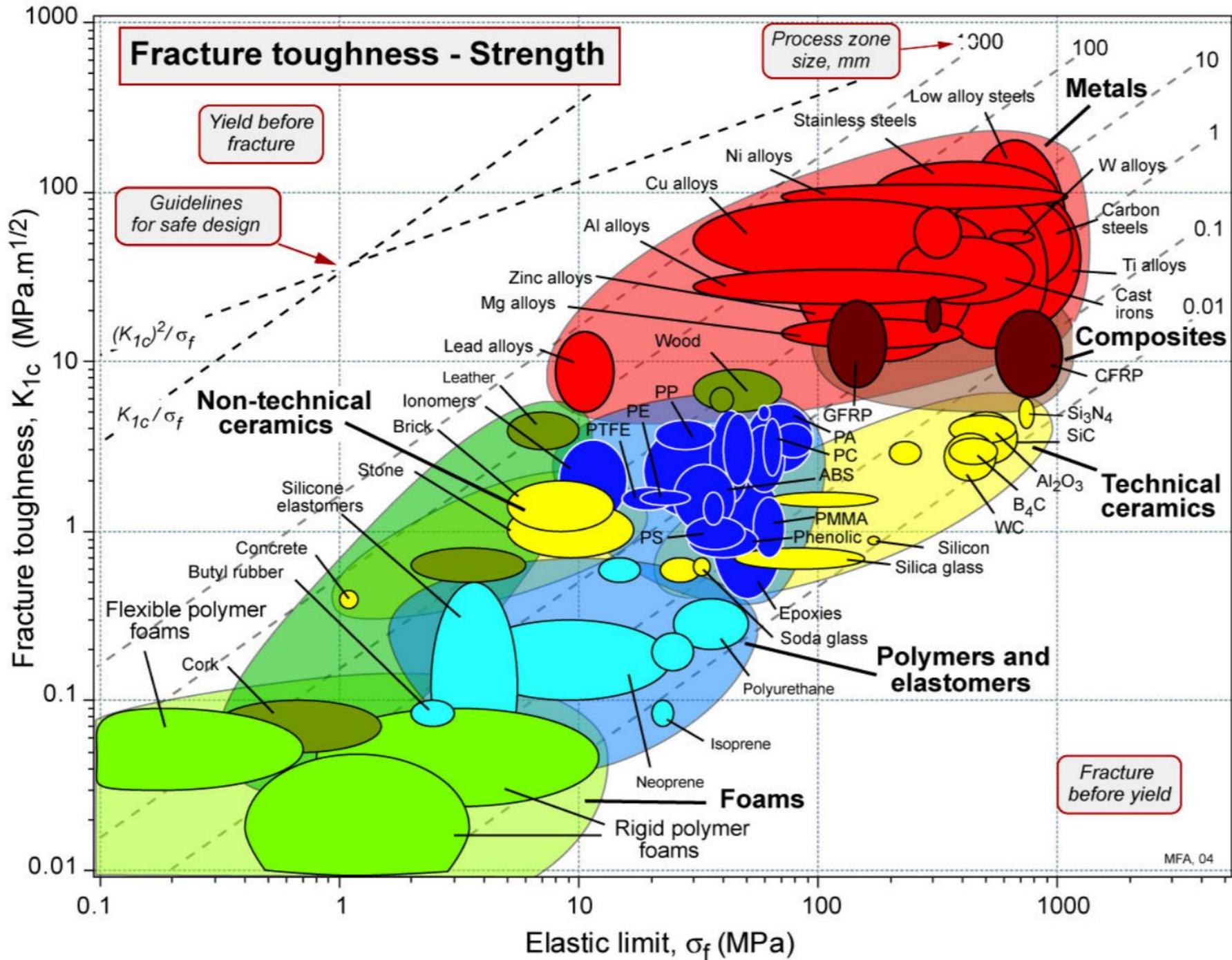


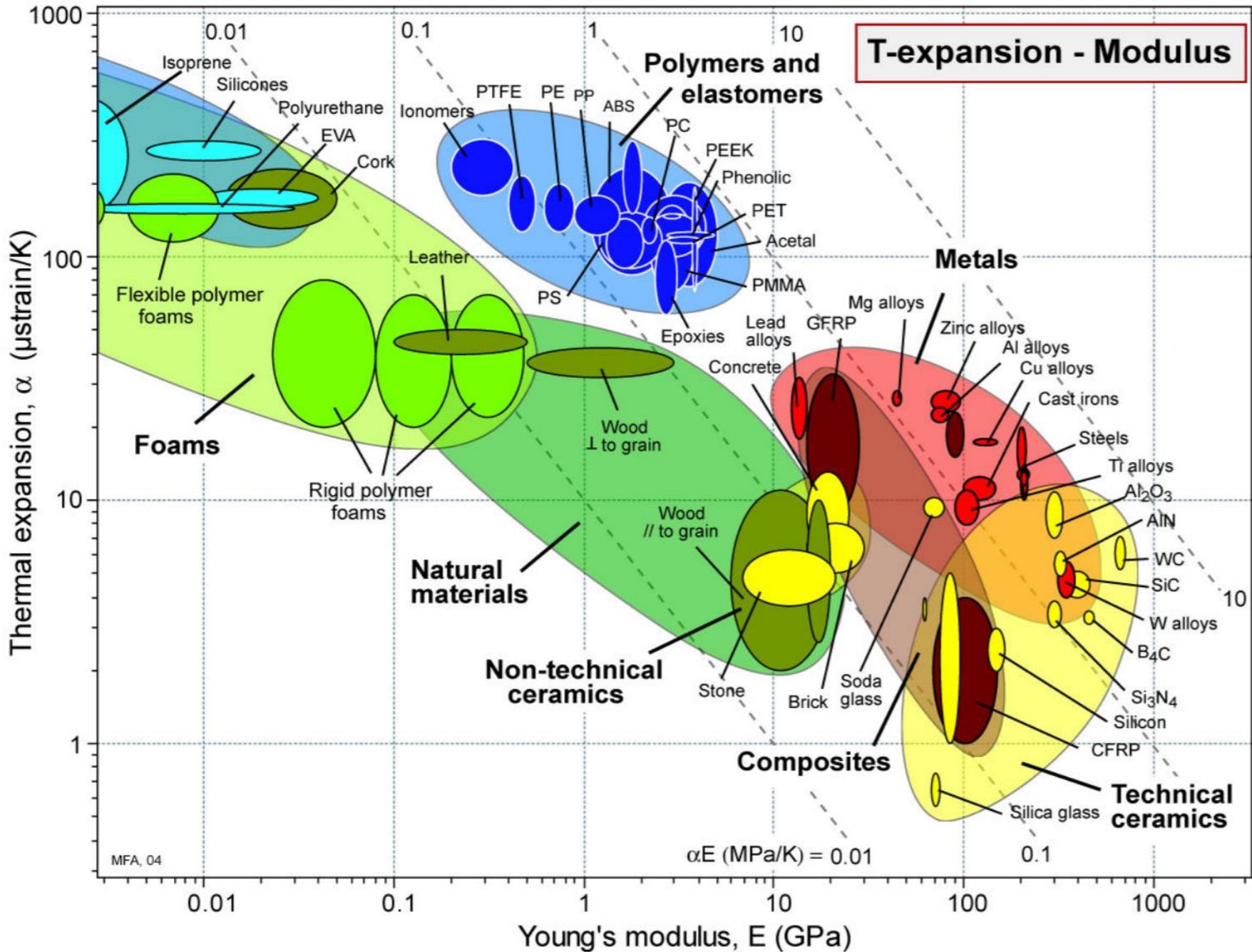
# Strength - Density

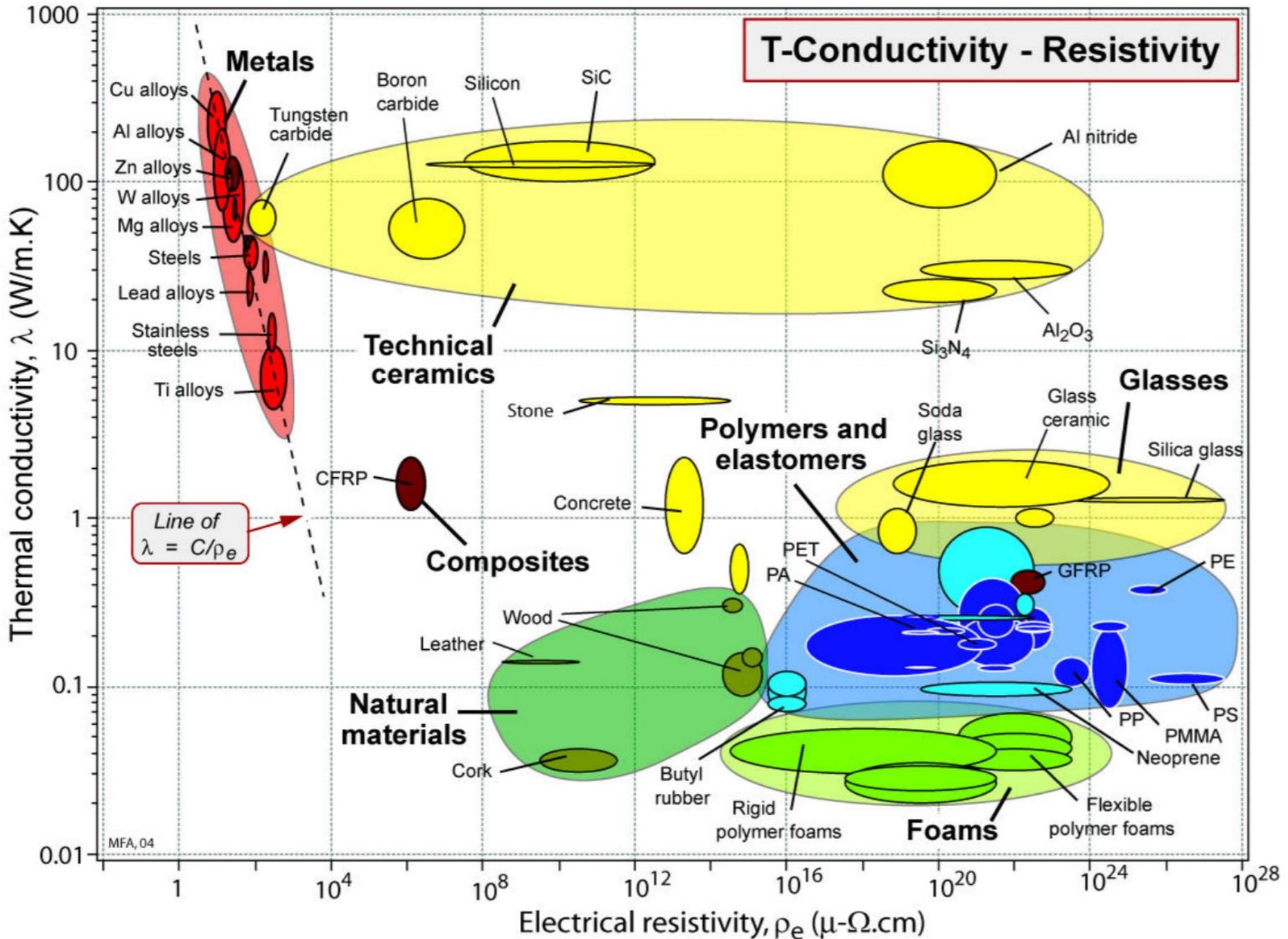
Metals and polymers: yield strength  
 Ceramics and glasses: MOR  
 Elastomers: tensile tear strength  
 Composites: tensile failure





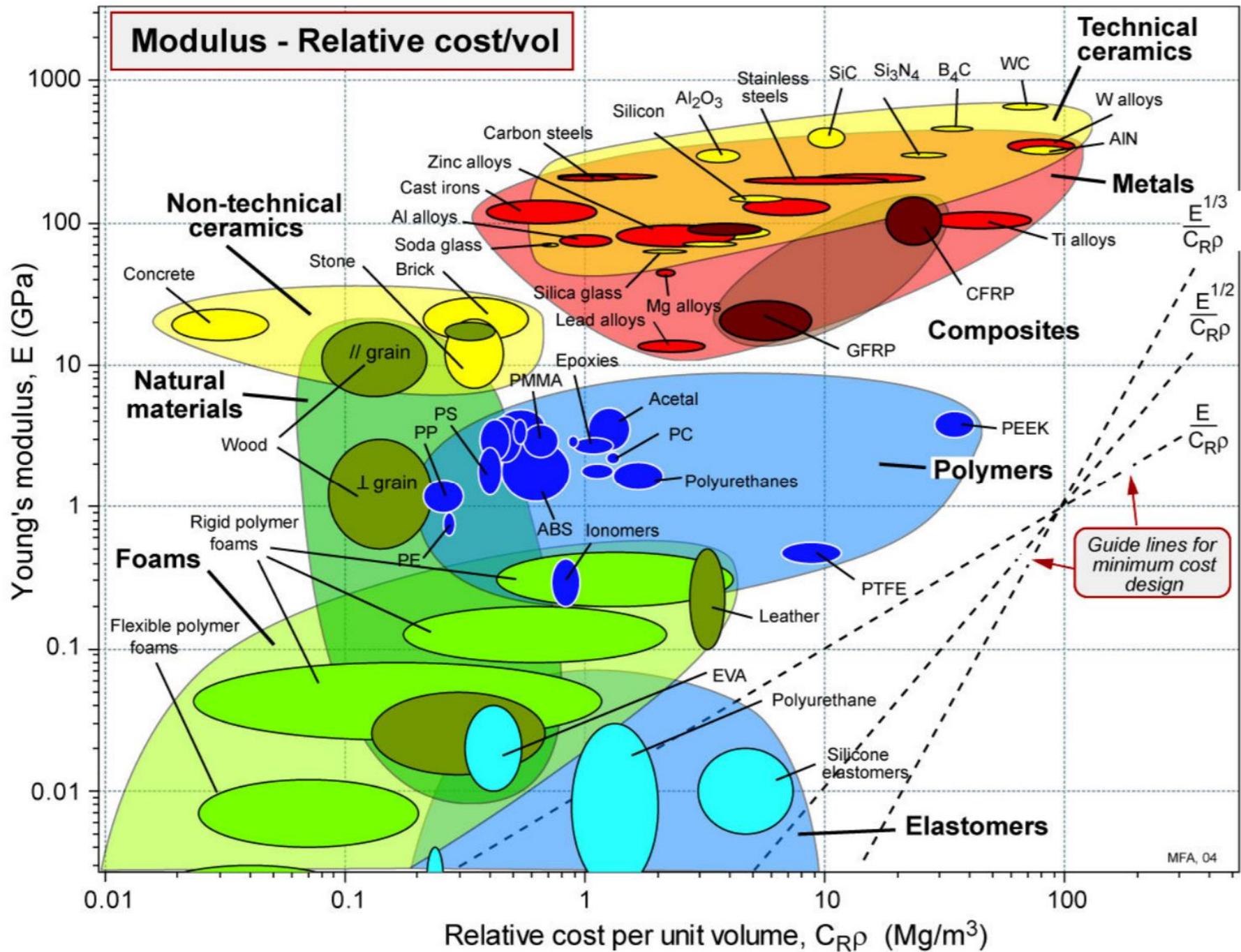


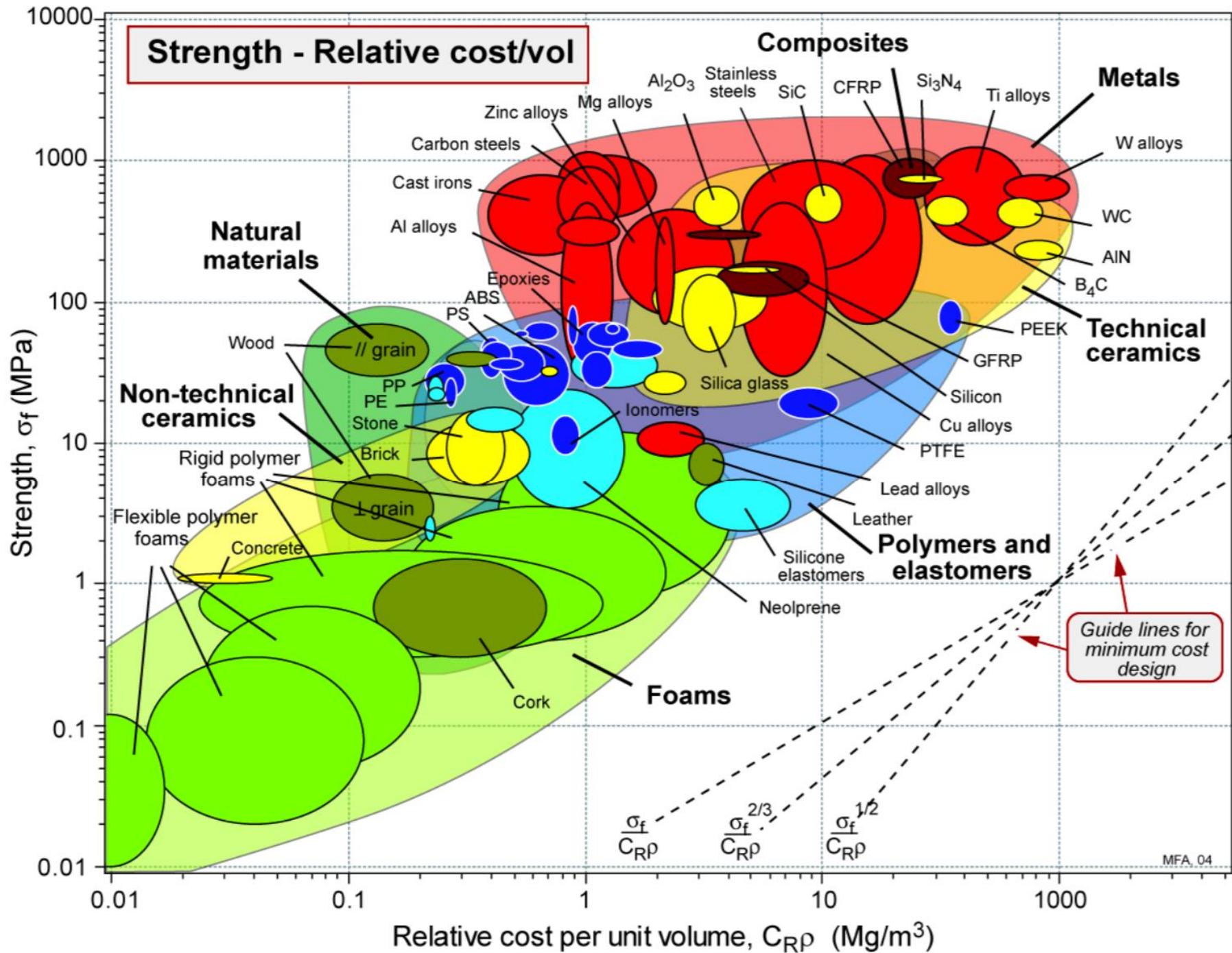




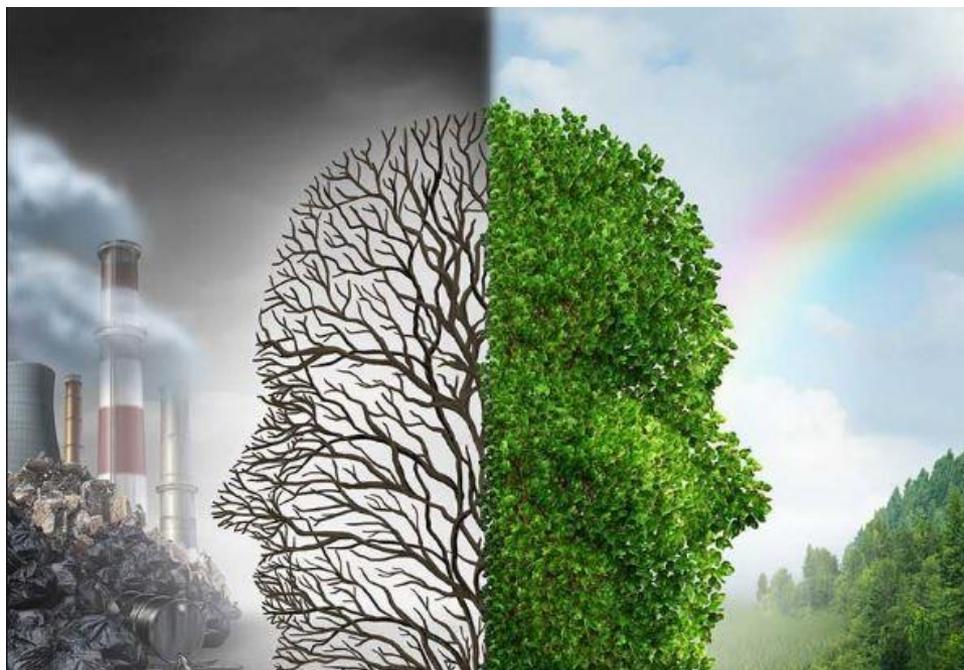
# Costi

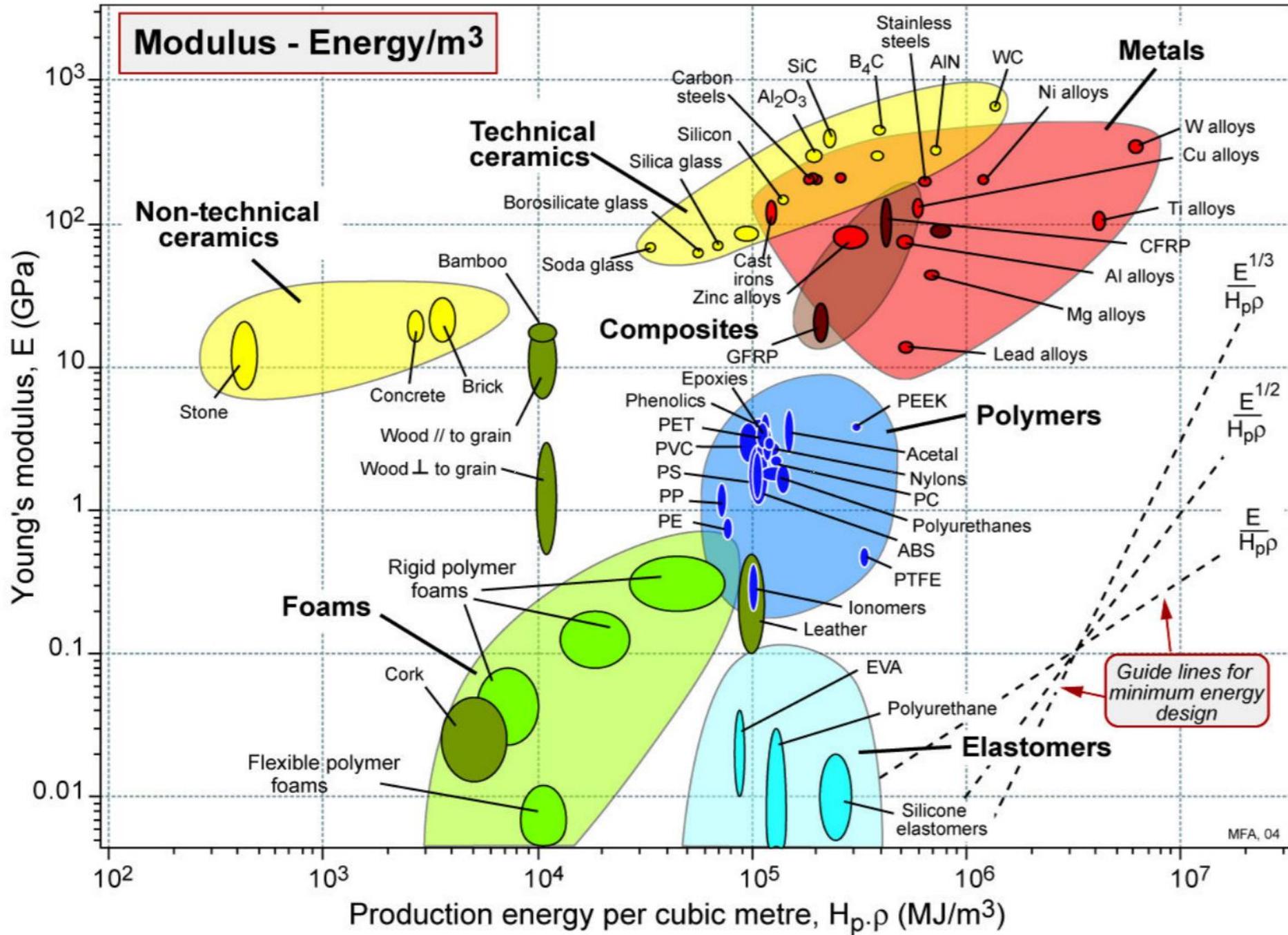


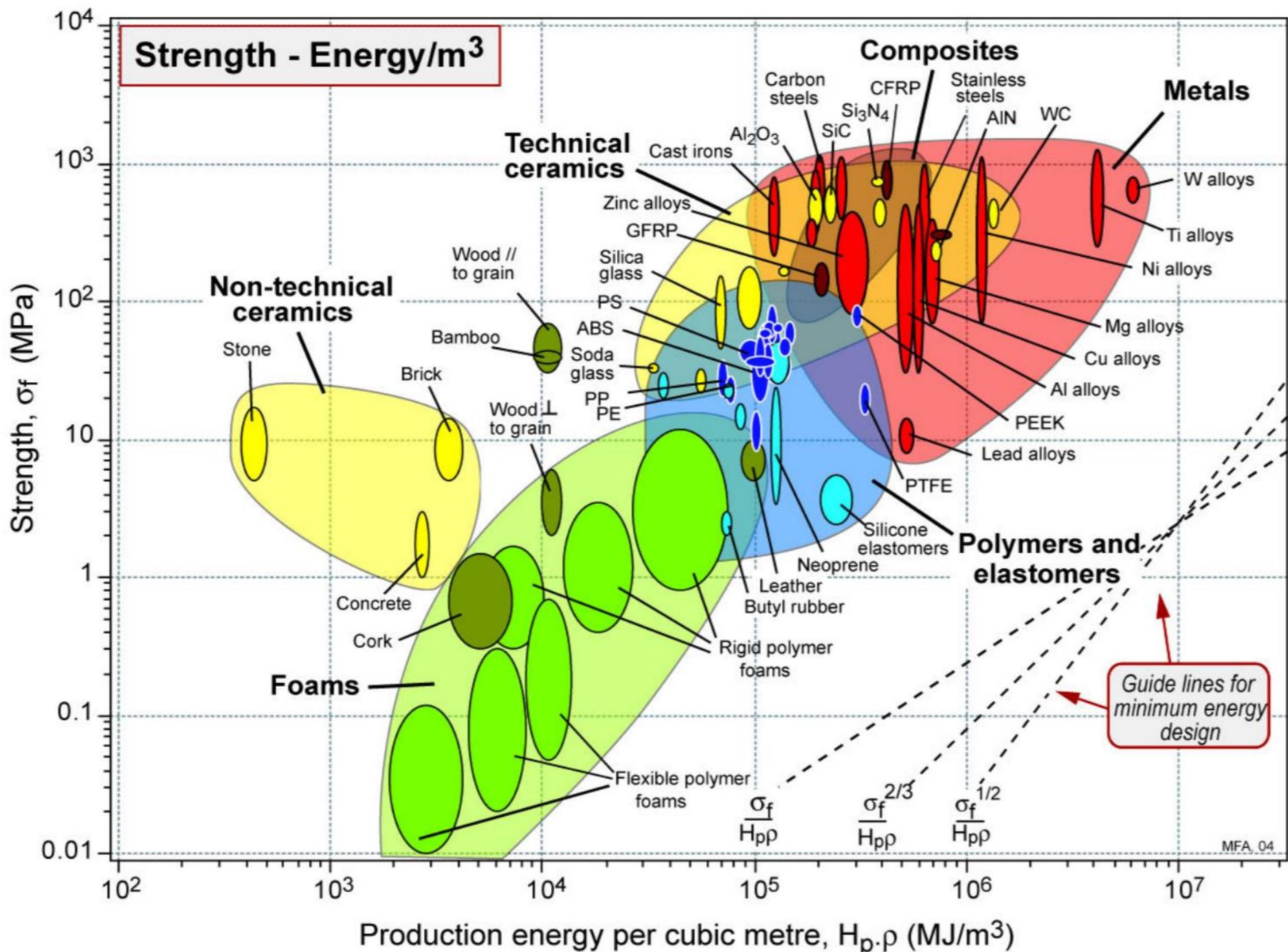




# Impatto ambientale







Il grande successo delle **plastiche** risiede nella loro versatilità e nel loro costo; a seconda del polimero scelto si possono ottenere materiali che conciliano diverse caratteristiche come la leggerezza, la resistenza, l'isolamento, l'elasticità, l'inerzia chimica e la lavorabilità.



Curtis et al., *Il nuovo Invito alla biologia*. blu © Zanichelli editore 2017

# Applicazioni (1/5)



Serre dell'Eden Project (Cornovaglia)

Water Cube (Pechino)



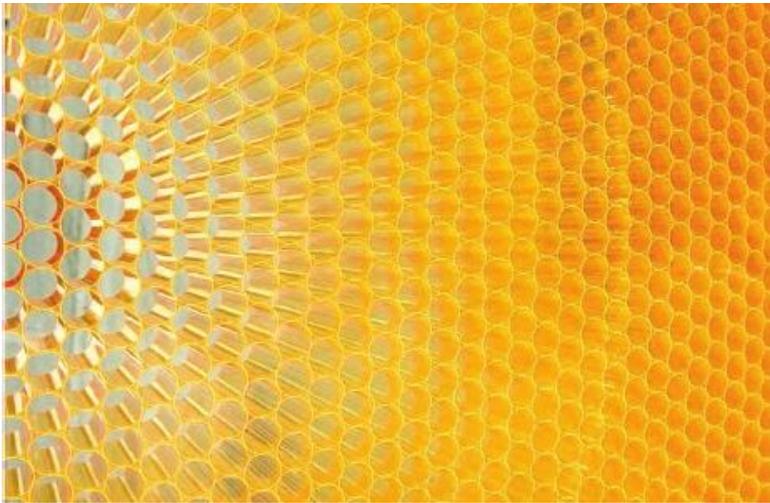
# Applicazioni (2/5)

Nuova sede Regione Lombardia (Milano)

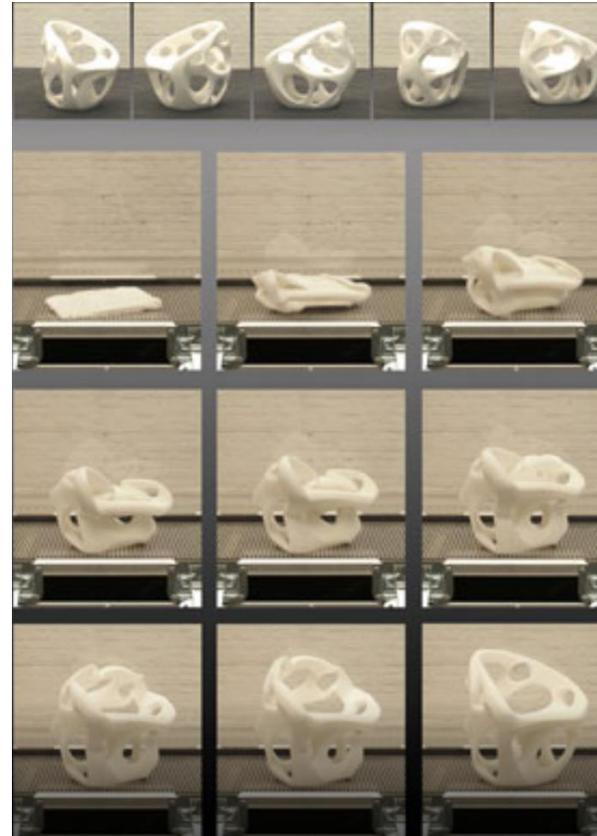


MEDIA ITC (Barcellona)

# Applicazioni (3/5)



Honeycomb tubolare per l'isolamento dei vetri camera. Produzione Panelite, USA (Foto Panelite).

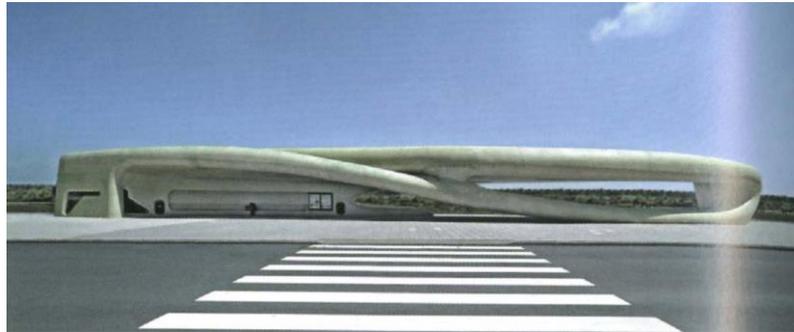


Polimeri a memoria di forma messa a punto dal belga Carl De Smet

# Applicazioni (4/5)



Allianz Arena – Monaco, Herzog & De Meuron (2005) - Involucro con cuscini in membrana sintetica (EFTE)

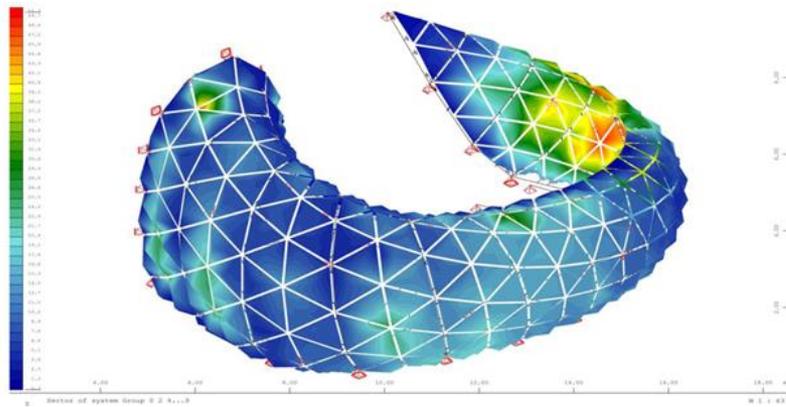


Fermata di autobus, Hoofddorp – Paesi Bassi, Maurice NIO (2003) - Involucro in polistirolo espanso rivestito con poliestere rinforzato in fibra di vetro.

# Applicazioni (5/5)



Padiglione ArboSkin (Stoccarda)



National Space Centre (Leicester)