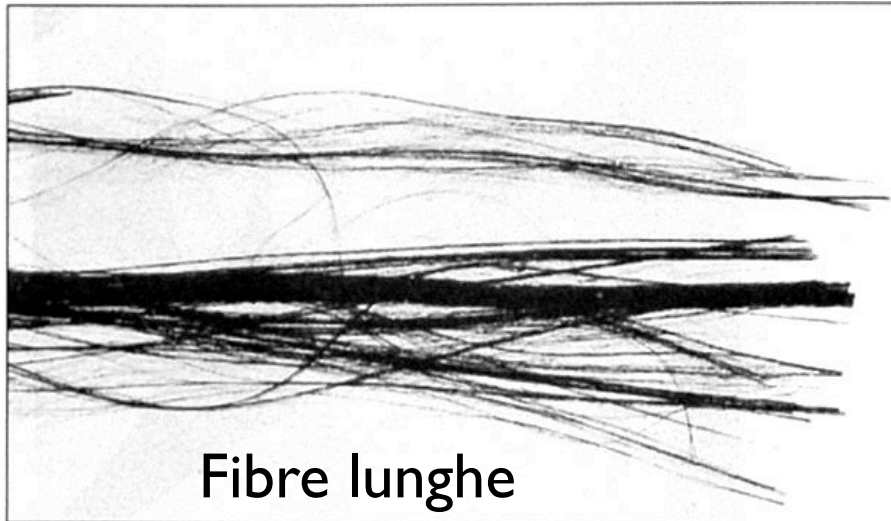


# Compositi: generalità e proprietà meccaniche

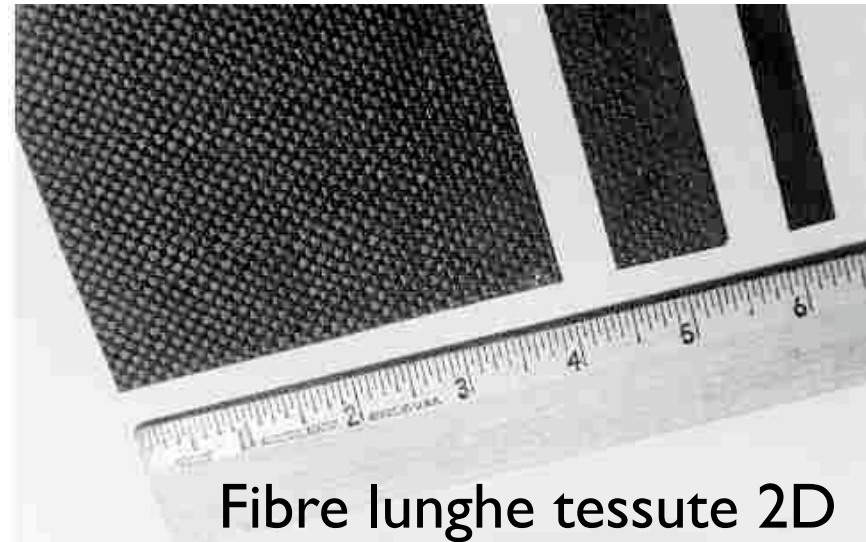
- Definiamo materiale composito:
  - Una combinazione di due o più micro o macro costituenti, che differiscono nella forma e nella composizione chimica, insolubili l'uno nell'altro.
- In genere uno dei costituenti viene chiamato matrice mentre gli altri costituiscono le inclusioni
- Se distinguiamo i compositi in base alla matrice abbiamo:
  - compositi a matrice polimerica, PMC: materiali con alte proprietà meccaniche specifiche
  - compositi a matrice metallica, MMC: resistenza migliorata ad alta temperatura
  - compositi a matrice ceramica, CMC: per migliorare la tenacità

# Compositi: distinzione per forma di inclusione

- Inclusioni sferiche (compositi con proprietà isotrope)
- Inclusioni irregolari (compositi con proprietà isotrope)
- Inclusioni a piattello (proprietà isotrope nel piano)
- Inclusioni a fibre:
  - fibre corte (compositi 3D)
  - fibre lunghe (compositi unidirezionali o laminati)

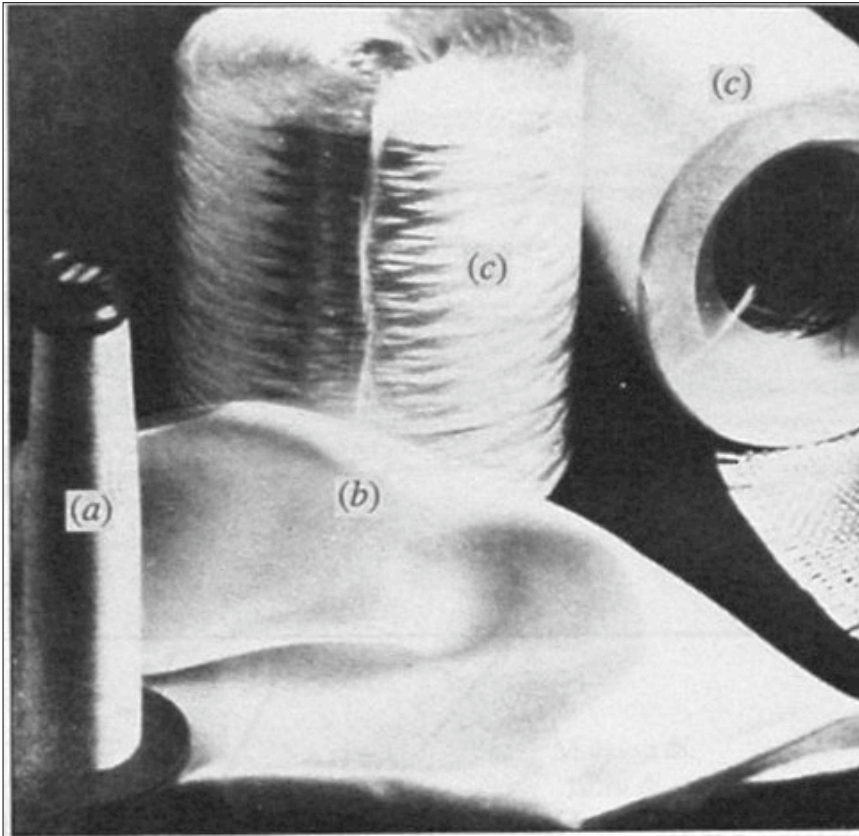


Fibre lunghe



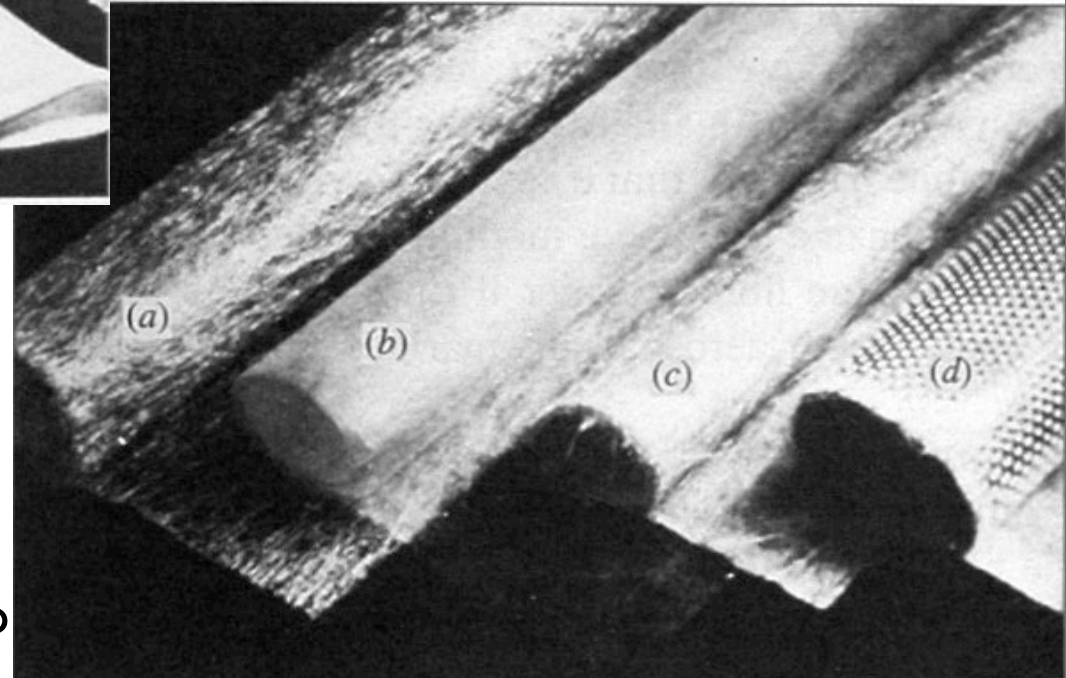
Fibre lunghe tessute 2D

## Disponibilità fibre



- (a) Filato di fibre
- (b) Tessuto intrecciato
- (c) Stoppino a filato continuo
- (d) Stoppino intrecciato

- (a) Feltro a filato continuo
- (b) feltro superficiale
- (c) feltro a filato tritato
- (d) combinazione feltro a stoppino intrecciato e filo tritato

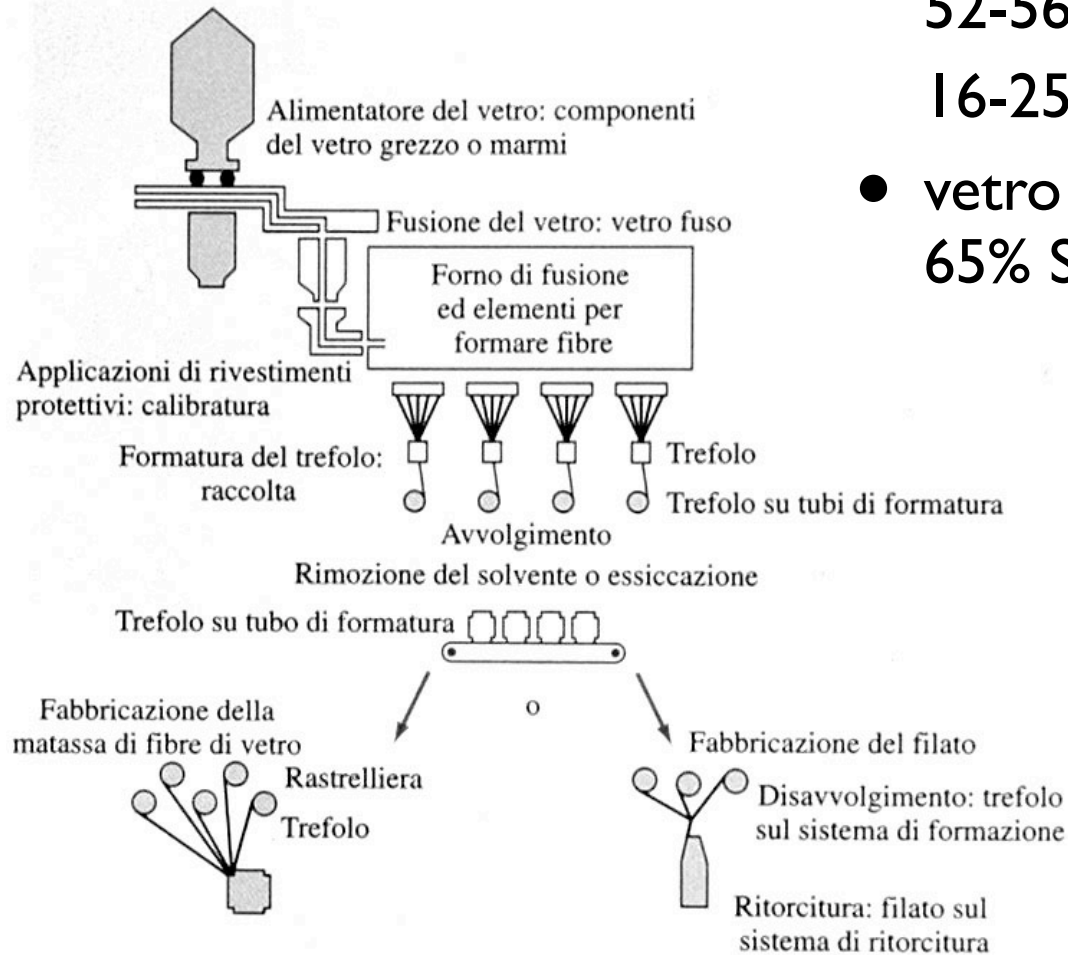


# Tipi di fibre

- Fibre di vetro: ottima resistenza meccanica (2-5 GPa), basso costo, buona tenacità, basso modulo elastico (70-80 GPa), media densità (2.5-2.8 gr/cm<sup>3</sup>)
- Fibre di carbonio: ottima resistenza meccanica (3.1-4.5 GPa), alto costo, bassa tenacità, alto modulo elastico (220-800 GPa), bassa densità (1.7-2.1 gr/cm<sup>3</sup>)
- Fibre aramidiche (kevlar e nomex): ottima resistenza meccanica (3.0-4.5 GPa), alta tenacità, costo medio, modulo elastico medio (130-150 GPa), bassa densità (< 1.5 gr/cm<sup>3</sup>)
- Altre fibre:
  - polietilene (alte proprietà meccaniche/densità)
  - boro (buona resistenza a compressione, alto costo)
  - SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, quarzo.....

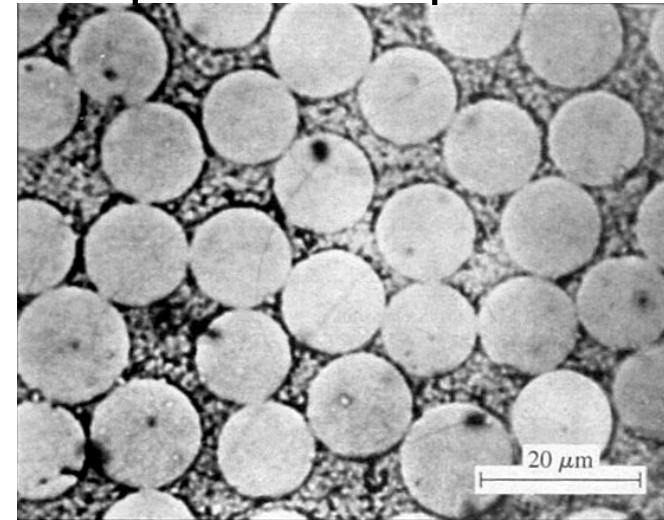
# Fibre di vetro

## Produzione fibre vetro



- vetro di tipo E, i più utilizzati:  
52-56%  $\text{SiO}_2$ , 12-16%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  
16-25%  $\text{CaO}$ , 8-13%  $\text{B}_2\text{O}_3$
- vetro di tipo S, ad alta resistenza:  
65%  $\text{SiO}_2$ , 25%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 10%  $\text{MgO}$

## Composito vetro/poliestere



# Fibre di carbonio

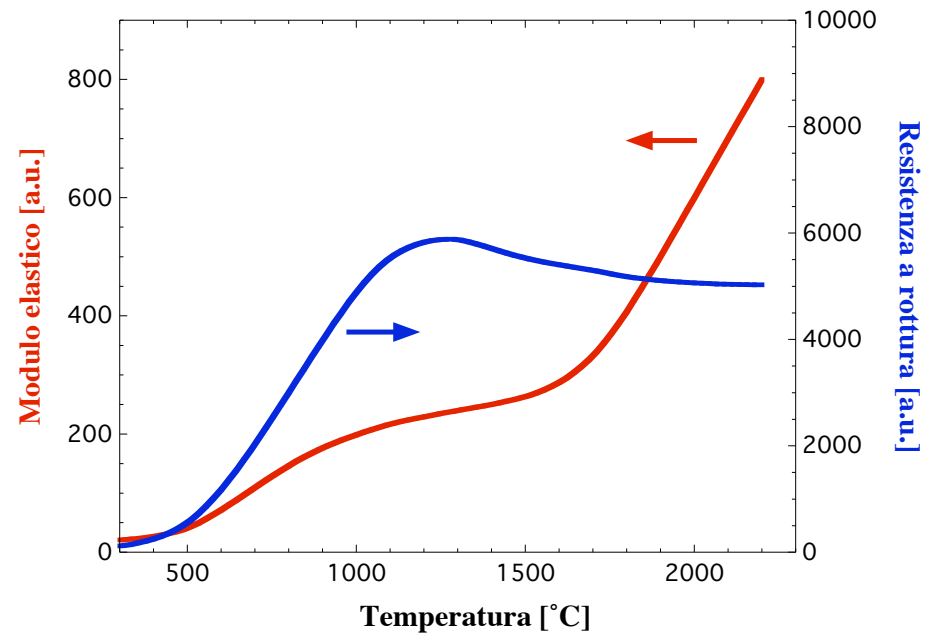
- Fibre di carbonio: alta resistenza (3.1-4.5 GPa), alto costo, bassa tenacità, alto modulo elastico (220-800 GPa), bassa densità (1.7-2.1 gr/cm<sup>3</sup>)
- Modulo elastico e resistenza a rottura dipendono dal trattamento termico di carbonizzazione e grafitizzazione

Fibra di pece o di PAN

↓  
Stabilizzazione  
200-220°C

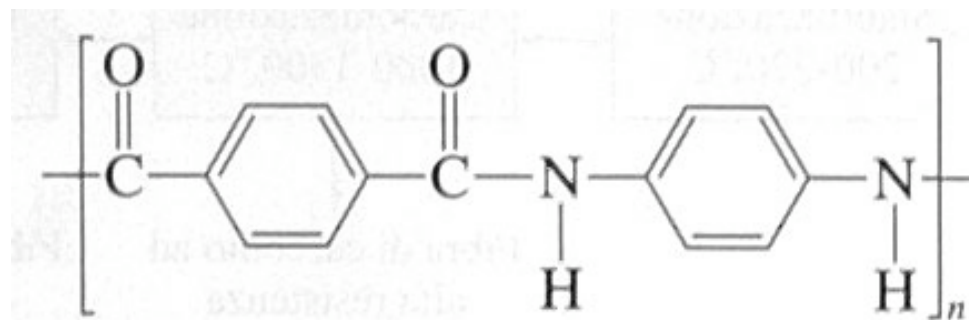
↓  
Carbonizzazione  
1000-1500°C → Fibre HS  
alta resistenza

↓  
Grafitizzazione  
>1800°C → Fibre HM  
alto modulo

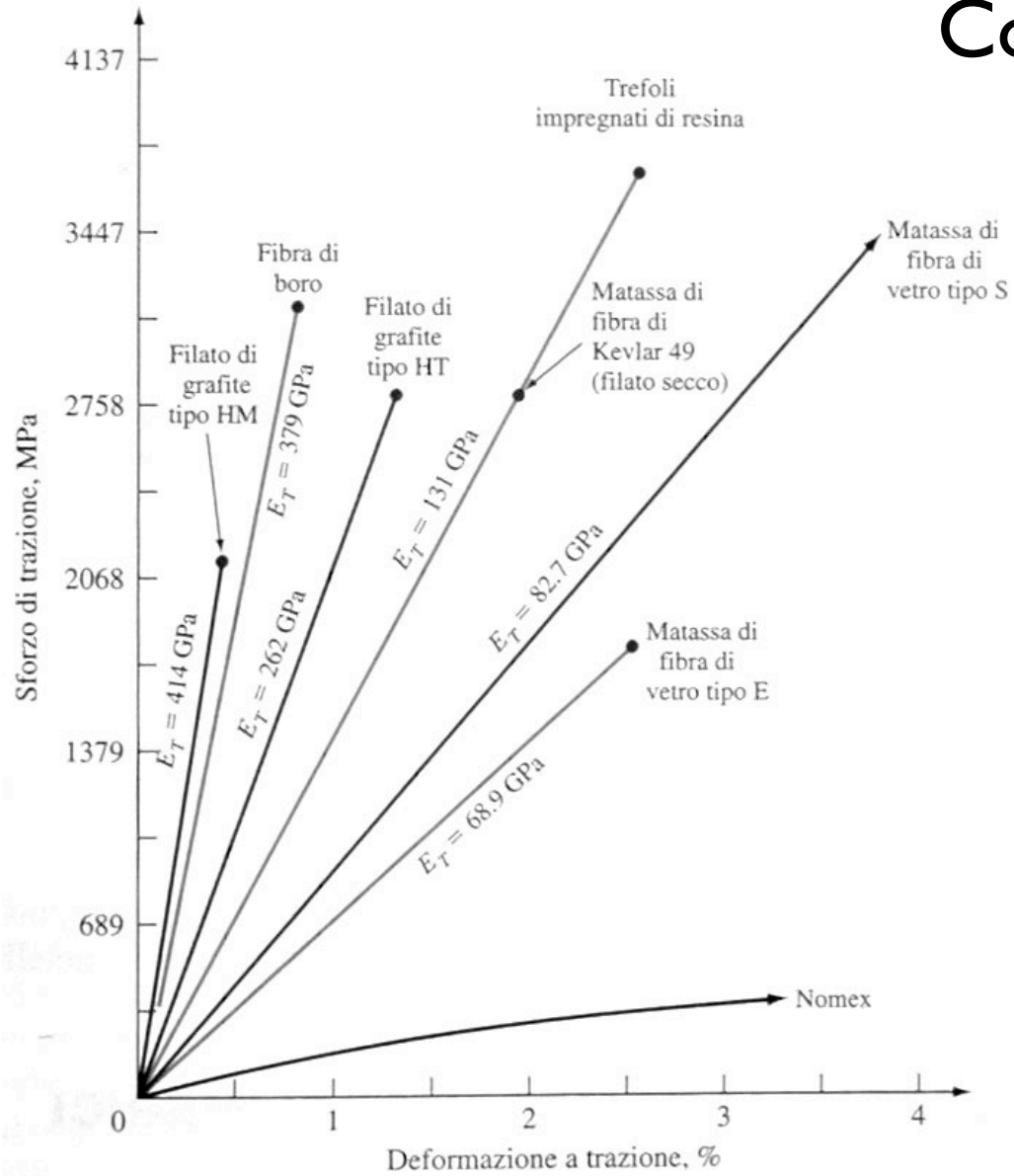


# Fibre aramidiche

- Il più noto è il Kevlar (Du Pont):
  - Kevlar 29 ha bassa densità, alta resistenza per protezioni balistiche (giubbetti antiproiettile), funi e cavi
  - Kevlar 49 ha modulo elastico più elevato e viene usato nei compositi.
- Il Nomex ha struttura para invece che meta nella disposizione dei gruppi aromatici

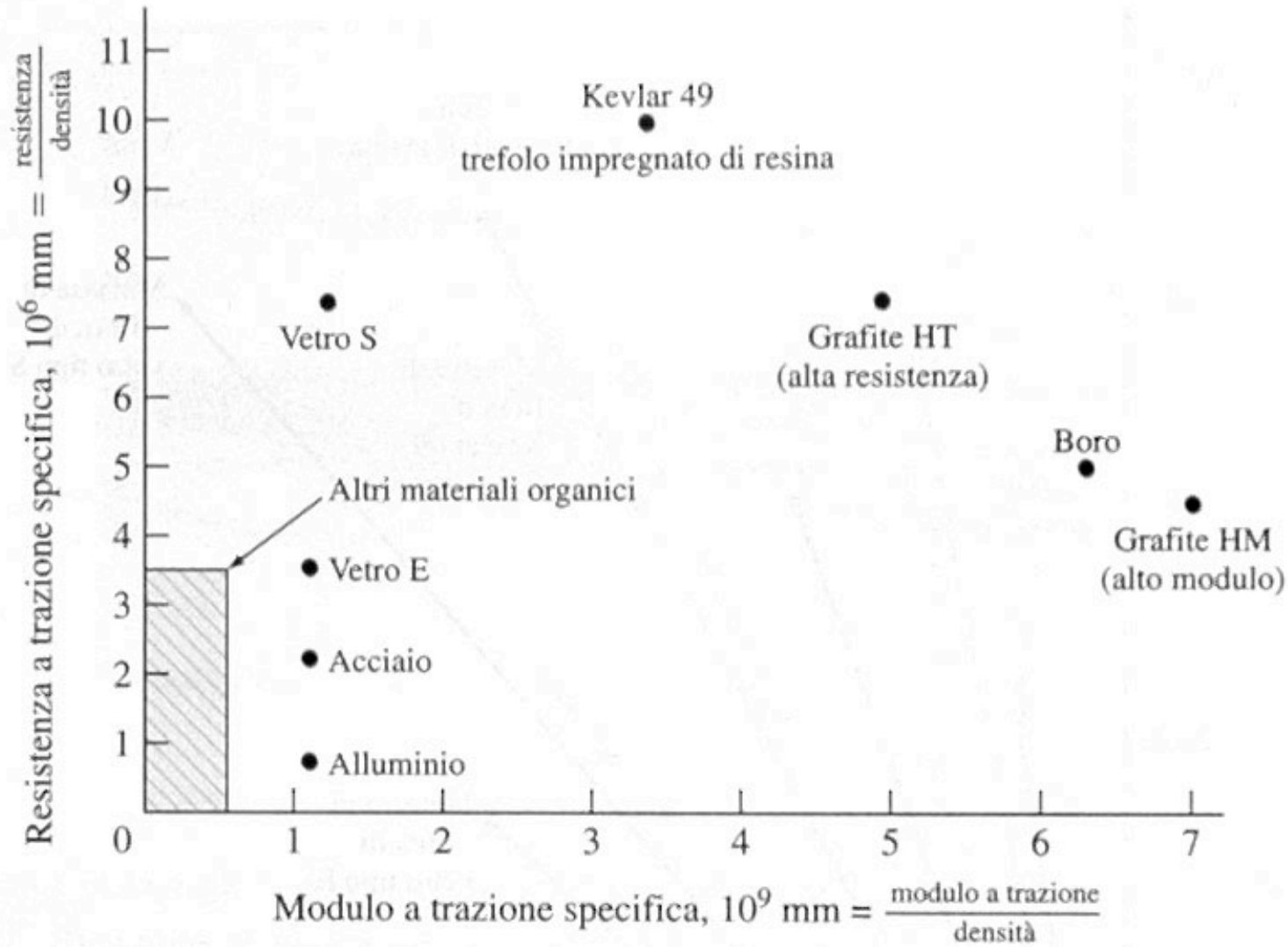


# Confronto fibre





# Confronto proprietà specifiche

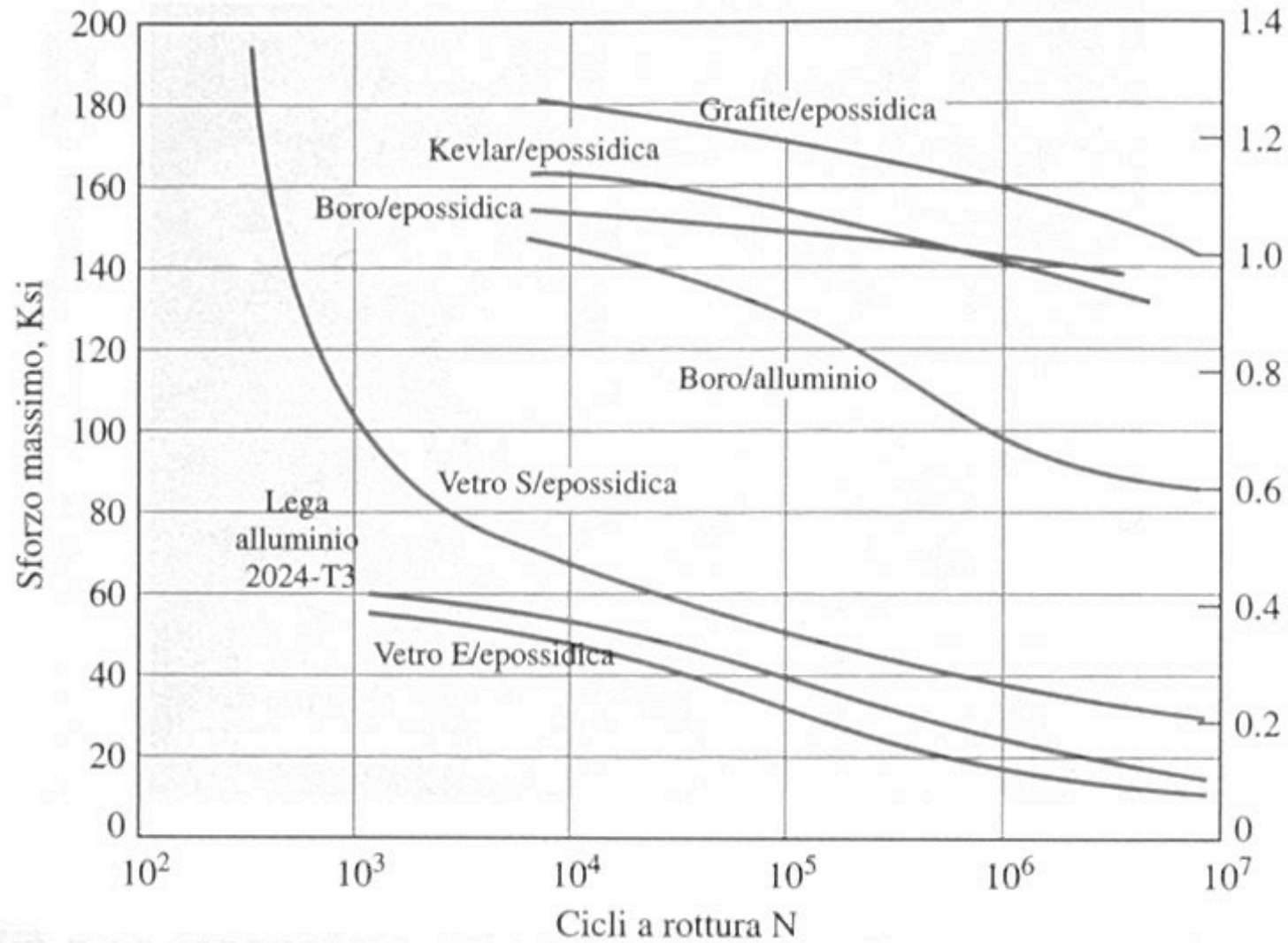


# Tipi di matrice

- Si possono avere termoindurenti e termoplastiche
- Le più usate sono:
  - matrici epossidiche: buone caratteristiche meccaniche e di adesione alle fibre, minor ritiro, sono costose e vengono utilizzate per lo più con fibre carbonio e aramidiche (compositi pregiati, aeronautica .....)
  - matrici poliestere: molto utilizzate con fibre di vetro hanno basso costo e trovano applicazione per: scafi imbarcazioni, pannelli per edifici, carrozzeria autoveicoli, apparecchiature...
- Altre: PEEK, poliammidi, polietilene (PE), polistirene....

Resina	Epossidica	Poliestere	PA6,6
Resistenza a trazione (MPa)	55-130	40-90	62-83
Modulo elastico (GPa)	2.8-4.2	2.0-4.4	2-4
Densità (gr/cm <sup>3</sup> )	1.2-1.3	1.1-1.46	1.13-1.15

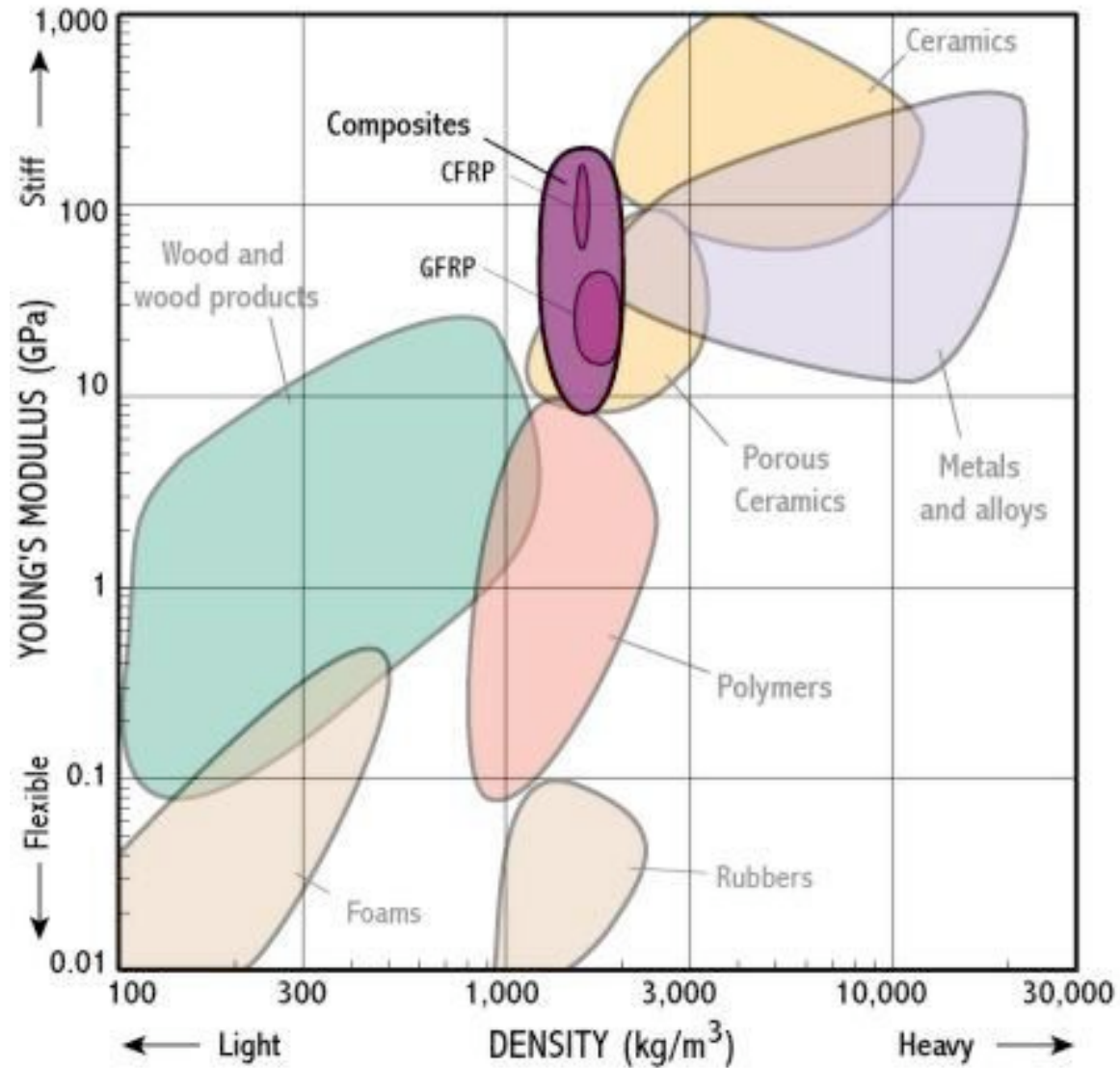
# Resistenza a fatica



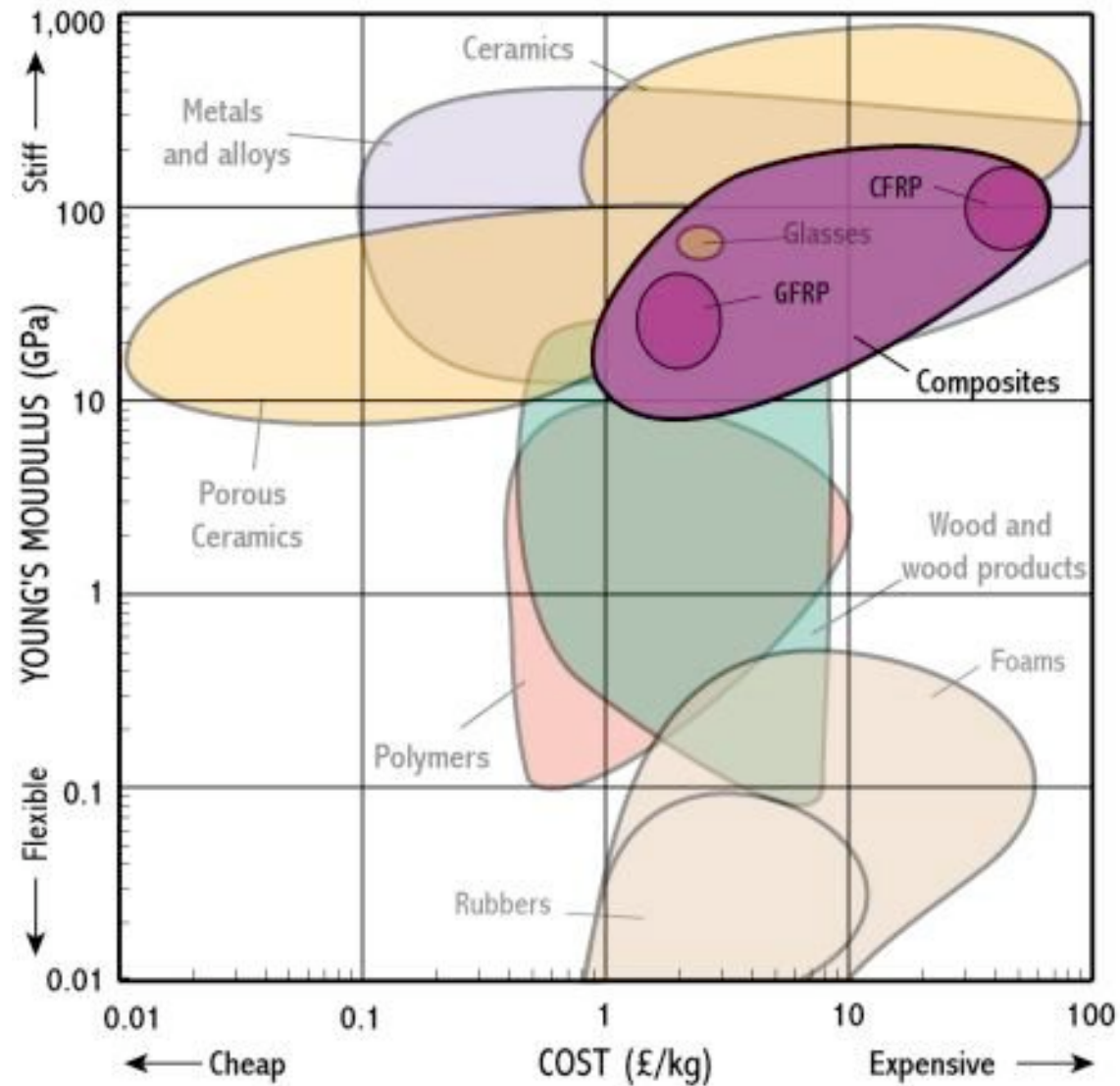
# Mappe di selezione dei materiali e compositi

- Riferimento: <http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite>
- Utili per la selezione dei compositi rispetto a materiali più tradizionali

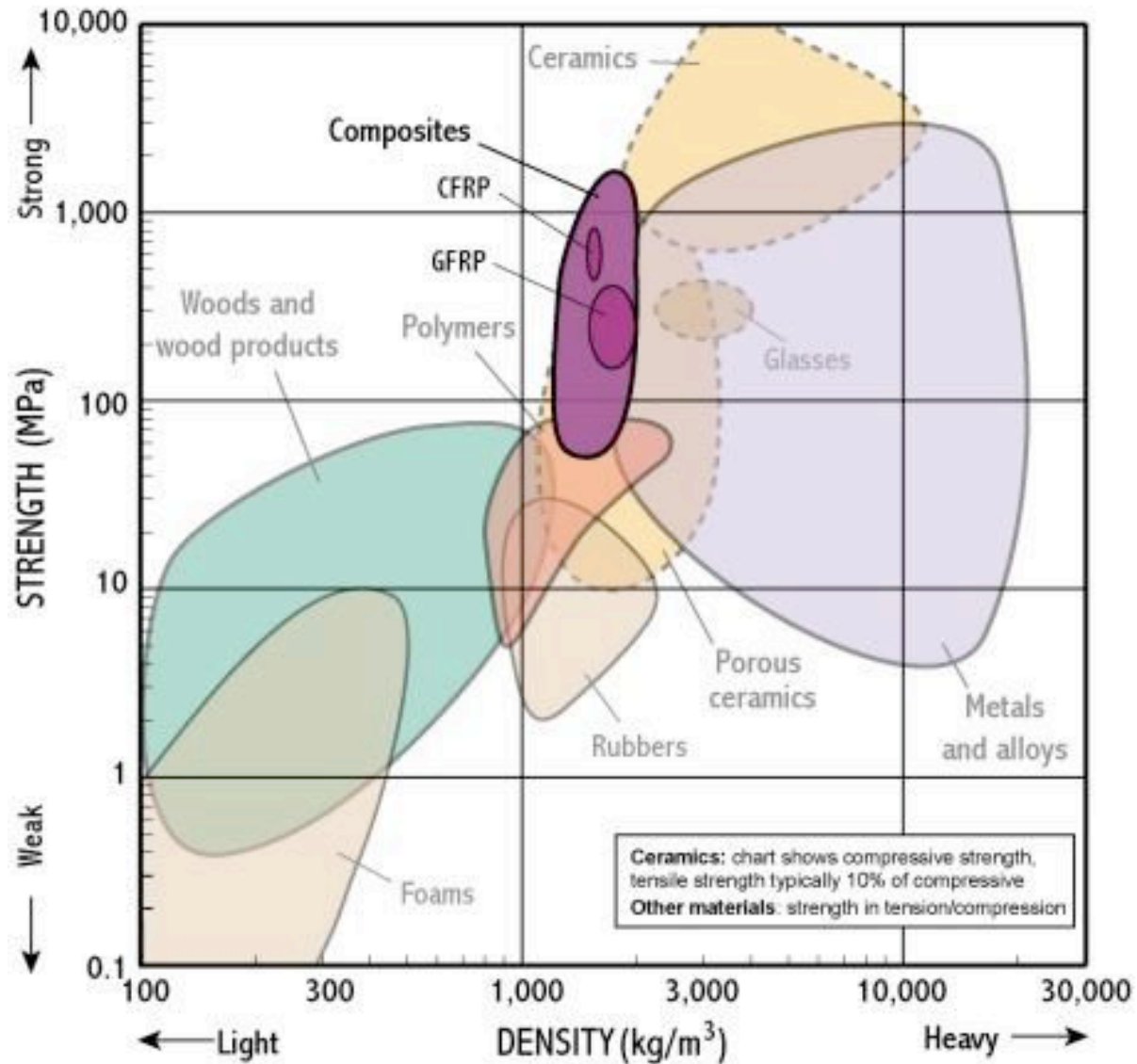
# Rigidezza-Densità



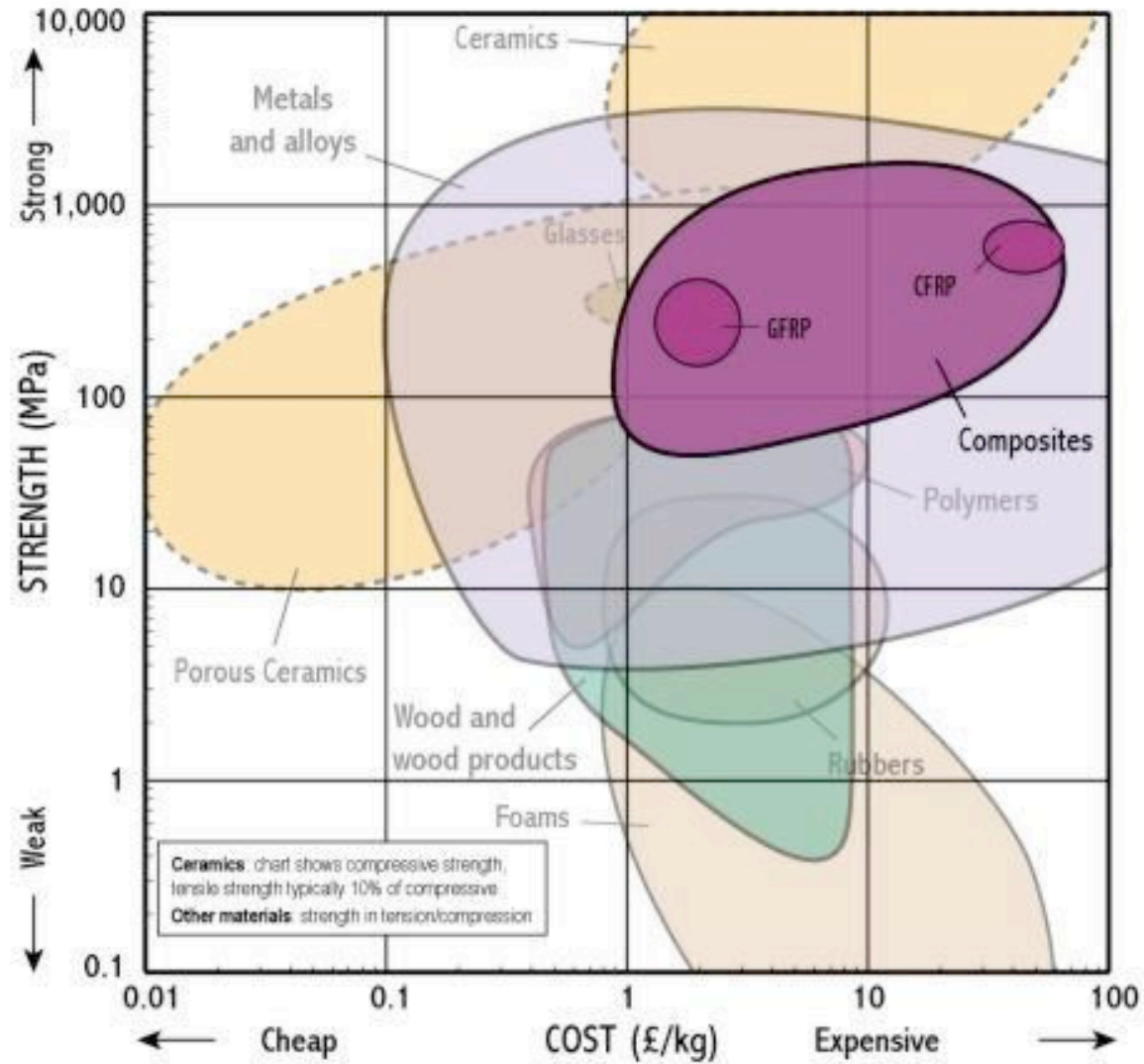
# Rigidezza-costo materiale



# Resistenza-densità

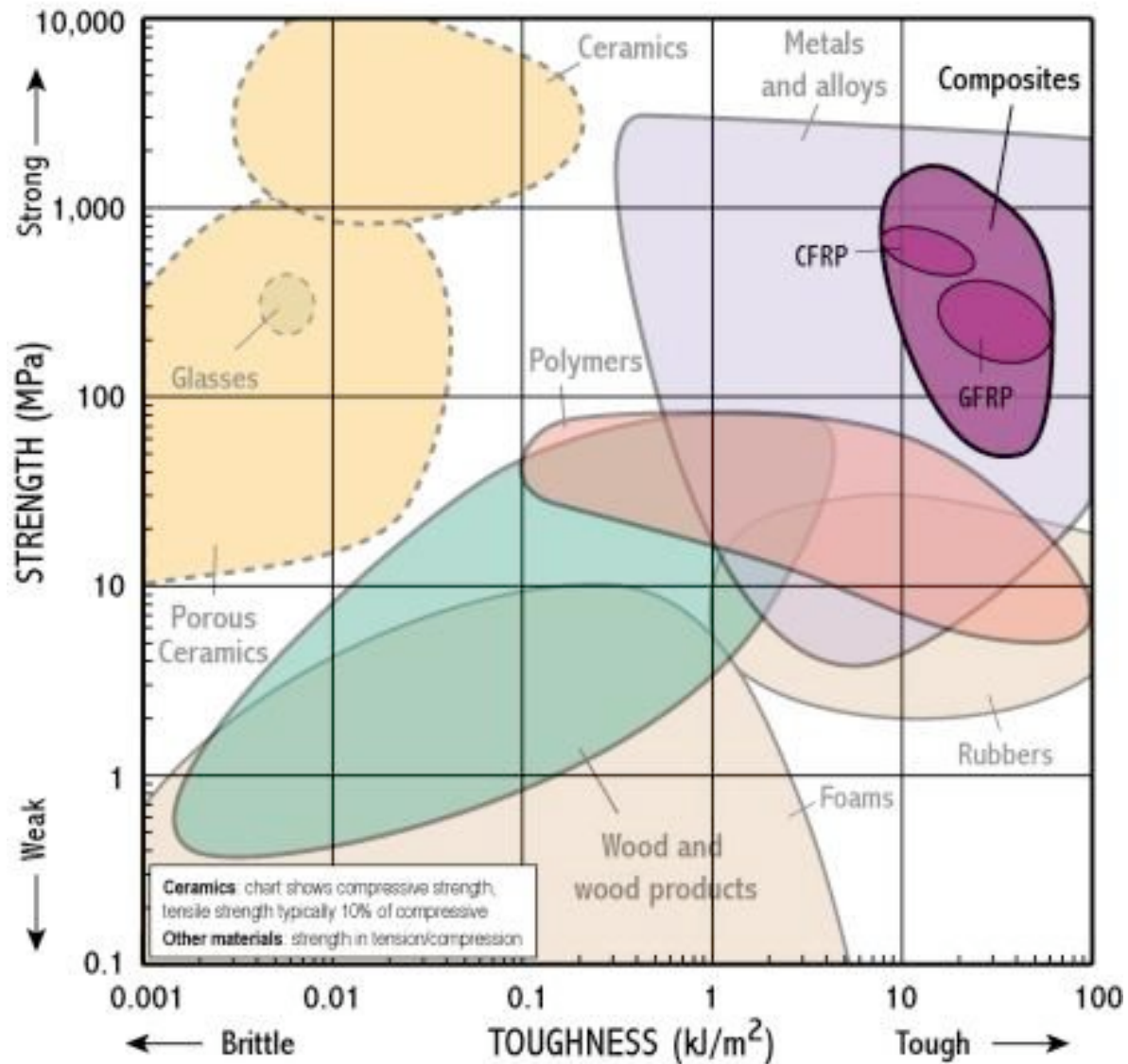


# Resistenza-costo materiale

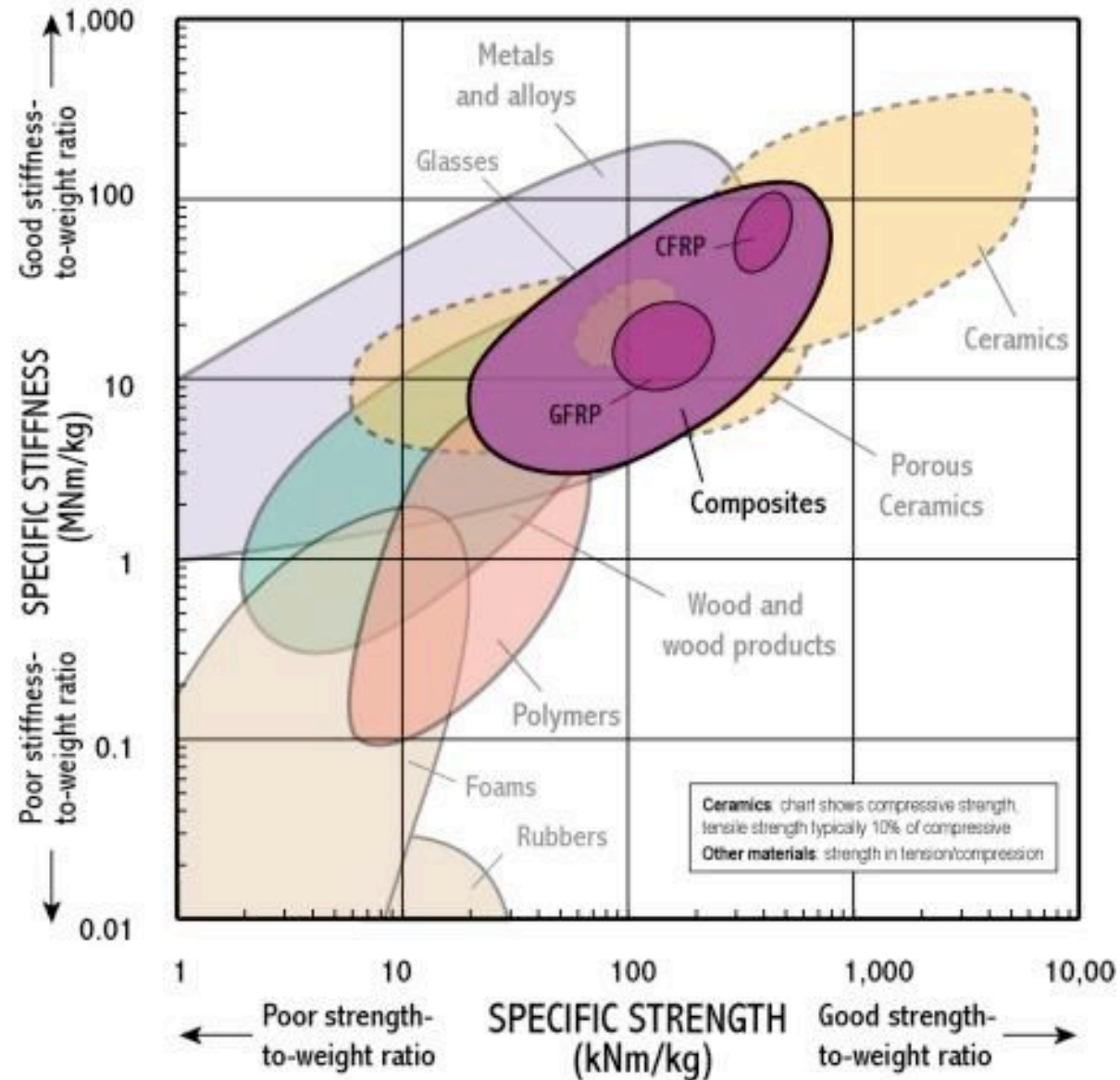




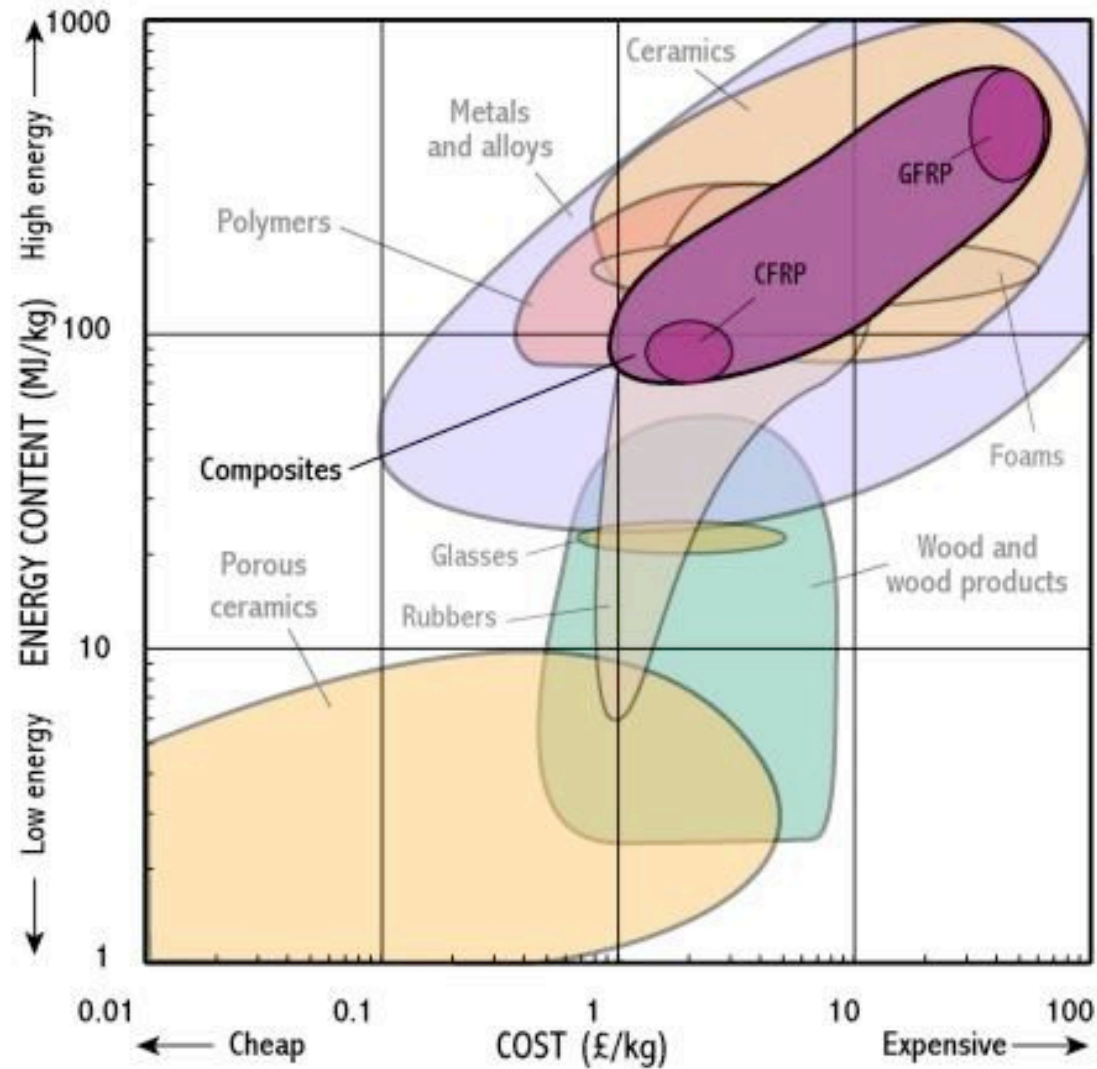
# Resistenza-tenacità



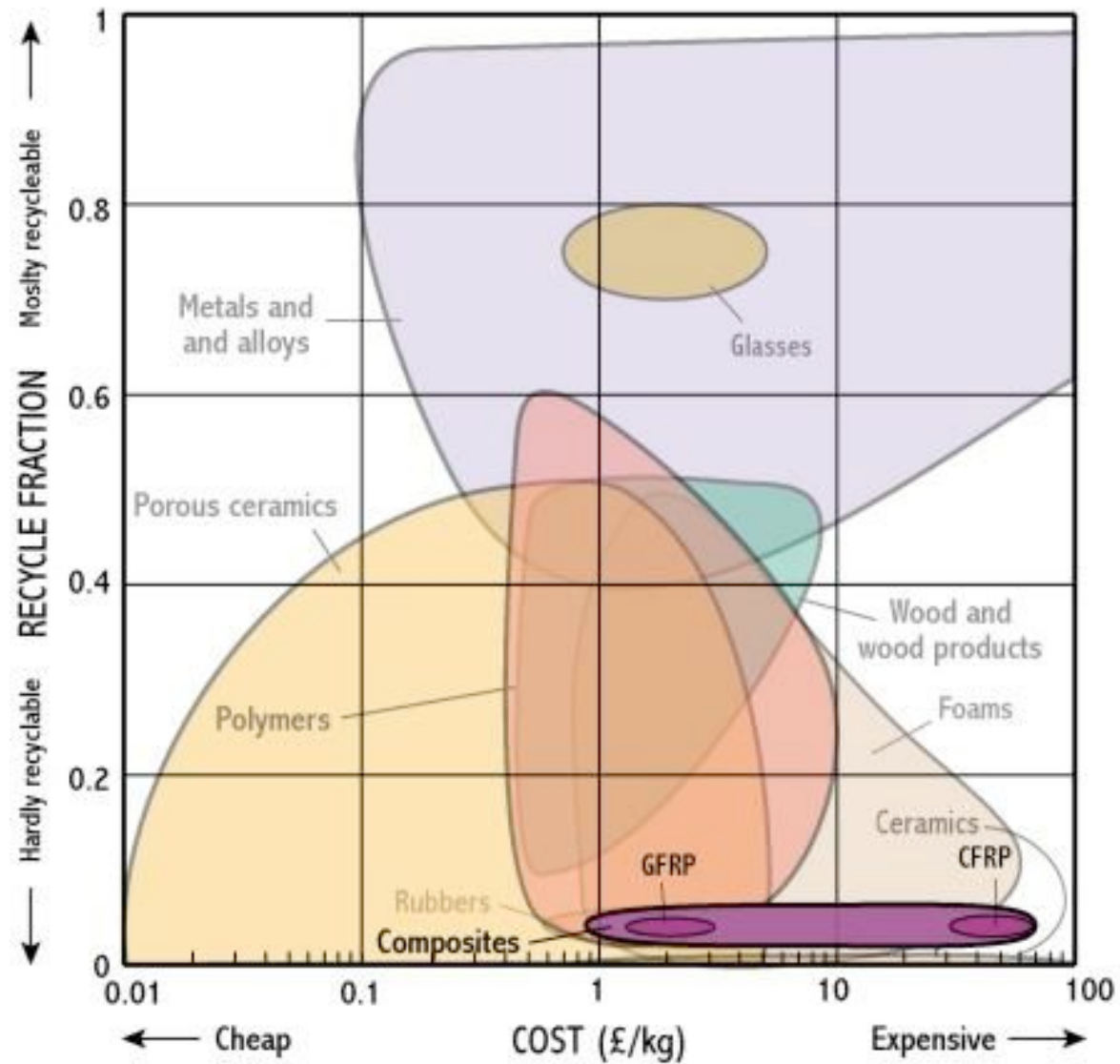
# Resistenza specifica-rigidezza specifica



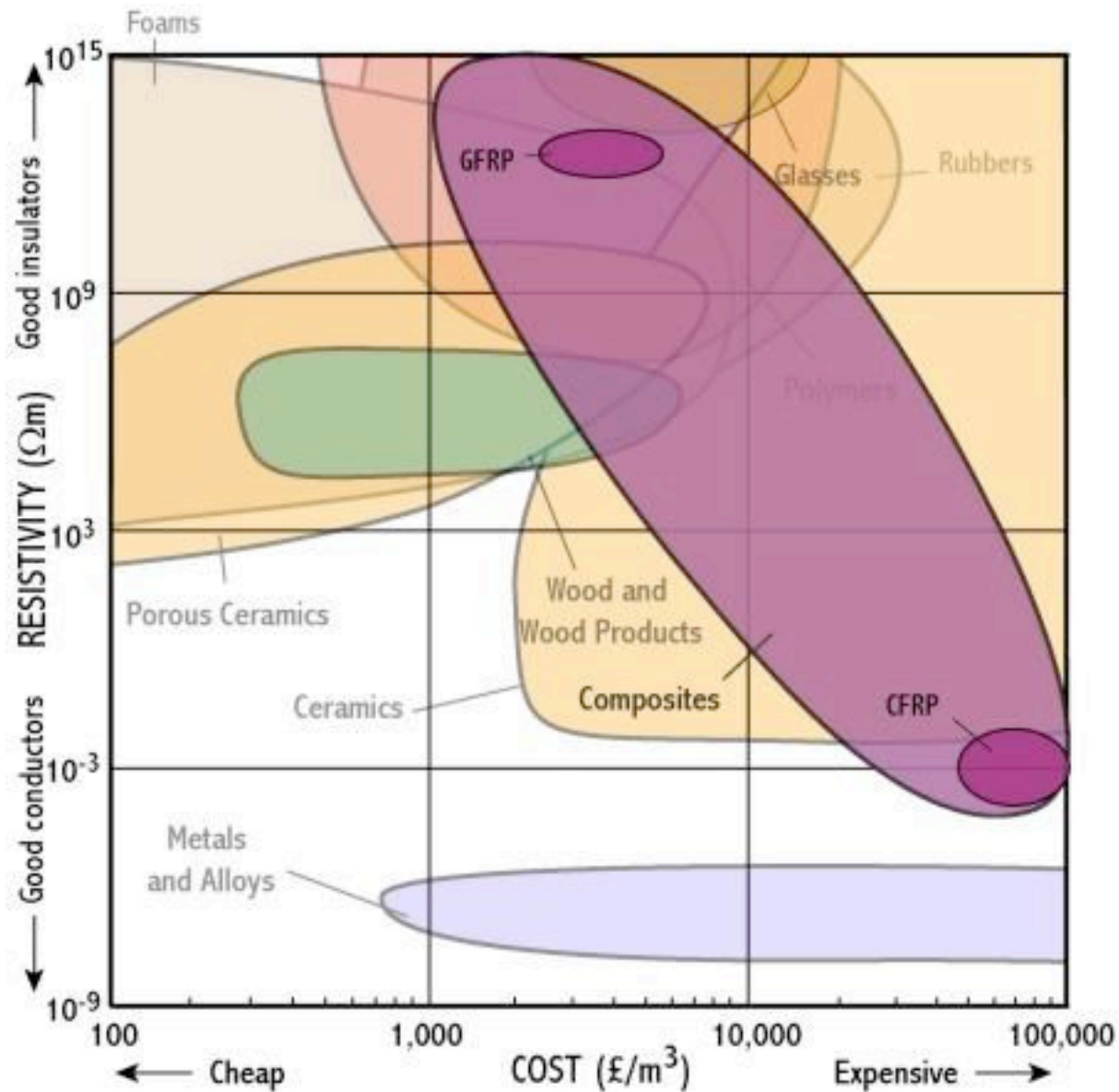
# Energia di produzione-costo materiale



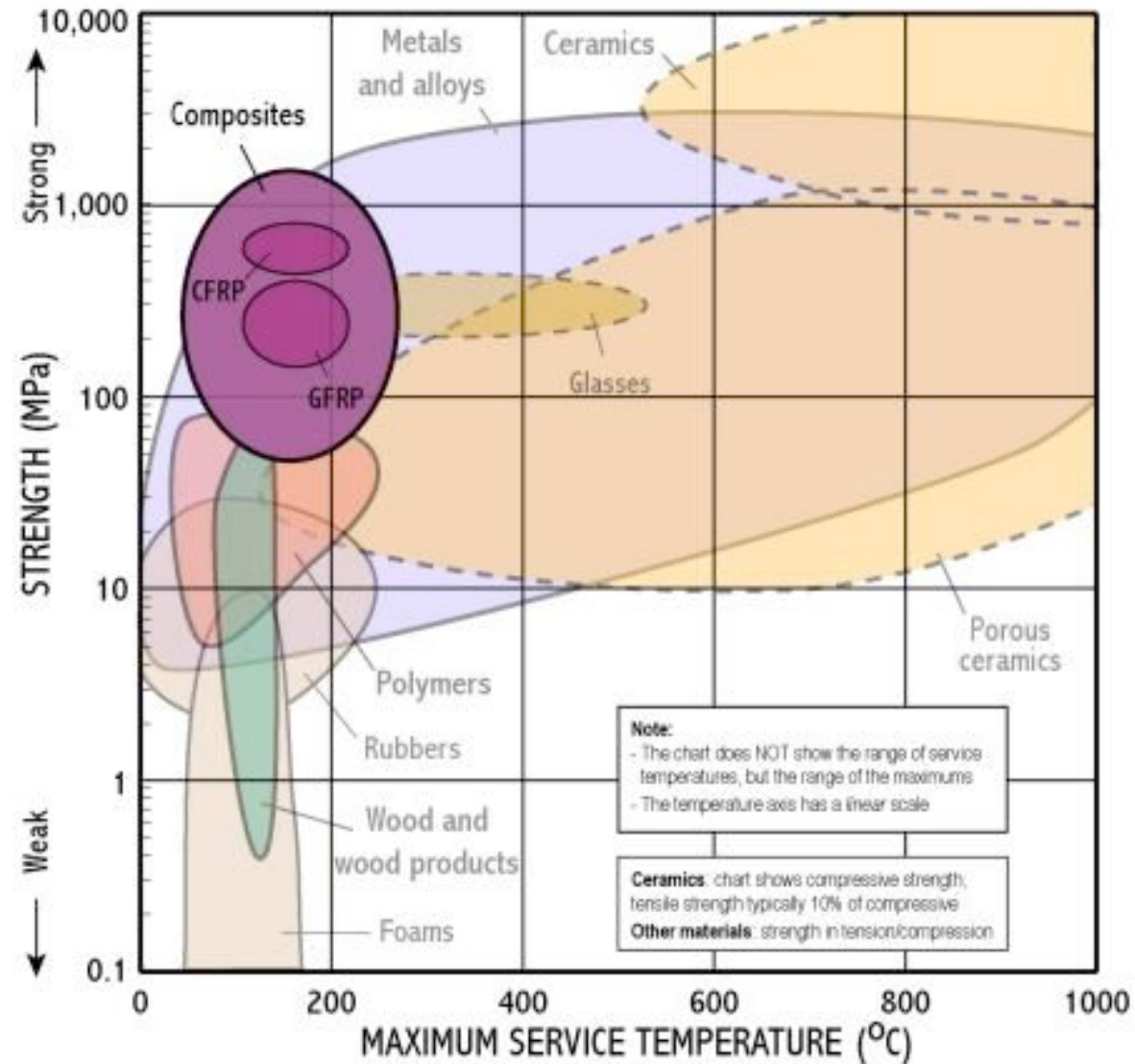
# Costo riciclaggio-costo materiale



# Resistività-costo materiale



# Resistenza-temperatura



# Resistenza-duttilità

