

Laurea triennale in Disegno industriale

Materiali e Tecnologie – Modulo Proprietà dei Materiali

SCIENZA DEI MATERIALI

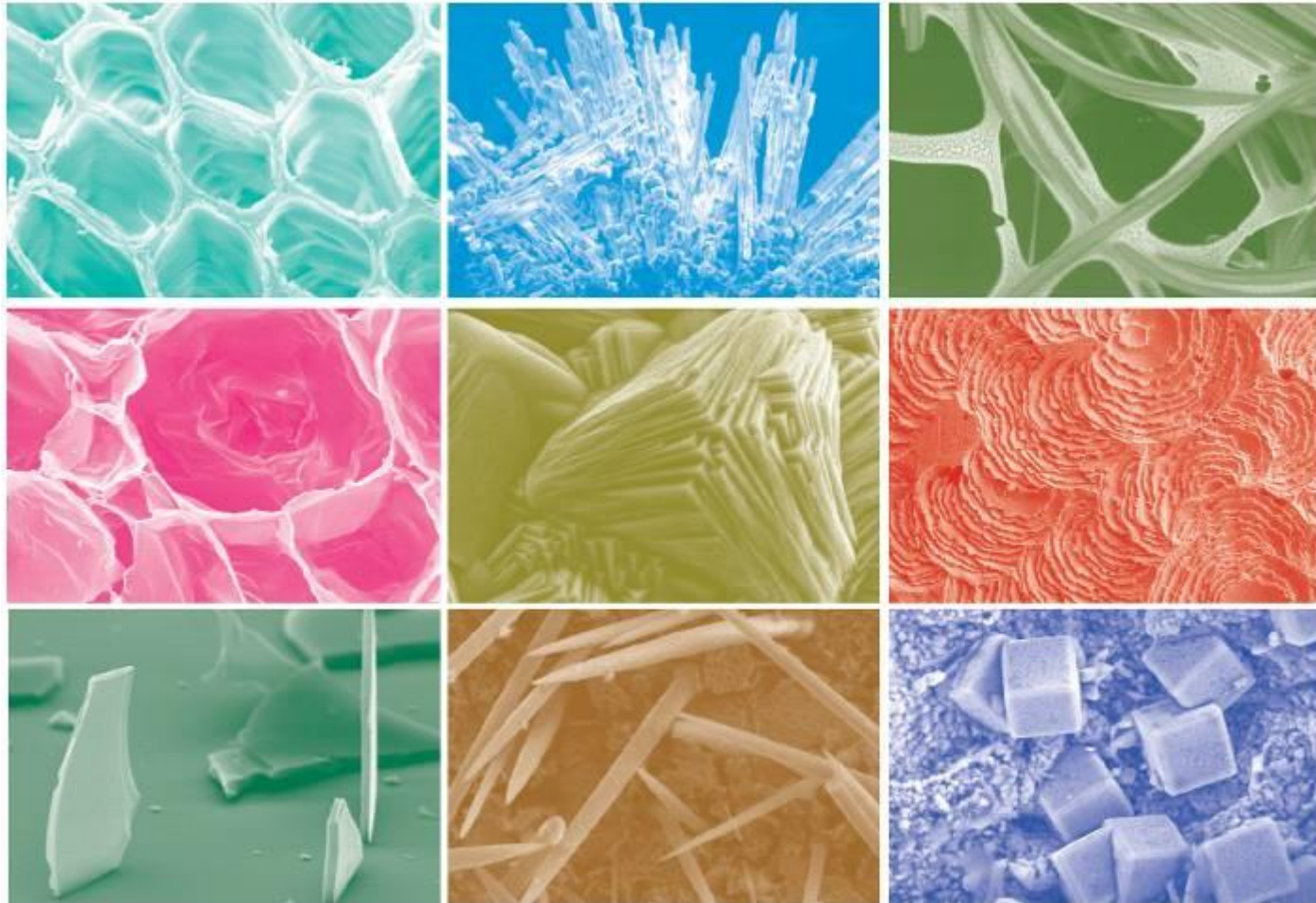


SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Ing. Francesco Marra

A.A. 2024/2025

La struttura dei materiali



La struttura dei materiali

Per progettare consapevolmente è indispensabile conoscere

- differenti tipologie di materiali
- proprietà (struttura)
- tecnologie
- criteri di dimensionamento

Tipologie di materiali

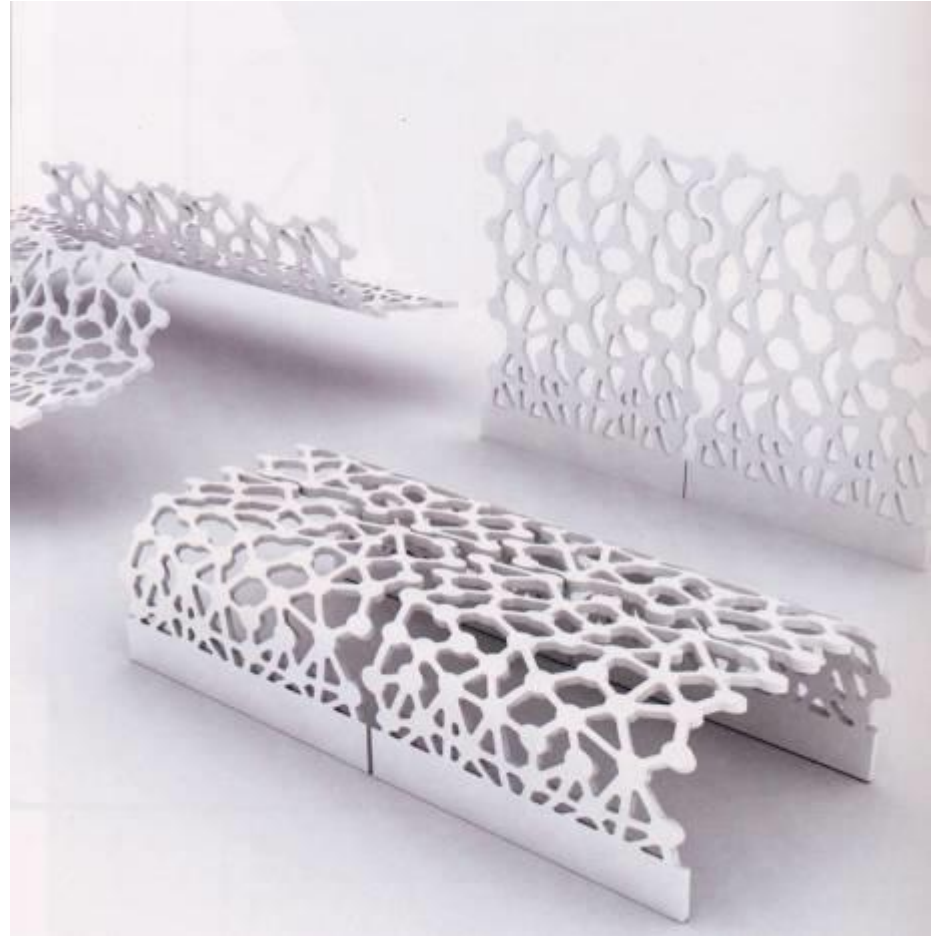


Policarbonato
La Marie/Kartell



Tipologie di materiali

Cemento ultraperformante Ductal
Arredi urbani/MASS



Tipologie di materiali



**Multistato di betulla
Strativarius/Satragno**

Tipologie di materiali

Alluminio
Mirandolina/Zanotta



Tipologie di materiali

Perché la fune che regge una seggiovia è in acciaio e non in polimero?

Perché se passiamo con un'automobile sopra una lastra di vetro perfettamente appoggiata su un piano questa non si rompe, ma se ne appoggiamo un lato su un basso gradino questa si frantuma al passaggio di un bambino in triciclo?

Perché le pentole sono quasi sempre in acciaio inossidabile o in alluminio, mentre gli scolapasta sono quasi sempre in polimero?

Tipologie di materiali

Perché i poggia pentola da tavola sono in genere realizzati in ceramica?

Perché un filo di rame conduce la corrente elettrica e un filo di Nylon no?

Perché i metalli sono lucenti e non trasparenti?

Tipologie di materiali

per poter rispondere in maniera non solo intuitiva

non è *sufficiente* conoscere le caratteristiche dei materiali (metalli, polimeri, ceramici)

ma è *necessario* correlare il tipo di **materiale** e le sue **proprietà** alla **struttura**

Che cosa è un materiale

aggregato di atomi o molecole che, grazie alla presenza di legami chimici e/o fisici, acquisisce una struttura tale da garantirgli adeguate reazioni a sollecitazioni meccaniche, fisiche o chimiche, così da consentirne l'impiego per la realizzazione di oggetti, componenti e strutture.

Proprietà dei materiali

Le proprietà dei materiali dipendono dal tipo di legame che si crea tra gli elementi

In funzione degli elementi e dei relativi legami si distinguono tre principali classi di materiali: *metalli, polimeri e ceramici*.

Una quarta classe è costituita dai *materiali compositi*.

Accanto a questi esistono poi i cosiddetti *materiali “naturali”* (legno, cuoio ecc.).

Proprietà dei materiali

Per comprendere le proprietà delle diverse classi di materiali è necessario conoscerne la struttura

tre diversi livelli di dettaglio:

Macrostrutturale

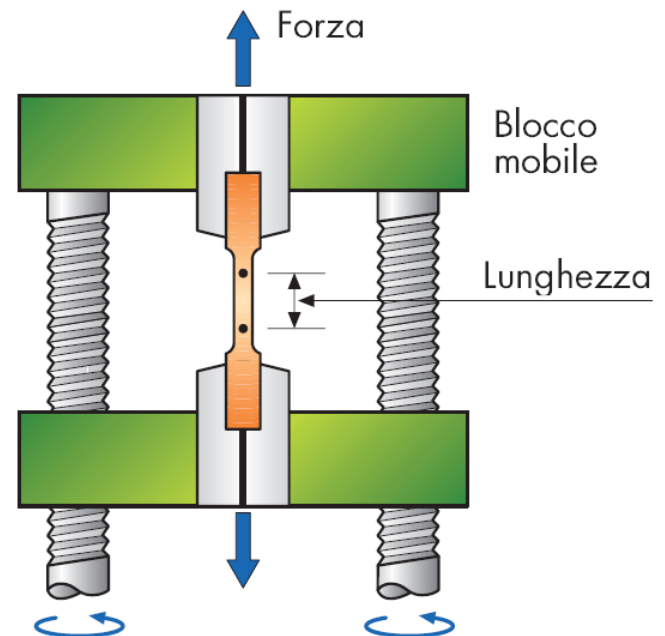
Microstrutturale

Atomico o molecolare

Macrostruttura

Il materiale viene considerato nel suo insieme ed esaminato a livello macroscopico (a occhio nudo)

Le proprietà possono essere misurate con prove sperimentali su campioni di dimensioni dell'ordine dei centimetri



Macrostruttura

Manufatto realizzato in calcestruzzo

le sue caratteristiche e proprietà macroscopiche (resistenza meccanica, peso ecc.) vengono studiate globalmente, senza che sia necessario conoscere i diversi costituenti che lo formano.

**Panettone
(paracarro stradale)
E.Mari - calcestruzzo**



Microstruttura

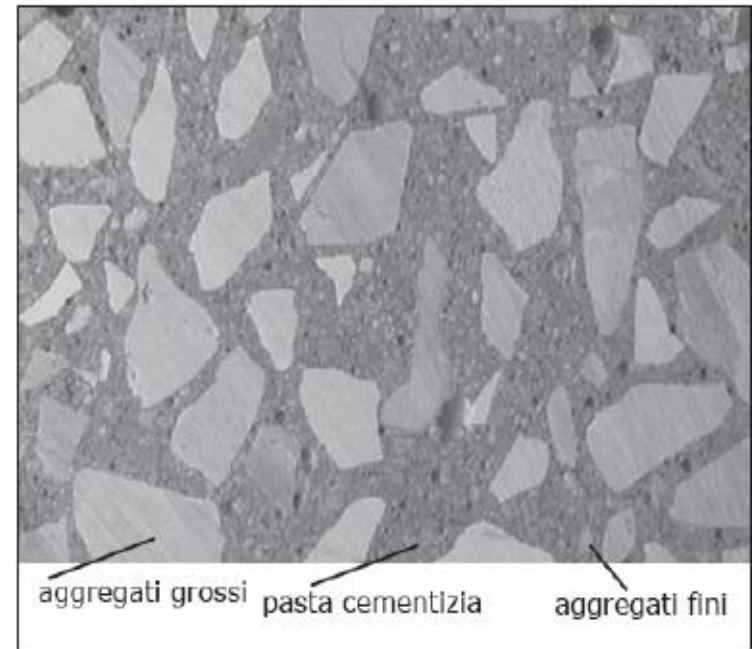
La struttura del materiale è osservata, in genere utilizzando un microscopio ottico, a un livello di definizione per cui si possono individuare le singole fasi o particelle che lo costituiscono e che interagiscono determinando il comportamento del materiale nel suo insieme.

Microstruttura

individuare in esso la pasta cementizia (cemento + acqua), gli aggregati grossi (pietrisco) e gli aggregati fini (sabbia) che lo costituiscono.

COMPORTAMENTO DEL CALCESTRUZZO

- geometria dei costituenti
- disposizione dei costituenti
- proprietà dei costituenti
- caratteristiche dell'interfaccia

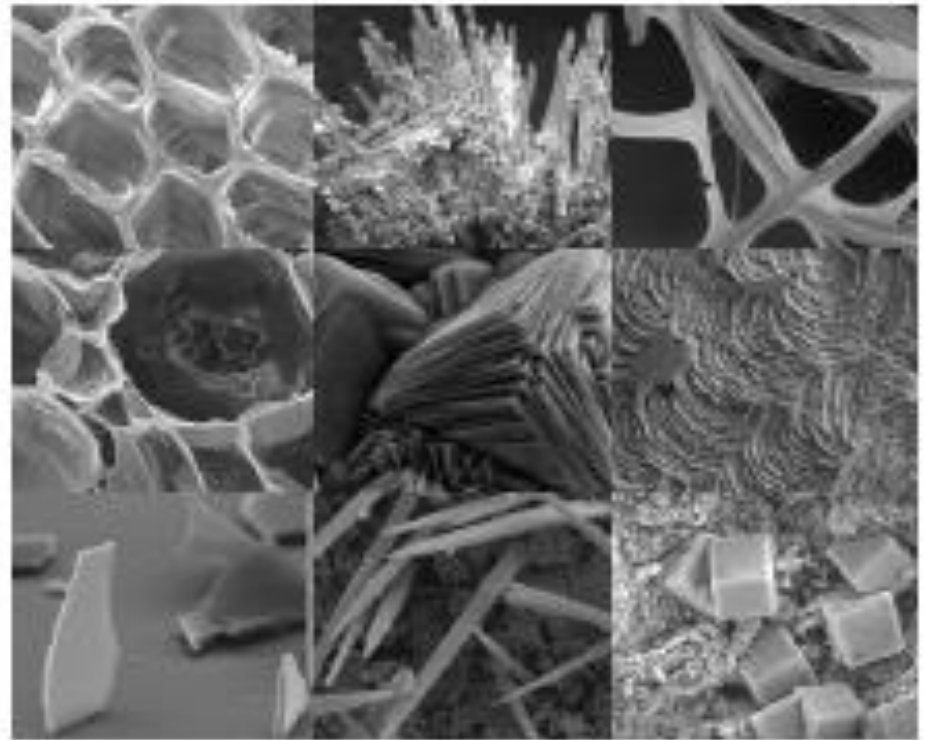


Microstruttura

microscopia elettronica a scansione

microscopia a forza atomica

ingrandimenti di alcune decine di
migliaia di volte



Struttura atomica o molecolare

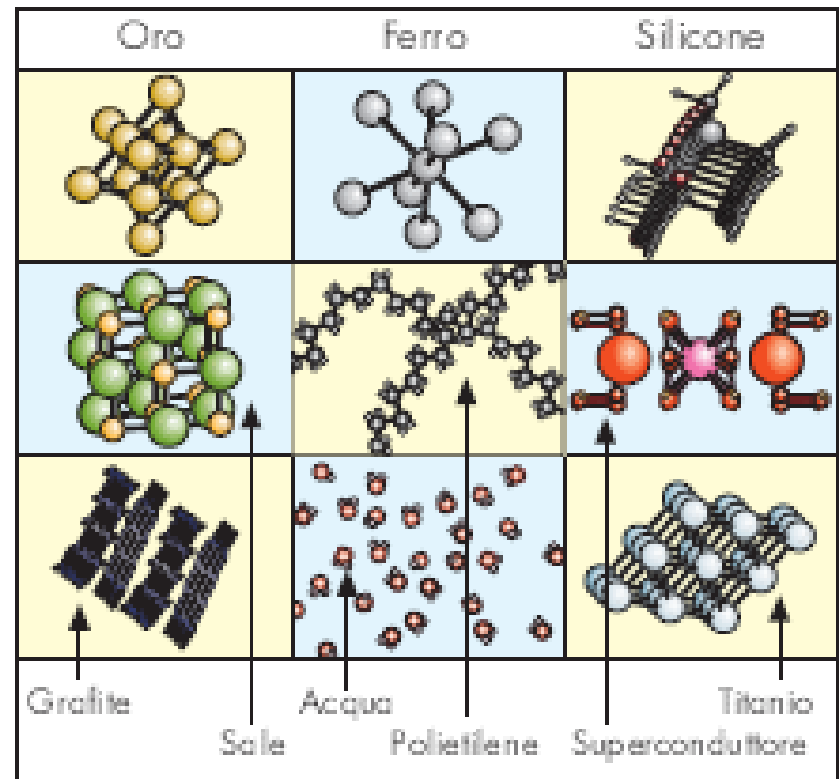
il materiale è considerato come un aggregato di atomi o molecole ed è possibile correlare le proprietà con:

- la natura dei legami tra gli atomi e tra le molecole e la mobilità degli elettroni
- le dimensione di atomi e molecole
- la disposizione spaziale degli atomi e delle molecole
- la presenza di difetti

Struttura atomica o molecolare

microscopia elettronica a trasmissione

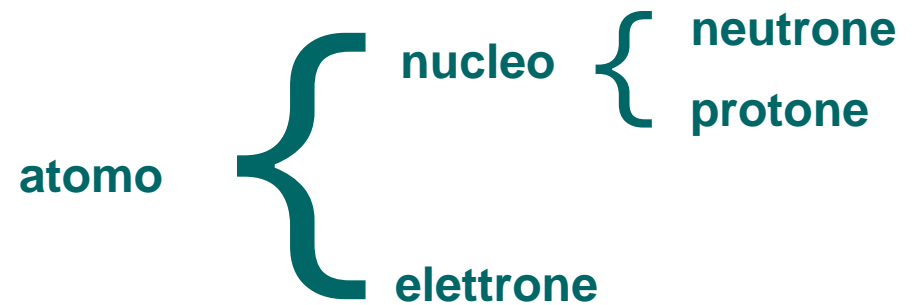
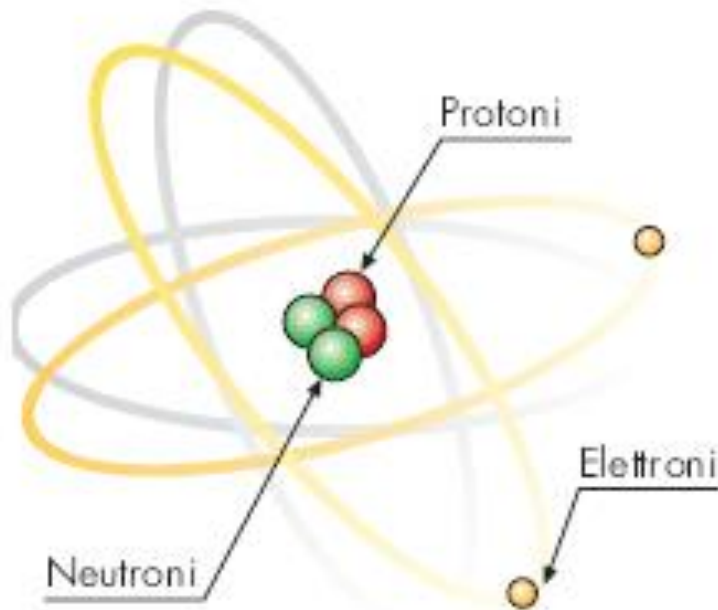
diffrazione a raggi X



Complementarietà dei livelli

Pur dando maggior risalto, nella definizione utilizzata di materiale, alla struttura a livello atomico o molecolare, è necessario considerare **tutti** i livelli di indagine

Legami tra atomi e molecole



Legami tra atomi e molecole

Livello energetico

Elettroni di valenza

8 elettroni

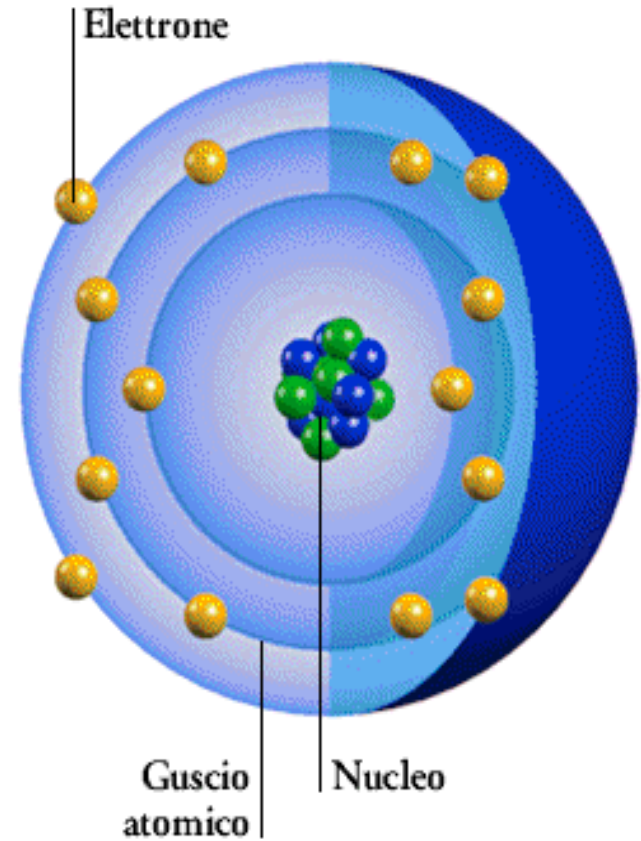
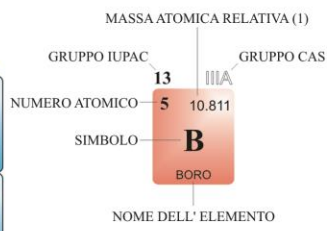




TAVOLA PERIODICA DEGLI ELEMENTI

<http://www.periodni.com/it/>

GRUPPO	TAVOLA PERIODICA DEGLI ELEMENTI																18						
PERIODO	1	2		3-10										11-18		18							
	IA	IIA	III A - VIII B										IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA					
1	1.0079 H IDROGENO																	2 4.0026 He ELIO					
2	3 6.941 Li LITIO	4 9.0122 Be BERILLIO																5 10.811 B BORO	6 12.011 C CARBONIO	7 14.007 N AZOTO	8 15.999 O OSSIGENO	9 18.998 F FLUORO	10 20.180 Ne NEO
3	11 22.990 Na SODIO	12 24.305 Mg MAGNESIO																13 26.982 Al ALLUMINIO	14 28.086 Si SILICIO	15 30.974 P FOSFORO	16 32.065 S SOLFO	17 35.453 Cl CLORO	18 39.948 Ar ARGO
4	19 39.098 K POTASSIO	20 40.078 Ca CALCIO	21 44.956 Sc SCANDIO	22 47.867 Ti TITANIO	23 50.942 V VANADIO	24 51.996 Cr CROMO	25 54.938 Mn MANGANESE	26 55.845 Fe FERRO	27 58.933 Co COBALTO	28 58.693 Ni NICHEL	29 63.546 Cu RAME	30 65.38 Zn ZINCO	31 69.723 Ga GALLIO	32 72.64 Ge GERMANIO	33 74.922 As ARSENICO	34 78.96 Se SELENIO	35 79.904 Br BROMO	36 83.798 Kr CRIPTO					
5	37 85.468 Rb RUBIDIO	38 87.62 Sr STRONZIO	39 88.906 Y ITTRIO	40 91.224 Zr ZIRCONIO	41 92.906 Nb NIOBIO	42 95.96 Mo MOLIBDENO	43 (98) Tc TECNETO	44 101.07 Ru RUTENIO	45 102.91 Rh RODIO	46 106.42 Pd PALLADIO	47 107.87 Ag ARGENTO	48 112.41 Cd CADMIO	49 114.82 In INDIO	50 118.71 Sn STAGNO	51 121.76 Sb ANTIMONIO	52 127.60 Te TELLURIO	53 126.90 I IODIO	54 131.29 Xe XENO					
6	55 132.91 Cs CESIO	56 137.33 Ba BARIO	57-71 La-Lu Lantanidi	72 178.49 Hf AFNIO	73 180.95 Ta TANTALIO	74 183.84 W WOLFRAMIO	75 186.21 Re RENIIO	76 190.23 Os OSMIO	77 192.22 Ir IRIDIO	78 195.08 Pt PLATINO	79 196.97 Au ORO	80 200.59 Hg MERCURIO	81 204.38 Tl TALLIO	82 207.2 Pb PIOMBO	83 208.98 Bi BISMUTO	84 (209) Po POLONIO	85 (210) At ASTATO	86 (222) Rn RADON					
7	87 (223) Fr FRANCIO	88 (226) Ra RADIO	89-103 Ac-Lr Attinidi	104 (267) Rf RUTHERFORDIO	105 (268) Db DUBNIO	106 (271) Sg SEABORGIO	107 (272) Bh BOHRIO	108 (277) Hs HASSIO	109 (276) Mt MEITNERIO	110 (281) Ds DARMSTADTIO	111 (280) Rg ROENTGENIO	112 (285) Cn COPERNICIO	113 (...) Uut UNUNTRIO	114 (287) Fl FLEROVIO	115 (...) Uup UNUNPENTIO	116 (291) Lv LIVERMORIO	117 (...) Uus UNUNSEPTIO	118 (...) Uuo UNUNOCTIO					



Metalli (blue) **Semimetali** (orange) **Non metalli** (green)

Metalli alcalini Calcogeni
Metalli alcalino terrosi Alogeni
Metalli di transizione Gas nobili

Lantanidi Actinidi

STATO DI AGGREGAZIONE A 25 °C
Ne - gas **Fe** - solido
Hg - liquido **Tc** - artificiali

Copyright © 2012 Eri Generali©

(1) Pure Appl. Chem., 81, No. 11, 2131-2156 (2009)
 Le masse atomiche relative sono espresse con cinque cifre significative. L'elemento non ha alcuni nuclidi stabili e un valore tra parentesi, e.g. [209], indica il numero totale dell'isotopo lungo-vivo dell'elemento. Tuttavia, tre elementi (Th, Pa ed U) hanno una composizione isotopica terrestre caratteristica e così loro massa atomica data.

LANTANIDI														
57 138.91 La LANTANIO	58 140.12 Ce CERIO	59 140.91 Pr PRASEODIMIO	60 144.24 Nd NEODIMIO	61 (145) Pm PROMETIO	62 150.36 Sm SAMARIO	63 151.96 Eu EUROPIO	64 157.25 Gd GADOLINIO	65 158.93 Tb TERBIO	66 162.50 Dy DISPROSIO	67 164.93 Ho OLMIO	68 167.26 Er ERBIO	69 168.93 Tm TULLIO	70 173.05 Yb ITTERBIO	71 174.97 Lu LUTEZIO

ATTINIDI														
89 (227) Ac ATTINIO	90 232.04 Th TORIO	91 231.04 Pa PROTOATTINIO	92 238.03 U URANIO	93 (237) Np NETTUNIO	94 (244) Pu PLUTONIO	95 (243) Am AMERICIO	96 (247) Cm CURIO	97 (247) Bk BERKELIO	98 (251) Cf CALIFORNIO	99 (252) Es EINSTEINIO	100 (257) Fm FERMIO	101 (258) Md MENDELEVIO	102 (259) No NOBELIO	103 (262) Lr LAWRENTIO

Legami forti

ionico

- comporta la cessione di elettroni da un atomo all'altro con formazioni di ioni

covalente

- comporta la compartecipazione tra due atomi di uno o più elettroni

metallico

- comporta la compartecipazione degli elettroni di valenza tra molti atomi attigui

Legami deboli

legami dipolo/dipolo (come il legame idrogeno)

legami di Van der Waals

Legame ionico

si forma tra atomi diversi

nel livello energetico più esterno 1-2 elettroni

altro a cui manca lo stesso numero di elettroni per arrivare a 8

Legame ionico

uno o più elettroni di valenza vengono “ceduti” da un atomo all’altro, in modo da raggiungere la configurazione stabile (8 elettroni)

L’atomo che cede elettroni **(catione)**

L’atomo che riceve elettroni **(anione)**

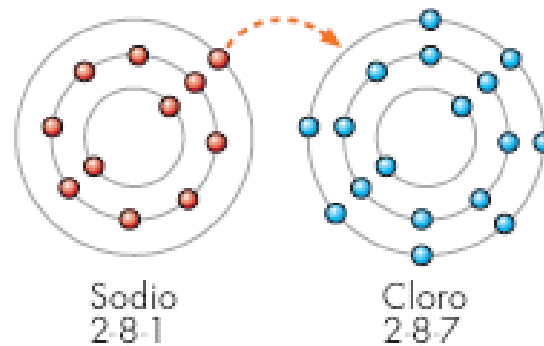
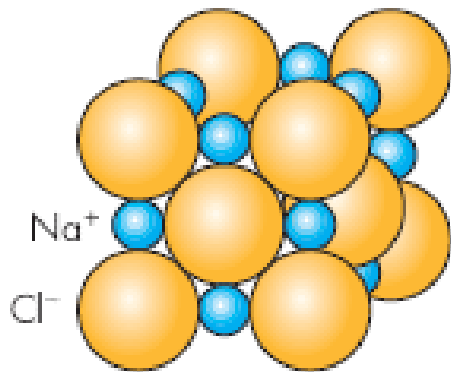
i due ioni pertanto si attraggono reciprocamente.

Legame ionico

Formazione del cloruro di sodio (NaCl), il comune sale da cucina:

l'atomo di sodio perde un elettrone, catione Na^+

il cloro acquista un elettrone, anione Cl^-



Legame covalente

Il legame covalente puro si forma quando due atomi uguali mettono in compartecipazione tra loro uno o più elettroni di valenza, in modo da raggiungere la configurazione stabile

legame covalente semplice [–]

legame covalente doppio [=]

legame covalente triplo [≡]



Legame covalente

Il carbonio, avendo 4 elettroni di valenza, per raggiungere la configurazione stabile crea fino a 4 legami covalenti.

Il legame covalente si può formare tra atomi uguali (come spesso avviene per il carbonio, C–C) o anche tra atomi diversi (ad esempio C–H, C–O, N–H).

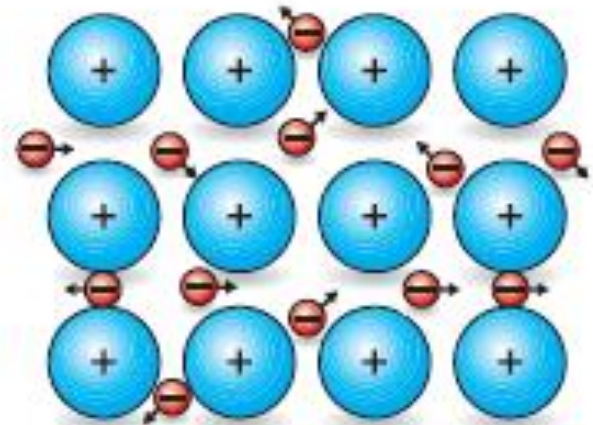
A differenza del legame ionico, il legame covalente è direzionale.

Legame metallico

Nella tavola periodica degli elementi, i metalli rappresentano circa i 3/4 degli elementi.

I metalli sono caratterizzati da elettroni di valenza poco numerosi, legati debolmente al loro nucleo, liberi di muoversi tra tutti gli atomi vicini.

**una forte attrazione
elettrostatica
tra i nuclei
e la nuvola elettronica**

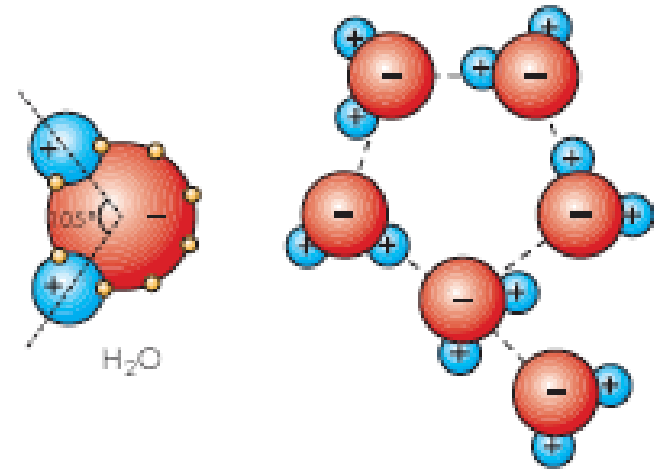


Legami deboli

I legami deboli sono determinati da attrazioni elettrostatiche tra molecole che presentano dipoli elettrici.

Legame dipolo-dipolo
legame H

Attrazioni di Van der Waals
Dipoli molto deboli



Molecole e macromolecole

molecola

un aggregato di pochi atomi

sostanza molecolare

un aggregato di molecole, legata alle altre tramite pochi legami deboli, non sufficienti a determinare una significativa resistenza alle sollecitazioni e che, pertanto, molto raramente può essere considerata un materiale

esempio l'acqua o un piatto di riso





Molecole e macromolecole

macromolecola

aggregato di un elevato numero di atomi tenuti insieme da legami covalenti, che formano lunghe catene

sostanza macromolecolare

aggregato di macromolecole legate da molti legami deboli ma sufficienti a determinare resistenza alle sollecitazioni

esempio materiali polimerici



Tipi di strutture

Gli atomi o le molecole che costituiscono un materiale possono disporsi nello spazio in modo più o meno ordinato

struttura cristallina

struttura amorfa

struttura semicristallina

Struttura cristallina

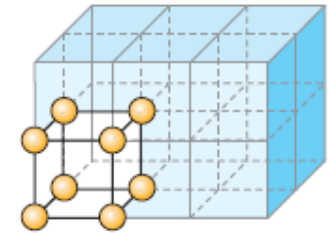
Gli atomi o i gruppi di atomi sono disposti nello spazio in modo ordinato e ripetitivo

materiali metallici

legame metallico

materiali ceramici

legami ionici o covalenti



legami forti e elevata resistenza alle sollecitazioni

Struttura cristallina

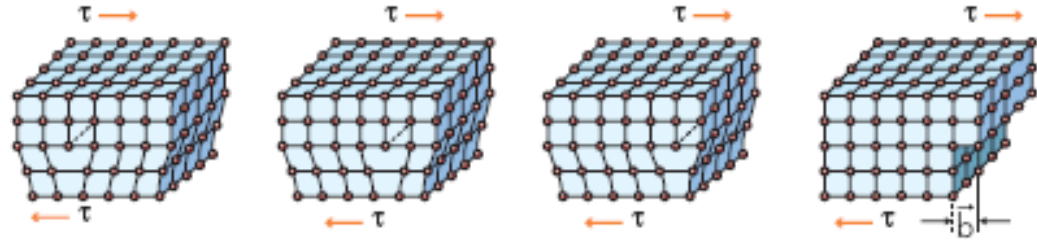
materiali metallici e deformabilità

traslazione di una o più posizioni reticolari di una parte del reticolo cristallino rispetto all'altra

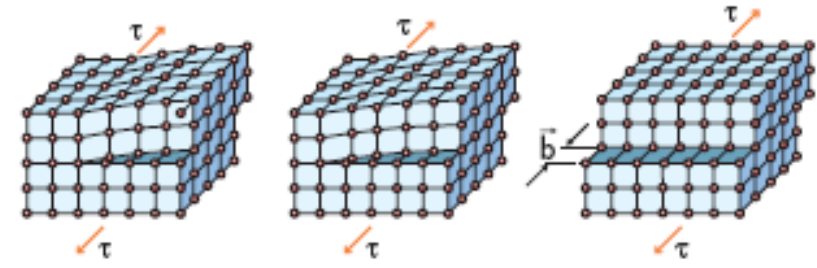
grazie alla presenza di particolari difetti reticolari detti **dislocazioni**

scorrimento progressivo che consente la rottura e la riformazione di pochi legami per volta

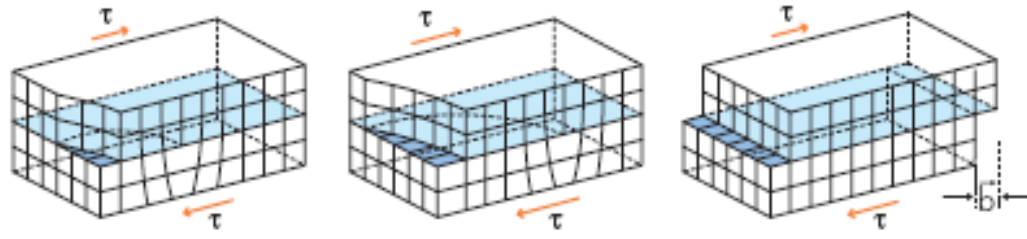
Struttura cristallina



Scorrimento a spigolo



Scorrimento a vite



Scorrimento misto

Struttura cristallina

materiali metallici e deformabilità

ottenimento, partendo da forme complesse, di semilavorati quali
lamiere, barre, fili, prodotti stampati o imbutiti ecc.

Struttura cristallina

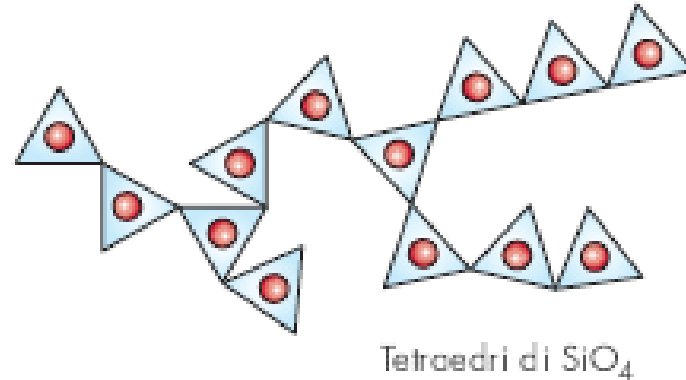
materiali ceramici e deformabilità

una volta che la forma di un pezzo ceramico è stata stabilizzata mediante trattamento termico (vetrificazione o sinterizzazione)

la sua forma non può più essere modificata

Struttura amorfa

i gruppi di atomi o molecole si dispongono nello spazio in modo disordinato, anche se al loro interno sono uniti da legami forti



Struttura amorfa

in questo caso i legami tra i vari gruppi di atomi o le varie macromolecole sono deboli le caratteristiche meccaniche sono inferiori anche se gli atomi sono uniti da legami forti

vetri

molti polimeri

Struttura amorfa

Nei polimeri coesistono la disposizione cristallina e la disposizione amorfa

esistono materiali polimerici completamente amorfi ma nessuno completamente cristallino (max 90%)

Materiali metallici

I metalli sono materiali costituiti da atomi di uno o più elementi metallici (Fe, Cu, Al ecc.) più eventualmente elementi non metallici (C, N)

Materiali metallici

Struttura:

i metalli sono costituiti da atomi che si legano ordinatamente nello spazio a formare reticoli cristallini tridimensionali caratterizzati dalla presenza di solo legami forti adirezionali (legame metallico)

gli elettroni di valenza sono liberi di muoversi tra i vari atomi del reticolo cristallino

Materiali metallici

Comportamento a deformazione:

la presenza di difetti nel reticolo cristallino (dislocazioni) consente lo scorrimento relativo di una parte della struttura cristallina rispetto all'altra favorendo la deformazione plastica.

Materiali metallici

Proprietà:

elevate proprietà meccaniche (legami metallici sono legami forti)

ampia possibilità di deformazione plastica

facilità nel formare leghe (sostituzione di atomi del reticolo cristallino con atomi diversi)

conducibilità elettrica e termica elevata, dovute alla mobilità degli elettroni di valenza;

lucentezza

Materiali metallici



**Sedia Fpe
Kartell
Ron Arad**

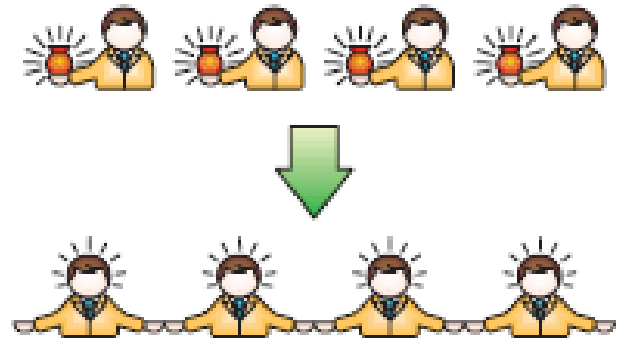
Materiali polimerici

Materiali organici composti da moltissime unità (monomeri) a base di atomi di carbonio, che si legano tra loro in modo ripetitivo, tramite legami covalenti, formando lunghe catene molecolari

lineari

ramificate

reticolate



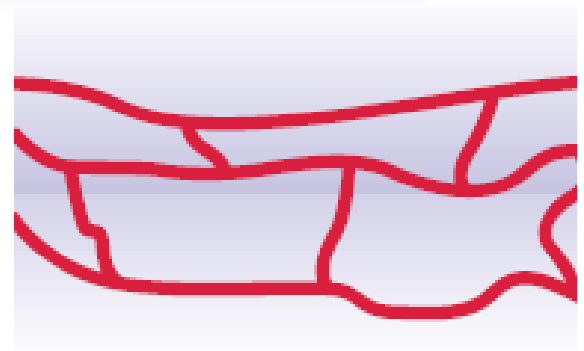
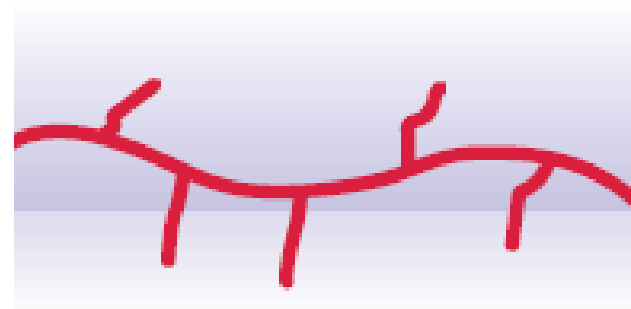
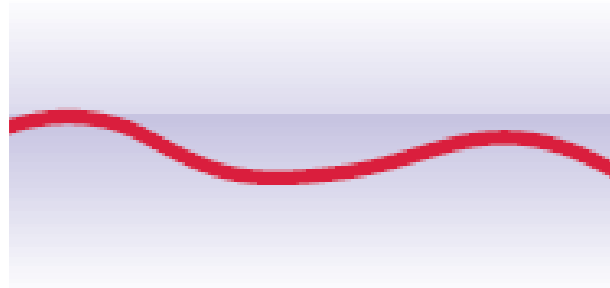
Materiali polimerici

catene molecolari

lineari,

ramificate

reticolate



Materiali polimerici

Struttura:

lunghe catene di atomi (macromolecole) a base di C più altri elementi, H e O

struttura della macromolecola legami covalenti

le macromolecole sono legate l'una all'altra da soli legami deboli (Van der Waals)

gli elettroni di valenza sono vincolati fra due nuclei per formare i legami covalenti

Materiali polimerici

Comportamento a deformazione:

sotto l'azione di forze esterne è facile il riallineamento delle catene e anche il loro scorrimento relativo, in quanto devono essere rotti solo legami deboli tra le varie macromolecole

Materiali polimerici

Proprietà:

- modeste caratteristiche meccaniche (legami deboli)
- stampabilità, facilmente formabili in forme complesse dopo riscaldamento a temperature relativamente basse
- rammolliscono e si decompongono a temperature non elevate, impieghi limitati
- isolamento termico ed elettrico, in quanto gli elettroni di valenza sono vincolati per formare i legami covalenti

Materiali polimerici



Poltroncina Toy
P.Starck- Driade Atlantide

Materiali ceramici

materiali inorganici costituiti da elementi metallici e non metallici legati chimicamente tra loro in rapporti costanti

Fanno parte di questa famiglia i **ceramici tradizionali** (argille, porcellane), i **ceramici avanzati** (composti puri quali allumina, zirconia, nitruro di silicio ecc.), i vetri e i cementi

Materiali ceramici

Struttura:

sequenza ordinata nello spazio di elementi metallici ed elementi non metallici in rapporto costante (ossidi, carburi, nitruri ecc.) che si legano tra loro per formare reticoli cristallini costituiti da soli legami forti, ionici o covalenti

gli elettroni di valenza sono utilizzati per formare i legami che tengono insieme gli atomi

Materiali ceramici

Comportamento a deformazione:

non è praticamente possibile plasticamente un ceramico, oltre una certa soglia di sollecitazione meccanica si arriva a rottura.

Materiali ceramici

Proprietà:

elevata resistenza meccanica a compressione (sempre perché costituiti da soli legami forti), bassa resistenza a trazione

elevato isolamento termico ed elettrico, essendo gli elettroni vincolati

elevata inerzia chimica e resistenza alle alte temperature

Proprietà dei materiali

Proprietà	Metalli	Polimeri	Ceramici
Resistenza meccanica	Alta	Bassa	Media
Tenacità	Alta	Media	Bassa
Conducibilità termica	Media	Bassa	Bassa/media
Conducibilità elettrica	Alta	Bassa	Bassa
Resistenza ambientale	Bassa/media	Media	Alta

Domande e risposte

Perché la fune che regge una seggiovia è in acciaio e non in polimero?

Domande e risposte

La fune non deve rompersi anche se soggetta alle forze elevate necessarie per far muovere la seggiovia.

È necessario un materiale con alta resistenza meccanica (metallo, legami forti)

I polimeri hanno resistenza meccanica inferiore (legami deboli)

La struttura dei polimeri (molte macromolecole aggrovigliate) determinerebbe anche un eccessivo abbassamento dei seggiolini quando caricati

Domande e risposte

Perché, se passiamo con una automobile su una lastra di vetro perfettamente appoggiata su un piano, questa non si rompe ma, se solo ne appoggiamo un lato su un basso scalino, questa si rompe anche al passaggio di un bambino in triciclo?

Domande e risposte

I materiali ceramici hanno alta resistenza a compressione, essendo costituiti da soli legami forti, ma bassa resistenza a trazione e conseguentemente a flessione.

Ciò in quanto l'energia applicata nel punto di massima sollecitazione non viene assorbita tramite deformazione plastica, ma porta facilmente a propagazione di cricca, determinando rottura del materiale.

Domande e risposte

Perché le pentole sono quasi sempre realizzate in acciaio inossidabile o in alluminio, mentre gli scolapasta sono quasi sempre in polimero?

Domande e risposte

La massima temperatura di esercizio di un polimero è bassa, non sufficiente per resistere al calore della fiamma (svariate centinaia di gradi) l'acqua bollente (e la pasta) hanno viceversa una temperatura al massimo di 100 °C, sopportabile dai materiali polimerici utilizzabili per lo scolapasta (oltre a presentare un costo inferiore).

Domande e risposte

Perché i poggia pentola da tavola sono in genere realizzati in ceramica?

Domande e risposte

I materiali ceramici sono isolanti termici in quanto gli elettroni sono vincolati per garantire il legame tra i vari atomi.

Domande e risposte

Perché un filo di rame conduce la corrente elettrica e un filo di Nylon no?

Domande e risposte

La conducibilità elettrica di un materiale è legata alla possibilità di movimento degli elettroni.

Nei metalli gli elettroni di valenza sono liberi di muoversi e pertanto conducono bene la corrente elettrica.

Nei polimeri gli elettroni di valenza sono utilizzati per formare i legami covalenti che tengono uniti gli atomi (di carbonio) della catena principale; a meno di casi molto particolari tutti i polimeri sono isolanti elettrici.

Domande e risposte

Perché i metalli sono lucenti e non trasparenti?

Domande e risposte

La lucentezza è legata alla mobilità degli elettroni e pertanto tutti i metalli sono lucenti. Inoltre un materiale con struttura amorfa è trasparente, mentre tutti i metalli sono cristallini e pertanto non trasparenti.

Le proprietà dei materiali



Caso studio: la padella

Per scegliere il materiale idoneo per realizzarla valutiamo le proprietà utili:

- deve resistere alla temperatura della fiamma **MASSIMA TEMPERATURA DI ESERCIZIO**
- deve trasferire in modo rapido e omogeneo il calore dal fornello al contenuto della padella **CONDUCIBILITÀ TERMICA**
- deve avere adeguata resistenza alla corrosione sia atmosferica sia collegata ai cicli di lavaggio **DURABILITÀ**

Caso studio: la padella

- non deve flettersi **RIGIDITÀ**
- non si deve ammaccare o rompere se accidentalmente urtata
RESISTENZA E TENACITÀ
- deve poter essere facilmente formata nella forma concava finale
DUTTILITÀ

Caso studio: la padella

- deve pesare poco **DENSITÀ**
- deve avere un prezzo di vendita accettabile **COSTO**
- potrebbe essere utile vedere quanto avviene all ' interno

TRASPARENZA

- se utilizzata su piastra riscaldante ad induzione conducibilità elettrica e

FERROMAGNETISMO

Possibili materiali per una padella

- **polimero**
- **ceramico tradizionale**
- **vetro al borosilicato (Pyrex)**
- **metallo**

Polimero?

NO per:

- **massima temperatura di esercizio**
- **conducibilità termica**
- **rigidità**
- **resistenza**
- **tenacità**

Ceramico?

NO per:

- **conducibilità termica**
- **tenacità**
- **duttilità**

Vetro pyrex?

SI per:

- ✓ **trasparenza**

NO per:

- **conducibilità termica**
- **tenacità appena accettabile**

Piastra a induzione?

NO polimero, ceramico, vetro per

- **conducibilità elettrica**

Metallo?

alluminio (Al)

acciaio inossidabile (Inox)

rame (Cu)

ghisa (bistecchiere)



Vantaggi e svantaggi dei metallo?

- **densità (peso):** $Al < Inox < Cu$
- **costo:** $Al < Cu < Inox$
- **conducibilità termica (cottura omogenea e senza surriscaldamenti):**
Ghisa = Inox < Al < Cu
- **durabilità (lavaggio, igiene):** $Ghisa < Cu < Al < Inox$
- **magnetismo (cottura su piastra a induzione):** doppio fondo Inox
(ferritico)

Problemi del manico?

Conducibilità termica (non deve scottare)

- ✓ SI polimeri, ceramici, legno

Massima temperatura di esercizio (non deve bruciare)

- ✓ SI ceramici, metalli
- NO polimeri, legno

Problemi del manico?

Conducibilità termica

manici lunghi e sottili diminuire la trasmissione del calore (minore è la sezione minore è la quantità di calore trasmessa)

Rigidità

manici non eccessivamente lunghi e sottili per evitare che il manico si fletta (momento di inerzia)

La importante dozzina?

Proprietà generali

- **costo**
- **densità**

Proprietà meccaniche

- **rigidità**
- **resistenza**
- **tenacità**
- **duttilità**

Proprietà fisiche e chimiche

- **conducibilità termica**
- **conducibilità elettrica**
- **magnetismo**
- **massima temperatura**
- **durabilità**

Proprietà ottiche

- **trasparenza**

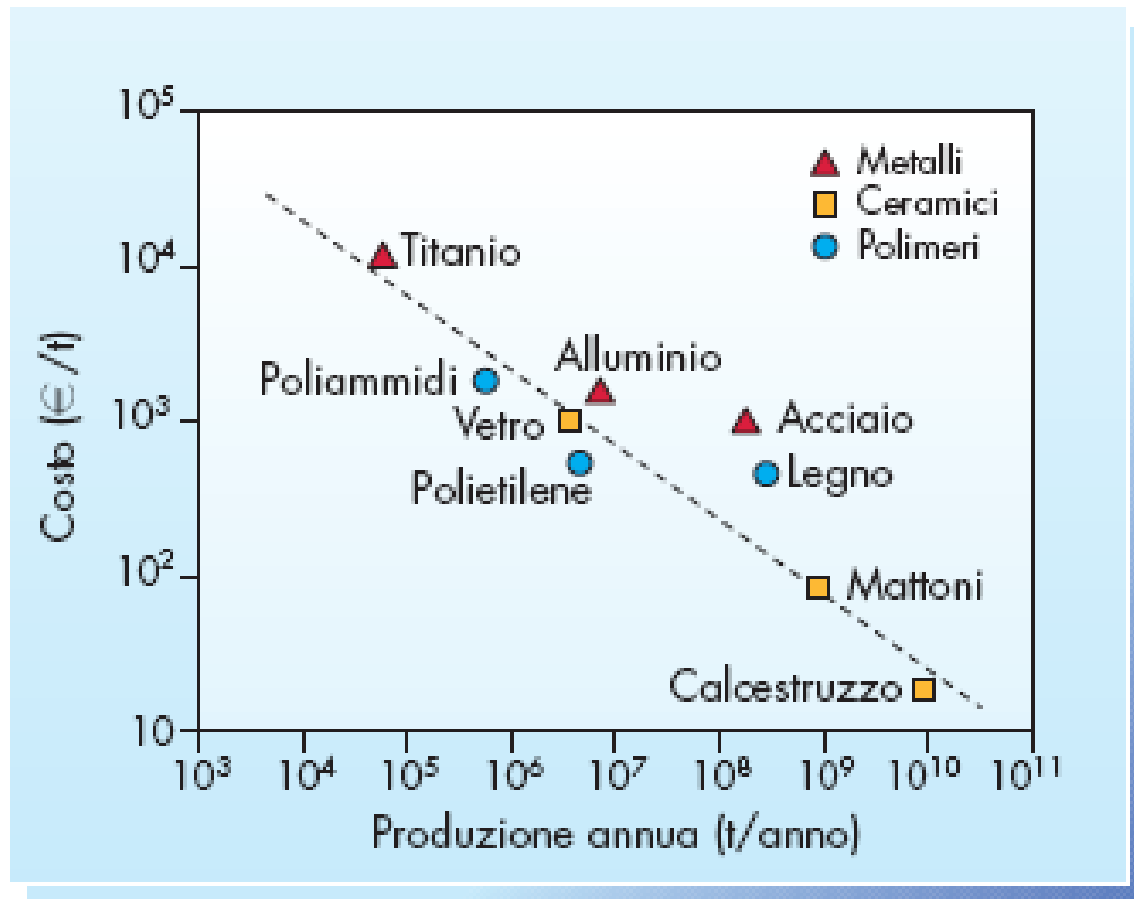
Costo

non può essere definito a rigore una proprietà di un materiale

fattore da tenere nella massima considerazione

varia da meno di 0,10 euro/kg (calcestruzzo), a più di 10.000 euro/kg (oro)

Costo



Densità

Definizione: peso per unità di volume

Unità di misura: Mg/m^3 ma $1 \text{ Mg/m}^3 = 1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/dm}^3$

Corrisponde al peso specifico (peso materiale diviso peso pari volume di acqua)

La densità dei materiali è strettamente legata al peso atomico

Densità

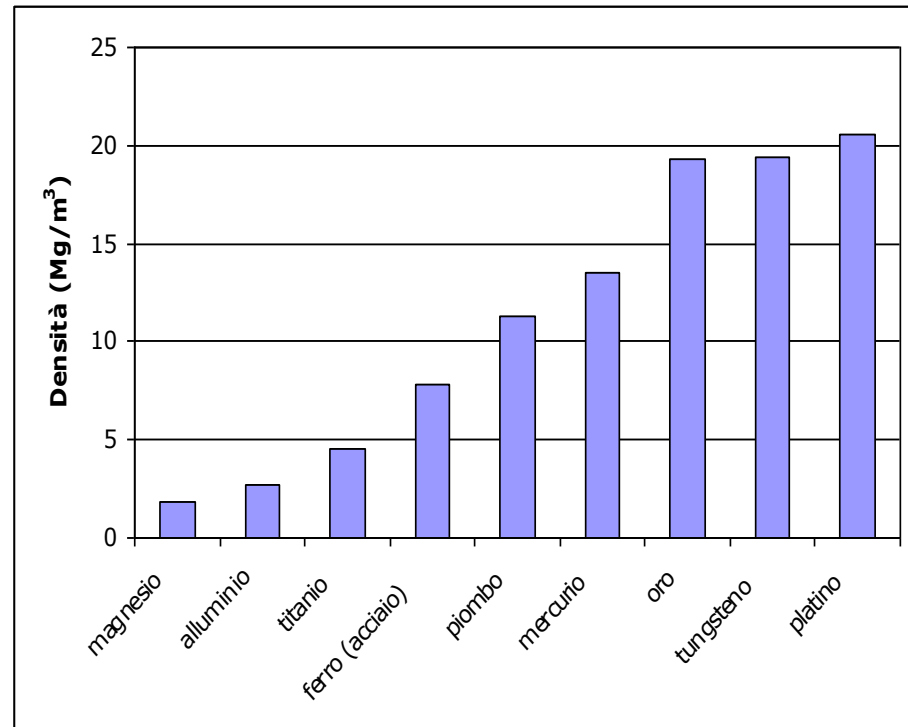
elevata densità (alto numero atomico e ordinati in modo compatto)

quale è il metallo con densità più elevata?

Densità

elevata densità (alto numero atomico e ordinati in modo compatto)

quale è il metallo con densità più elevata?



Densità polimeri

Bassa densità in quanto costituiti principalmente da elementi a basso numero atomico (carbonio, idrogeno, ossigeno) e presentano basso fattore di compattazione atomica

0,9-2,0 g/cm³

Densità ceramici

Molto diversificati

(calcestruzzo, vetro, terracotta, porcellana, allumina, diamante)

Tabella 3.2 Valori di densità di dodici materiali rappresentativi delle diverse famiglie di materiali.

Materiali	Densità (kg/dm ³ o g/cm ³)
Acciaio	7,9
Acciaio inossidabile	7,9
Alluminio	2,7
Rame	8,9
Polietilene	0,9
Policarbonato	1,2
Calcestruzzo	2,5
Vetro	2,3
Composito fibre di vetro	1,8
Composito fibre carbonio	1,6
Legno massello	0,7
Gomma naturale	0,9

Prezzo vs Densità

Prezzo per unità di peso vs prezzo per unità di volume

prezzo per unità di volume:

prezzo per unità di peso (euro/kg) x densità (kg/dm³)

unità di misura ottenuta è euro/dm³



Prezzo vs Densità

Tabella 3.3 Costi per unità di massa e per unità di volume di dodici materiali rappresentativi.

Materiale	Costo per unità di massa (€/kg)	Costo per unità di volume (€/dm ³)
Acciaio	0,50	4
Acciaio inossidabile	5,70	45
Alluminio	1,50	4
Rame	2,50	22
Polietilene	1,10	1
Policarbonato	4,20	5
Calcestruzzo	0,05	0,12
Vetro	1	2,30
Composito fibre di vetro	12	22
Composito fibre carbonio	60	96
Legno massello	0,90	0,60
Gomma naturale	0,90	0,80

Curva sforzo deformazione

E' l'andamento di un diagramma sforzo (ascisse) - deformazione (ordinate) ottenuta eseguendo una prova di trazione

Una barra sottoposta a forze modifica le sue dimensioni

Se trazione si allunga e l'allungamento è tanto più elevato quanto maggiore è la forza applicata

Durante tale operazione si prelevano per punti i valori di sforzo e di deformazione che vengono diagrammati

Curva sforzo deformazione

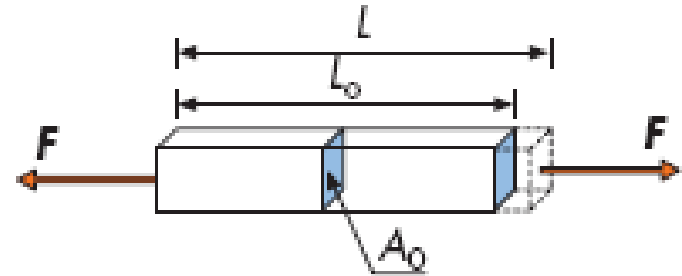
Indicando con:

F la forza applicata

L_0 la lunghezza iniziale

A_0 la sezione iniziale

L la lunghezza finale



Curva sforzo deformazione

Indicando con:

F la forza applicata

L_0 la lunghezza iniziale

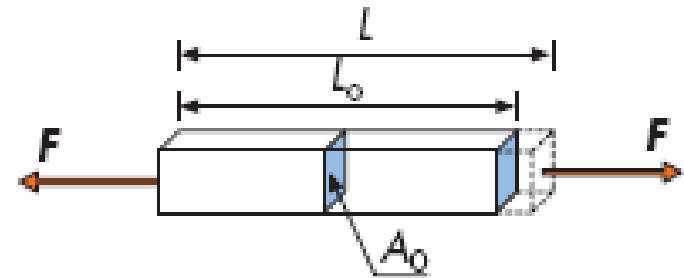
A_0 la sezione iniziale

L la lunghezza finale

Si definiscono:

sforzo (σ)

deformazione (ϵ)



$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \epsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Curva sforzo deformazione

la forza viene espressa in N (Newton)

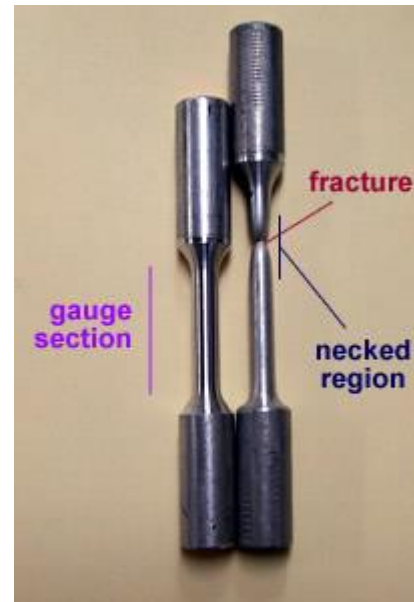
le dimensioni in mm (millimetri)

lo sforzo σ è espresso in N/mm^2 o MPa (MegaPascal)

la deformazione ε è adimensionale (anche $\varepsilon\%$ moltiplicando per 100)

Proprietà meccaniche

Prova di trazione

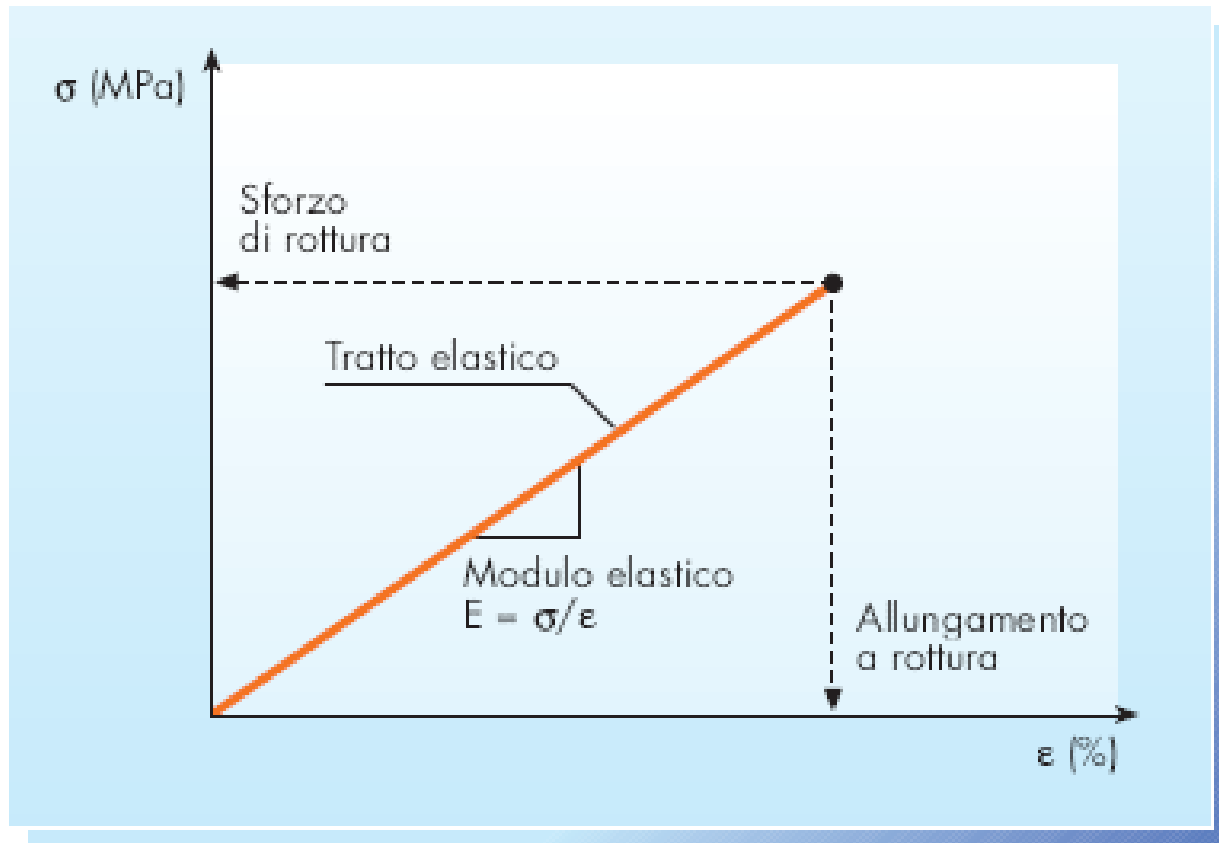


$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$$



Curva sforzo deformazione



Curva sforzo deformazione

In funzione del materiale si hanno due diversi tipi di andamenti:

comportamento elastico

comportamento elasto-plastico

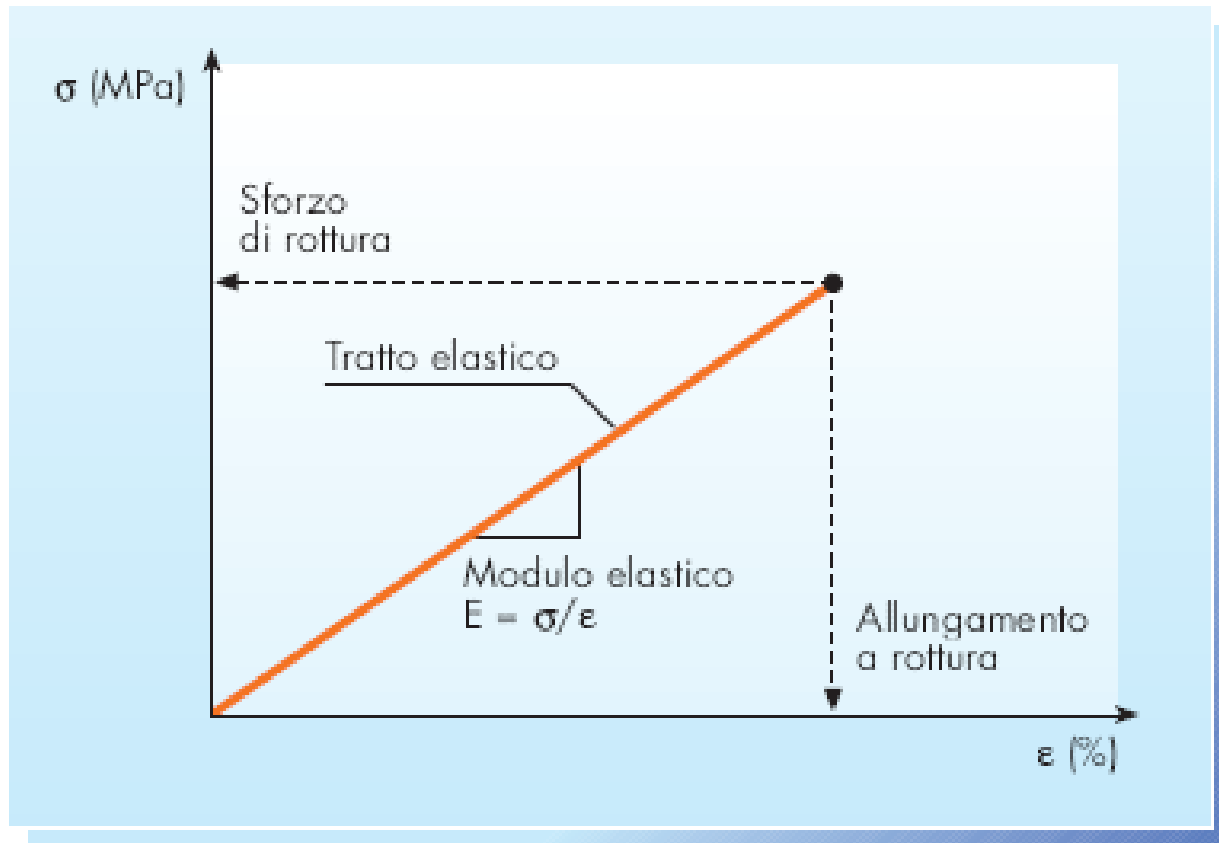
Curva sforzo deformazione

lo sforzo è proporzionale alla deformazione

dopo rottura o nel caso si annulli lo sforzo applicato prima di giungere a rottura, il materiale torna praticamente alle dimensioni iniziali

il materiale segue la legge di Hooke ($\sigma = E\varepsilon$)

Curva sforzo deformazione



Legge di Hooke

esiste proporzionalità tra sforzo applicato e deformazione

secondo una grandezza, E , detta modulo di elasticità o modulo di Young

ogni materiale ha un preciso valore di E

maggiore è il valore del modulo di elasticità, maggiore è la pendenza della curva sforzo-deformazione

Materiali a comportamento elastico

Hanno comportamento elastico i materiali la cui microstruttura non consente loro di deformarsi plasticamente

ceramici e vetri (alto valore di E e deformazioni elastiche molto piccole)

elastomeri (bassissimo E , sono fortemente deformabili ma tornano comunque alla dimensione iniziale quando scaricati)

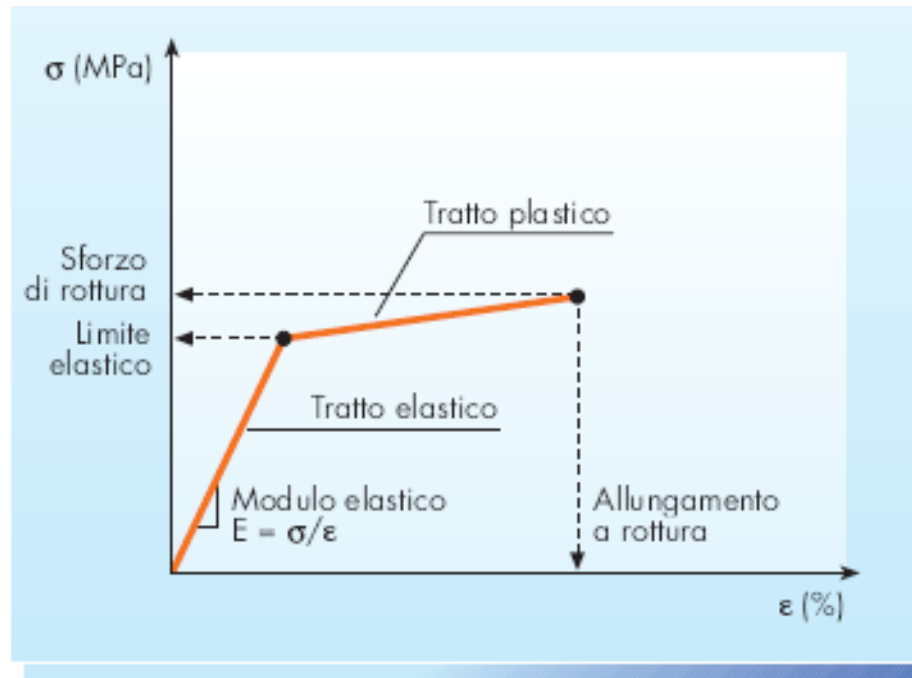


Materiali a comp. elastico-plastico

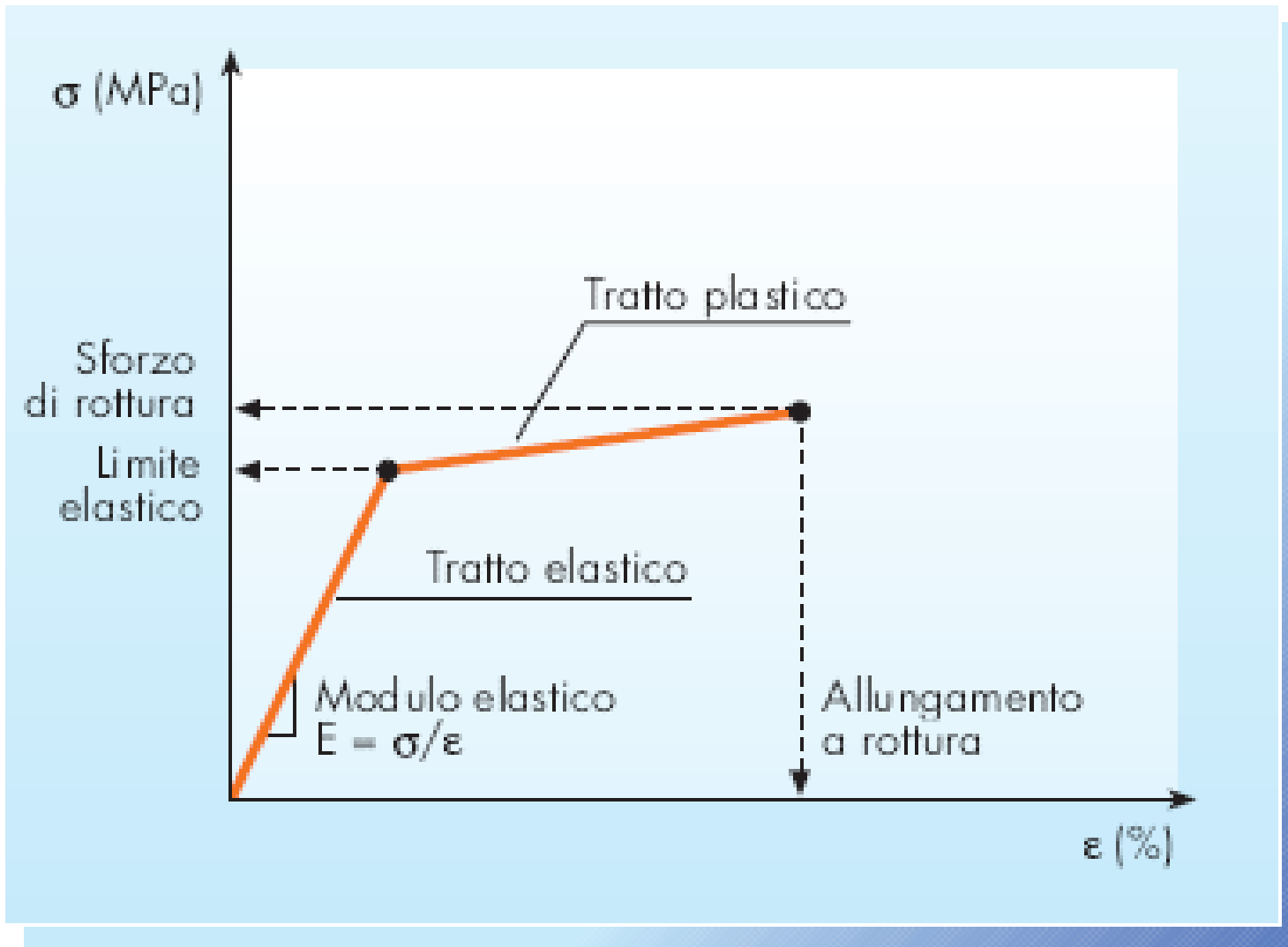
La curva sforzo-deformazione è suddivisa in due tratti

nel primo comportamento **elastico**

nel secondo comportamento **plastico**



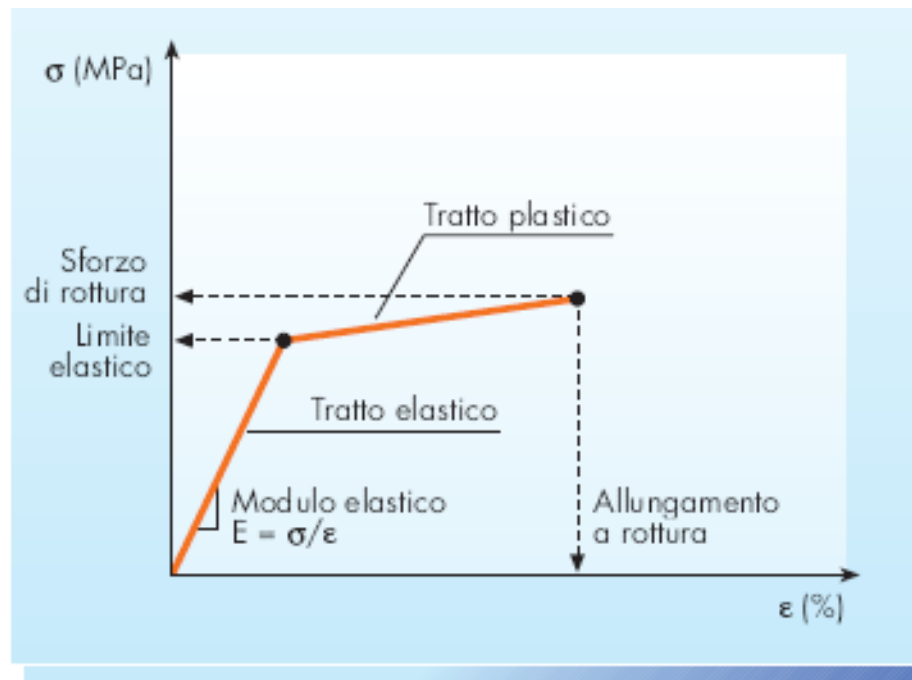
Materiali a comp. elastico-plastico



Materiali a comp. elastico-plastico

tratto elastico

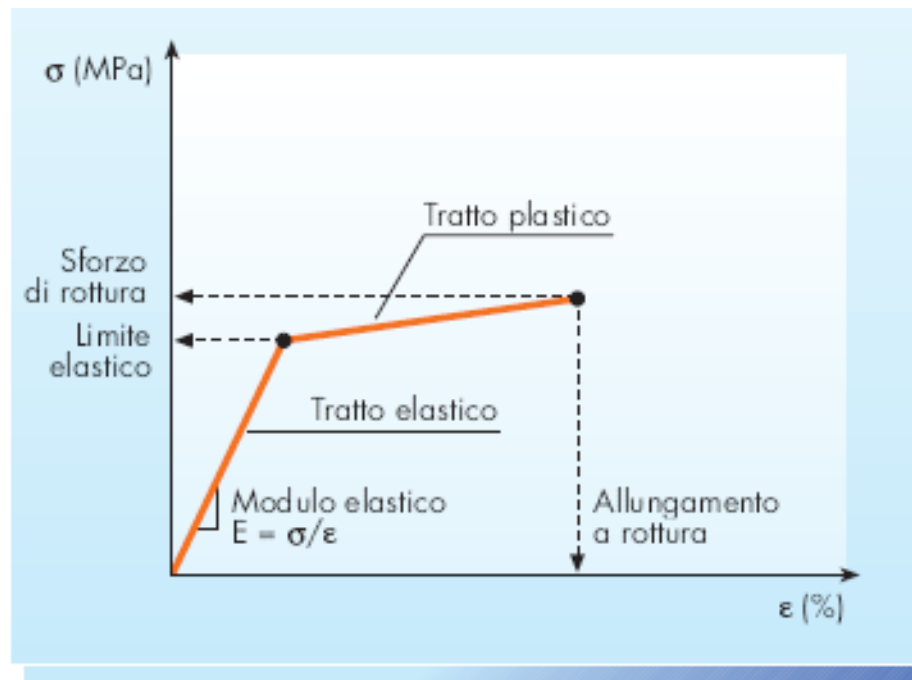
sostanziale proporzionalità tra sforzo e deformazione e, annullando lo sforzo, il provino ritorna alle dimensioni iniziali)



Materiali a comp. elastico-plastico

tratto plastico

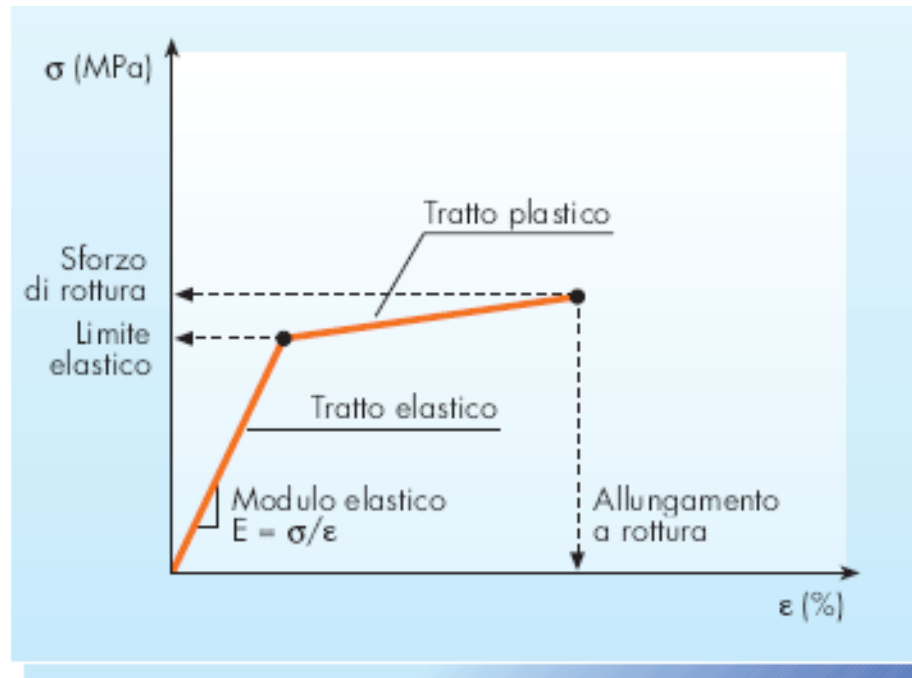
Oltre a uno sforzo critico, detto sforzo di snervamento (o limite elastico), si entra nel tratto a comportamento plastico (la legge di Hooke non viene più rispettata)



Materiali a comp. elastico-plastico

tratto plastico

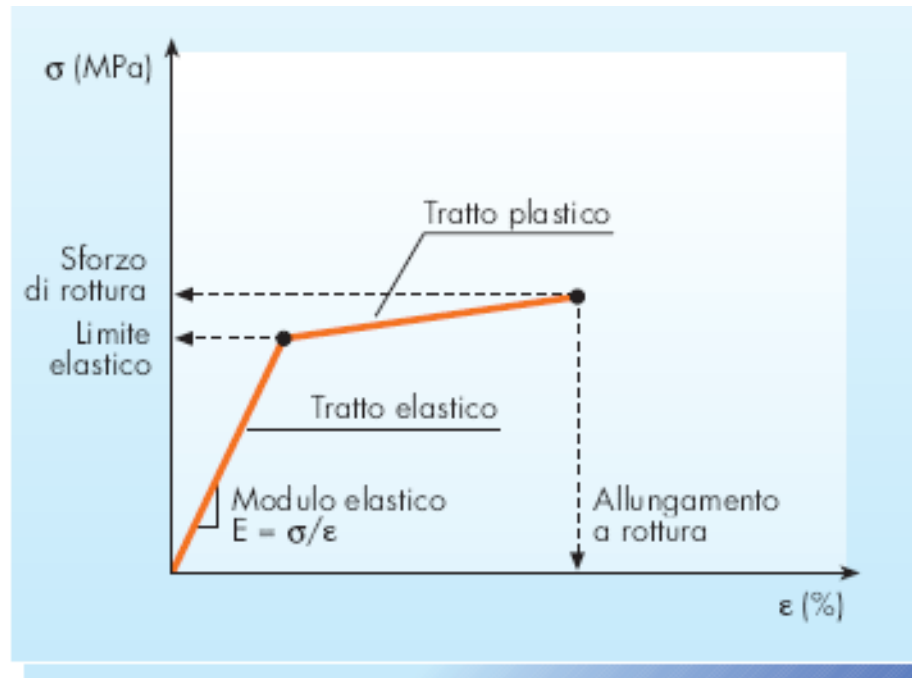
Giungendo a rottura o annullando lo sforzo, nel provino rimane una
deformazione residua



Materiali a comp. elastico-plastico

tratto plastico

Nel materiale si verifica uno spostamento non reversibile degli atomi della struttura, causando deformazione (plastica) permanente.



Materiali a comp. elastico-plastico

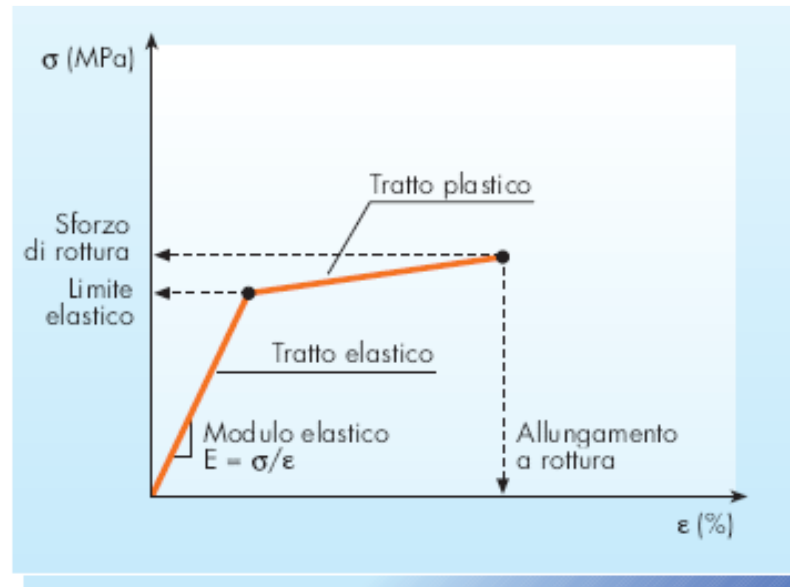
tratto plastico

La possibilità o meno di deformarsi in modo plastico è strettamente legata alla struttura atomica o molecolare del materiale

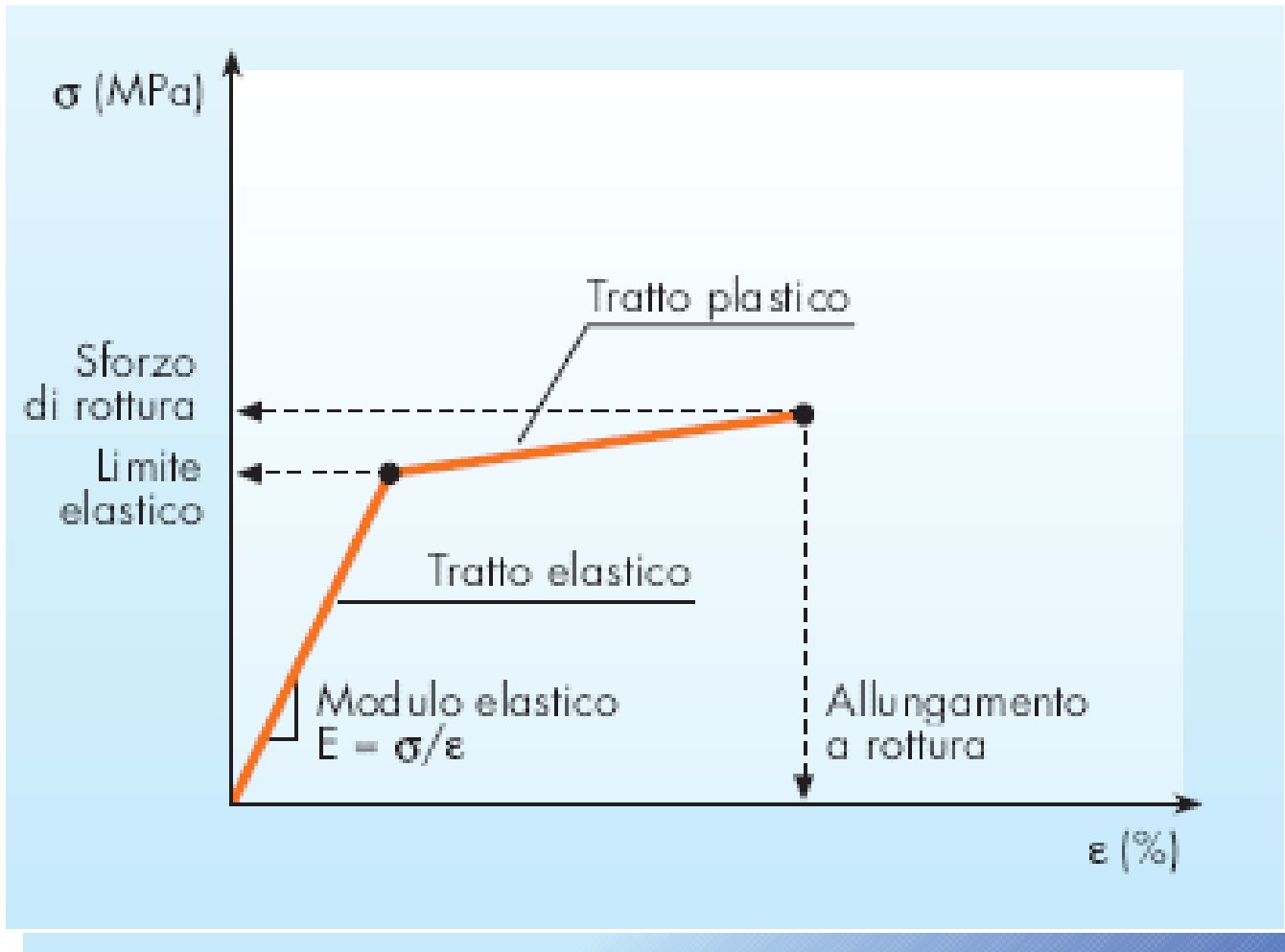
Mostrano comportamento elasto-plastico quasi tutti i metalli (tranne ghise e bronzi), molti polimeri, praticamente nessun ceramico

Grandezze ottenibili dalle curve σ - ϵ

- modulo di elasticità (E) [GPa]
- sforzo di snervamento o limite elastico (σ_y) [Mpa]
- sforzo di rottura (σ_R o R) in [Mpa]
- allungamento a rottura (A%) [$\epsilon\%$]



Grandezze ottenibili dalle curve σ - ϵ



Proprietà meccaniche

- **rigidità**
- **resistenza**
- **duttilità**
- **tenacità**

Rigidità

capacità di subire deformazione in campo elastico

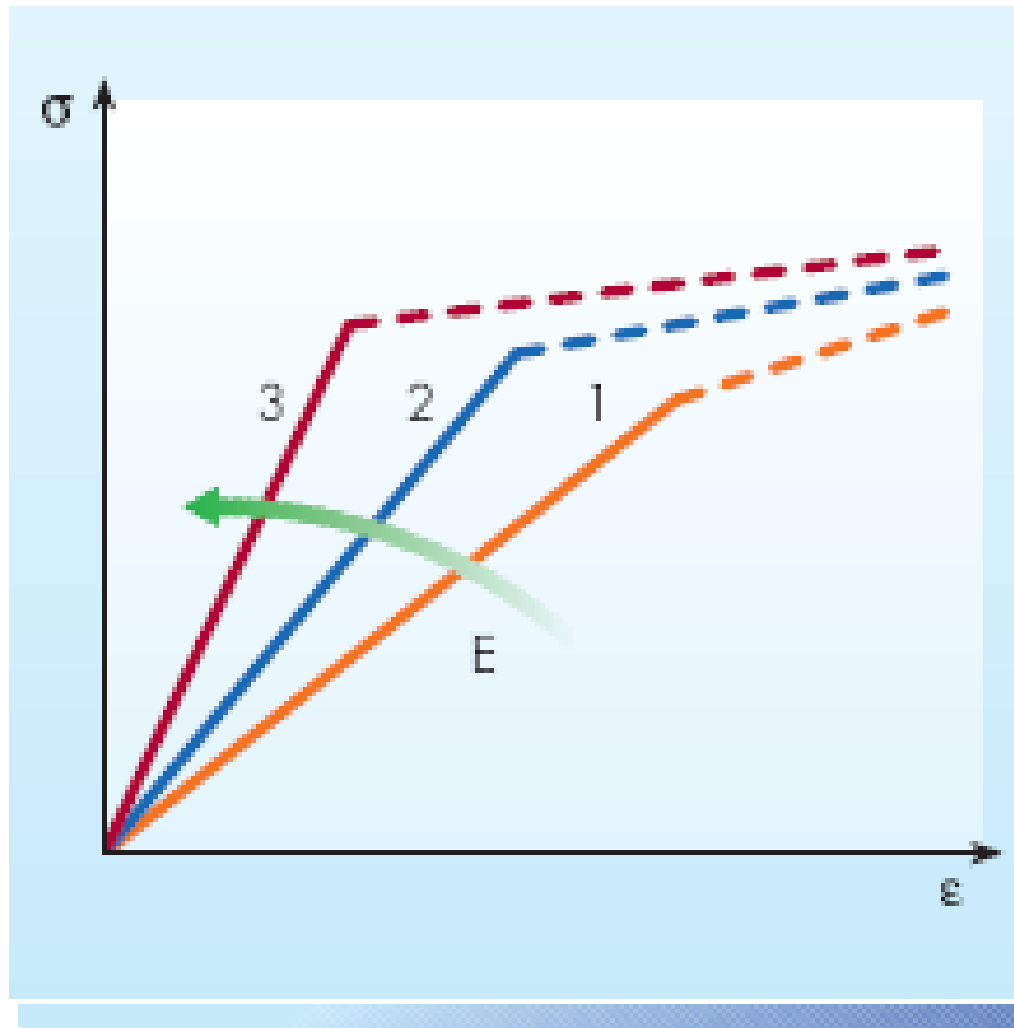
rigidità \neq rigidezza

modulo di elasticità (o modulo di Young) **E**

Unità di misura: **GPa** (1000 MPa)

il contrario di rigido è flessibile (o cedevole)

Rigidità



Rigidità materiali

Valori di E metalli sono molto più elevati di quelli dei polimeri (anche 100 volte)

Il legno ha valore intermedio

Il modulo di elasticità della gomma naturale è molto basso

Di particolare interesse è il valore del modulo di elasticità dei compositi a base di fibra di carbonio

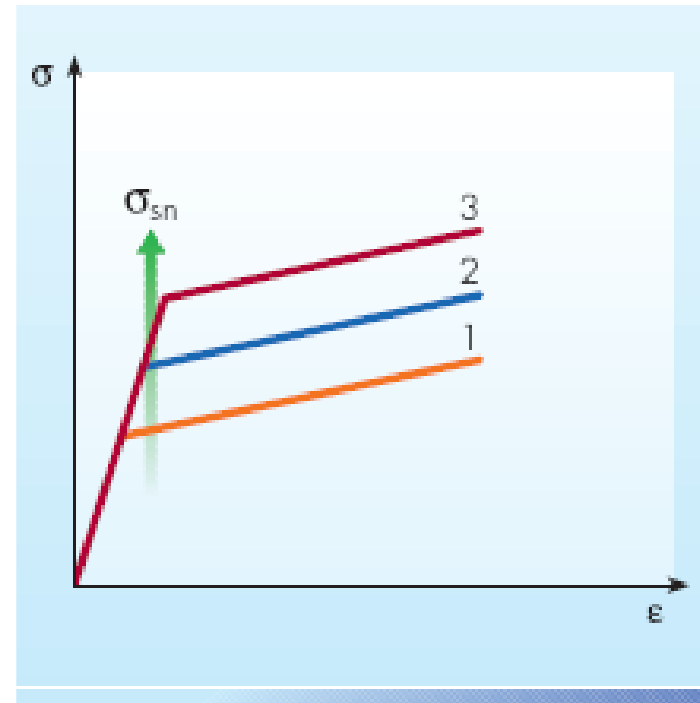
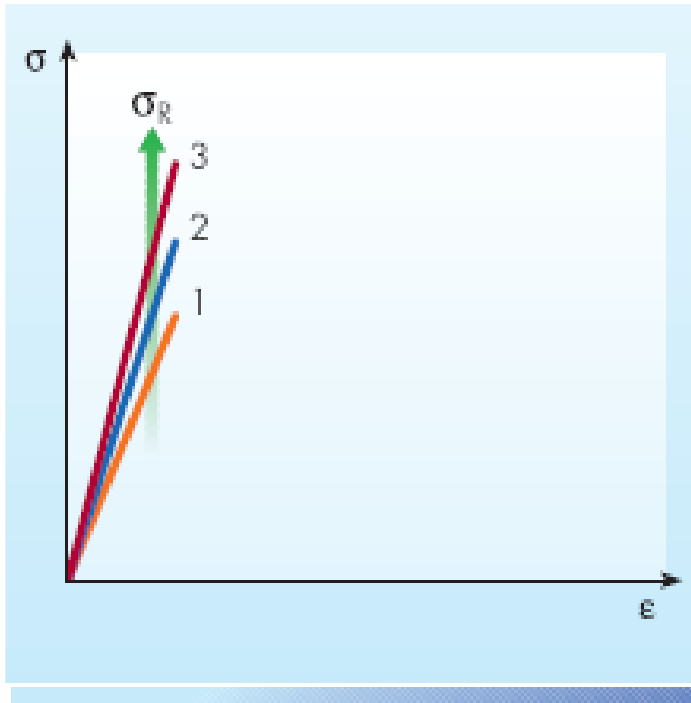
Resistenza

**capacità di sopportare forze applicate senza rompersi e senza deformarsi
in modo permanente**

se elasto-plastico sforzo di snervamento o limite elastico $\sigma_{sn} = \sigma_y$

se elastico sforzo di rottura σ_R

Resistenza materiali



Confrontando le proprietà dei vari materiali, si nota che i metalli hanno resistenza un ordine di grandezza superiore a quella dei polimeri

Duttilità

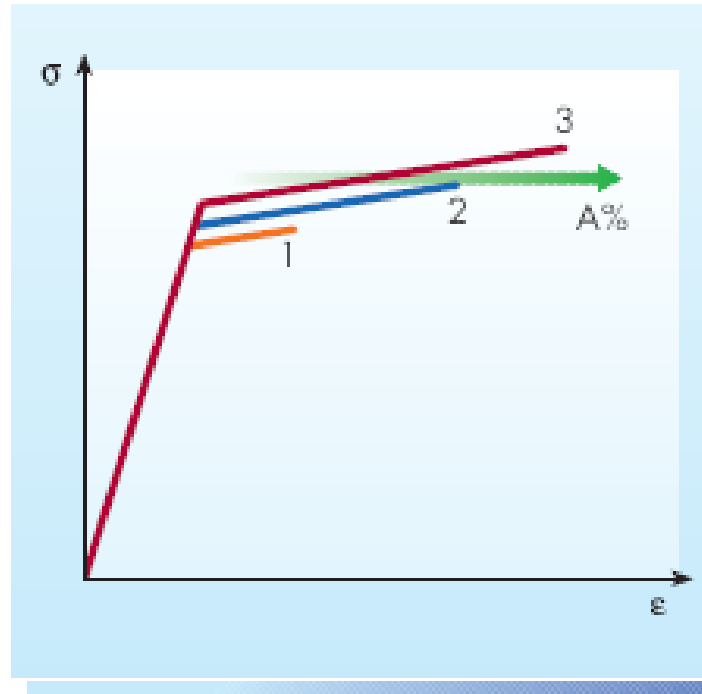
capacità di essere deformato plasticamente, consentendo di assumere le forme più varie

allungamento percentuale a rottura: $A\%$

Unità di misura: adimensionale

Contrario: il contrario di duttile è indeformabile (plasticamente)

Duttilità



Duttilità

Sono duttili solo i materiali a comportamento elasto-plastico, mentre i materiali a comportamento solo elastico (non deformabili plasticamente) hanno duttilità praticamente nulla

Duttilità

Oggetti in ceramica o in metallo con bassissima duttilità (come la ghisa o il bronzo) non possono essere prodotti per stampaggio o comunque deformazione plastica, ma devono essere prodotti con tecniche quali la sinterizzazione (ceramici) o la colata e solidificazione (bronzo, ghisa), che fanno acquisire loro direttamente la forma finale

Duttilità

Anche i vetri, materiali con tenacità quasi nulla a temperatura ambiente, possono essere sagomati solo dopo riscaldamento a temperature elevate

Duttilità

La gomma naturale, che ha comportamento puramente elastico, si allunga molto in campo elastico perché ha un basso modulo di elasticità, ma quando viene scaricato torna comunque alla sua lunghezza iniziale perché la sua duttilità è praticamente nulla

Tenacità

Definizione difficile

Contrario: il contrario di tenace è fragile

Tenacità

Due diversi concetti:

- **capacità di un materiale di assorbire energia di deformazione**
- **maggiore o minore facilità di propagazione di un difetto (o cricca) all'interno di un materiale, fino a portarlo a frattura (tenacità a frattura)**

Tenacità

Capacità di assorbire energia di deformazione

Curva sforzo-deformazione:

- **primo tratto a comportamento elastico**
- **secondo tratto a comportamento plastico**
- **rottura**

Tenacità

Capacità di assorbire energia di deformazione

Nel tratto a comportamento elastico, il materiale assorbe energia di deformazione elastica, che è reversibile e può essere rilasciata

Tenacità

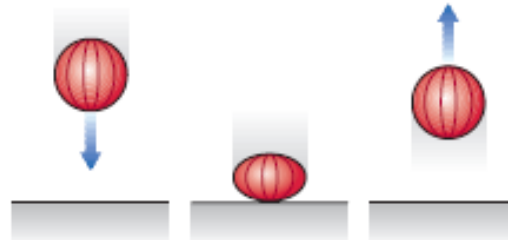
Capacità di assorbire energia di deformazione

Nel tratto a comportamento **plastico** il materiale assorbe energia di deformazione plastica, che non è reversibile e non può essere rilasciata

Durante la **rottura finale** il materiale assorbe energia per formare nuove superfici, anch'essa non reversibile

Tenacità - Comportamento

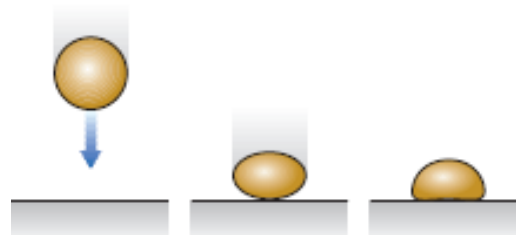
Palla di gomma



La gomma ha ampio tratto elastico, non è presente il tratto plastico

Tenacità - Comportamento

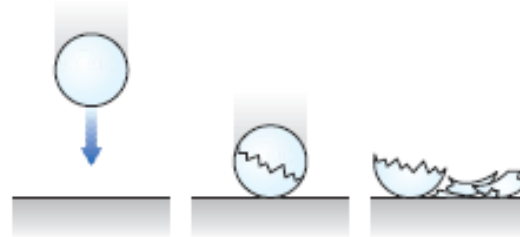
Palla di pongo



Il pongo ha trascurabile tratto elastico e ampio tratto plastico

Tenacità - Comportamento

Palla di vetro



Il vetro è un materiale con limitato tratto elastico e tratto plastico inesistente

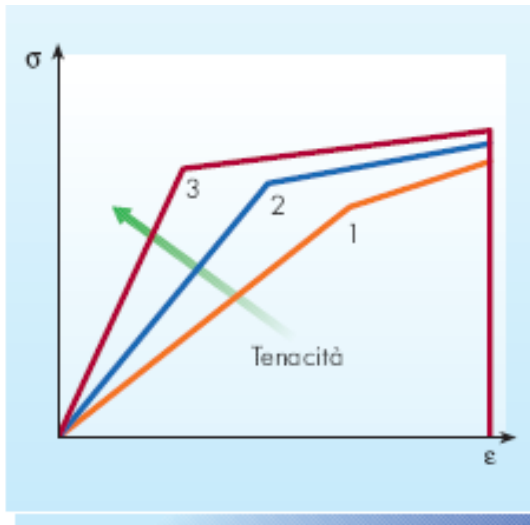
Tenacità - Comportamento

- **Il vetro è fragile**
- **Sia la gomma che il pongo sono tenaci**
- **La tenacità della gomma è dovuta alla presenza di un ampio tratto a comportamento elastico**
- **La tenacità del pongo è dovuta alla presenza di un ampio tratto a comportamento plastico**

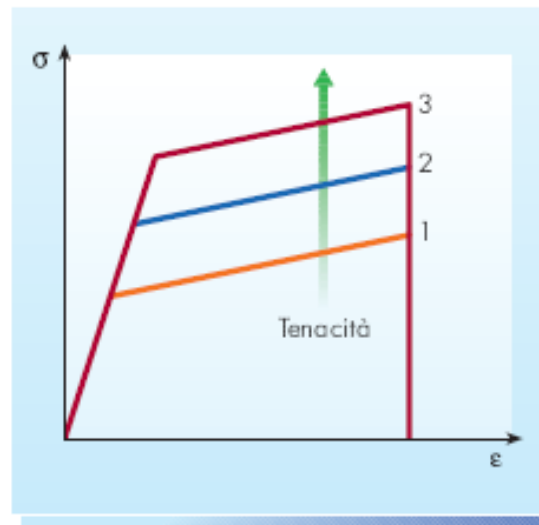
Misura della tenacità

Area sottesa dalla curva sforzo-deformazione

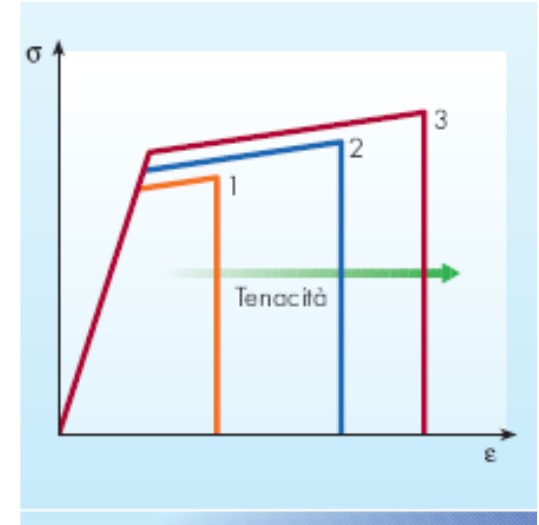
tenacità aumenta con:



rigidità



resistenza



duttilità

Tenacità a frattura

Facilità di propagazione di un difetto

- **valutare la capacità di un materiale di sopportare la presenza di difetti (o cricche) al suo interno, senza rompersi quando sollecitato**

- **misura sperimentale di un parametro della fattore di intensità dello sforzo, con sigla K_{Ic} e unità di misura $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$**

Tenacità a frattura

Facilità di propagazione di un difetto

- Se all'apice di un difetto (o di una cricca) un materiale è in grado di deformarsi plasticamente (plasticizzarsi), l'energia che tende a far propagare il difetto (cricca) viene in buona parte assorbita; il materiale si comporta in modo tenace (elevato K_{Ic})

Tenacità a frattura

Facilità di propagazione di un difetto

- **Se all'apice di un difetto (o di una cricca) un materiale non è in grado di deformarsi plasticamente, l'energia che tende a far propagare il difetto (cricca) non può essere assorbita e il difetto (cricca) propaga formando nuovi superfici; il materiale si comporta in modo fragile (basso K_{Ic})**

Tenacità a frattura

Facilità di propagazione di un difetto

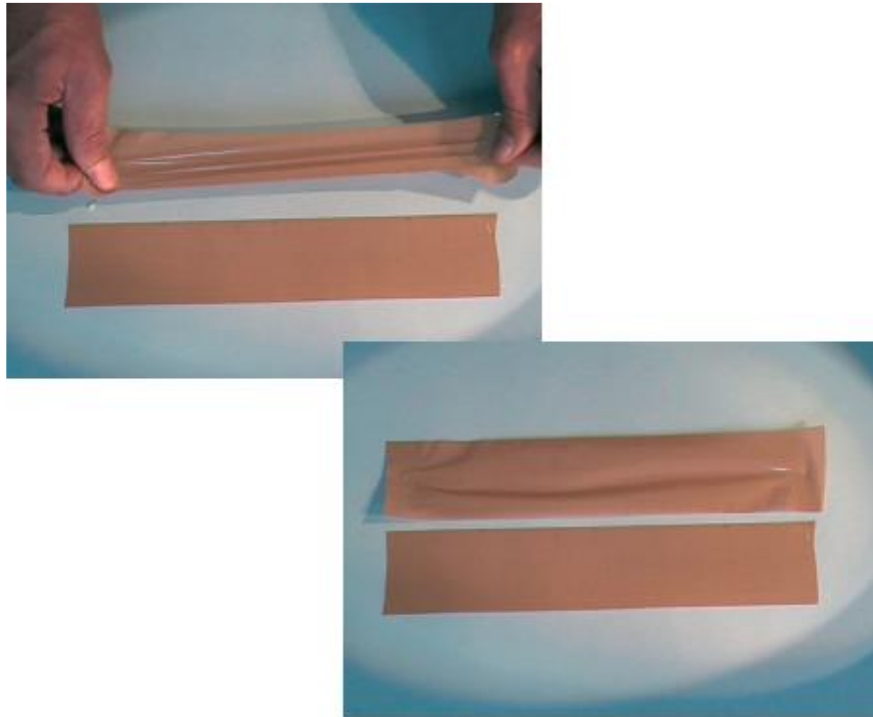
Caso studio: i nastri isolanti e da imballaggio

- nastro pacchi: σ_R elevato, A% basso, K_{Ic} molto basso
- nastro isolante: σ_R basso, A% elevato, K_{Ic} elevato

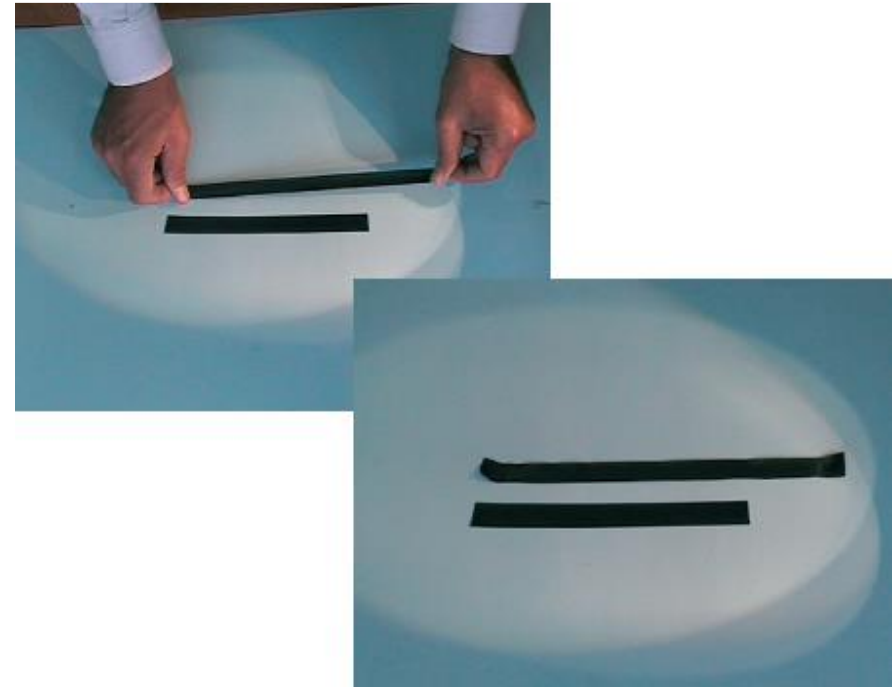
Tenacità a frattura

Facilità di propagazione di un difetto

i nastri isolanti e da imballaggio



A% basso, K_{Ic} molto basso

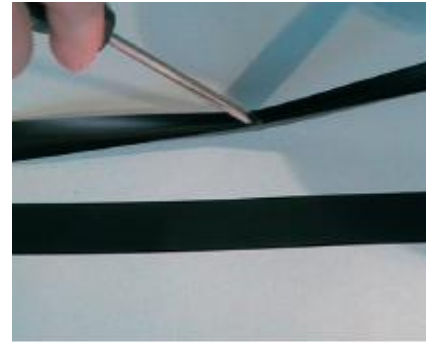
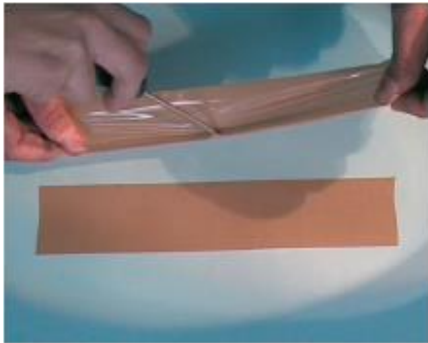


A% elevato, K_{Ic} elevato

Tenacità a frattura

Facilità di propagazione di un difetto

i nastri isolanti e da imballaggio



Tenacità a frattura

Facilità di propagazione di un difetto

- **non esiste una correlazione diretta tra resistenza (σ_R), duttilità (A%) e tenacità (K_{Ic})**
- **alcuni materiali di grande resistenza possono diventare estremamente fragili in presenza di difetti**

Tabella 3.4 Valori di alcune proprietà meccaniche di dodici materiali rappresentativi.

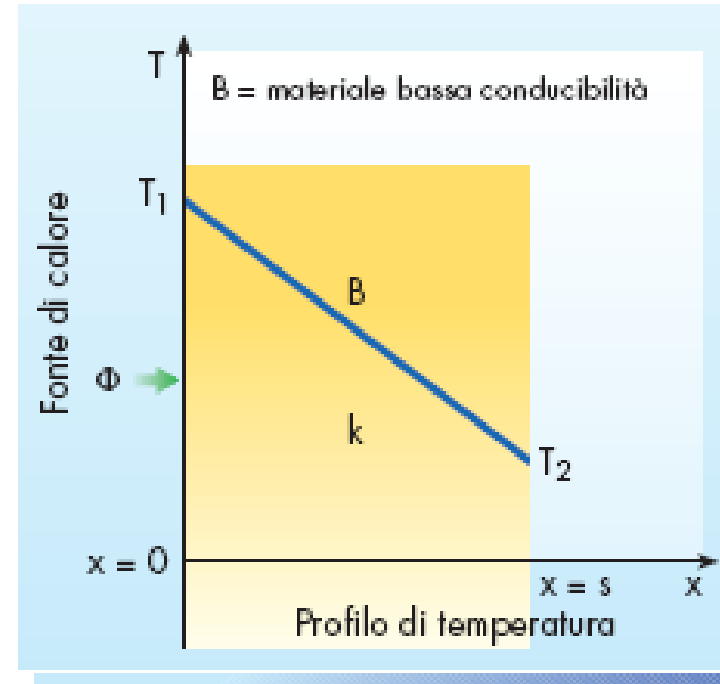
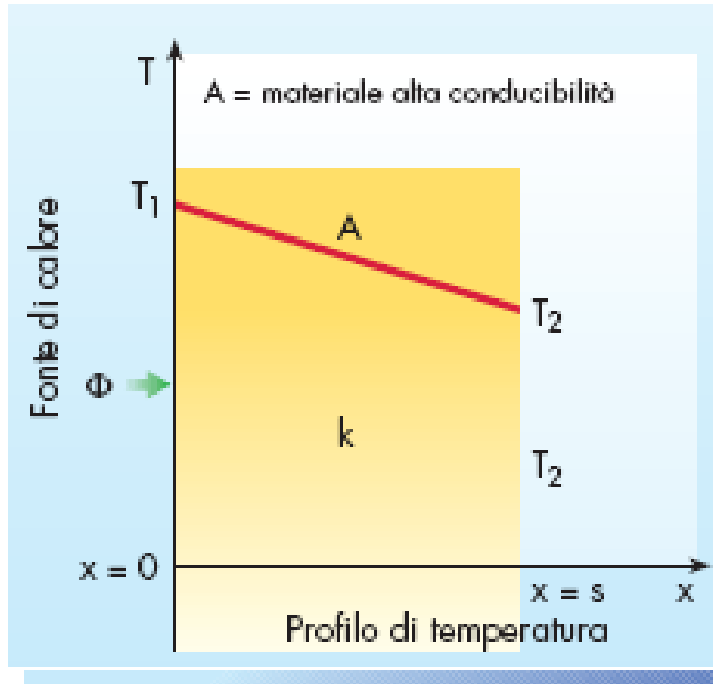
Materiale	Rigidità E (GPa)	Resistenza s_{sn} o s_R (MPa)	Duttilità δ (%)	Tenacità K_{Ic} ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)
Acciaio	200	300	30	60
Acciaio inossidabile	200	550	35	105
Alluminio	74	260	22	28
Rame	125	50	40	60
Polietilene	0,8	30	600	1,6
Policarbonato	2,2	65	110	3,5
Calcestruzzo	20	2*	0	0,4
Vetro	70	30*	0,05	0,6
Composito fibre di vetro	22	150	0,9	15
Composito fibre carbonio	110	800	0,3	10
Legno massello	15	50	2	7
Gomma naturale	0,002	25	700	0,2

* A compressione.

Conducibilità termica

velocità con la quale il calore è trasmesso attraverso un solido in condizioni stazionarie (flusso di calore per unità di superficie J (W/m^2) che fluisce da una superficie a temperatura T_1 a una a temperatura T_2 ($T_1 > T_2$) separate da una distanza X)

Conducibilità termica



Conducibilità termica

- **I materiali si distinguono in quattro livelli qualitativi:**
- **buon conduttore**
- **scarso conduttore**
- **scarso isolante**
- **buon isolante**

Conducibilità elettrica

capacità di un materiale di condurre la corrente elettrica

Grandezza caratteristica: resistività (inverso della conducibilità)

Unità di misura: microOhm per centimetro ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)

Conducibilità elettrica

I materiali si distinguono in quattro livelli qualitativi:

- **buono/ottimo conduttore**
- **scarso conduttore**
- **scarso isolante**
- **buon isolante**

Magnetismo

Si distinguono tre tipi di materiali:

- **materiali non magnetici (banalmente parlando che non vengono attratti da una calamita)**
- **materiali ferromagnetici (che vengono attratti da una calamita)**
- **magneti permanenti (con cui vengono fatte le calamite)**

Magnetismo

La stragrande maggioranza dei materiali è non magnetica

Sono ferromagnetici solo ferro, nichel e cobalto e alcune ferriti ceramiche

In pratica sono magnetici gli acciai e le ghise (entrambe quasi solo ferro) e alcuni tipi di acciai inossidabili (gli acciai inossidabili ferritici e martensitici, mentre gli austenitici sono non magnetici)



Tabella 3.5 Classificazione di dodici materiali rappresentativi in relazione al loro comportamento di conduttore termico, conduttore elettrico e in presenza di un campo magnetico.

Materiali	Conducibilità termica	Conducibilità elettrica	Magnetismo
Acciaio	Buon conduttore	Buon conduttore	Magnetico
Acciaio inossidabile	Buon conduttore	Buon conduttore	Non magnetico
Alluminio	Ottimo conduttore	Ottimo conduttore	Non magnetico
Rame	Buon conduttore	Ottimo conduttore	Non magnetico
Polietilene	Buon isolante	Buon isolante	Non magnetico
Policarbonato	Buon isolante	Buon isolante	Non magnetico
Calcestruzzo	Scarso isolante	Scarso isolante	Non magnetico
Vetro	Scarso isolante	Buon isolante	Non magnetico
Composito fibre di vetro	Scarso isolante	Buon isolante	Non magnetico
Composito fibre carbonio	Scarso isolante	Scarso isolante	Non magnetico
Legno massello	Buon isolante	Scarso isolante	Non magnetico
Gomma naturale	Buon isolante	Buon isolante	Non magnetico

Massima temperatura di esercizio

Temperatura massima alla quale un materiale può essere utilizzato per impieghi strutturali

- **Per metalli e ceramici questa temperatura è molto elevata (legata a T_f)**
- **Per i polimeri dipende dalle temperature di transizione (T_g e T_m)**
- **Per alcuni polimeri la massima temperatura di esercizio può essere di poche decine di gradi oltre la temperatura ambiente**

Durabilità

resistenza agli ambienti che si possono incontrare in condizioni di esercizio

- **corrosione in acque naturali**
- **corrosione in acqua di mare**
- **corrosione atmosferica (UR>80% o inquinamento)**
- **irraggiamento solare**
- **uso di detergenti e solventi non idonei**

Durabilità

Acque naturali, acque di mare e atmosfera

- **gravose per gli acciai**
- **minori problemi hanno rame, alluminio e acciai inossidabili**

Per resistere gli acciai (non inossidabili) devono essere sottoposti, a trattamenti protettivi (verniciatura, zincatura, nichelatura rivestimenti polimerici, protezione catodica)

Durabilità

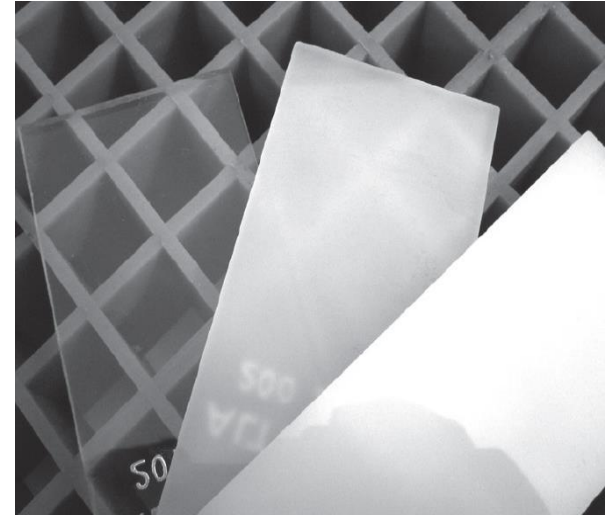
L'irraggiamento solare e l'uso di detergenti e solventi sono particolarmente critici per alcuni materiali polimerici

I ceramici, essendo già ossidi, hanno in genere ottima durabilità

Trasparenza

Si individuano 4 categorie :

- **qualità ottica: eccezionale trasparenza**
- **trasparente: trasparenza molto buona**
- **traslucido: luce diffusa immagini poco chiare**
- **opaco: completamente non trasparente**



Trasparenza

- **i materiali cristallini sono opachi, mentre i materiali amorfi possono essere trasparenti**
- **i metalli sono opachi, come pure la maggior parte dei ceramici**
- **sono trasparenti i vetri, materiali ceramici caratterizzati da una struttura amorfa**

Trasparenza

Più complessa è la situazione dei polimeri, che possono essere amorfi o semicristallini

Pur ribadendo l'indicazione generale (amorfo sinonimo di trasparente), le dimensioni e i trattamenti dei materiali polimerici possono influenzare la trasparenza

Ad esempio molti polimeri possono essere traslucidi con una sezione sottile, ma opachi quando lo spessore della sezione aumenta

Tabella 3.6 Valori di proprietà fisiche, chimiche e ottiche di dodici materiali rappresentativi.

Materiale	Massima T servizio (°C)	Durabilità	Proprietà ottiche
Acciaio	300	Scarsa	Opaco
Acciaio inossidabile	900	Ottima	Opaco
Alluminio	200	Buona	Opaco
Rame	200	Buona	Opaco
Polietilene	115	Buona	Traslucido
Policarbonato	120	Buona	Qualità ottica
Calcestruzzo	490	Buona	Opaco
Vetro	300	Ottima	Qualità ottica
Composito fibre di vetro	180	Buona	Traslucido
Composito fibre carbonio	180	Buona	Opaco
Legno massello	120	Buona	Opaco
Gomma naturale	85	Buona	Traslucido

Tabella 3.1 Le principali proprietà dei materiali.

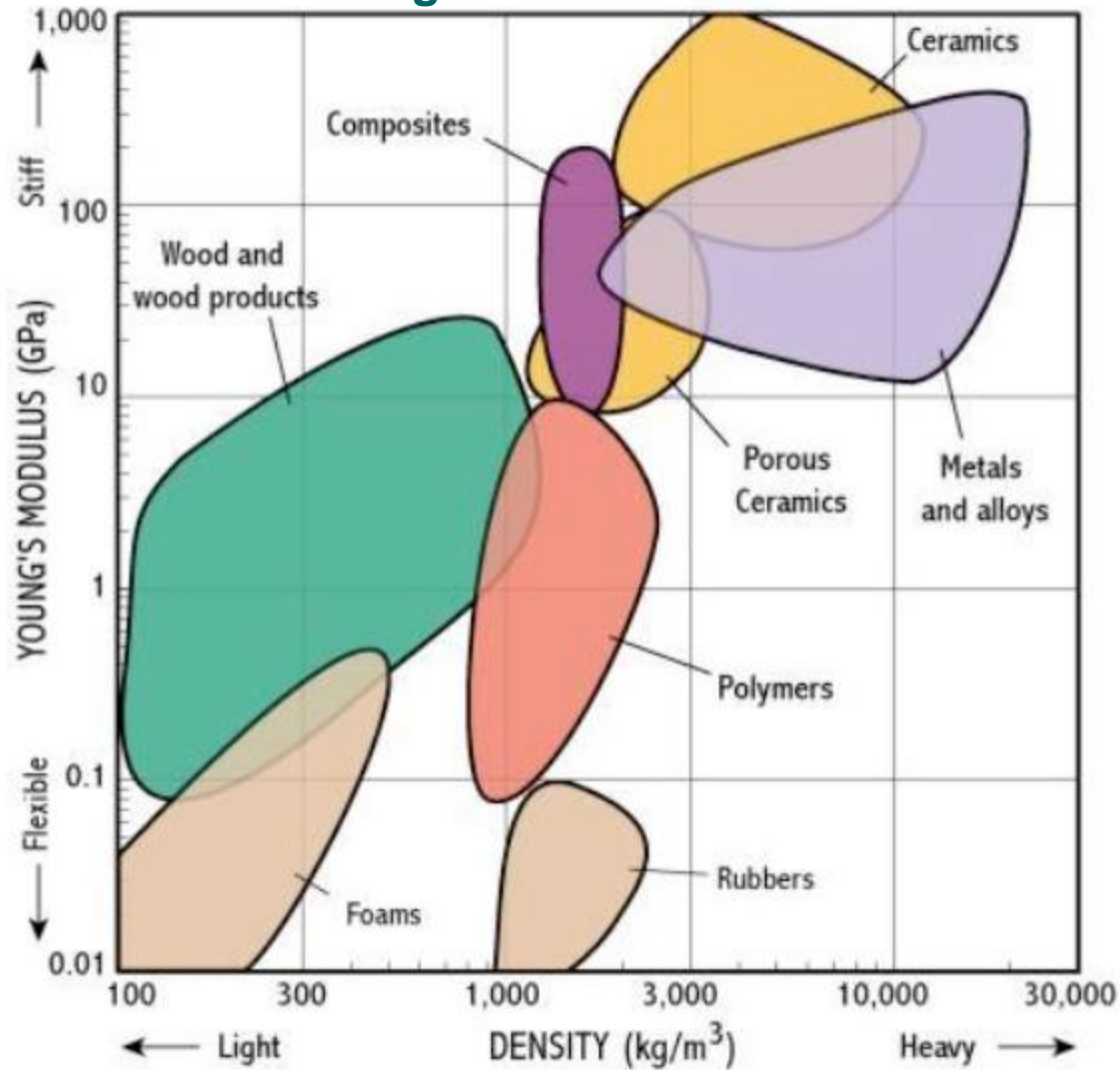
Requisito	Proprietà	Unità di misura
Lavorazione per deformazione plastica	Deformazione a rottura, ε_r	%
Rigidezza	Modulo elastico, E	GPa
Resistenza	Sforzo di snervamento, σ_{sn}	MPa
Tenacità	Fattore di intensificazione degli sforzi, K_{IC}	MPa $m^{1/2}$ (MPa $\cdot \sqrt{m}$)
Trasferimento del calore	Conducibilità termica, λ	W/(m \cdot K)
Trasparenza	Trasmittanza	%
Magnetismo	Induzione magnetica	tesla
Conduzione di elettricità	Resistività (conducibilità elettrica)	$\mu\Omega \cdot cm$
Resistenza alla fiamma	Temperatura massima di esercizio, T_{max}	°C
Resistenza al lavaggio	Durabilità	-
Leggerezza	Densità, ρ	kg/dm ³
Economicità	Costo unitario	e/kg

Mappe proprietà dei materiali

<http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite>

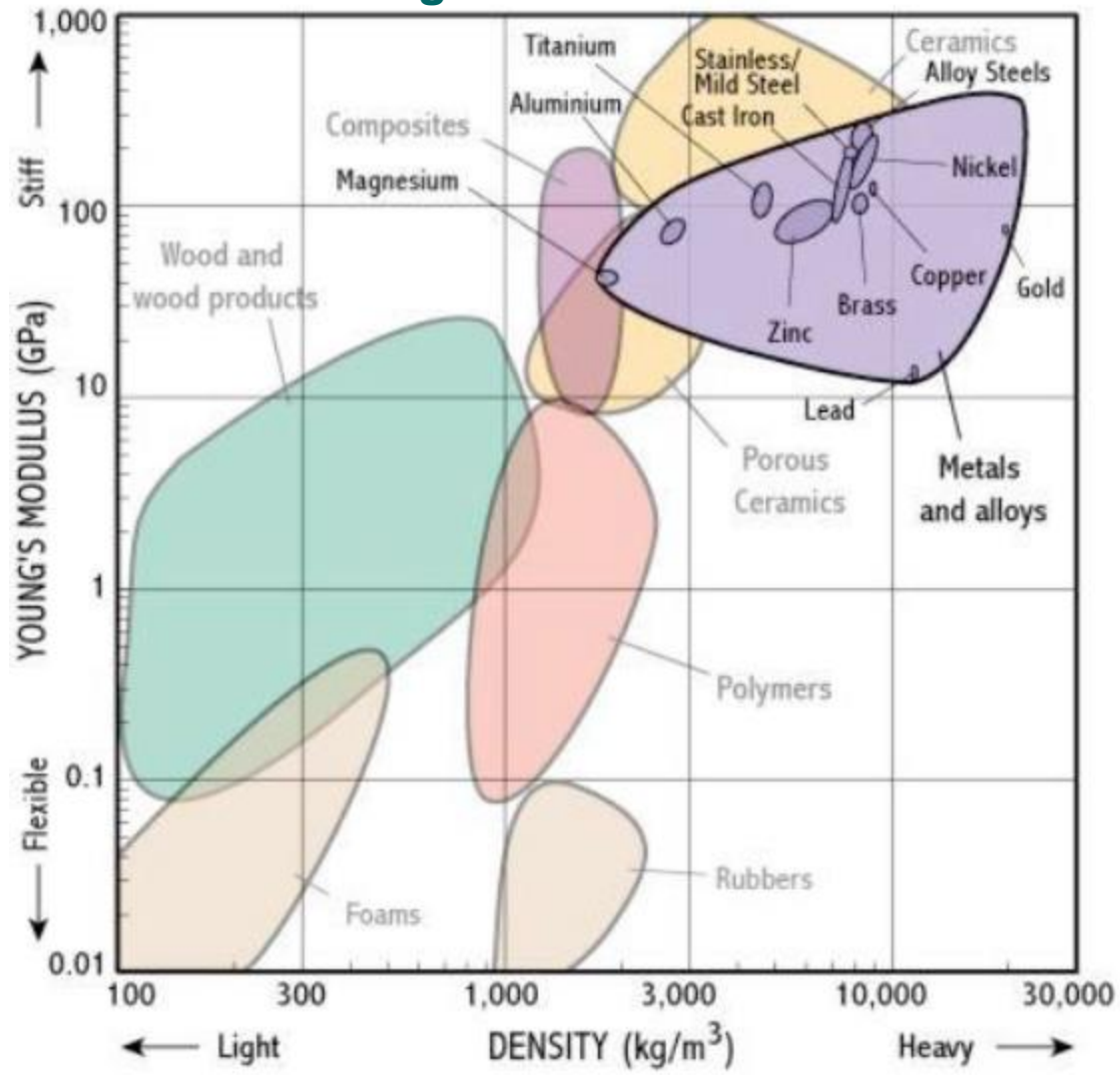
Mappe proprietà dei materiali

Rigidità vs densità



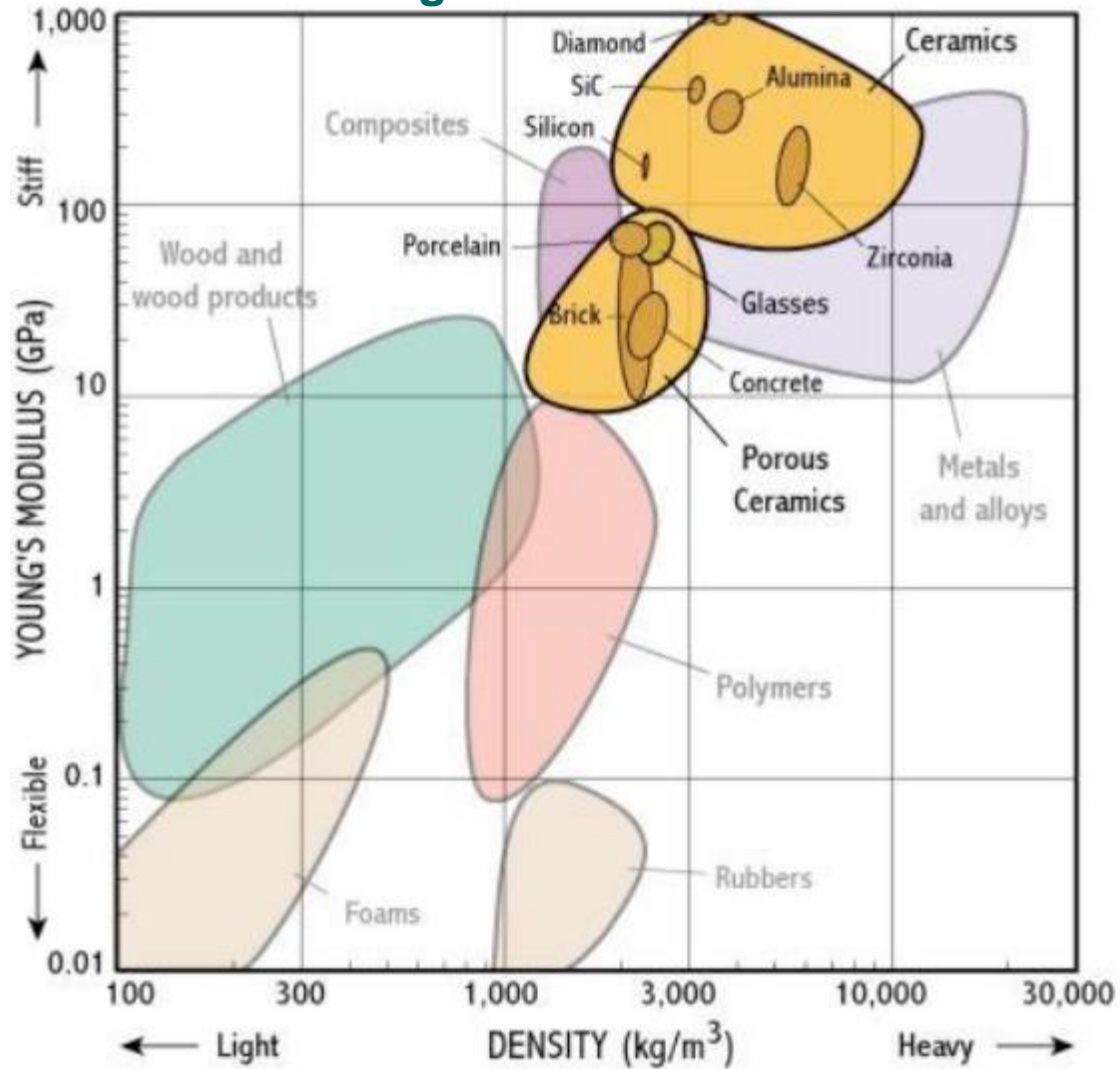
Mappe proprietà dei materiali

Rigidità vs densità



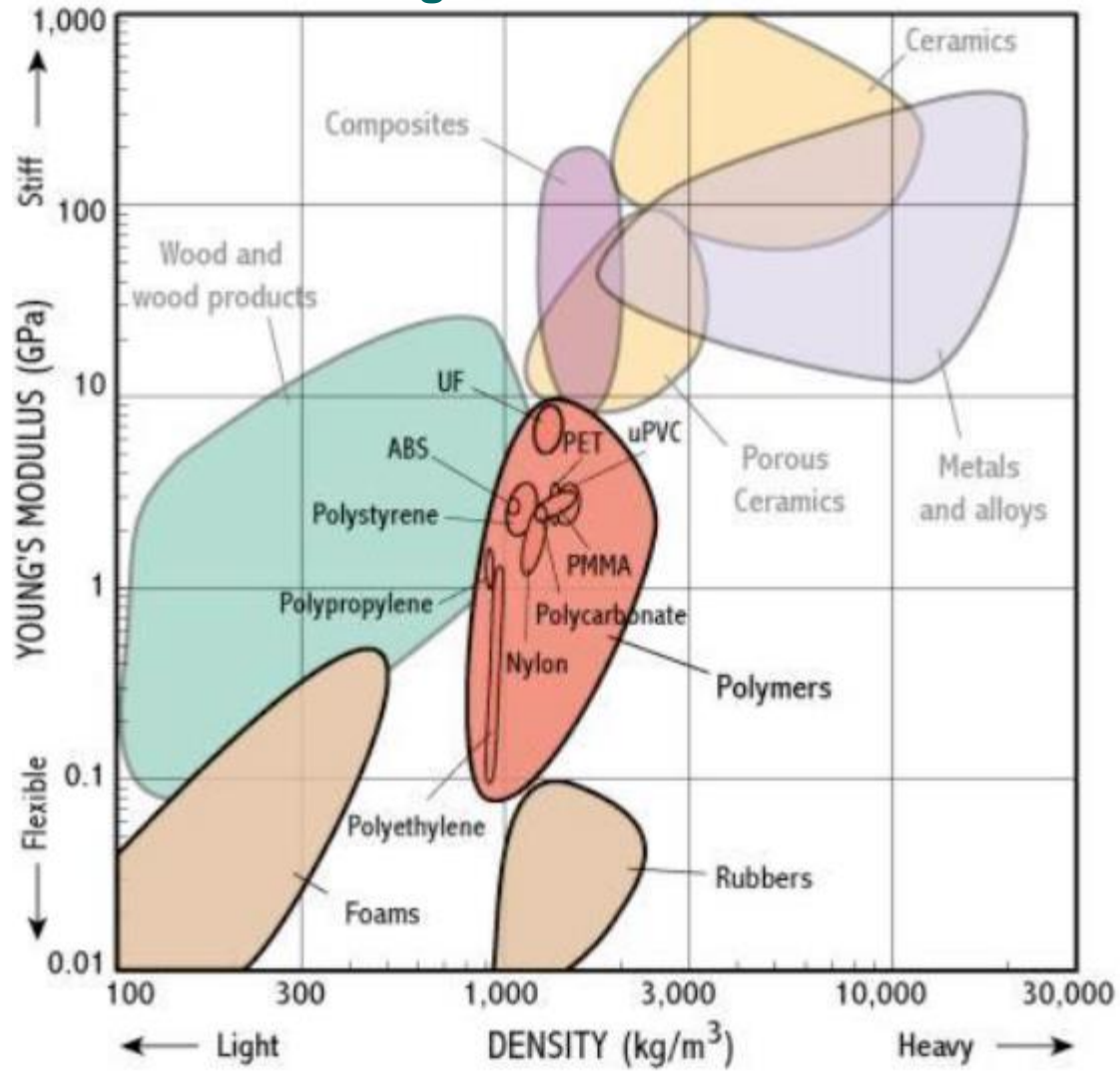
Mappe proprietà dei materiali

Rigidità vs densità



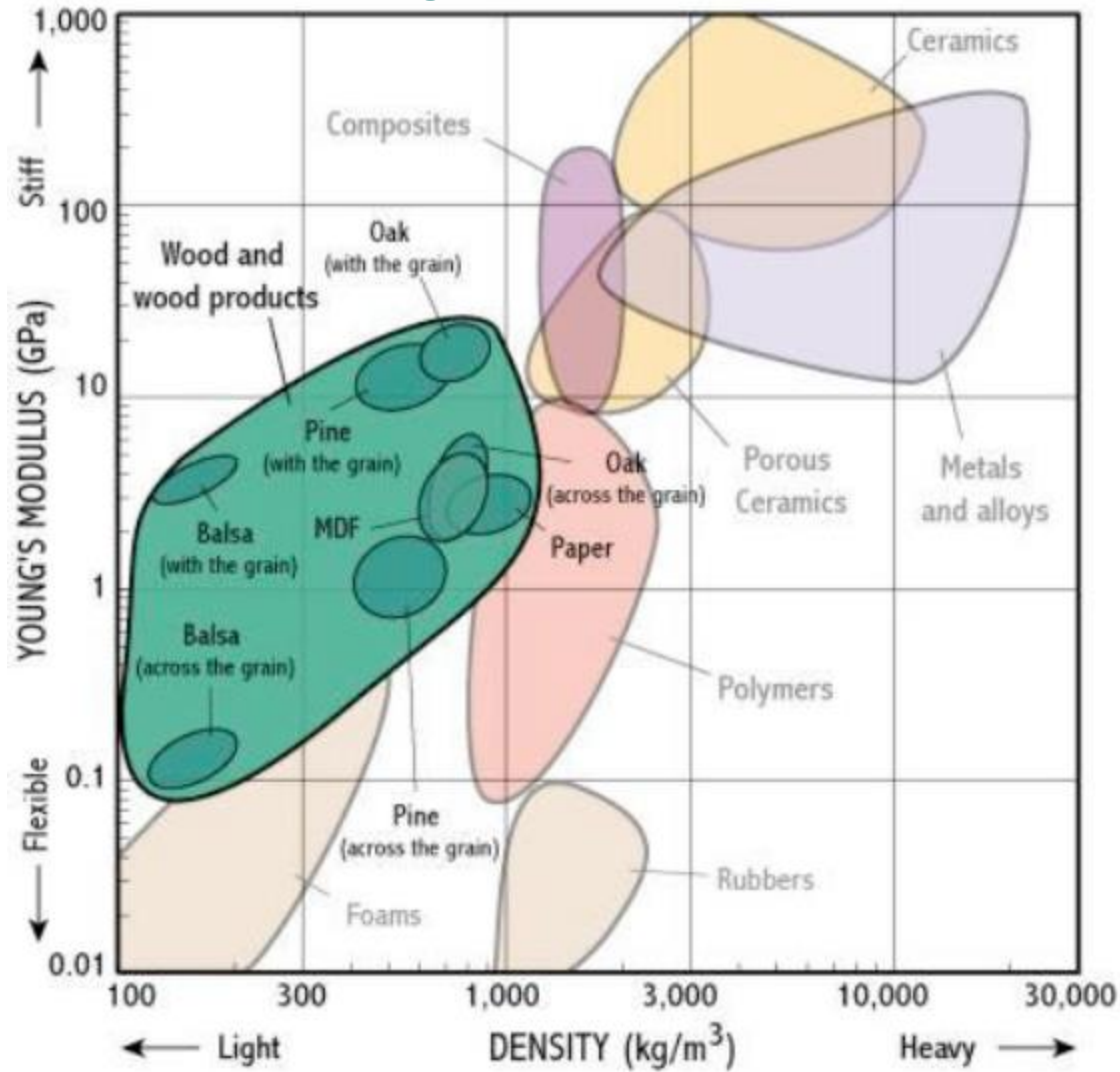
Mappe proprietà dei materiali

Rigidità vs densità



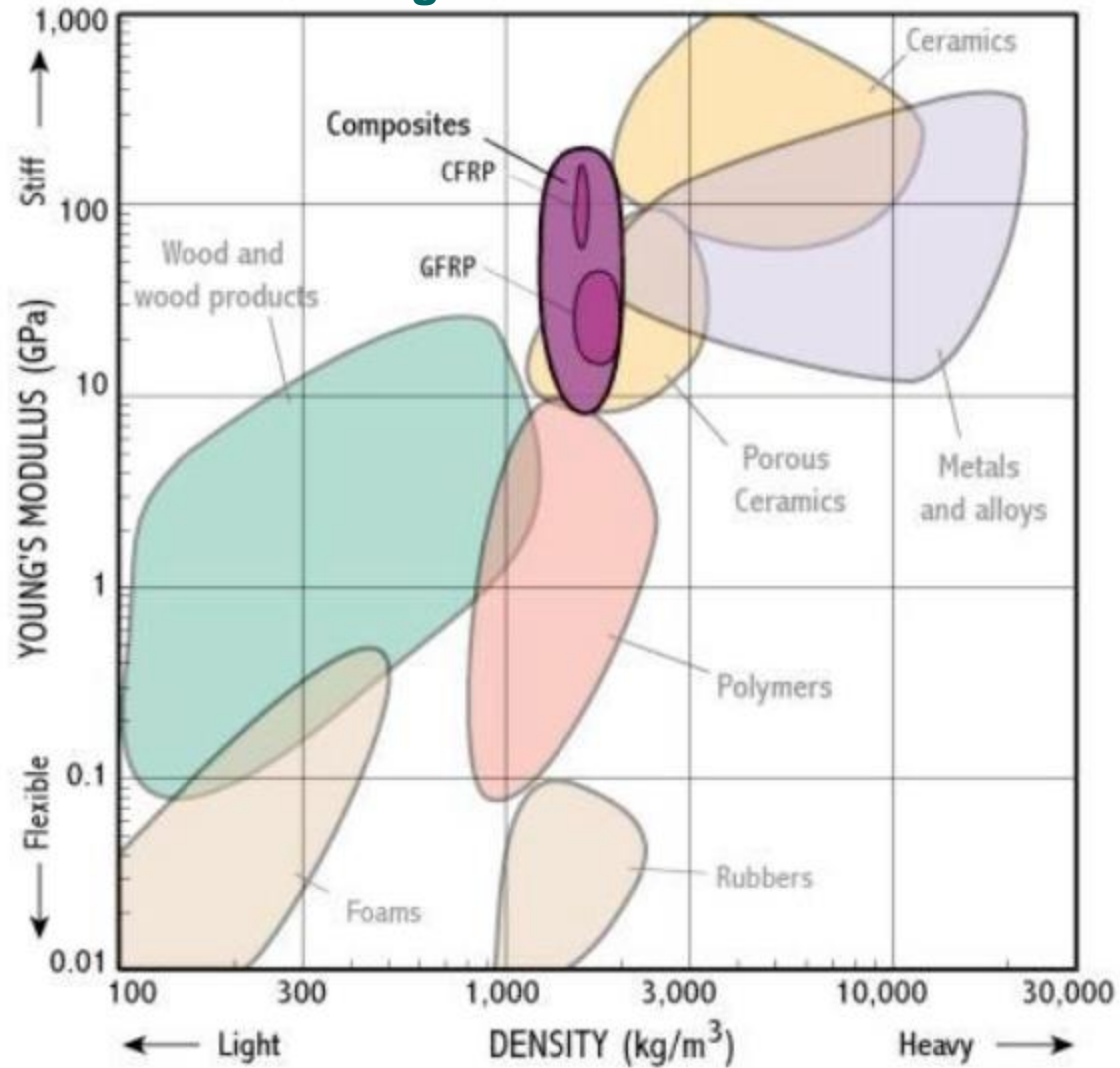
Mappe proprietà dei materiali

Rigidità vs densità



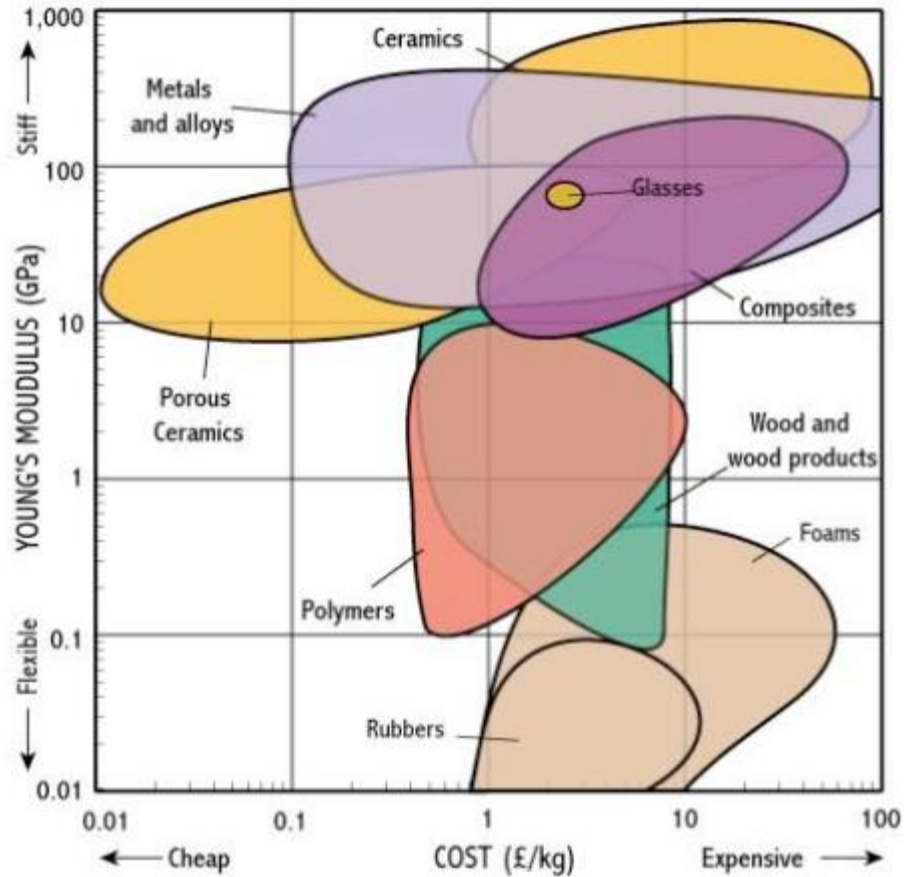
Mappe proprietà dei materiali

Rigidità vs densità



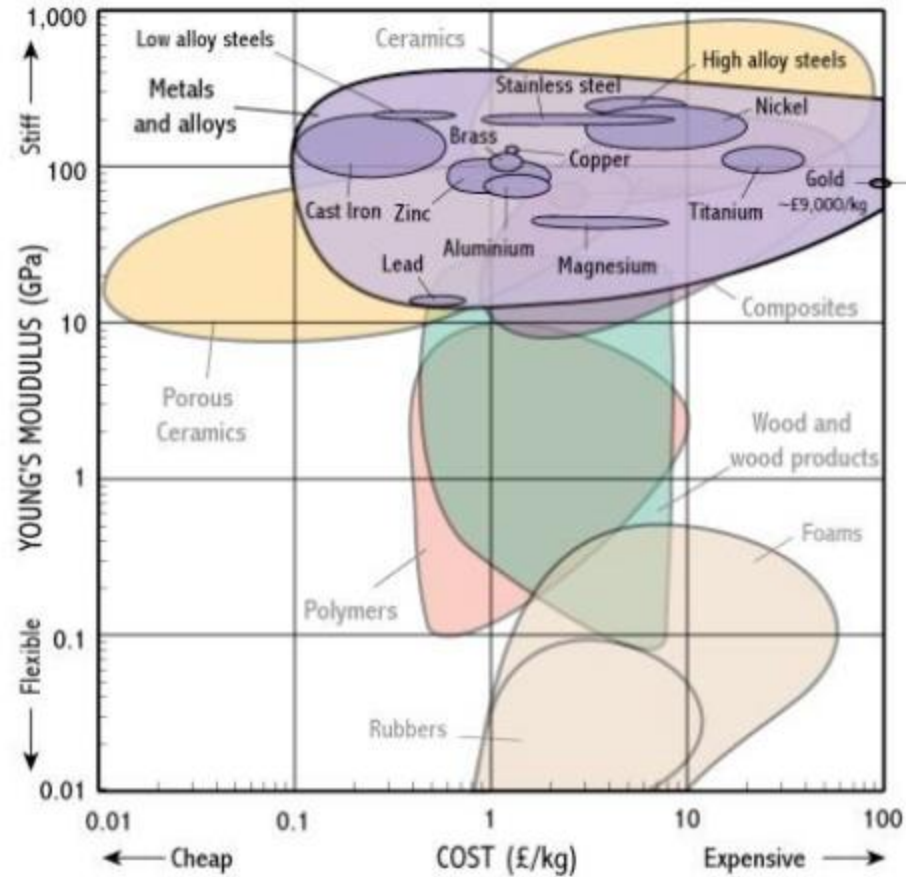
Mappe proprietà dei materiali

Rigidità vs costo



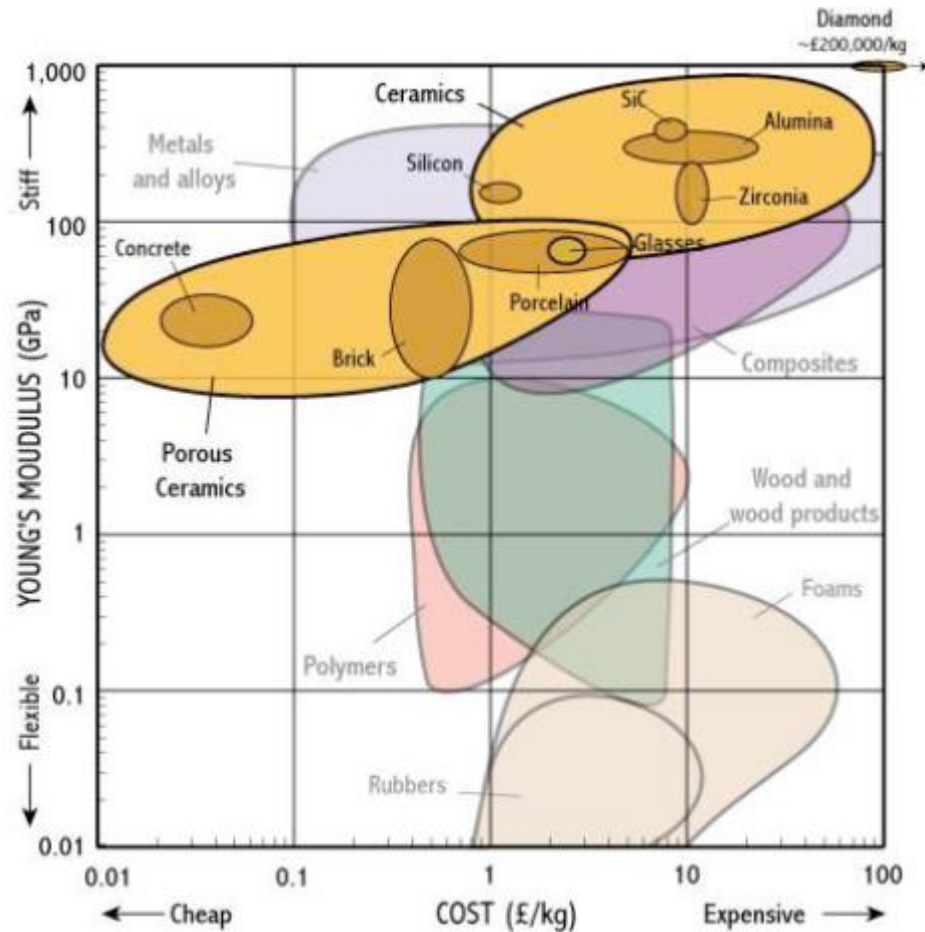
Mappe proprietà dei materiali

Rigidità vs costo



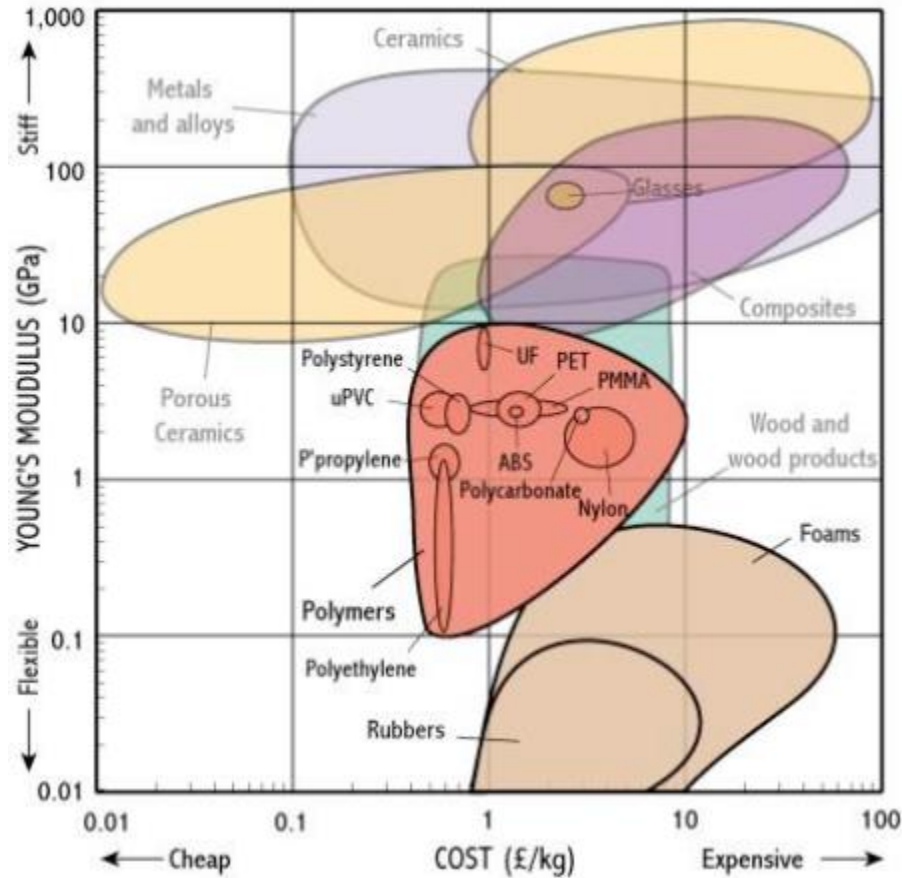
Mappe proprietà dei materiali

Rigidità vs costo



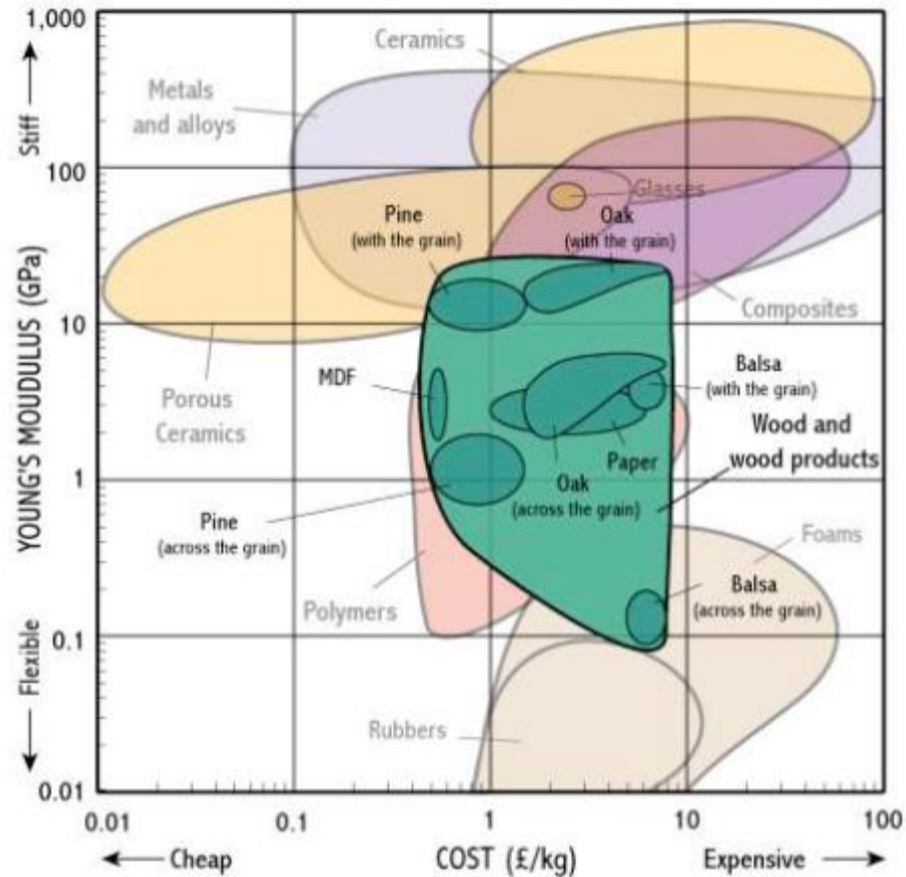
Mappe proprietà dei materiali

Rigidità vs costo



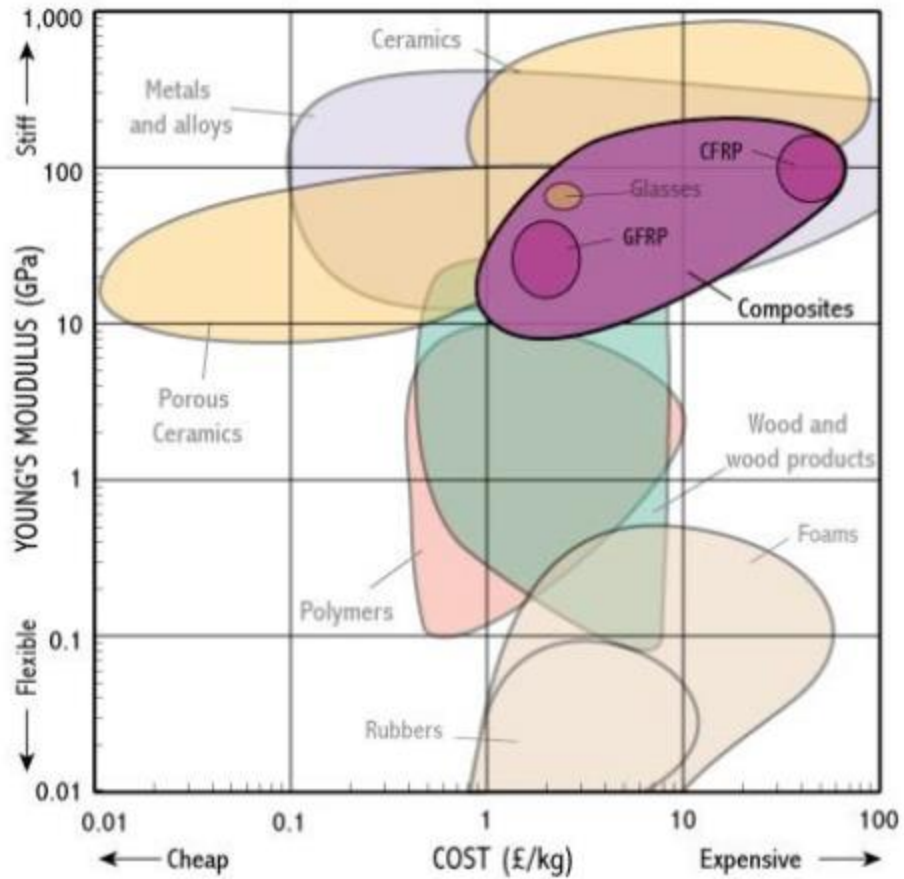
Mappe proprietà dei materiali

Rigidità vs costo



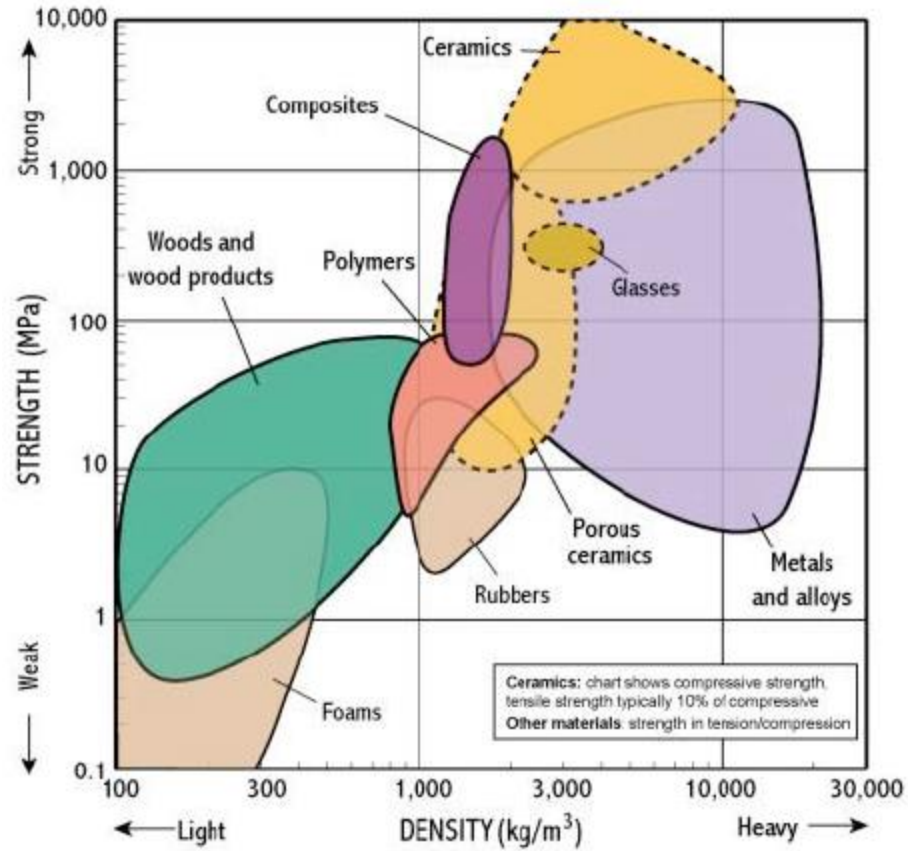
Mappe proprietà dei materiali

Rigidità vs costo



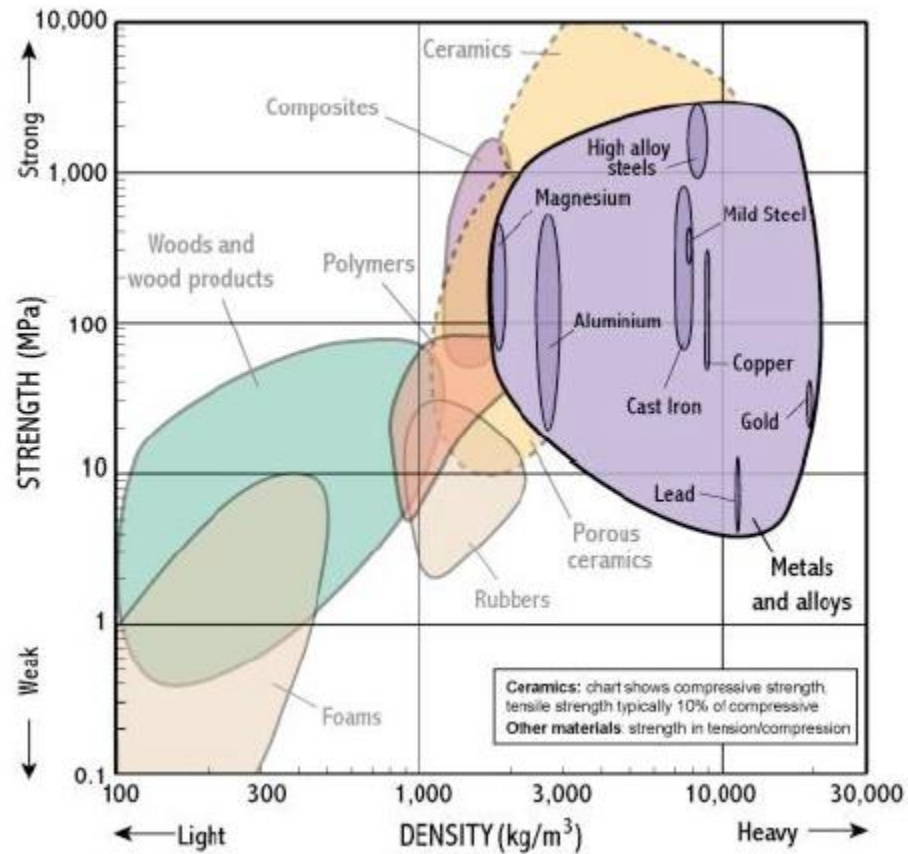
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs densità



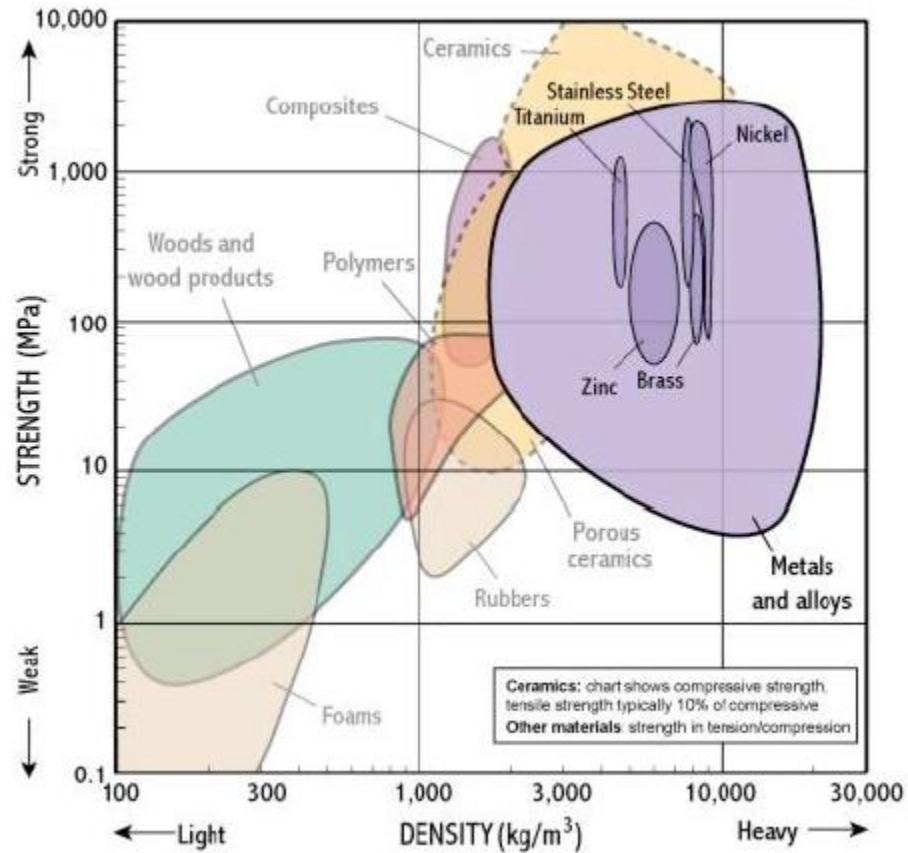
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs densità



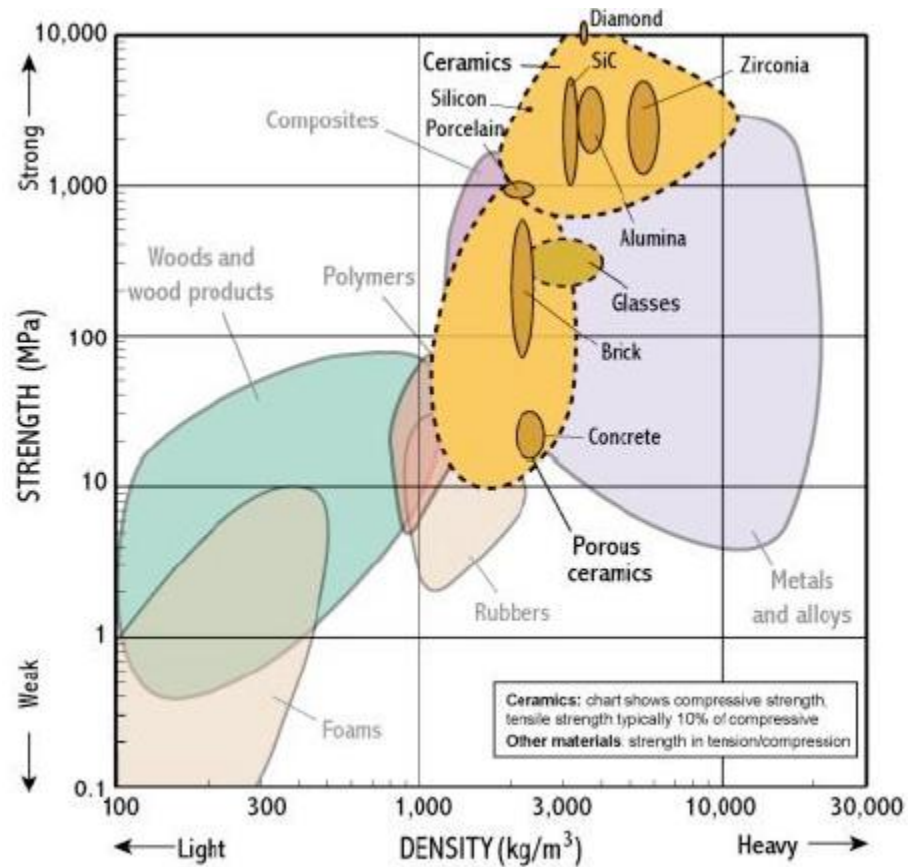
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs densità



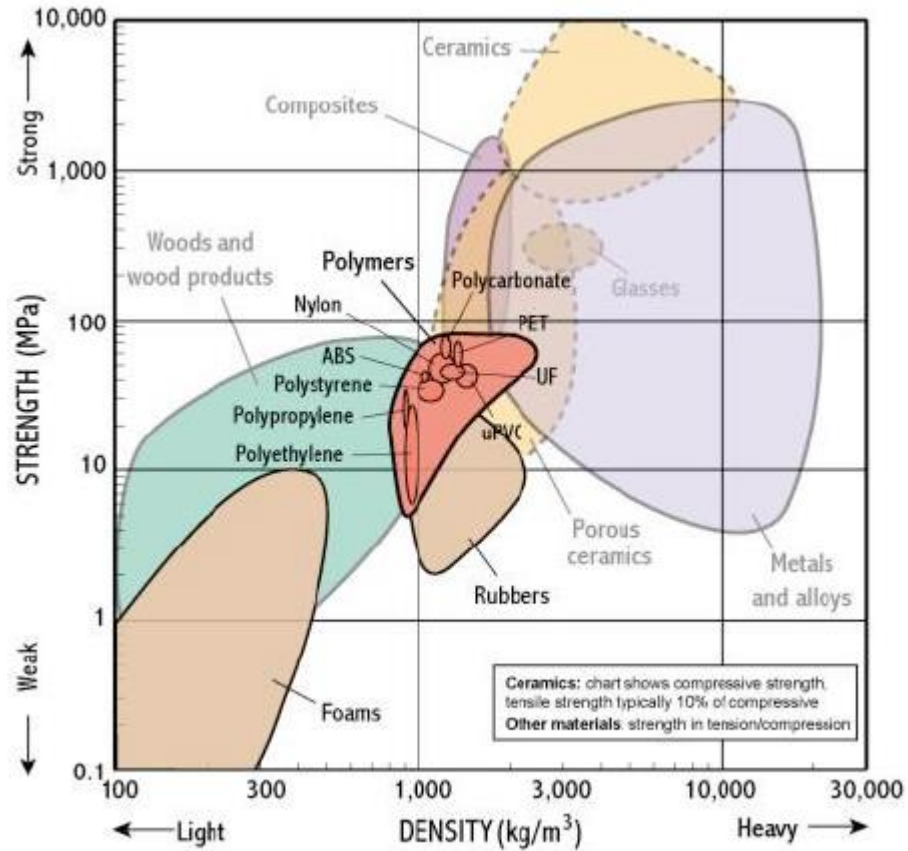
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs densità



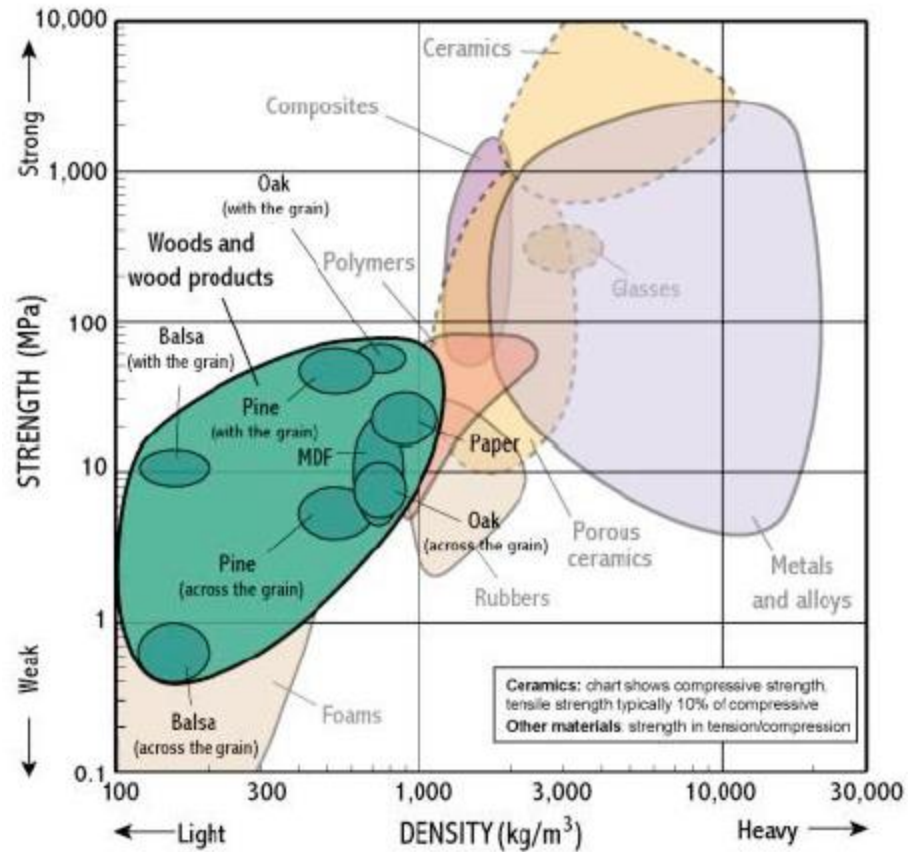
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs densità



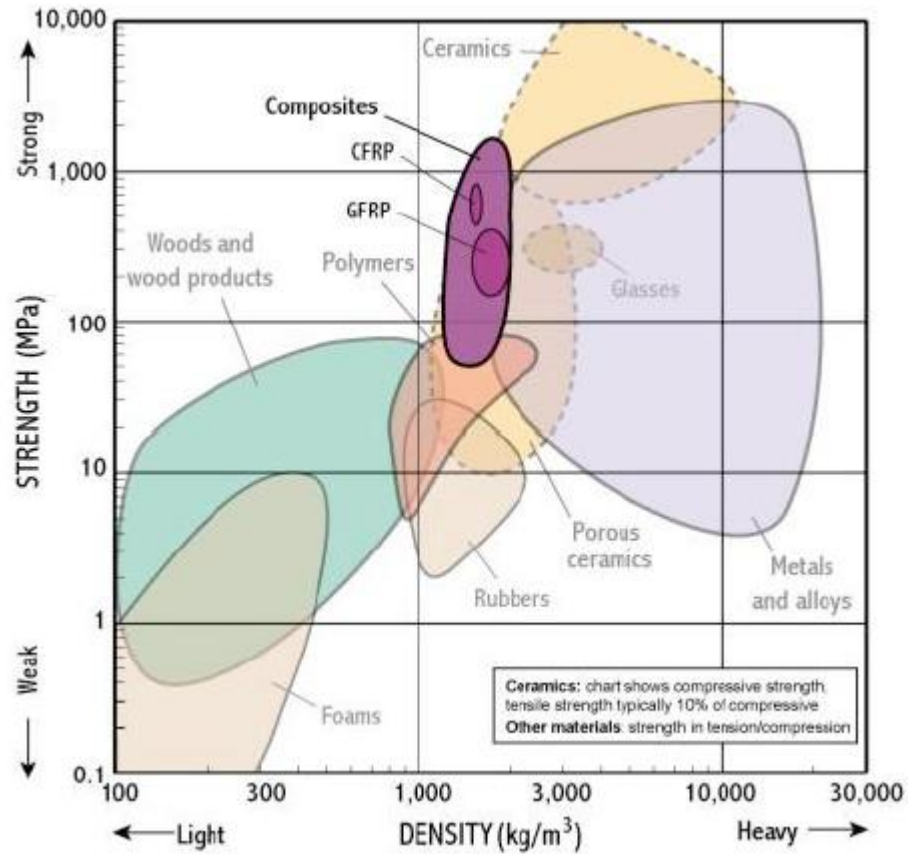
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs densità



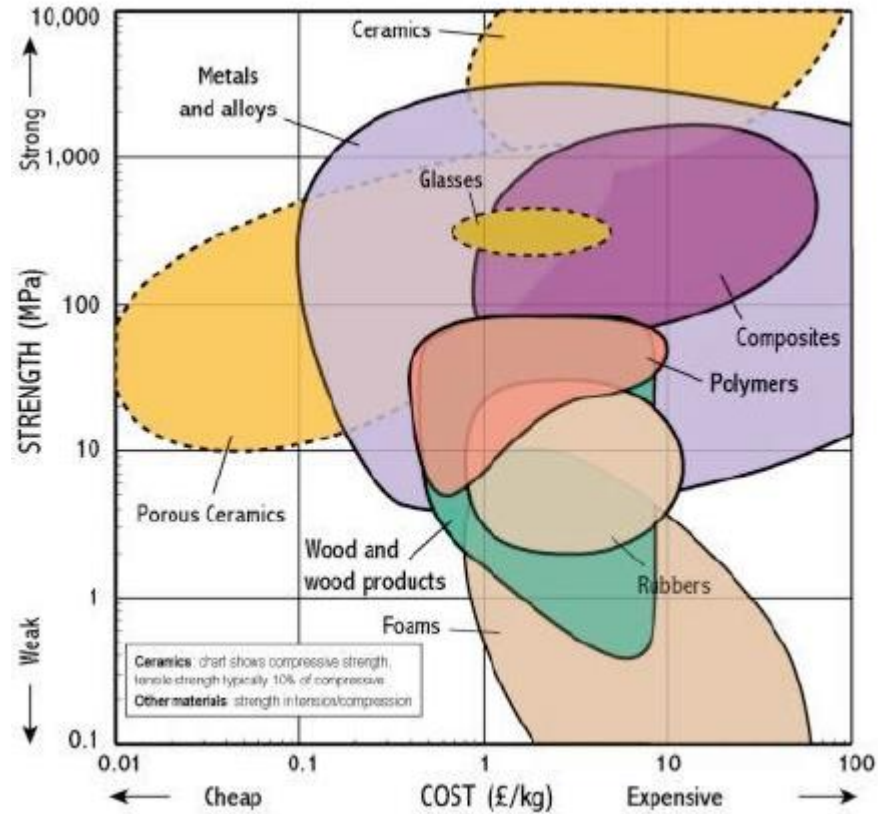
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs densità



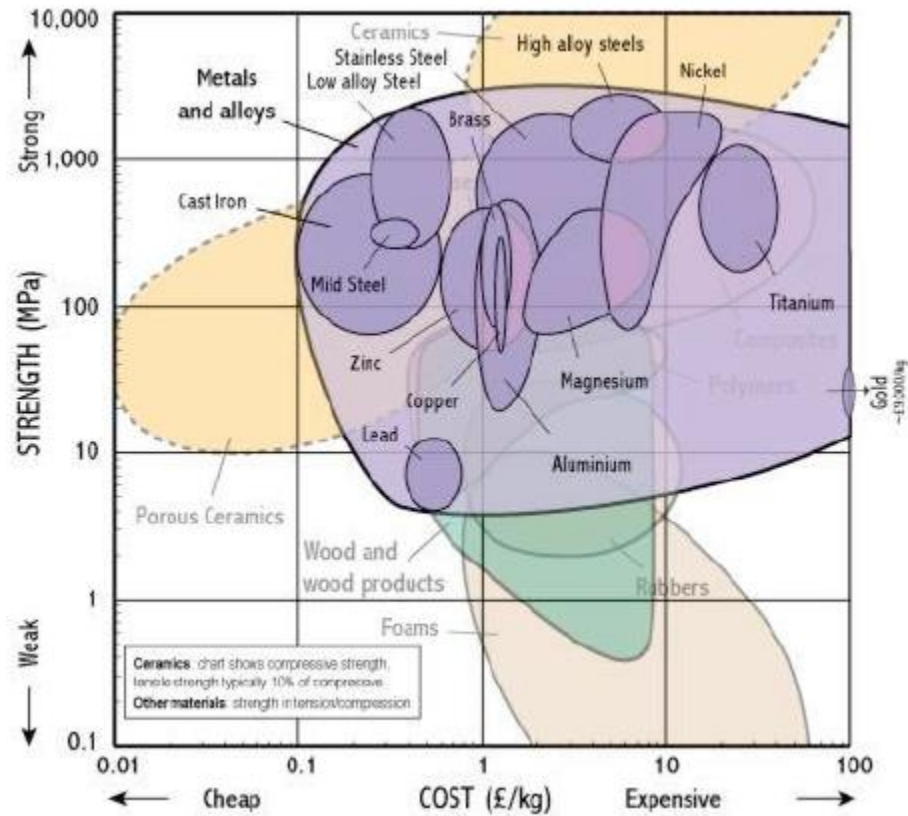
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs costo



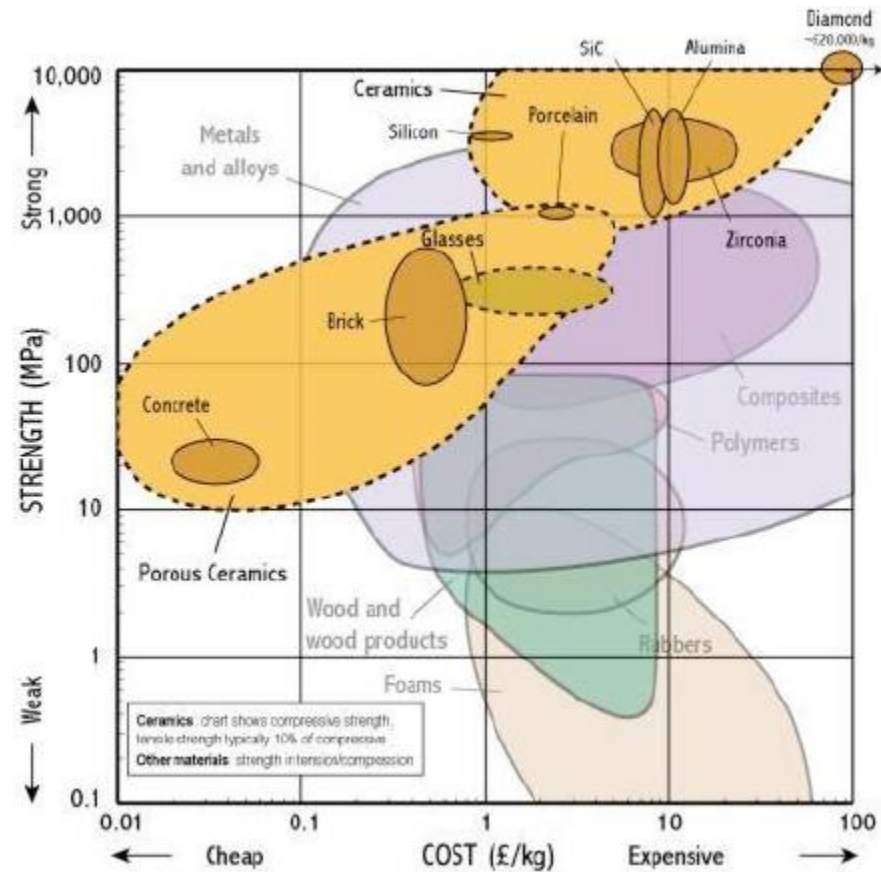
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs costo



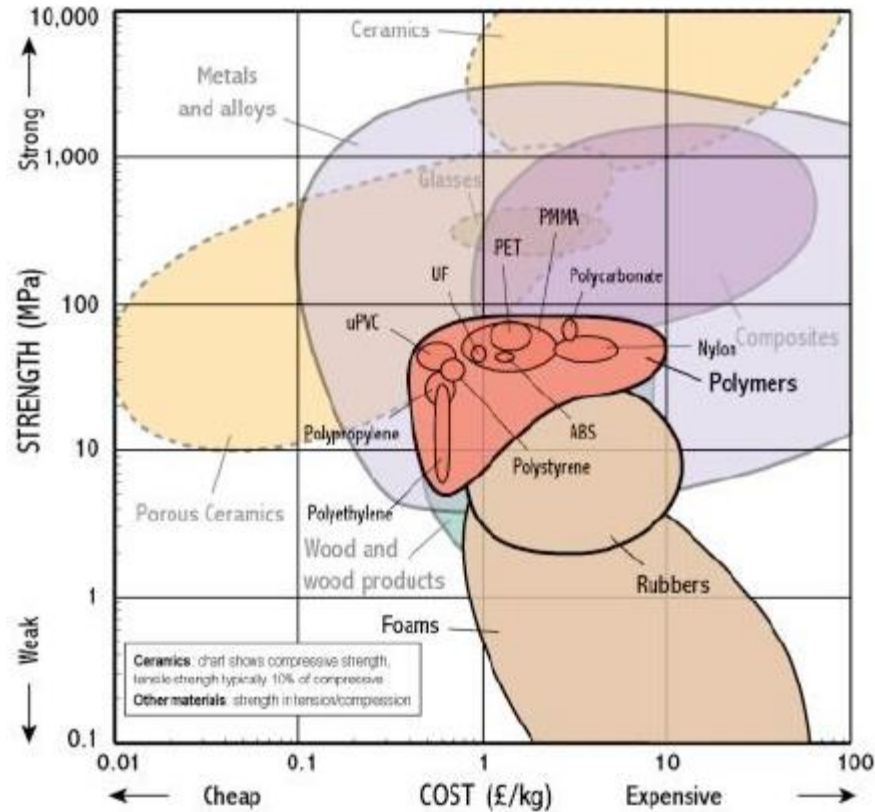
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs costo



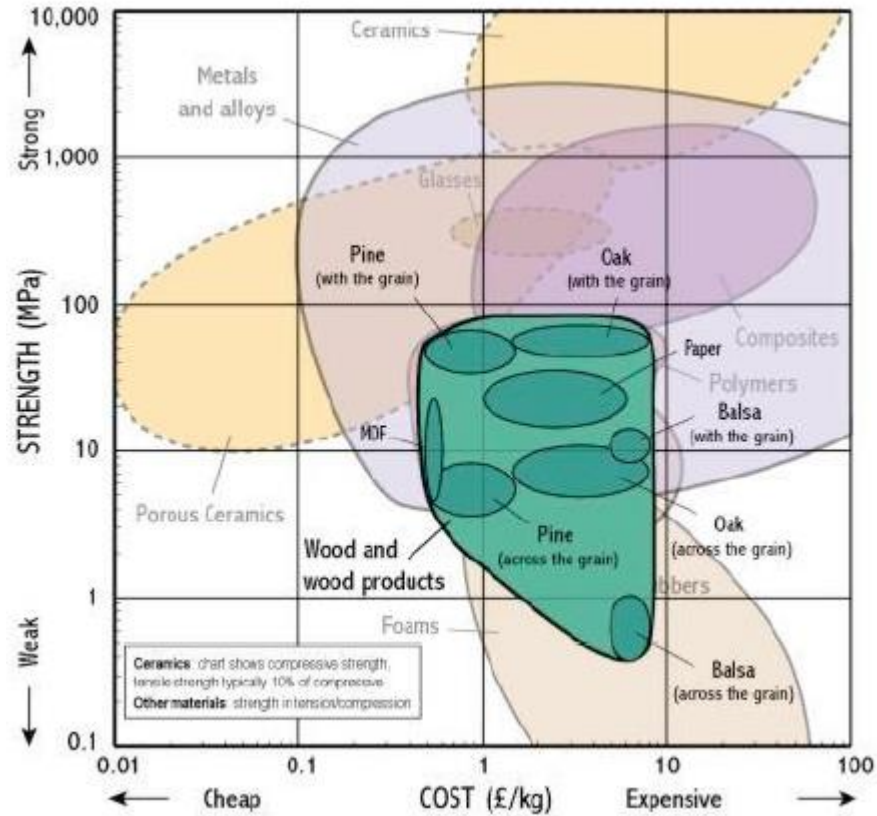
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs costo



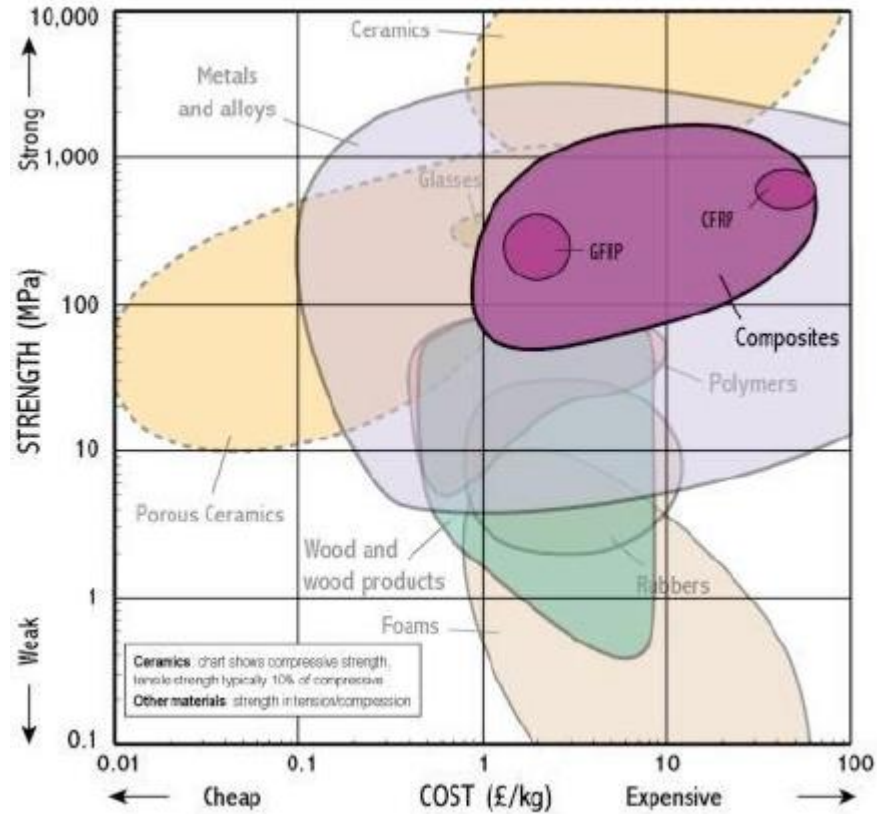
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs costo



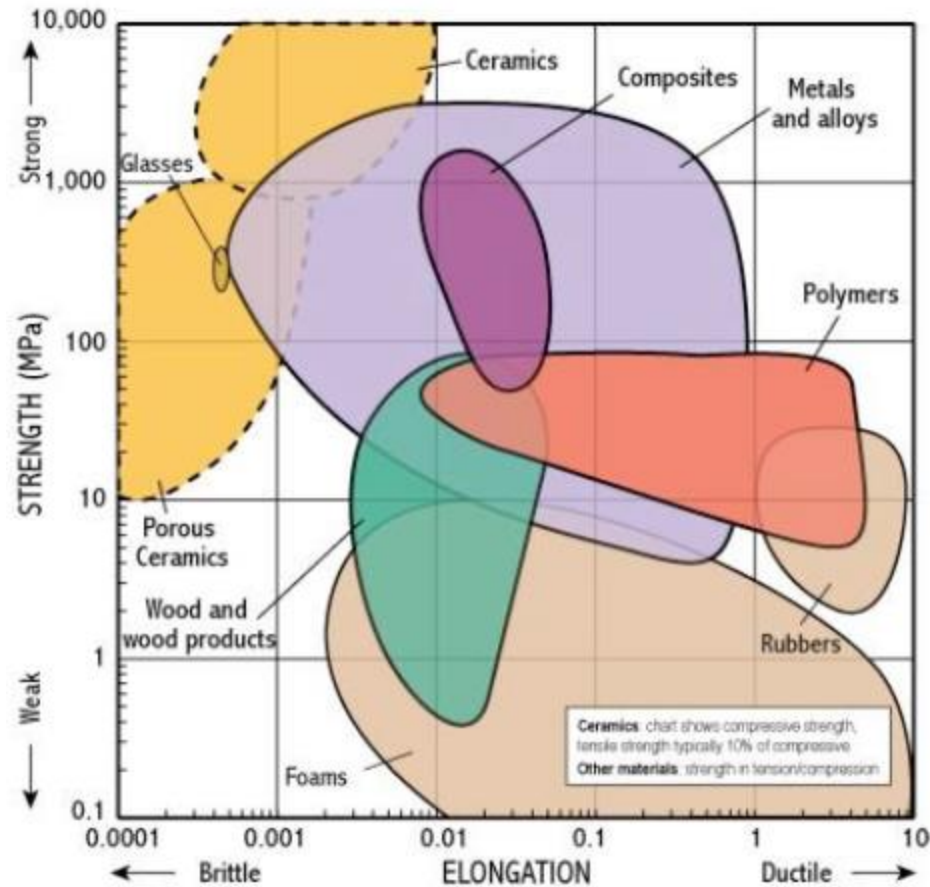
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs costo



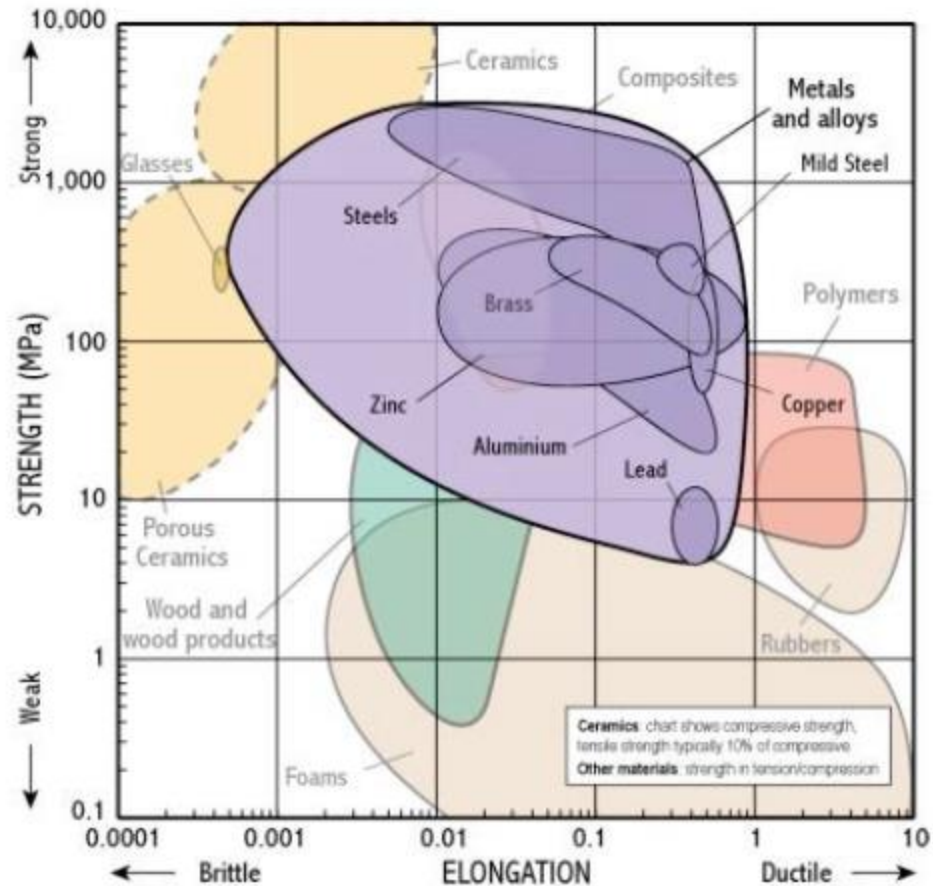
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs duttilità



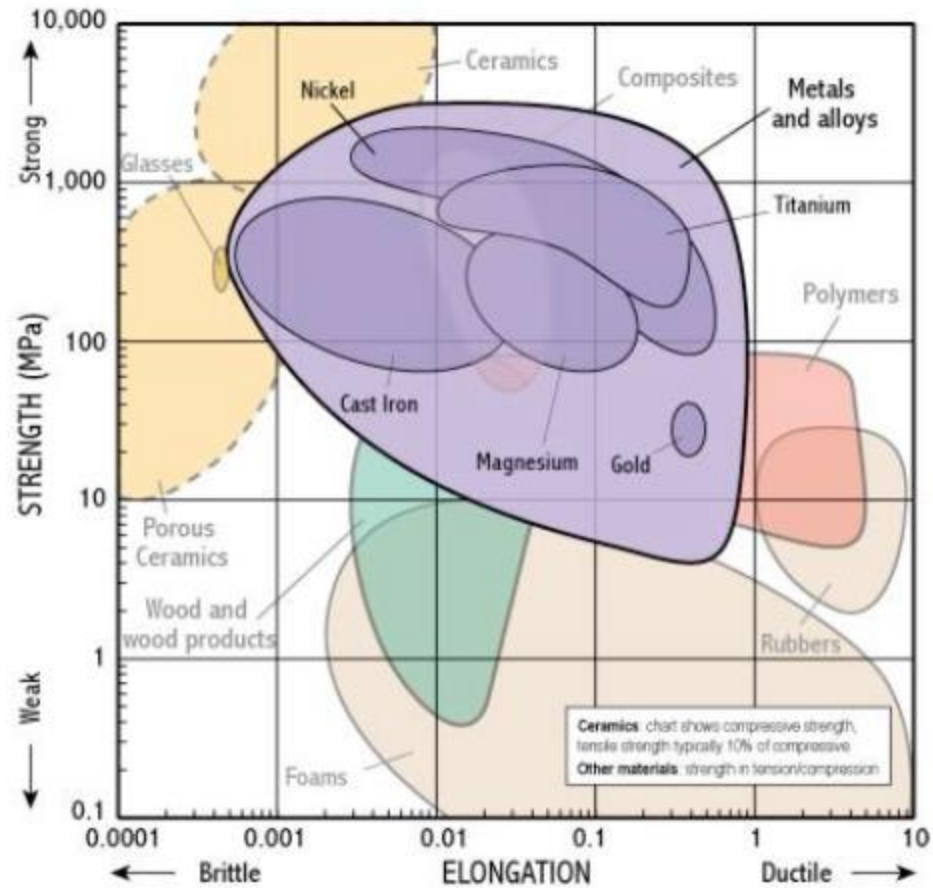
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs duttilità



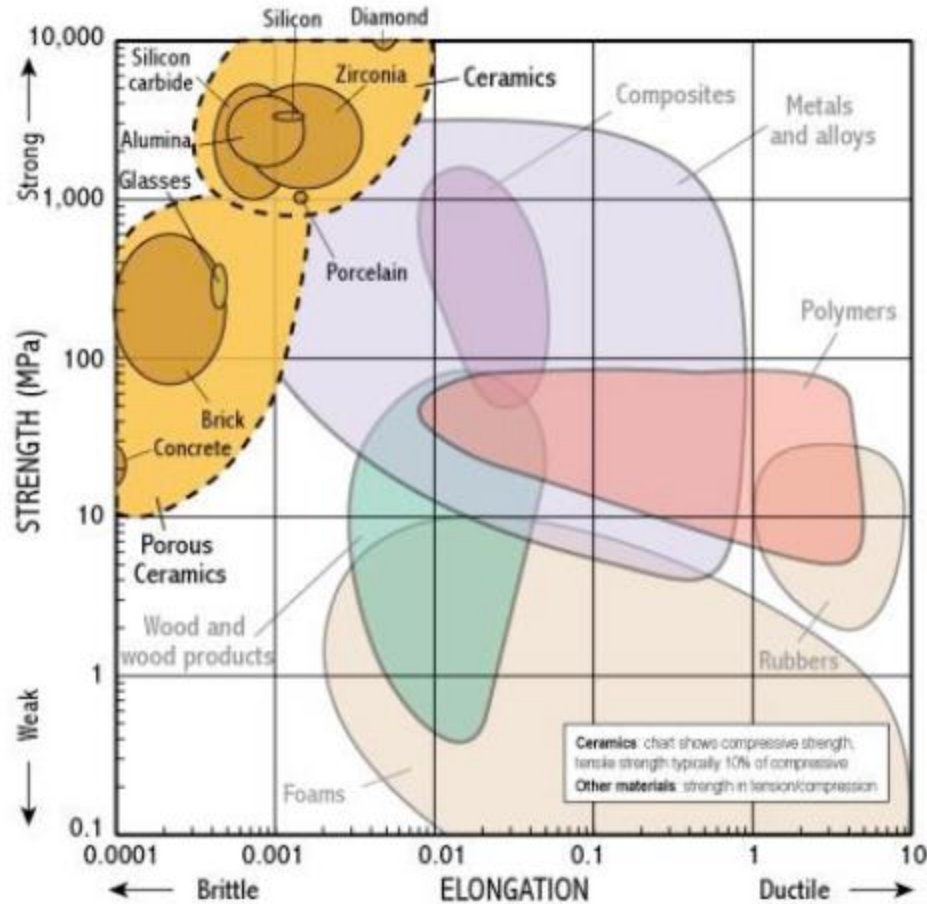
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs duttilità



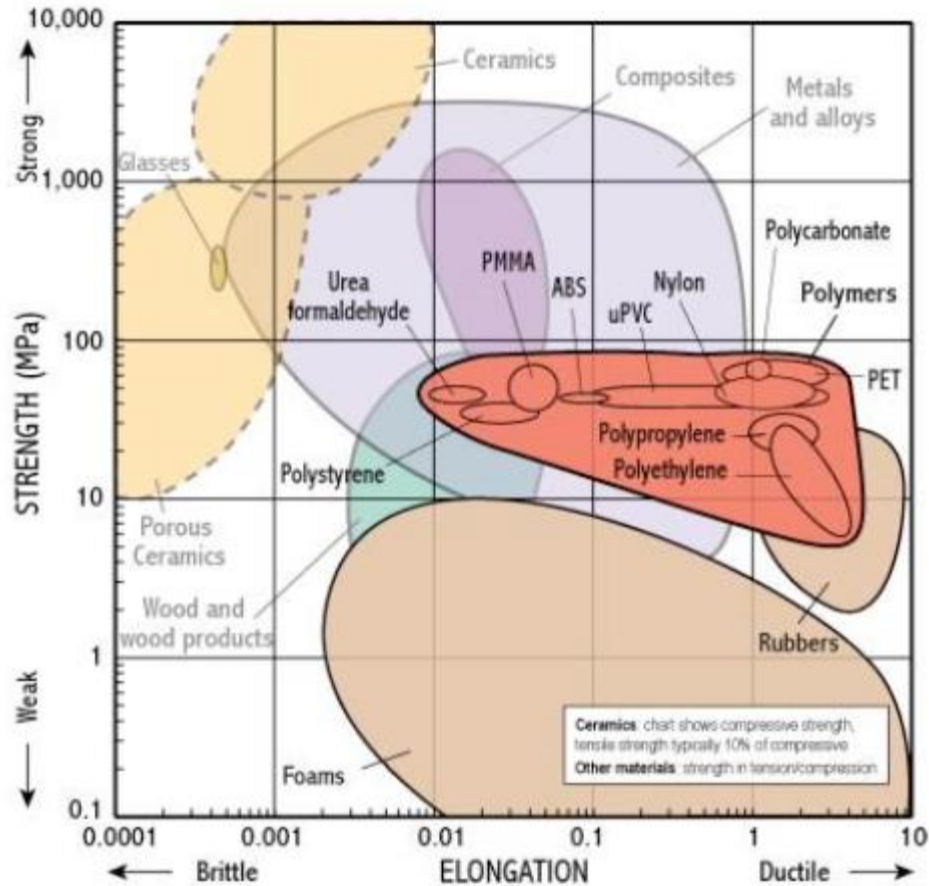
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs duttilità



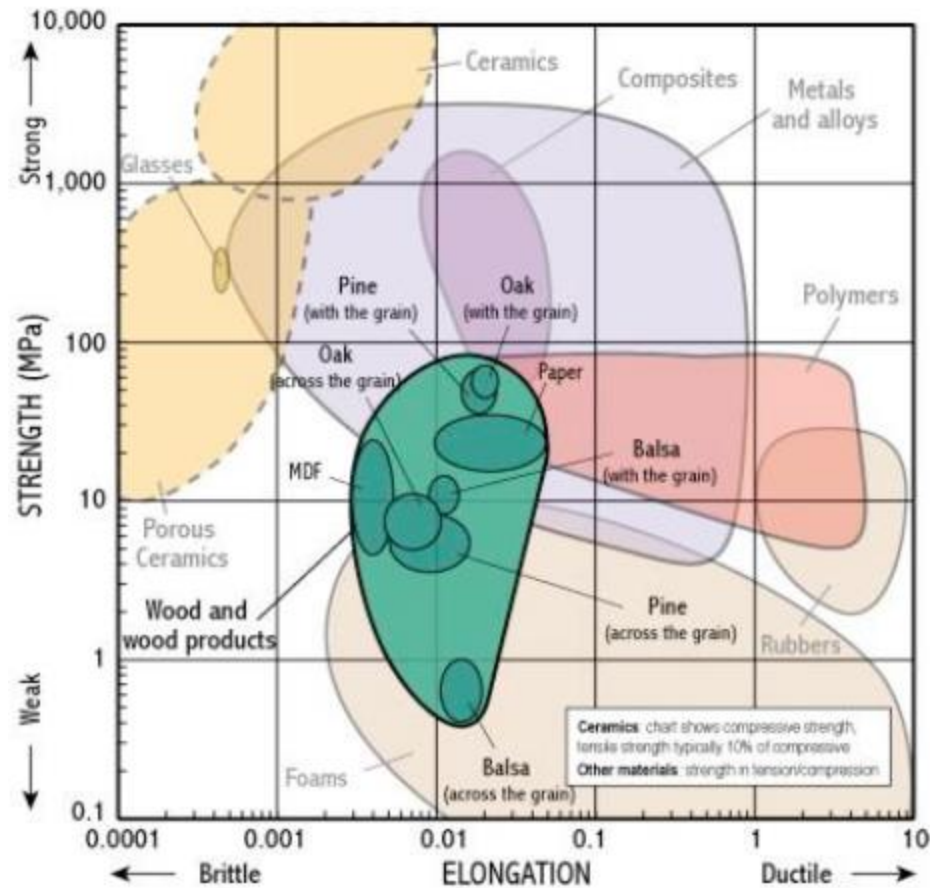
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs duttilità



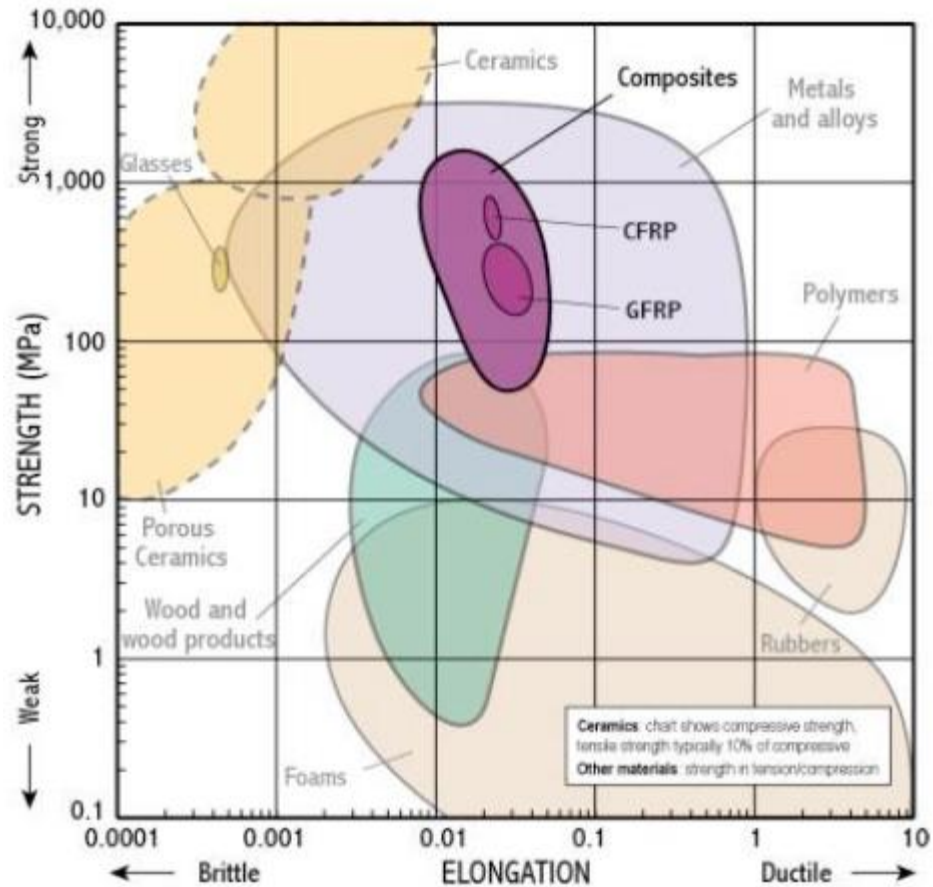
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs duttilità



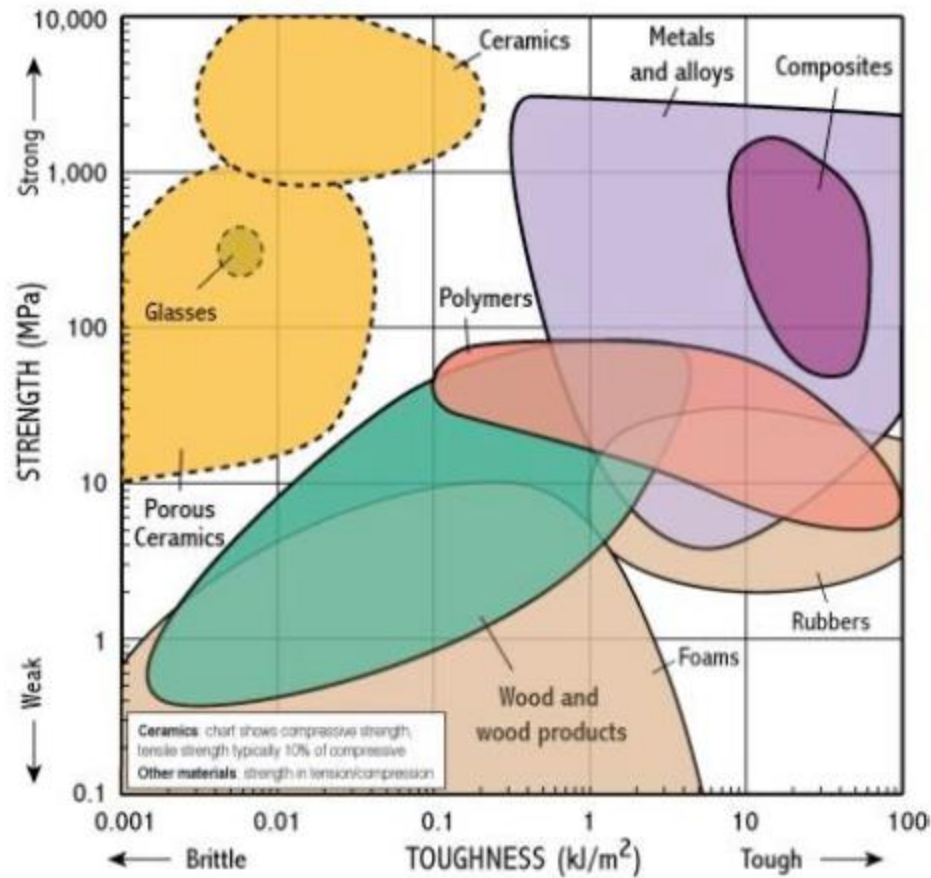
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs duttilità



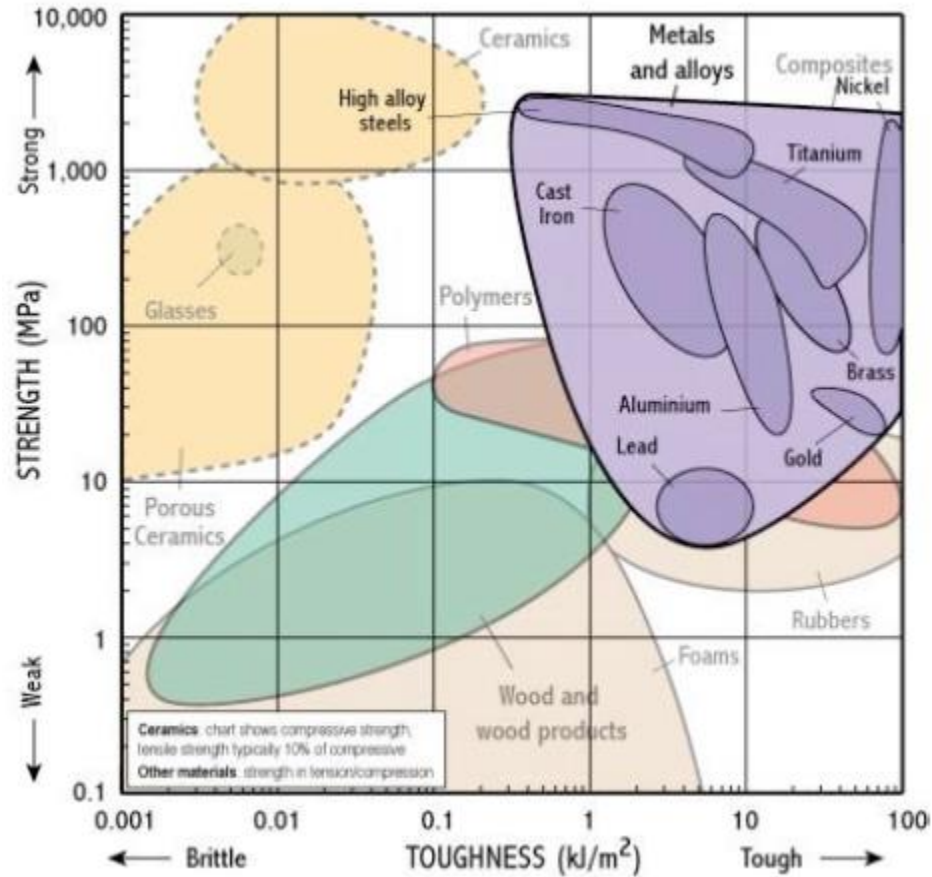
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs tenacità



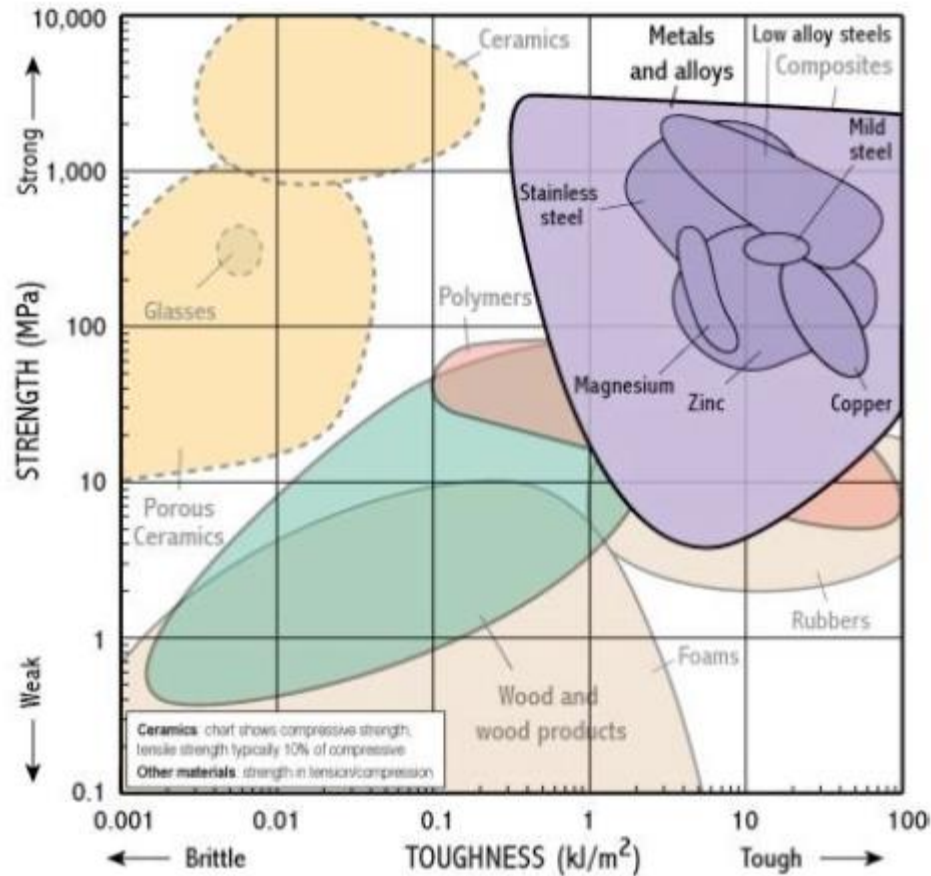
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs tenacità



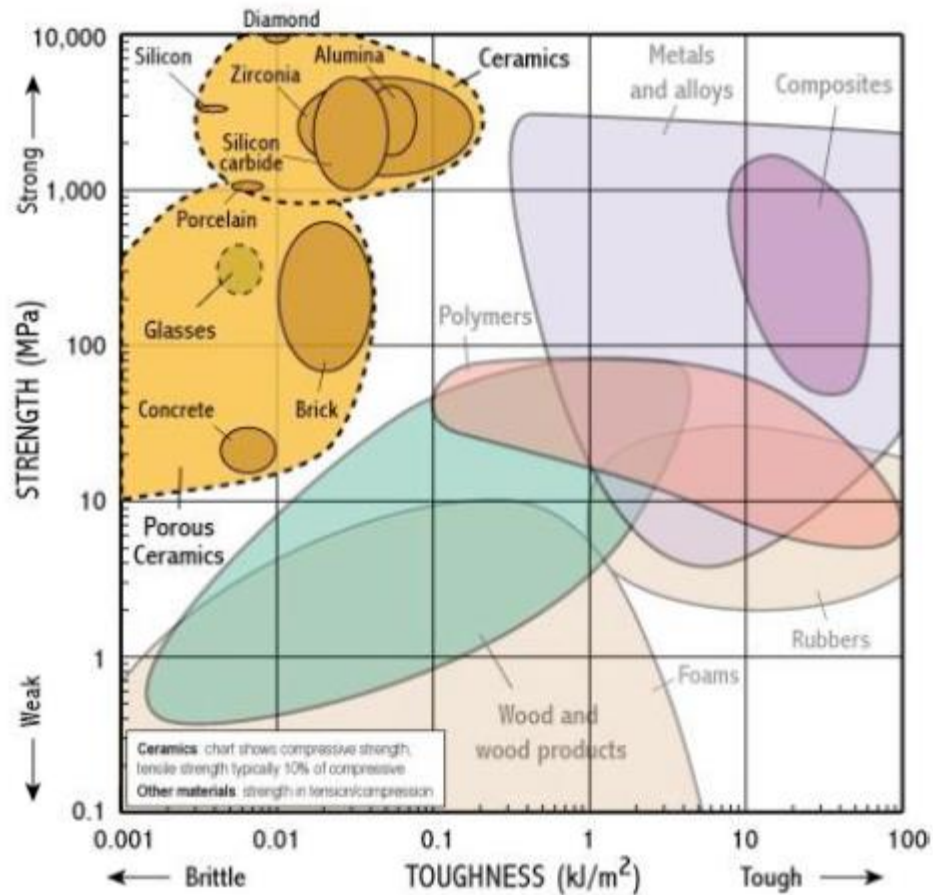
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs tenacità



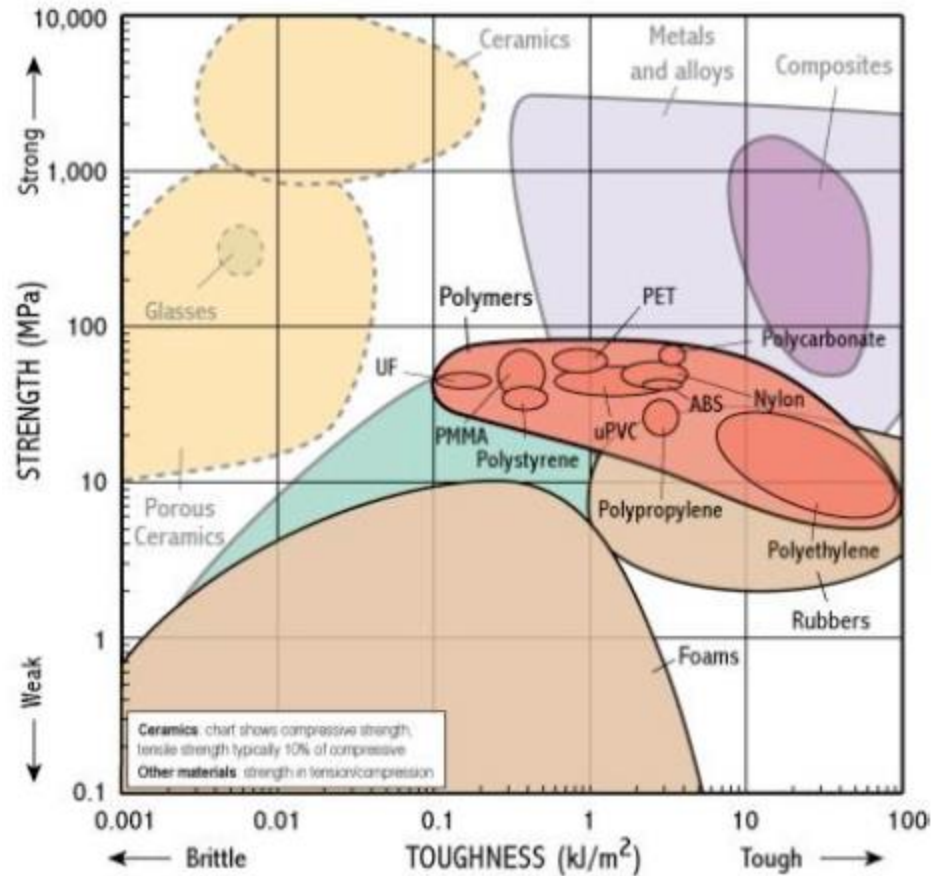
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs tenacità



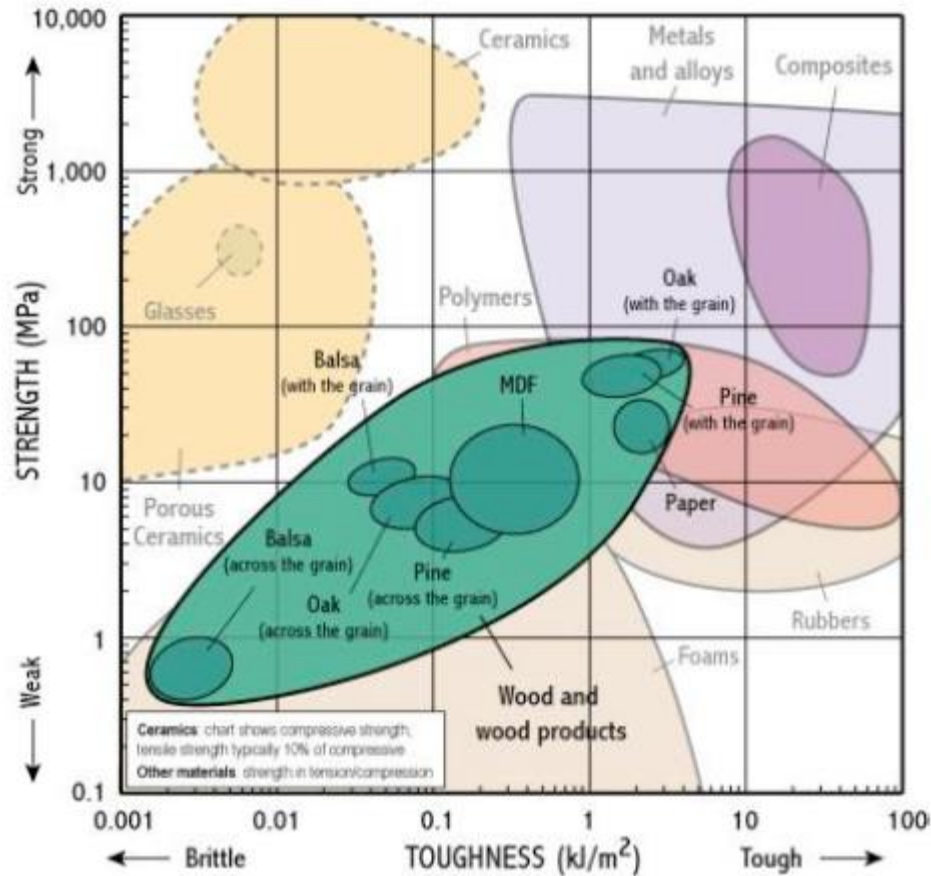
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs tenacità



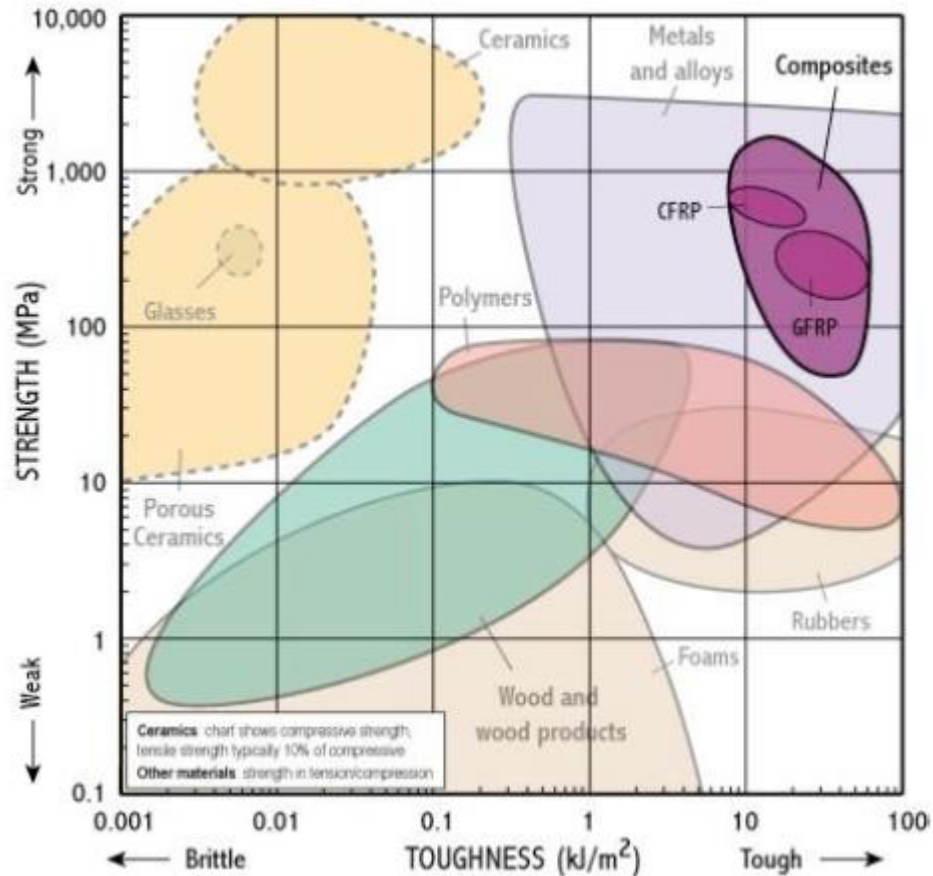
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs tenacità



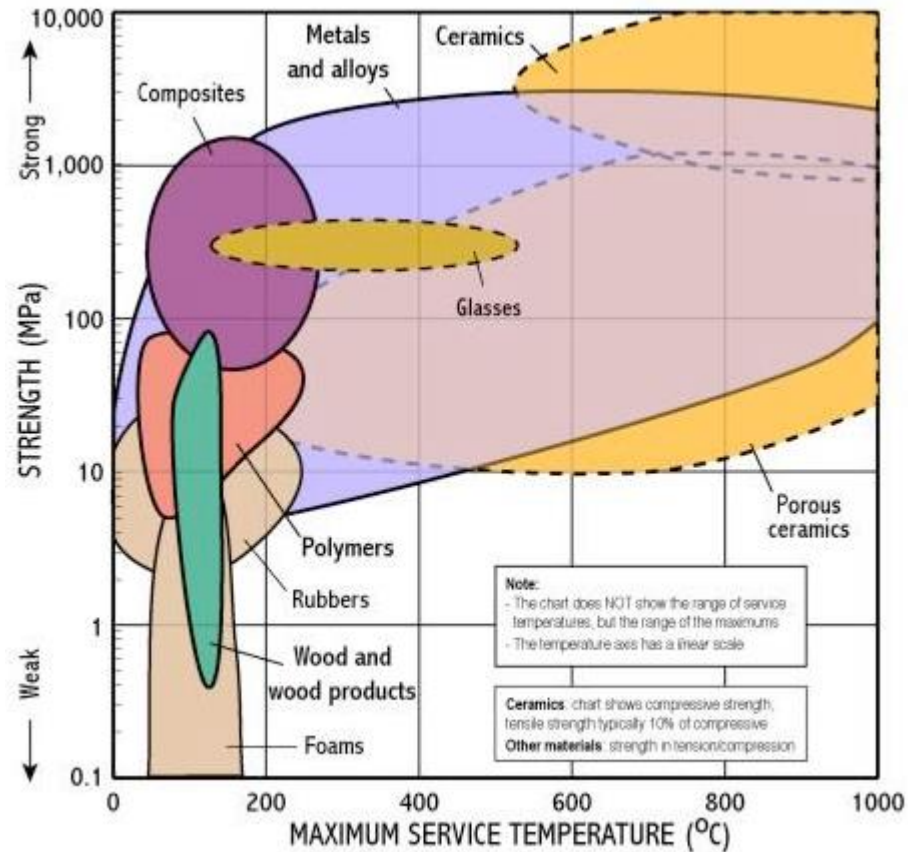
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs tenacità



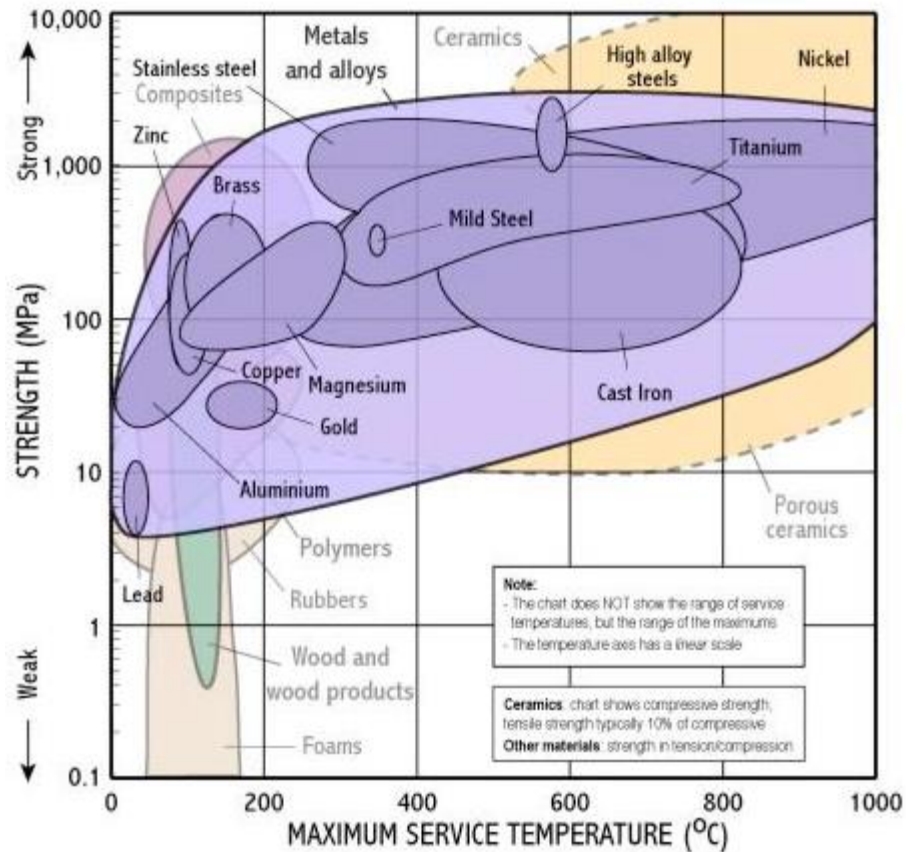
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs max temperatura di esercizio



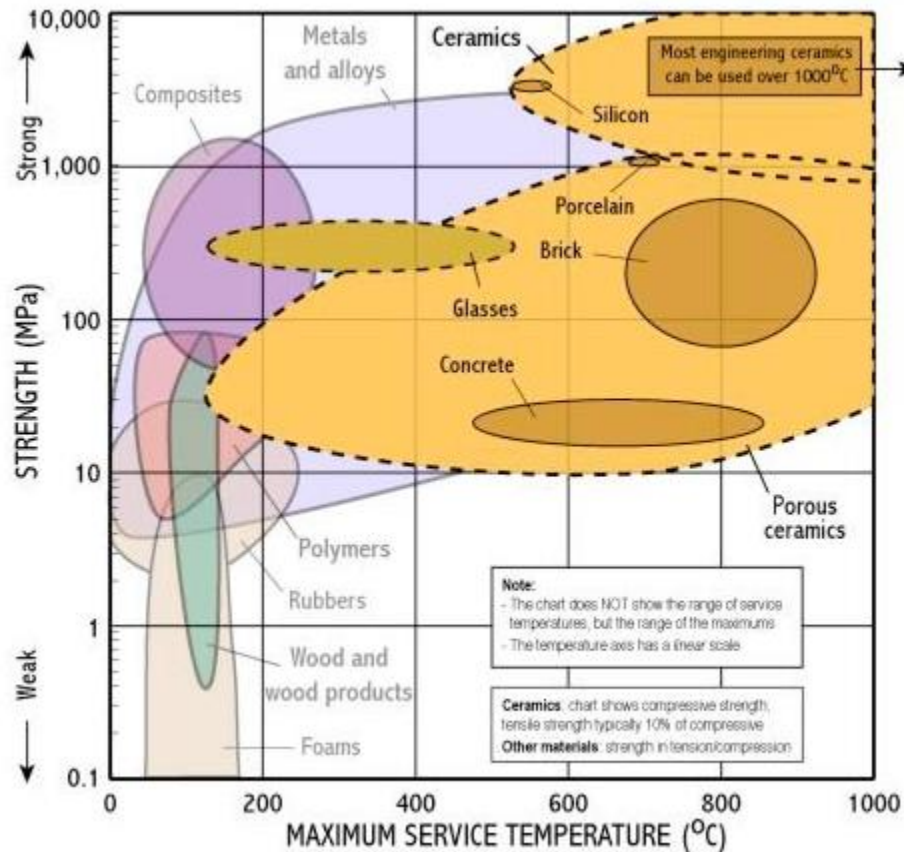
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs max temperatura di esercizio



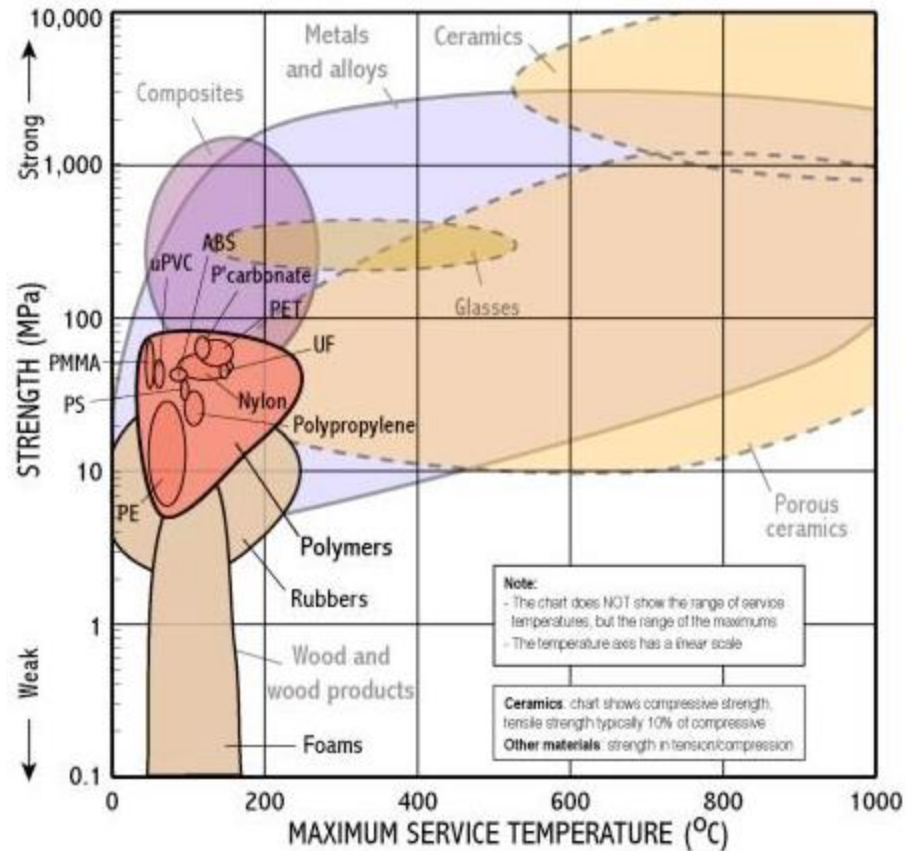
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs max temperatura di esercizio



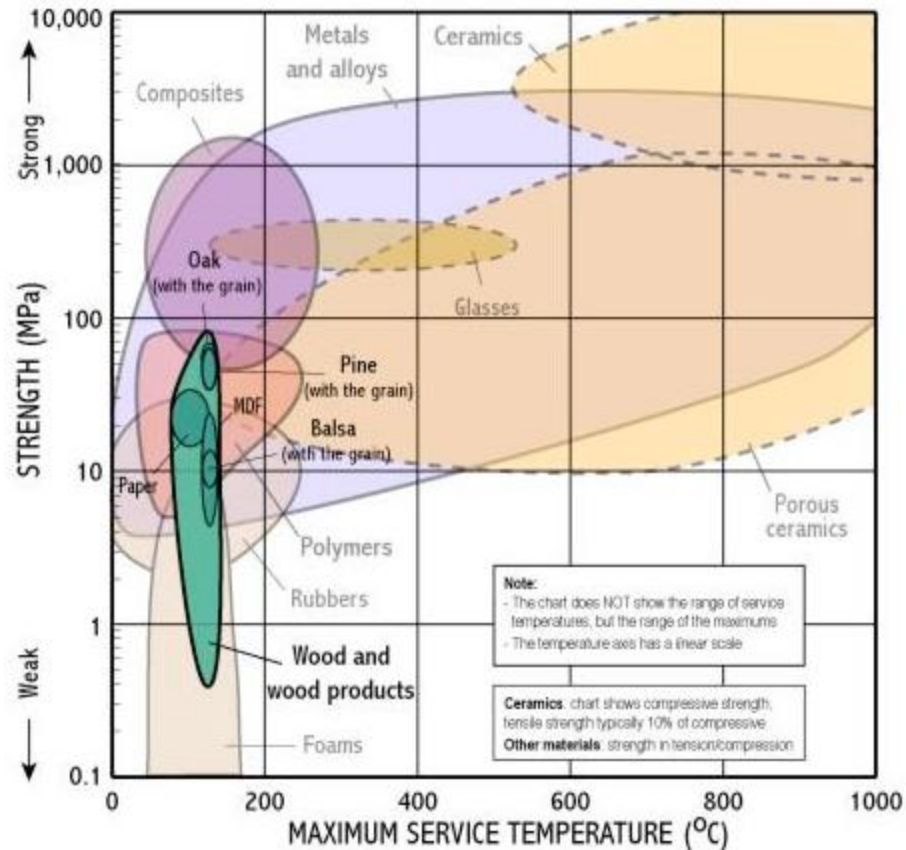
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs max temperatura di esercizio



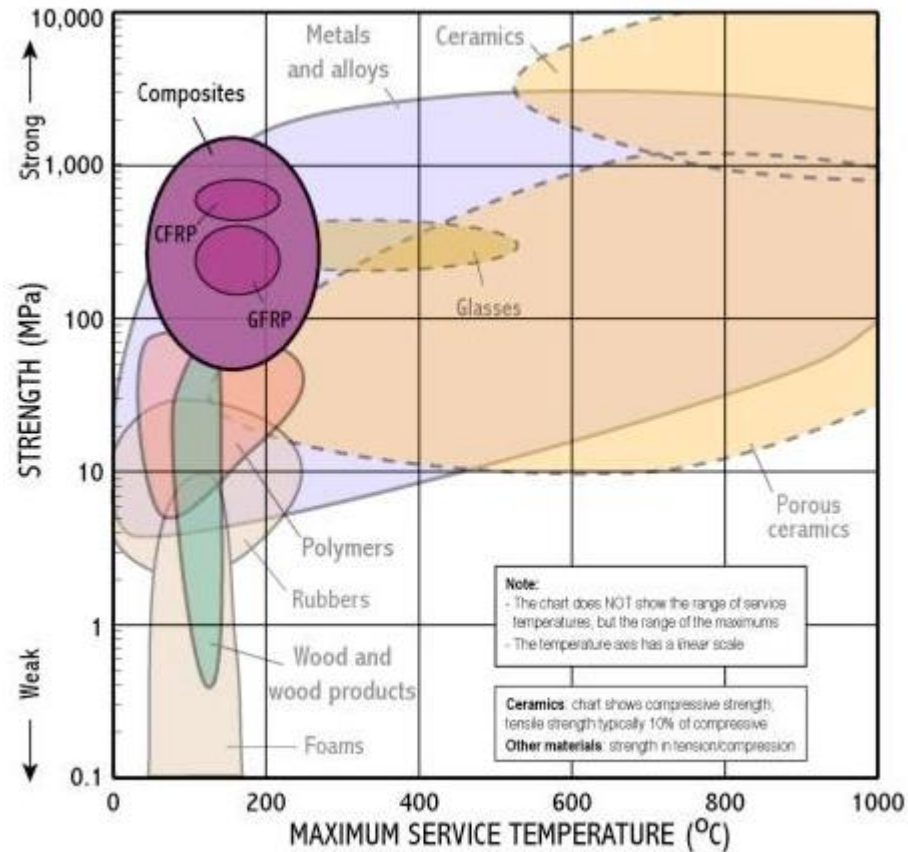
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs max temperatura di esercizio



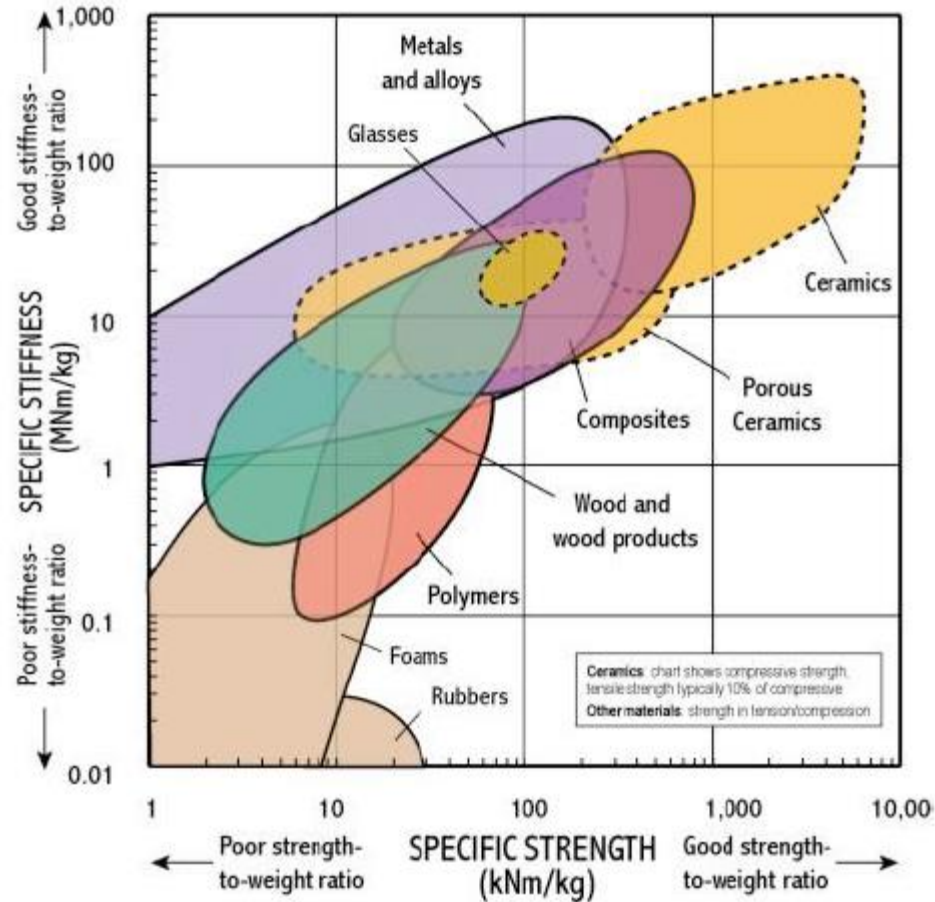
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza vs max temperatura di esercizio



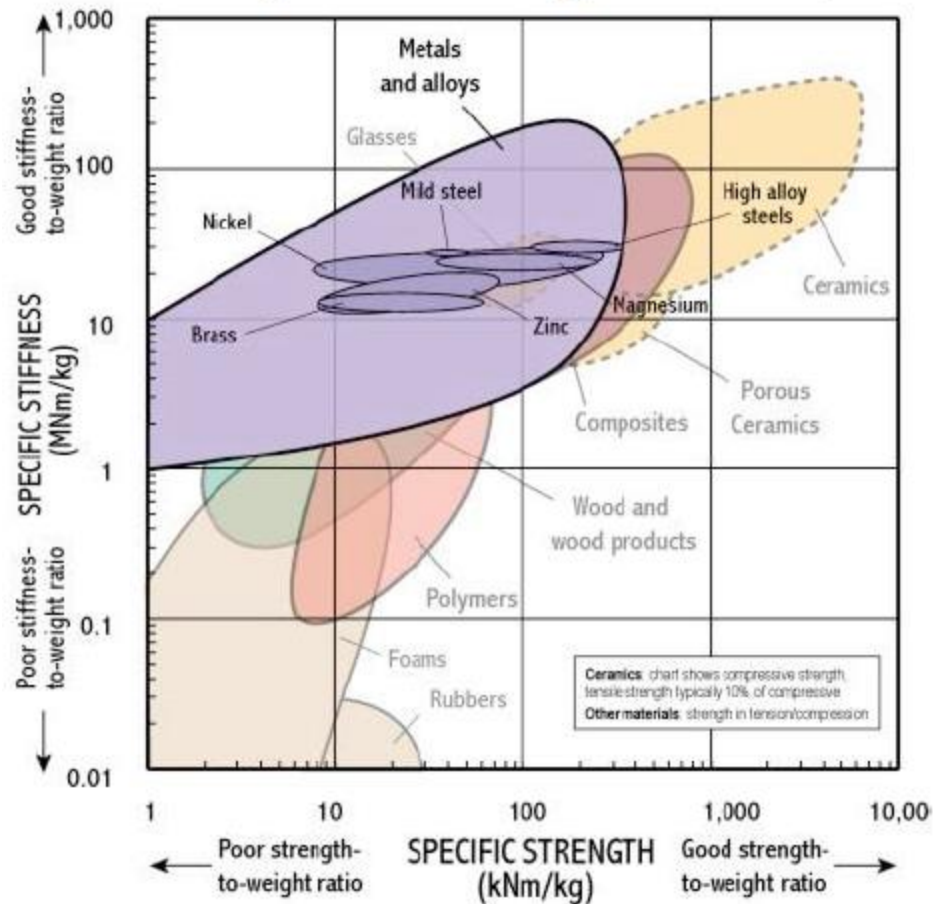
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza specifica vs rigidità specifica



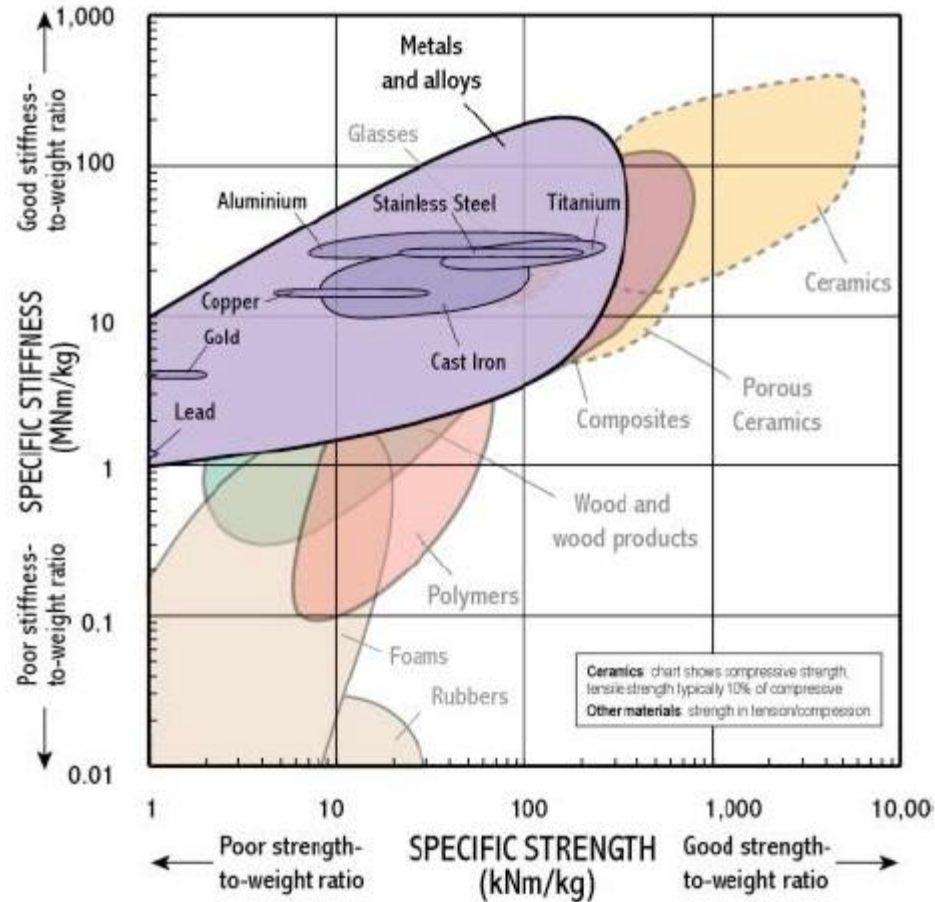
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza specifica vs rigidità specifica



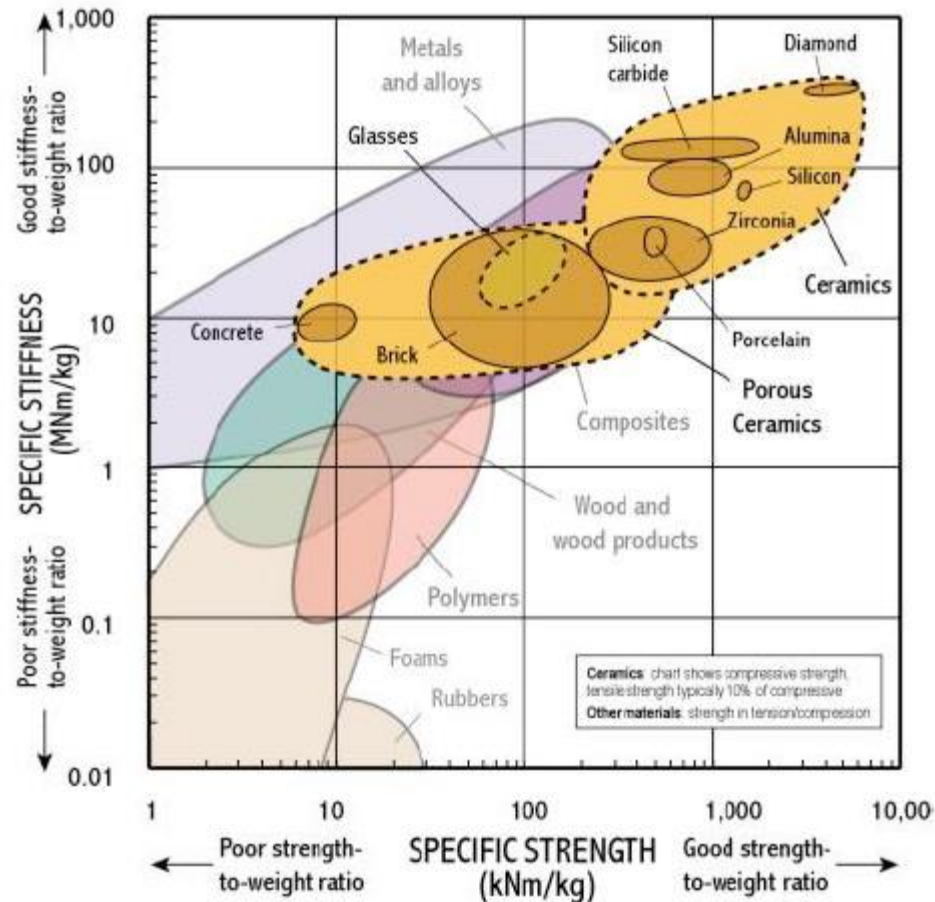
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza specifica vs rigidità specifica



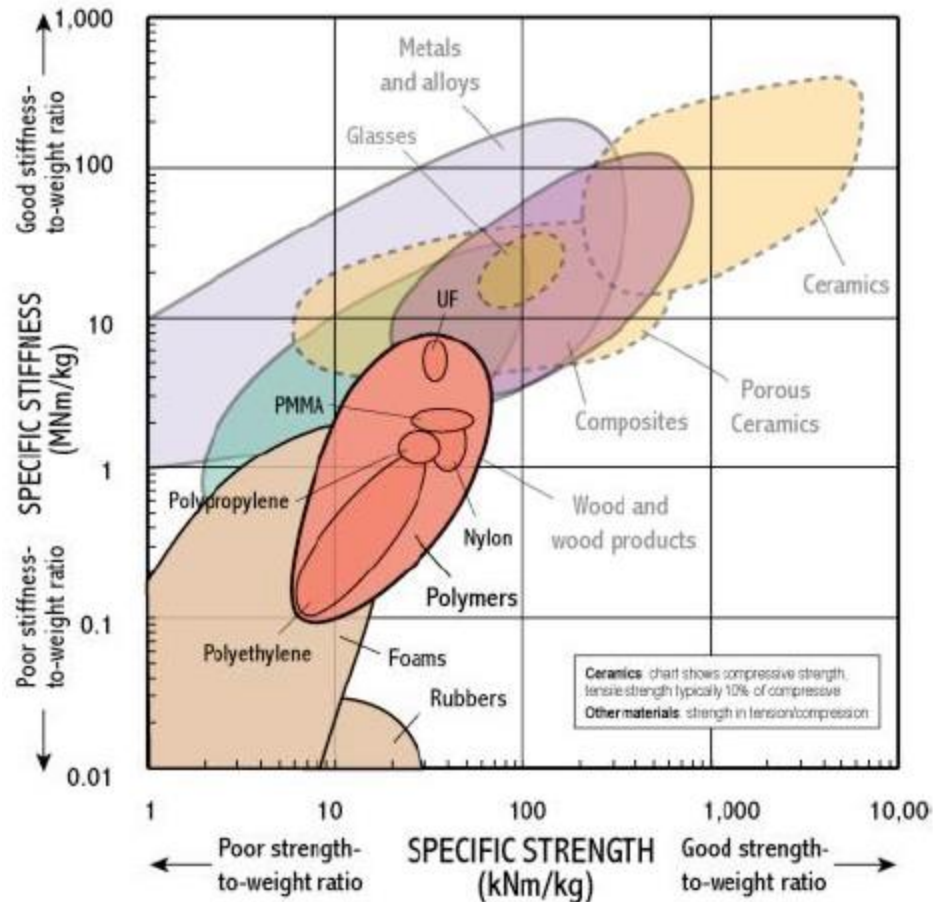
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza specifica vs rigidità specifica



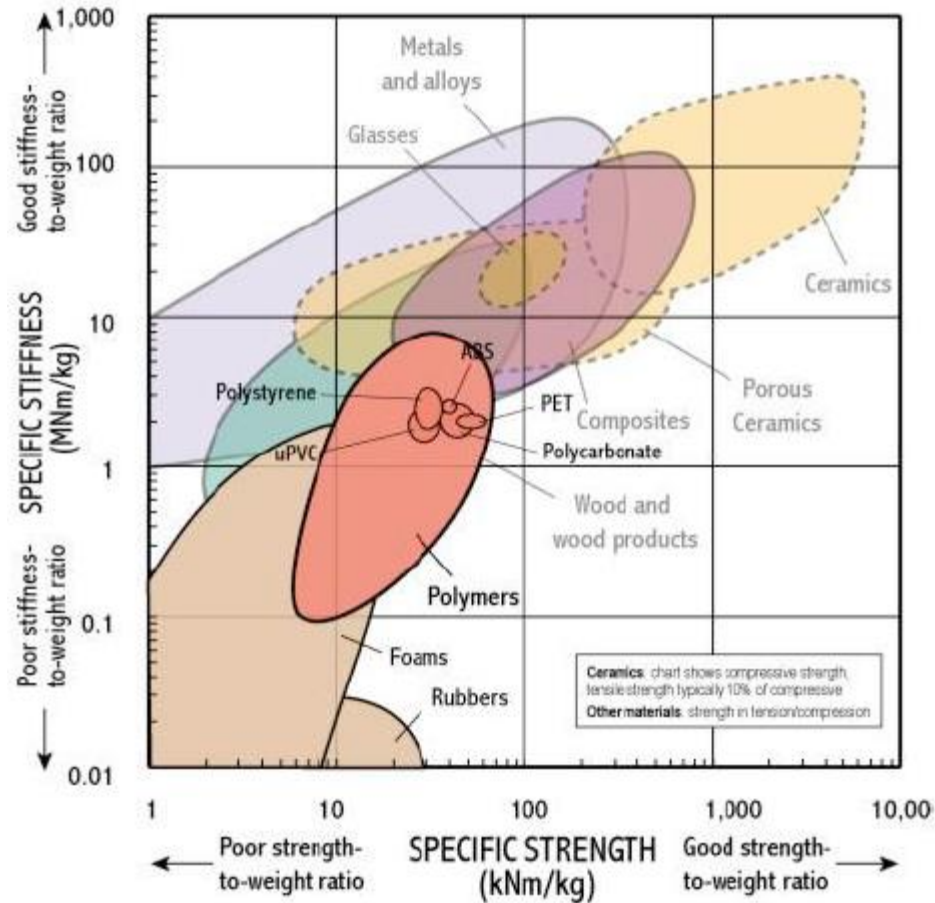
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza specifica vs rigidità specifica



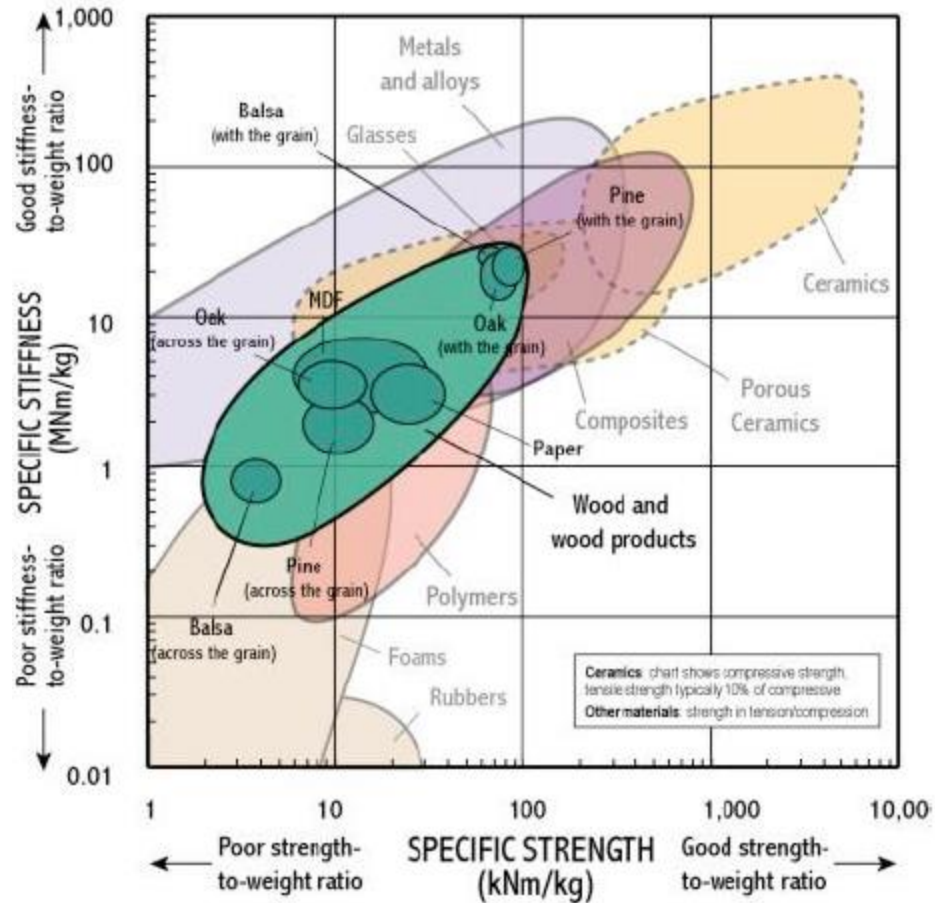
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza specifica vs rigidità specifica



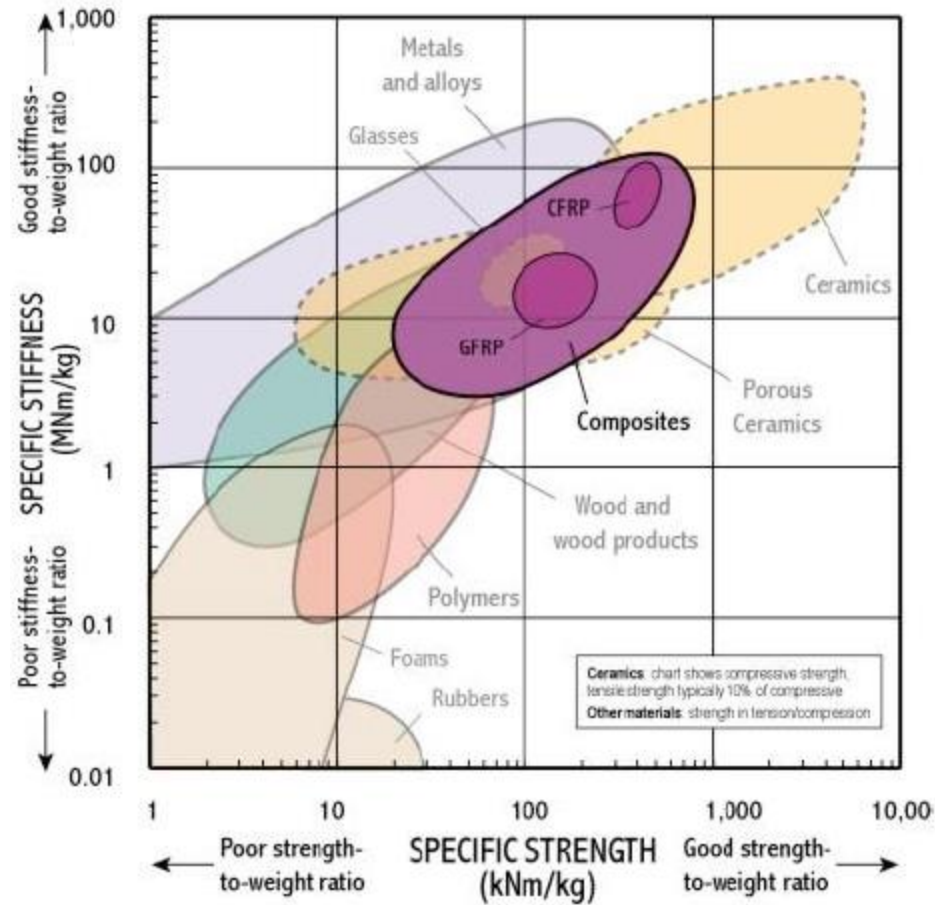
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza specifica vs rigidità specifica



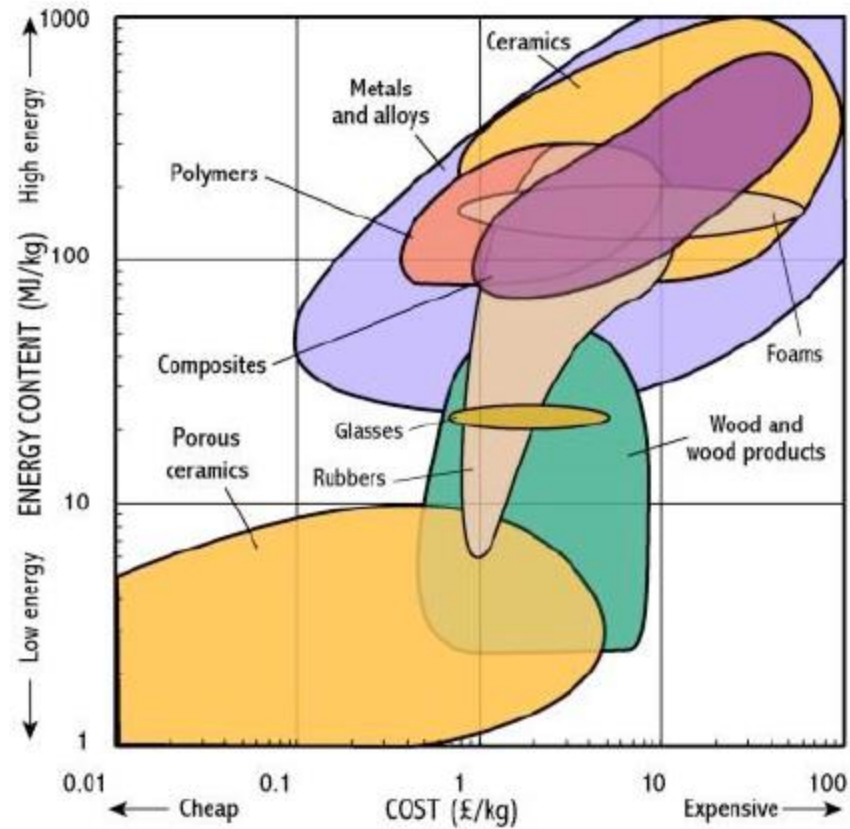
Mappe proprietà dei materiali

Resistenza specifica vs rigidità specifica



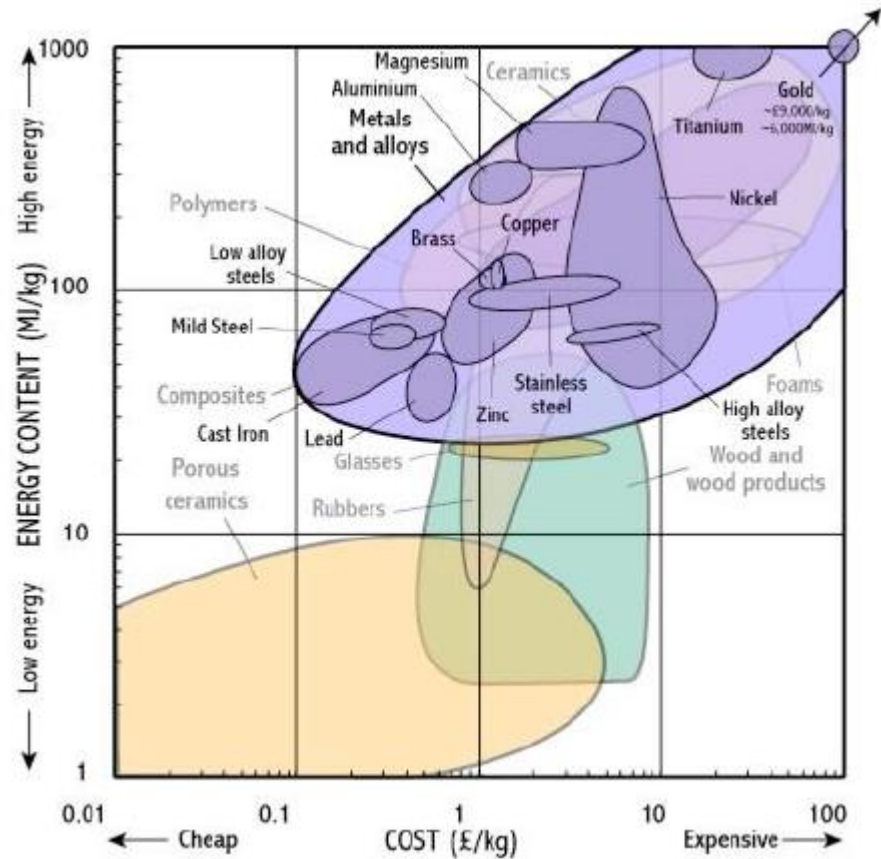
Mappe proprietà dei materiali

Energia di produzione vs costo del materiale



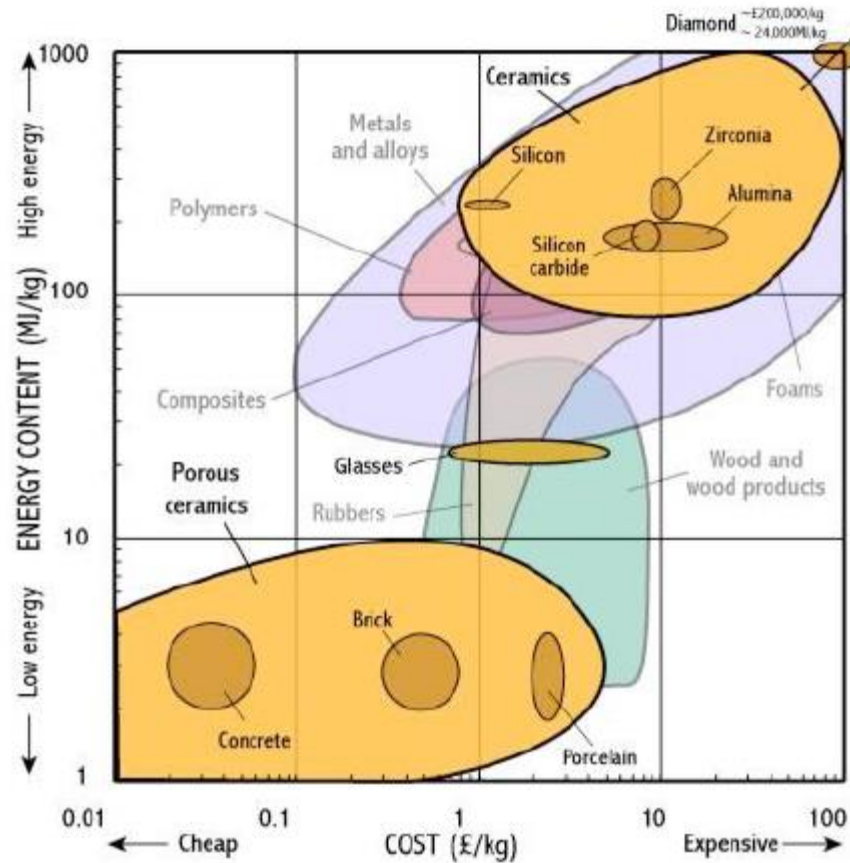
Mappe proprietà dei materiali

Energia di produzione vs costo del materiale



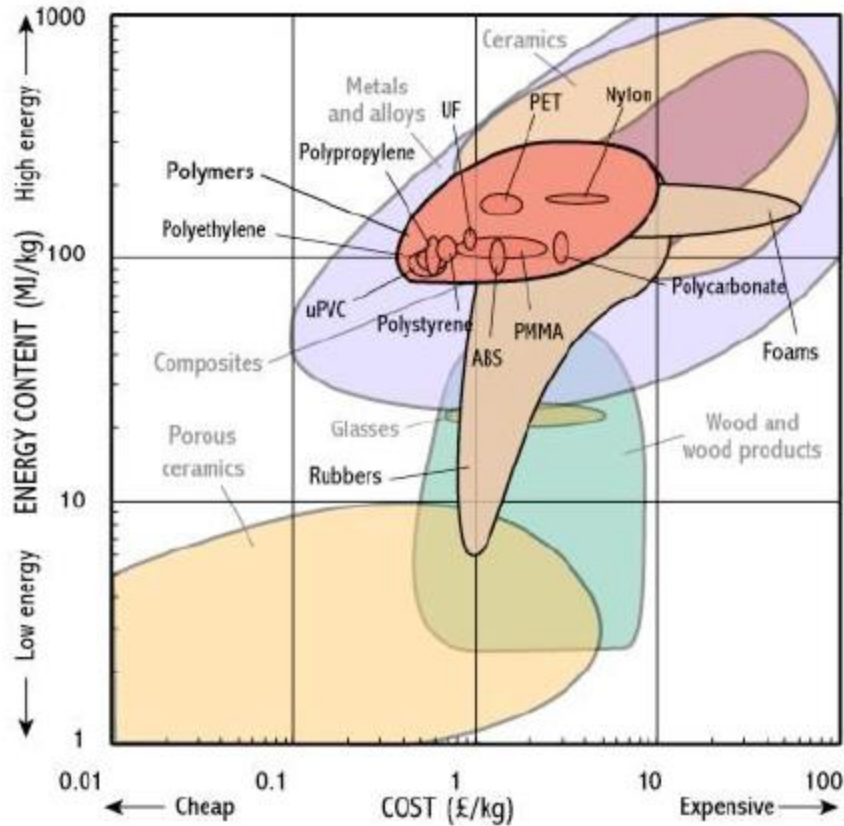
Mappe proprietà dei materiali

Energia di produzione vs costo del materiale



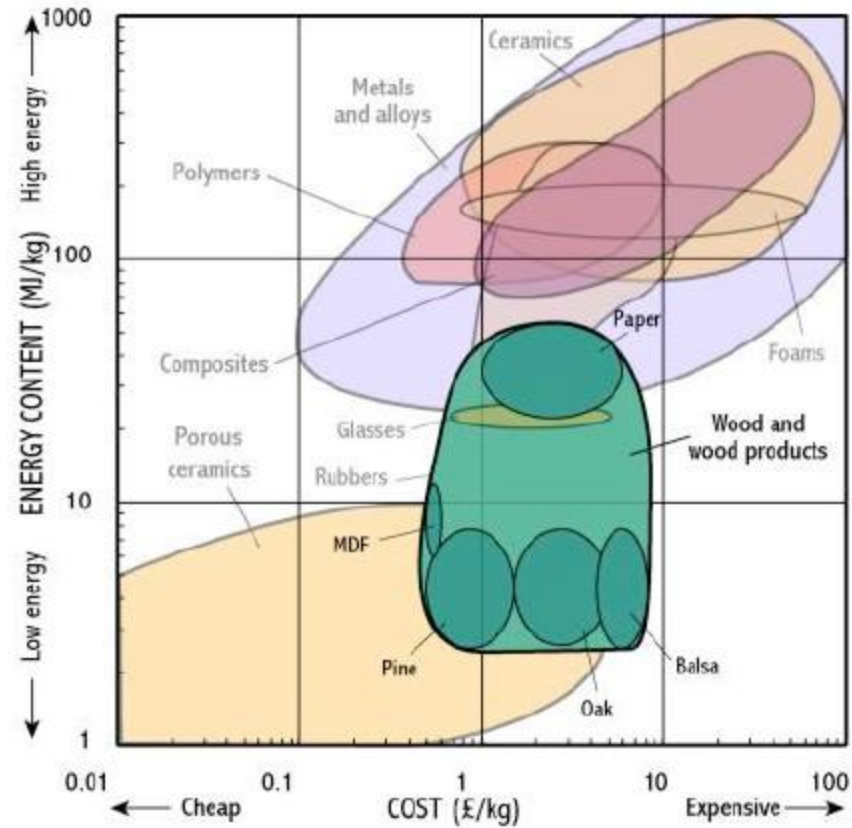
Mappe proprietà dei materiali

Energia di produzione vs costo del materiale



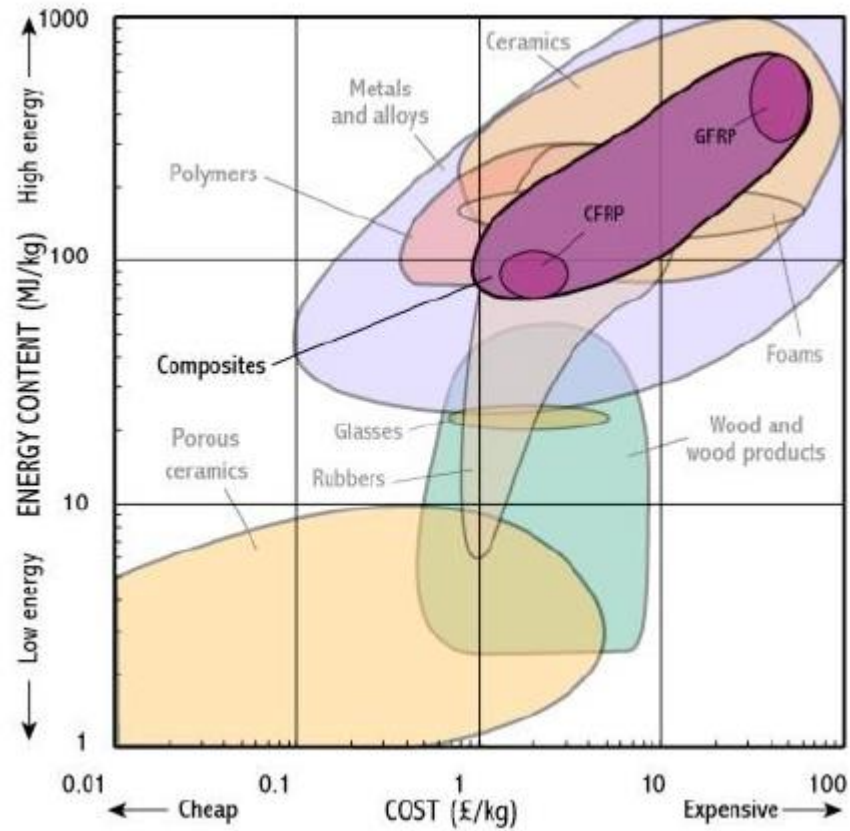
Mappe proprietà dei materiali

Energia di produzione vs costo del materiale



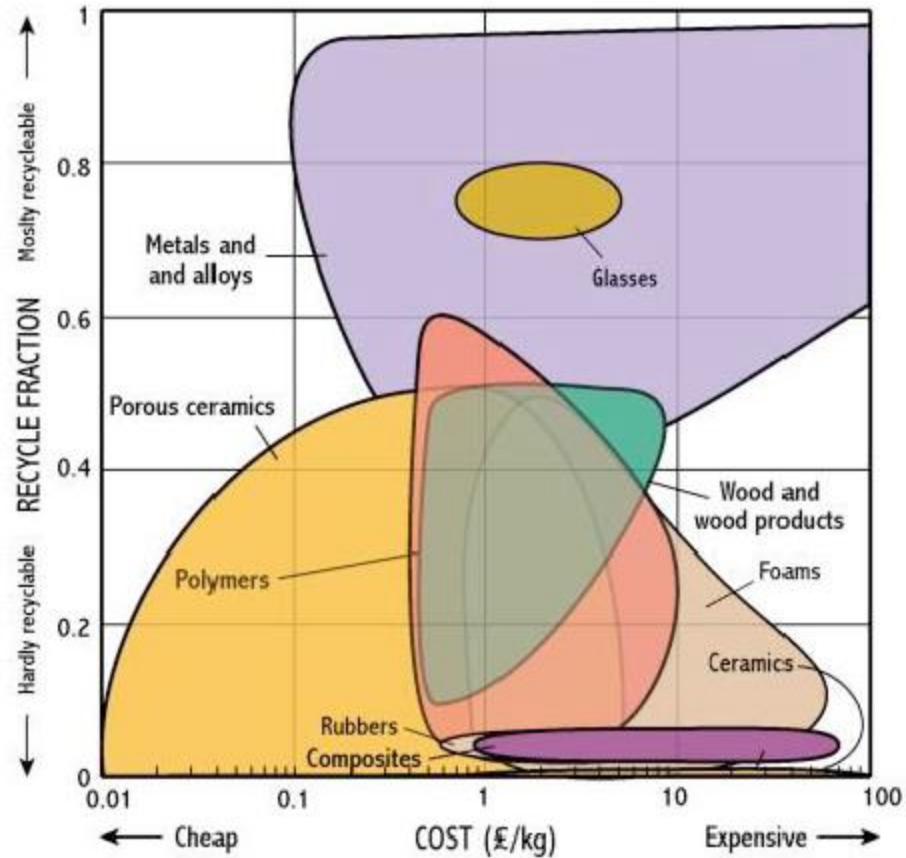
Mappe proprietà dei materiali

Energia di produzione vs costo del materiale



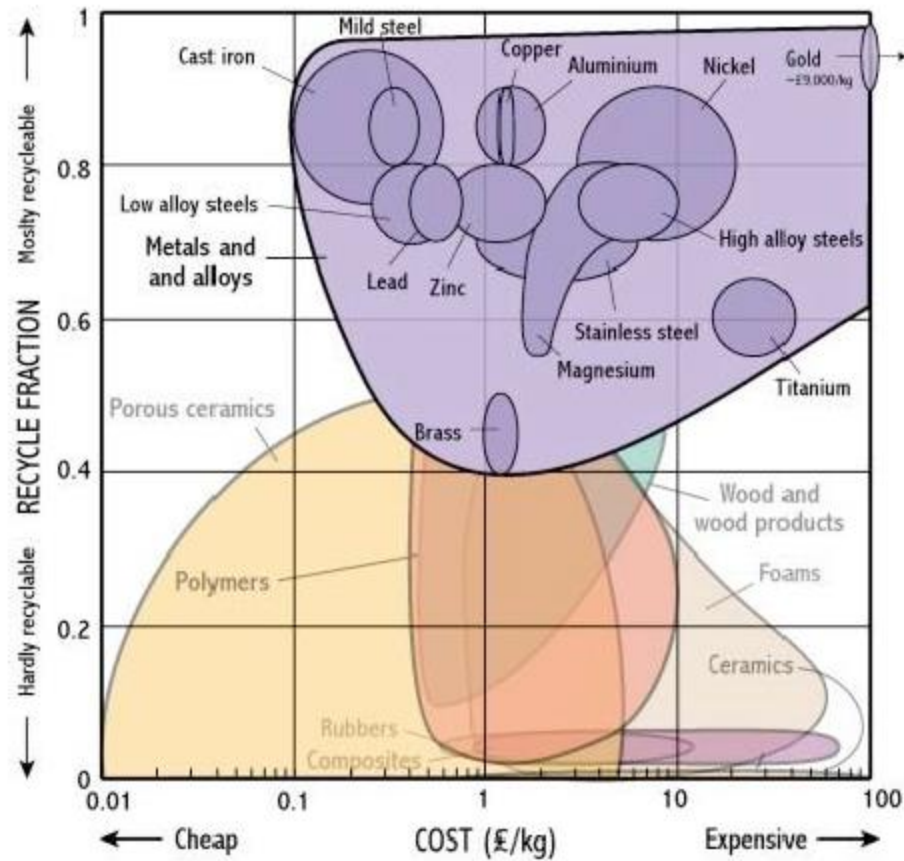
Mappe proprietà dei materiali

Costo di riciclaggio vs costo del materiale



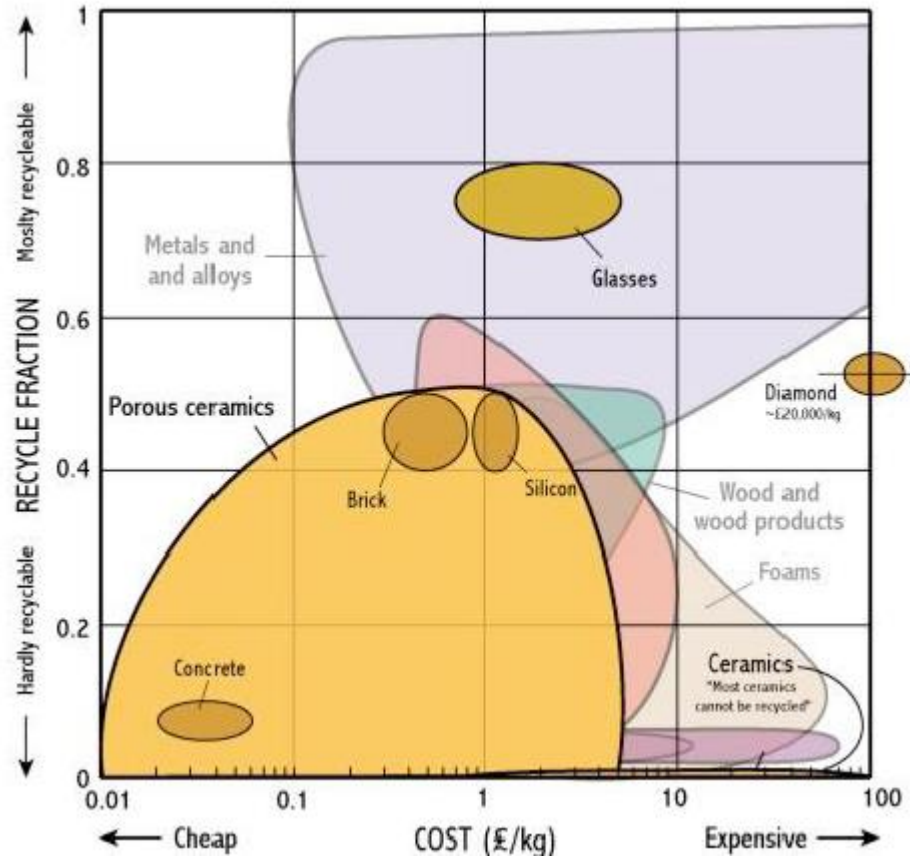
Mappe proprietà dei materiali

Facilità di riciclaggio vs costo del materiale



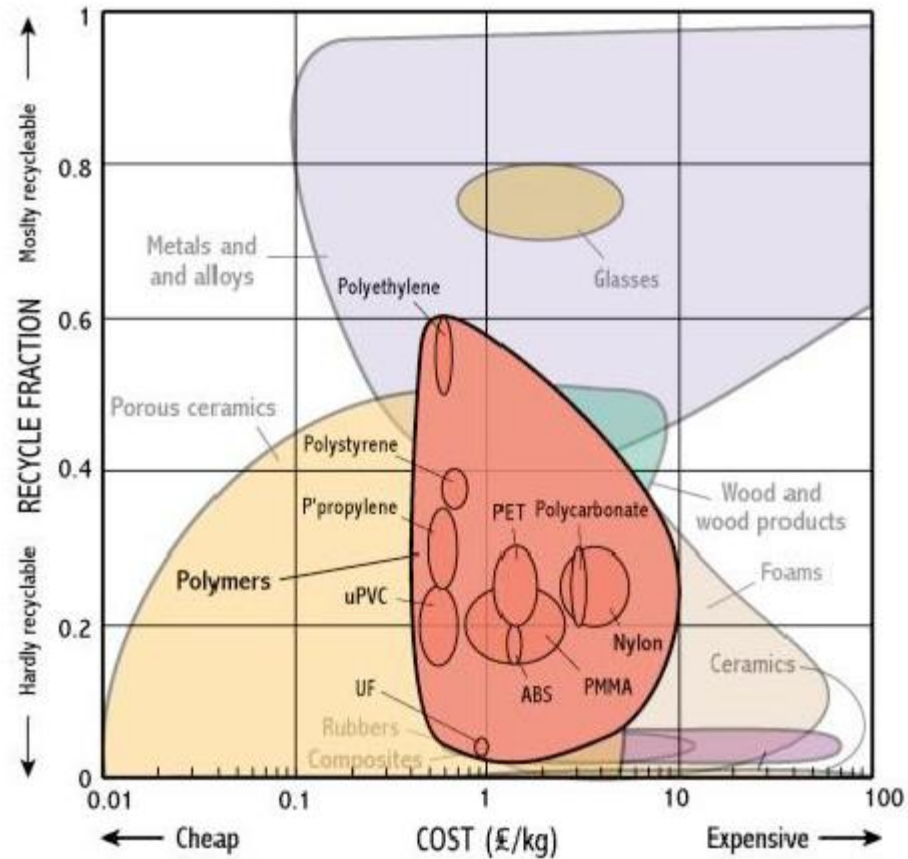
Mappe proprietà dei materiali

Facilità di riciclaggio vs costo del materiale



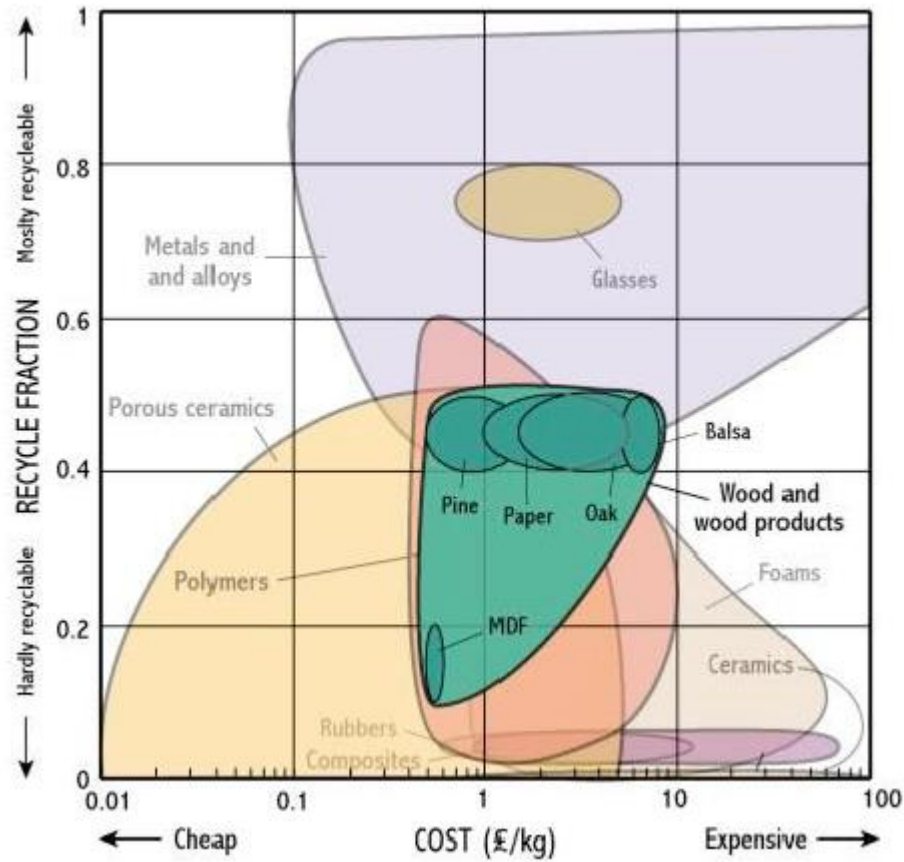
Mappe proprietà dei materiali

Facilità di riciclaggio vs costo del materiale



Mappe proprietà dei materiali

Facilità di riciclaggio vs costo del materiale



Mappe proprietà dei materiali

Facilità di riciclaggio vs costo del materiale

