

LEZIONI DI TECNOLOGIA CERAMICA

ITS NATTA Direttore Prof. I. Amboni
Via Europa, 15 - Bergamo
Tel. 035/798106

Dott. Giuseppe Pagliara
g.pagliara@pagliara.it

19. COMPOSITI

a matrice o a rinforzo ceramico



Pagliara
prodotti chimici spa



PAGLIARA PRODOTTI CHIMICI SPA

Via Don Comotti, 7 - 24050 LURANO (BG) ITALIA

Tel. +39 035 800050 r.a. - Fax. +39 035 800288-800133

Capitale Sociale Deliberato € 2.000.000,00 Versato € 1.600.000,00

C.F. P.IVA IT 01245920168 REA Bg N.185771 Registro Imprese Bg01245920168

www.pagliara.it - pagliara@pagliara.it - pagliaraprodottichimici@registerpec.it

COMPOSITI

I COMPOSITI sono materiali plurifasici costituiti da una matrice continua e da un rinforzo fibroso o particellare o una combinazione di entrambi i tipi.

A seconda della natura della matrice si distinguono:

PMC = Polymer-Matrix Compositi

MMC = Metallic-Matrix Compositi

CMC = Ceramic-Matrix Compositi

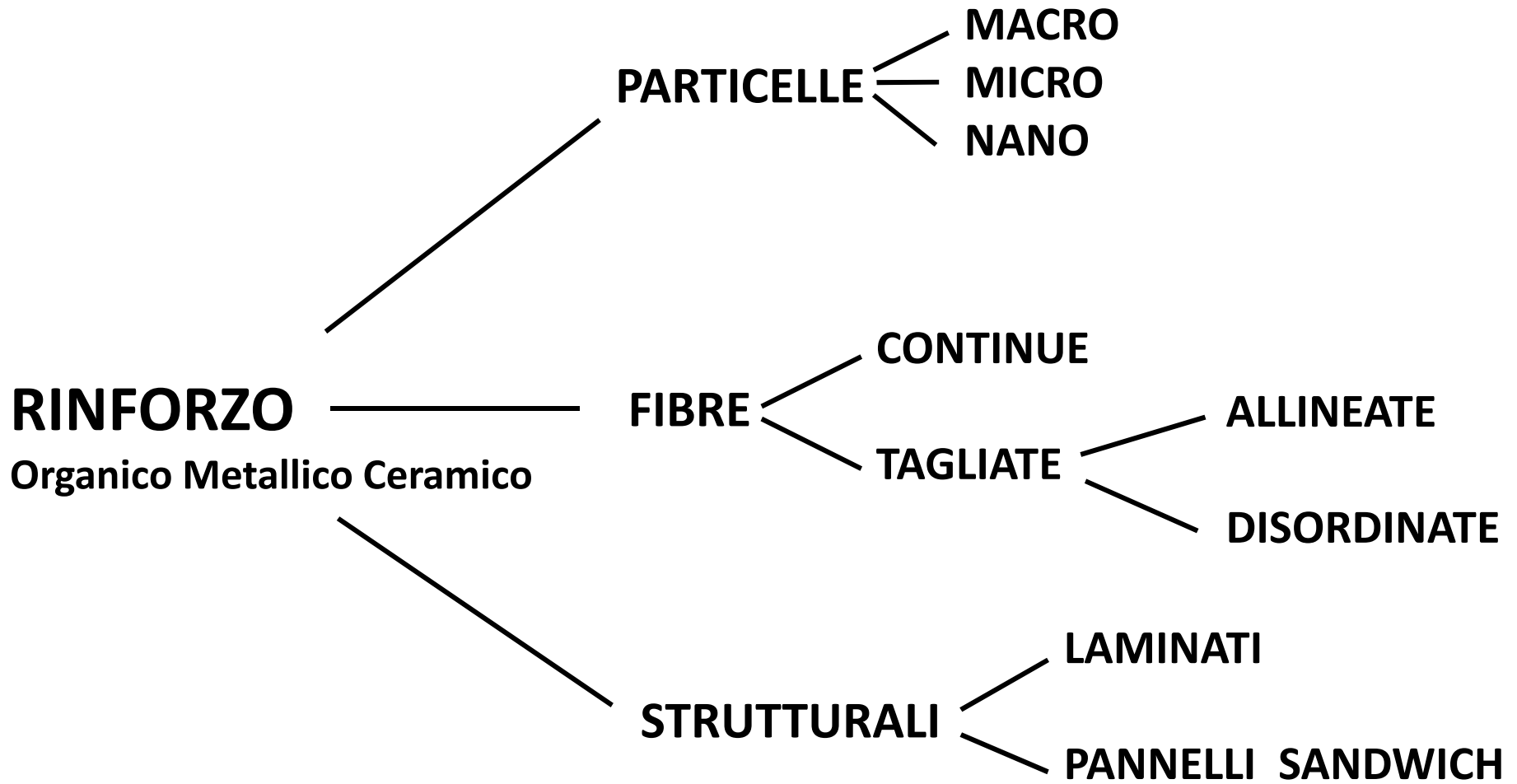
Il relativo rinforzo può essere organico, metallico o ceramico in forma particellare o fibrosa.

È evidente che in questa sede sono di nostro interesse i compositi a matrice o a rinforzo ceramico (particellare, fibroso o combinati)

MATRICE	Temperatura massima di esercizio	RINFORZO
Polimerica	< 250°C	Organico e inorganico
Metallica	< 1000°C	Inorganico
Ceramica	> 1000°C	Inorganico

COMPITI DELLA MATRICE

- **Tenere distanziate le fibre**
- **Trasferire il carico alle fibre**
- **Proteggere le fibre dagli agenti chimici e atmosferici**
- **Proteggere le fibre da danneggiamenti meccanici**
- **Ritardare la propagazione delle fratture**
- **È responsabile delle propagazioni a taglio e a compressione in direzione ortogonale rispetto alle fibre.**



RINFORZO

Particellare – Il rinforzo particellare è costituito da polvere o granuli di un materiale con caratteristiche completamente diverse da quella della matrice per es. estremamente dure e resistenti all'usura o al contrario elastomeriche e gommose. In tal modo il composito si ritroverà ad avere le caratteristiche della matrice completamente modificate.

Fibroso – Nei compositi PMC le fibre più usate sono quelle di vetro. Migliori prestazioni forniscono quelle di carbonio. È possibile utilizzare anche fibre organiche per es. di Kevlar o Nomex e fibre metalliche. Nei compositi MMC e CMC prodotti per sinterizzazione ad alta temperatura della matrice, non si possono utilizzare rinforzi organici ma solo inorganici cioè metallici o ceramici, vetro e carbonio compreso.

Strutturale – Mat e tessuti di vetro o di carbonio, diversamente orientati per l'ottenimento di laminati o pannelli Sandwich per l'uso in campo navale, aerospaziale, aeronautico e sportivo quando la leggerezza è fondamentale per strutture sollecitate essenzialmente a flessione.

COMPITI DEL RINFORZO

FIBROSO E STRUTTURALE

Sopportare i carichi o comunque accrescere le prestazioni resistenziali.

PARTICELLARE

Aumentare le prestazioni o fornire particolari funzionalità (antifiamma, tribologia, duttilità, resilienza, colore)

RINFORZI PARTICELLARI

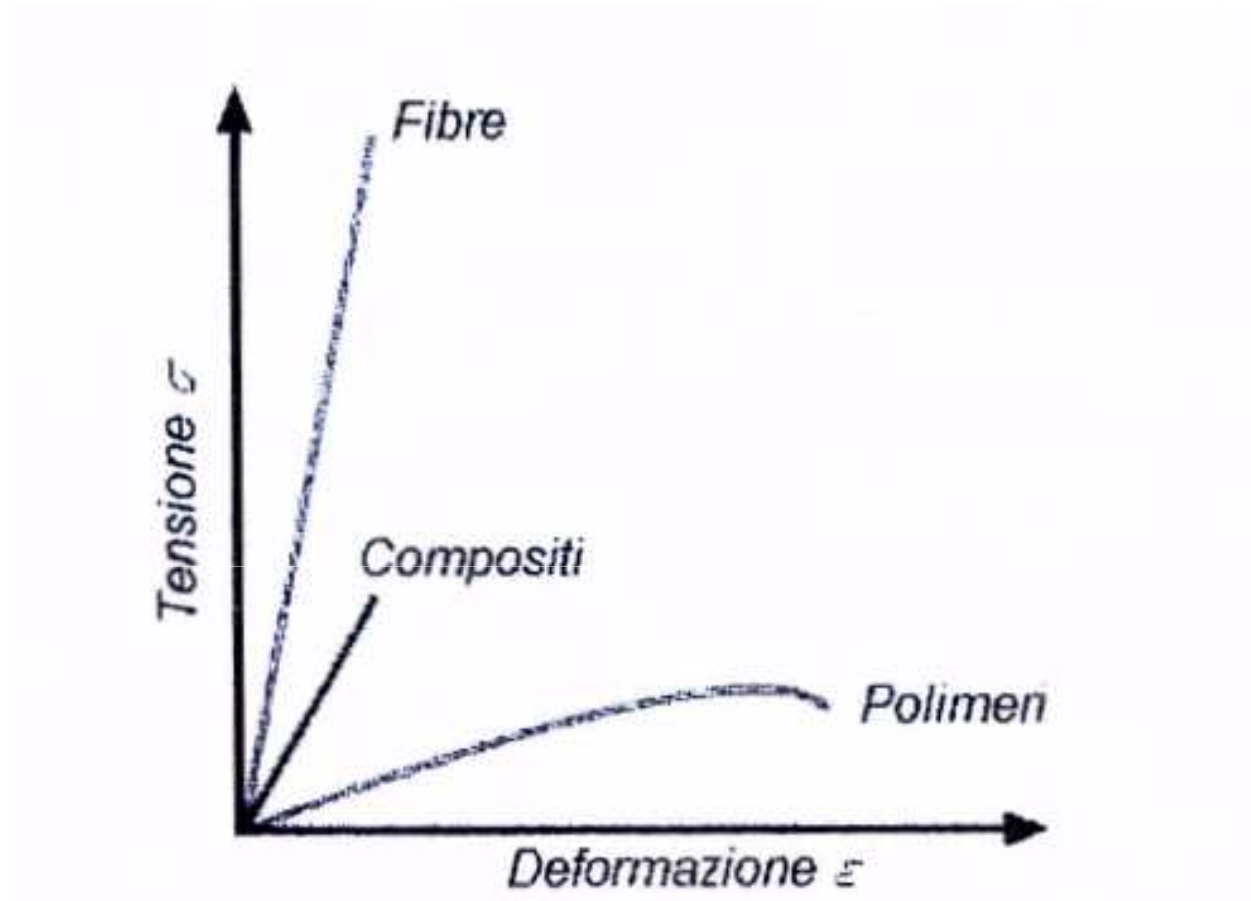
**PARTICELLE
MACRO** = Calcestruzzo, sistemi PUR o EPOX di riempimento.

**PARTICELLE
MICRO** = Compositi PMC caricati, CERMET WC - Co (WIDIA), Pneumatici di gomma rinforzata con 15-30% di nerofumo.

**PARTICELLE
NANO** = Compositi più performanti e con nuove caratteristiche funzionali (elettriche, termiche, ottiche e meccaniche).

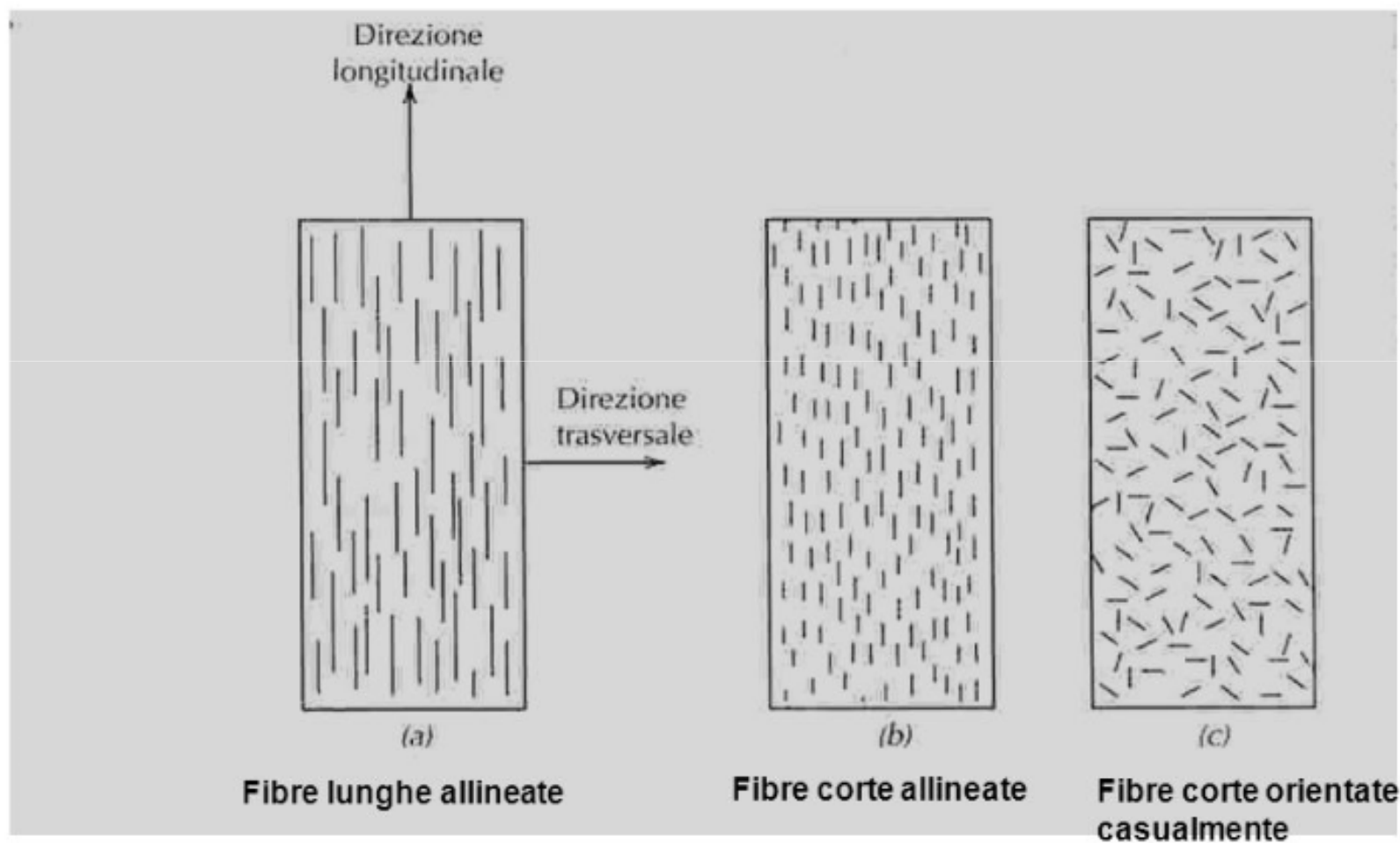
TIPI DI COMPOSITI

MATRICE \ RINFORZO	METALLICA	CERAMICA	POLIMERICA
METALLICO	Metalli immiscibili uno sinterizzato e l'altro infiltrato	Fibra metallica in ceramica sinterizzata o sinterizzazione contemporanea di polvere ceramica + metallica	NO
CERAMICO	Particelle ceramiche (WC, SiC) Presinterizzate e poi infiltrate dal metallo (Co, Si) CERMET	Fibre ceramiche (SiC) in matrice ceramica di allumina per utensili e dischi freni	Fibre di vetro o carbonio in resina poliesteri
POLIMERICO	NO	NO	Fibre di Kevlar in matrice Epox o PUR
SINGOLO ELEMENTO (BORO, CARBONIO)	Fibre di Metalli (W) rivestiti di B. Metallurgia delle polveri metalliche con rinforzo di fibre di B o C	Ceramica di SiC o C rinforzata da fibre di carbonio (dischi freni CC)	Gomma di pneumatici rinforzata da fibre di C o da grafene

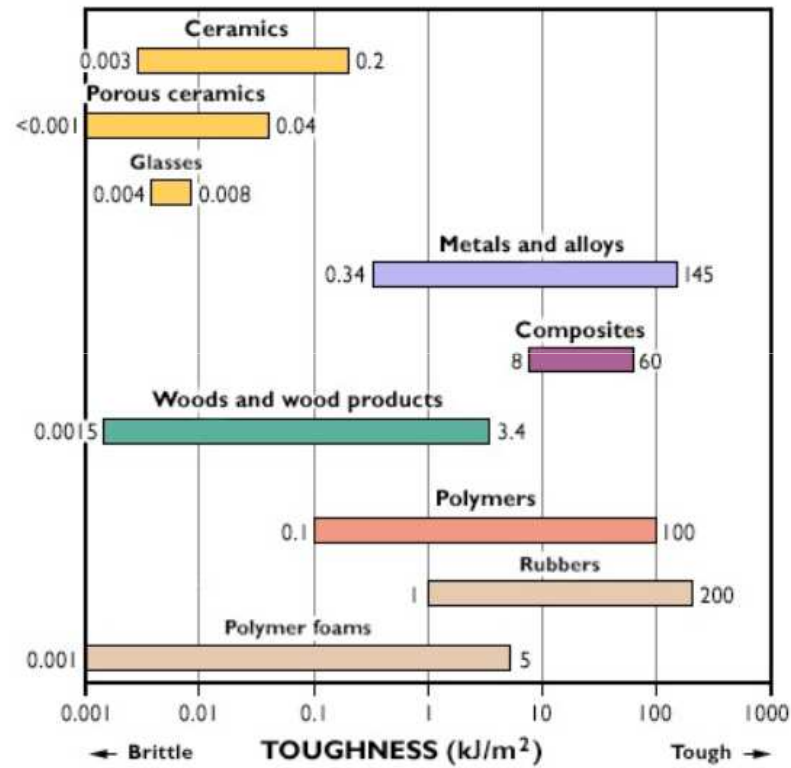


Principio delle azioni combinate per la resistenza meccanica di un materiale composito a matrice polimerica e rinforzo ceramico

Disposizione delle fibre lunghe e delle fibre corte

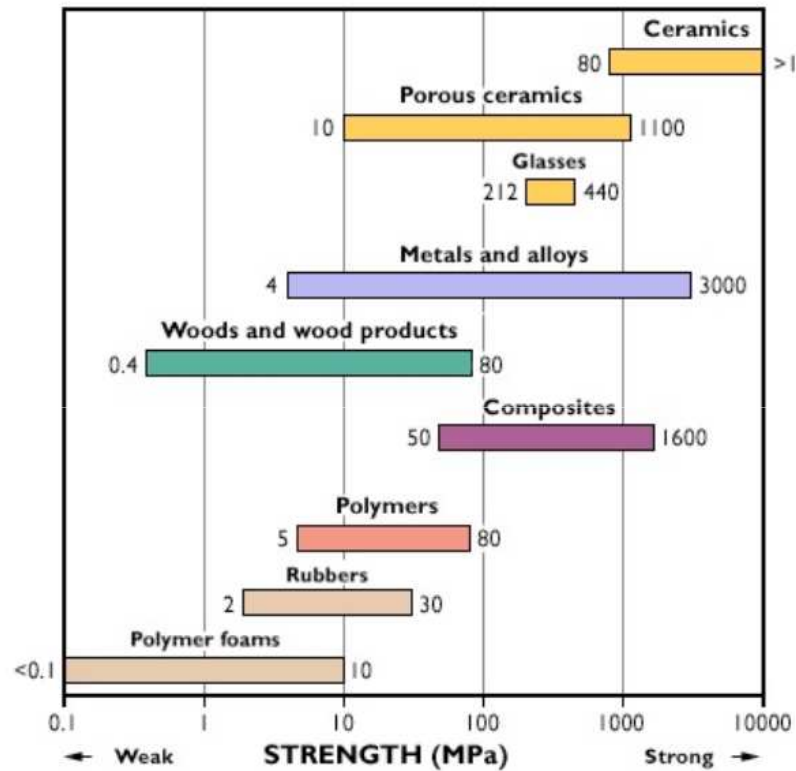


Tenacità a confronto



Antonio Licciulli Scienza e tecnologia dei materiali

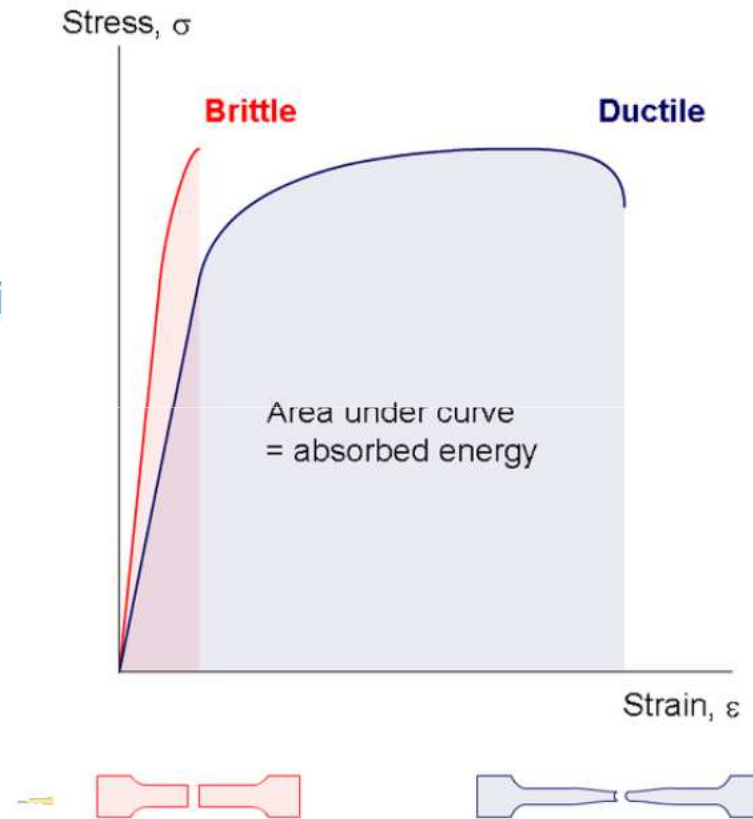
La resistenza meccanica a compressione



Antonio Licciulli Scienza e tecnologia dei materiali

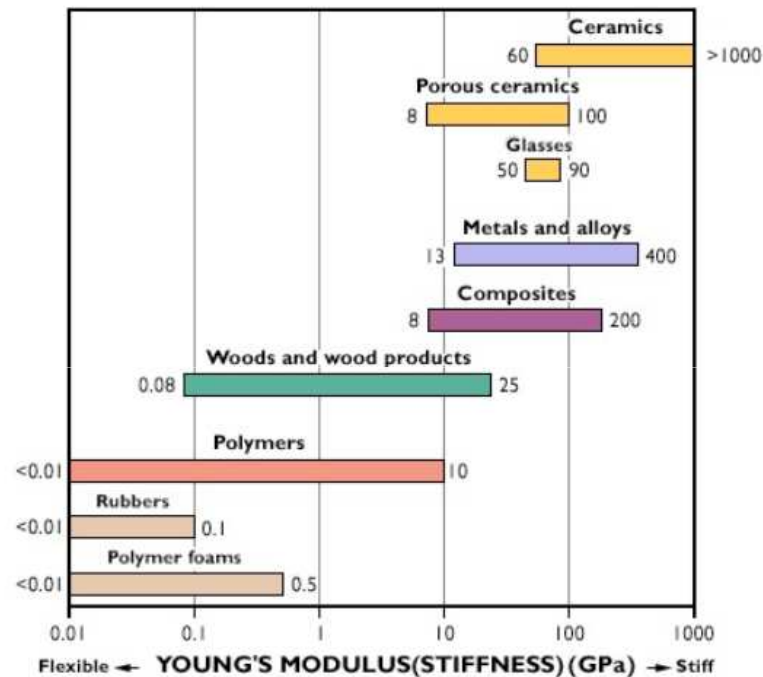
Resilienza o tenacità

- Capacità di un materiale di immagazzinare energia nel campo elasto-plastico prima di arrivare a rottura
- La tenacità è pari all'area sottostante la curva σ/ϵ



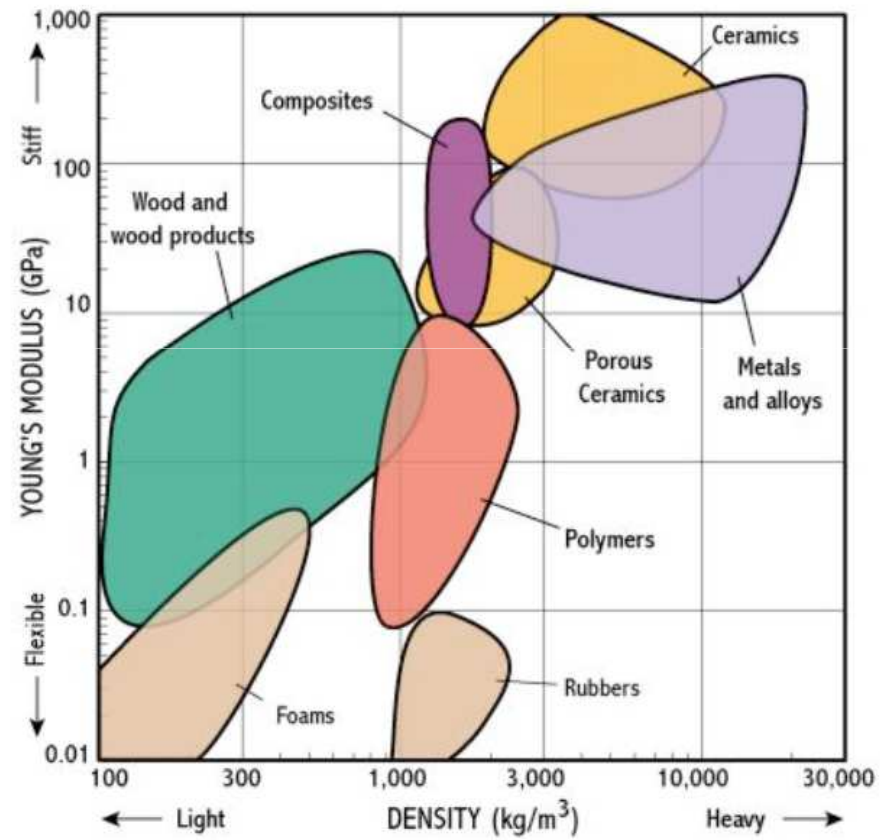
Rappresentazione grafica

- Il **modulo di Young** è dato dalla pendenza della retta nel campo elastico



Antonio Licciulli Scienza e tecnologia dei materiali

La rigidità specifica

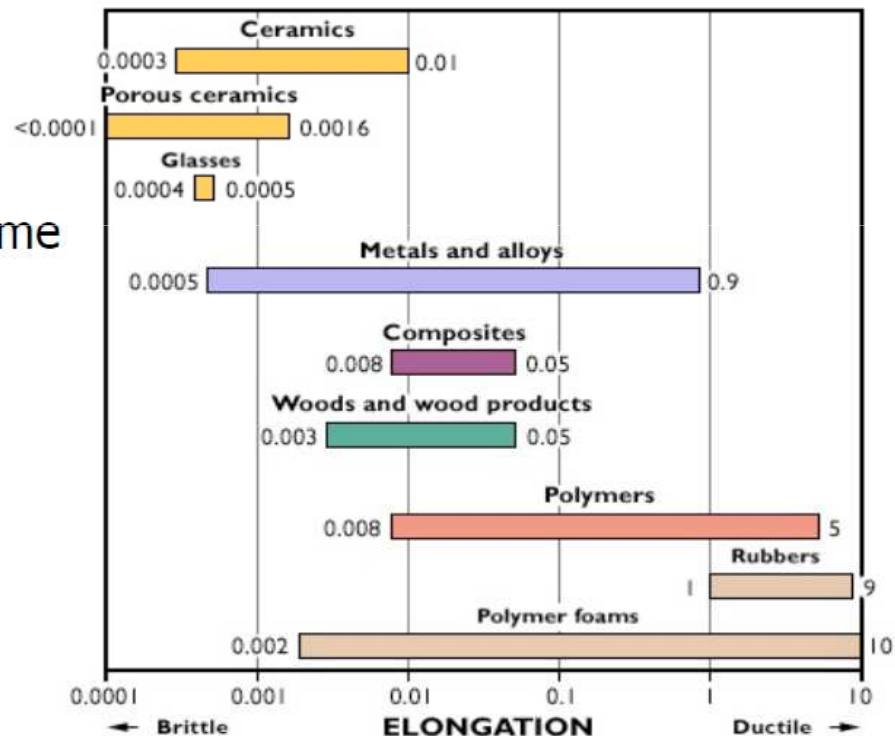


Duttilità e fragilità

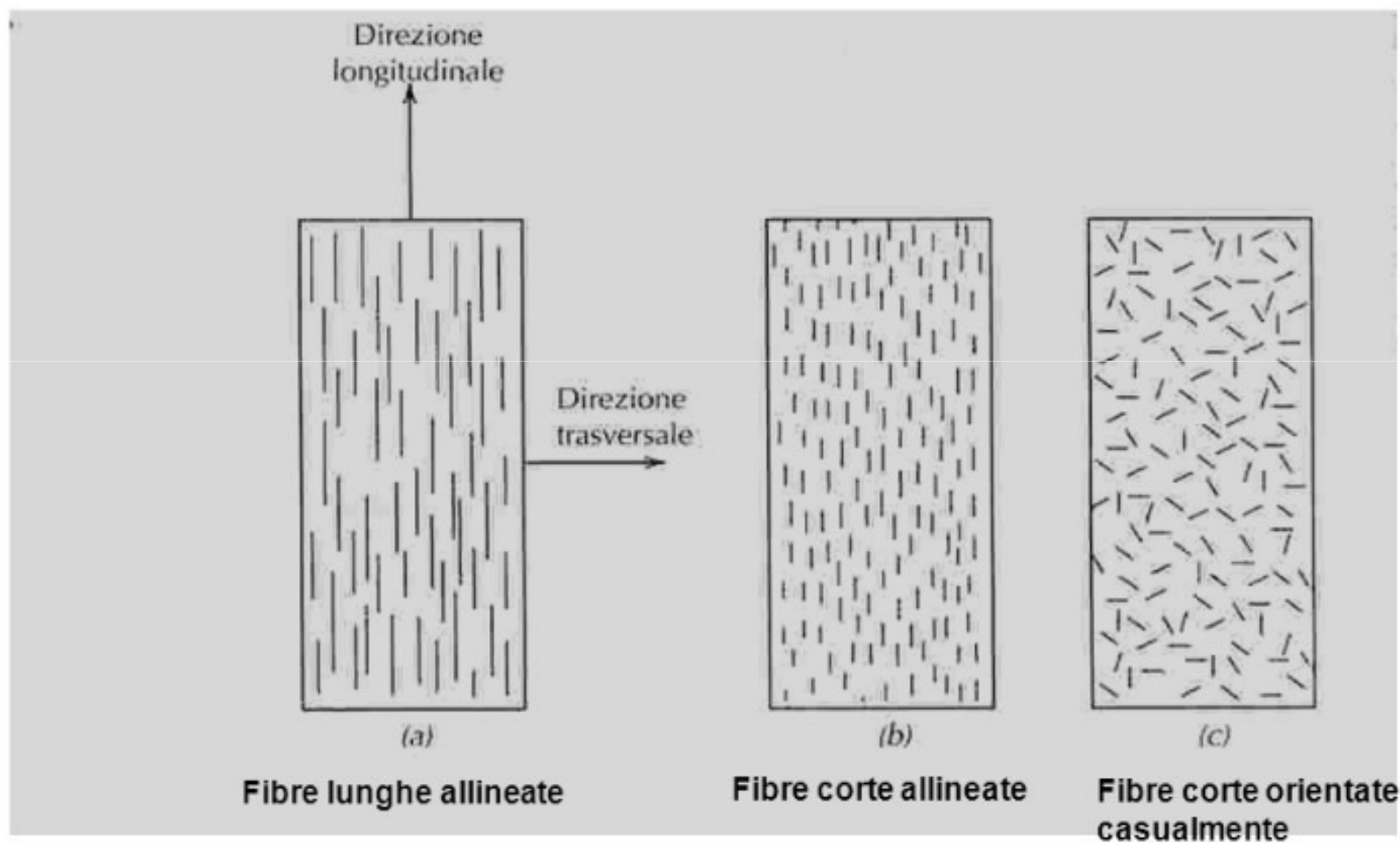
- La duttilità definisce la capacità del materiale di deformarsi (allungamento percentuale) prima della rottura
- La duttilità può anche essere determinata dalla riduzione di sezione (strizione) del provino
- Per la conservazione del volume infatti vale $A \cdot L = \text{cost}$

$$\text{allungamento} = \frac{L - L_0}{L_0} * 100$$

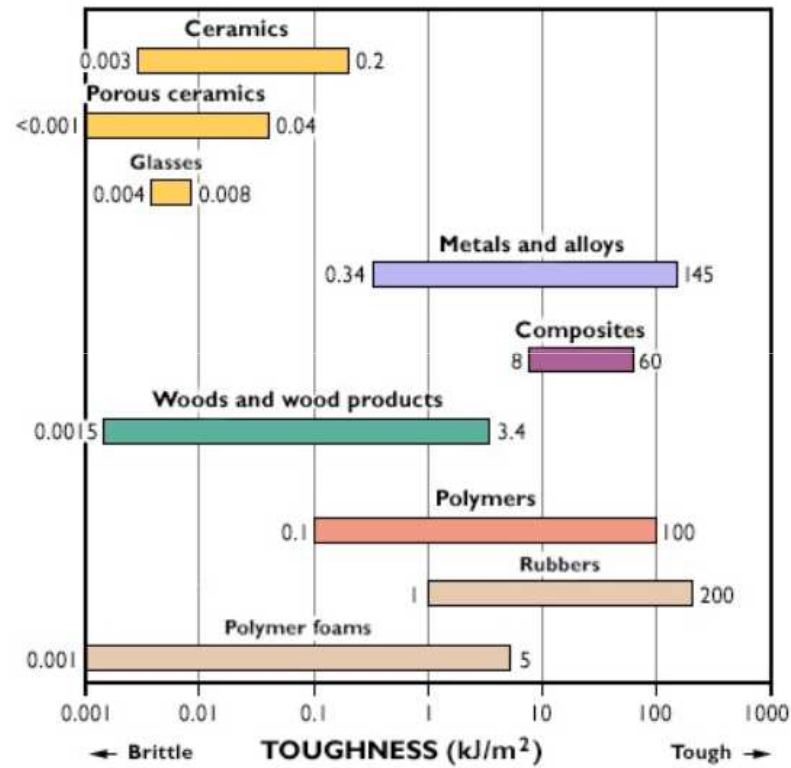
$$\text{strizione} = \frac{A_0 - A}{A_0} * 100$$



Disposizione delle fibre lunghe e delle fibre corte



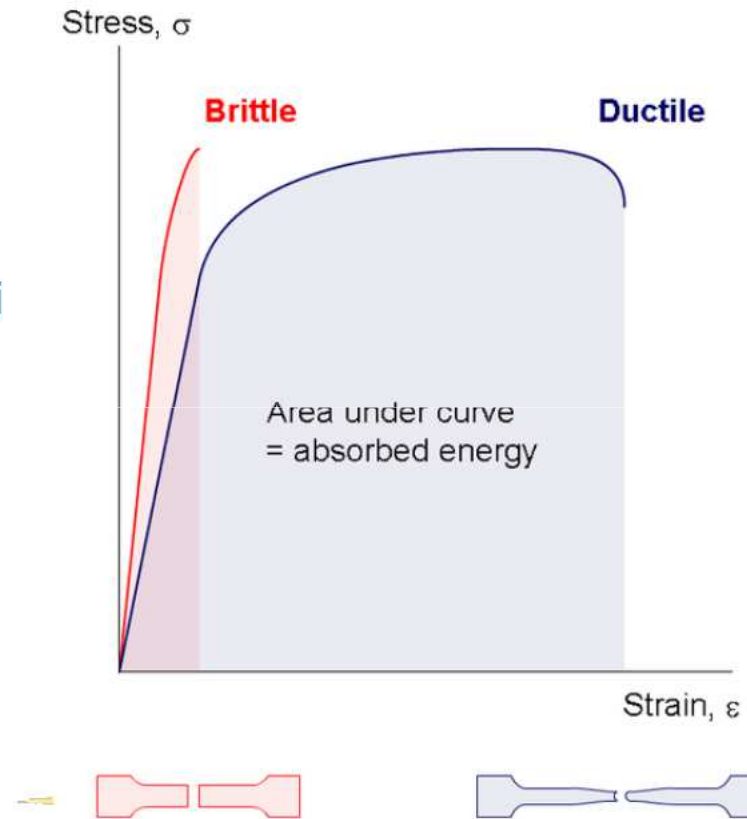
Tenacità a confronto



Antonio Licciulli Scienza e tecnologia dei materiali

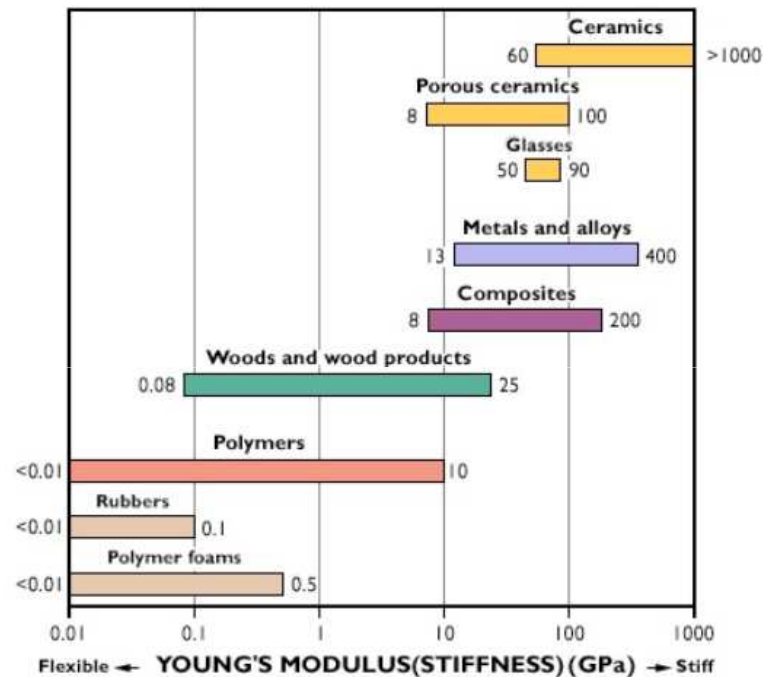
Resilienza o tenacità

- Capacità di un materiale di immagazzinare energia nel campo elasto-plastico prima di arrivare a rottura
- La tenacità è pari all'area sottostante la curva σ/ϵ



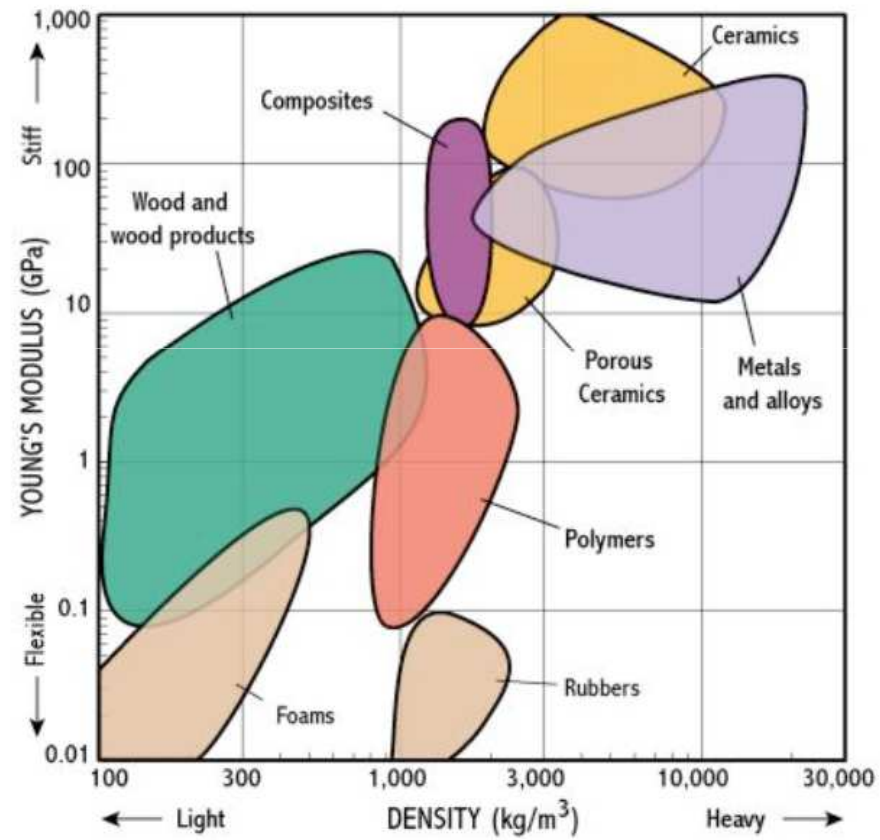
Rappresentazione grafica

- Il **modulo di Young** è dato dalla pendenza della retta nel campo elastico



Antonio Licciulli Scienza e tecnologia dei materiali

La rigidità specifica

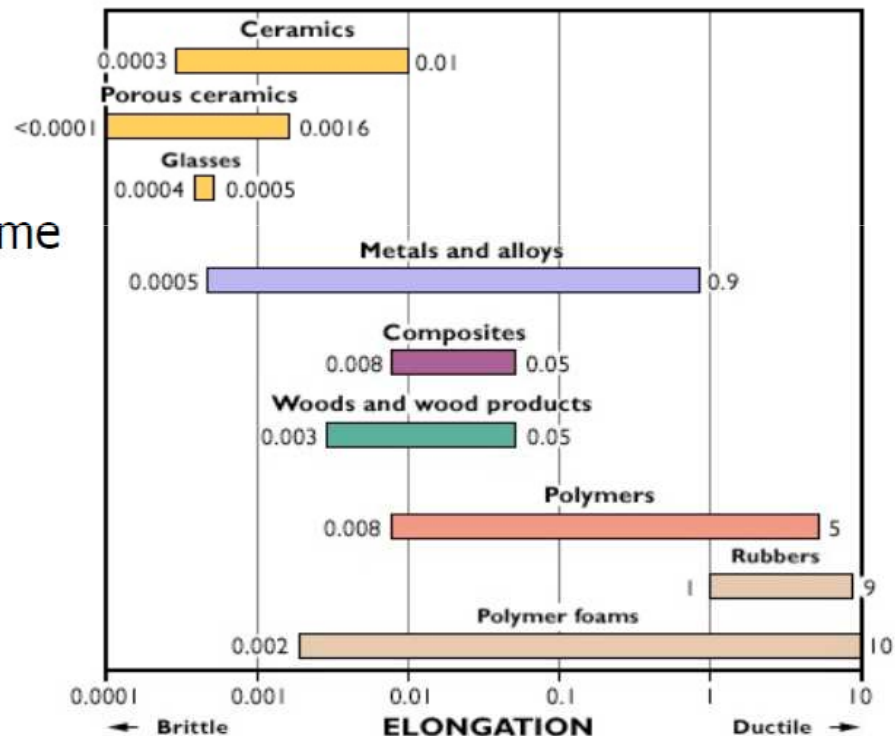


Duttilità e fragilità

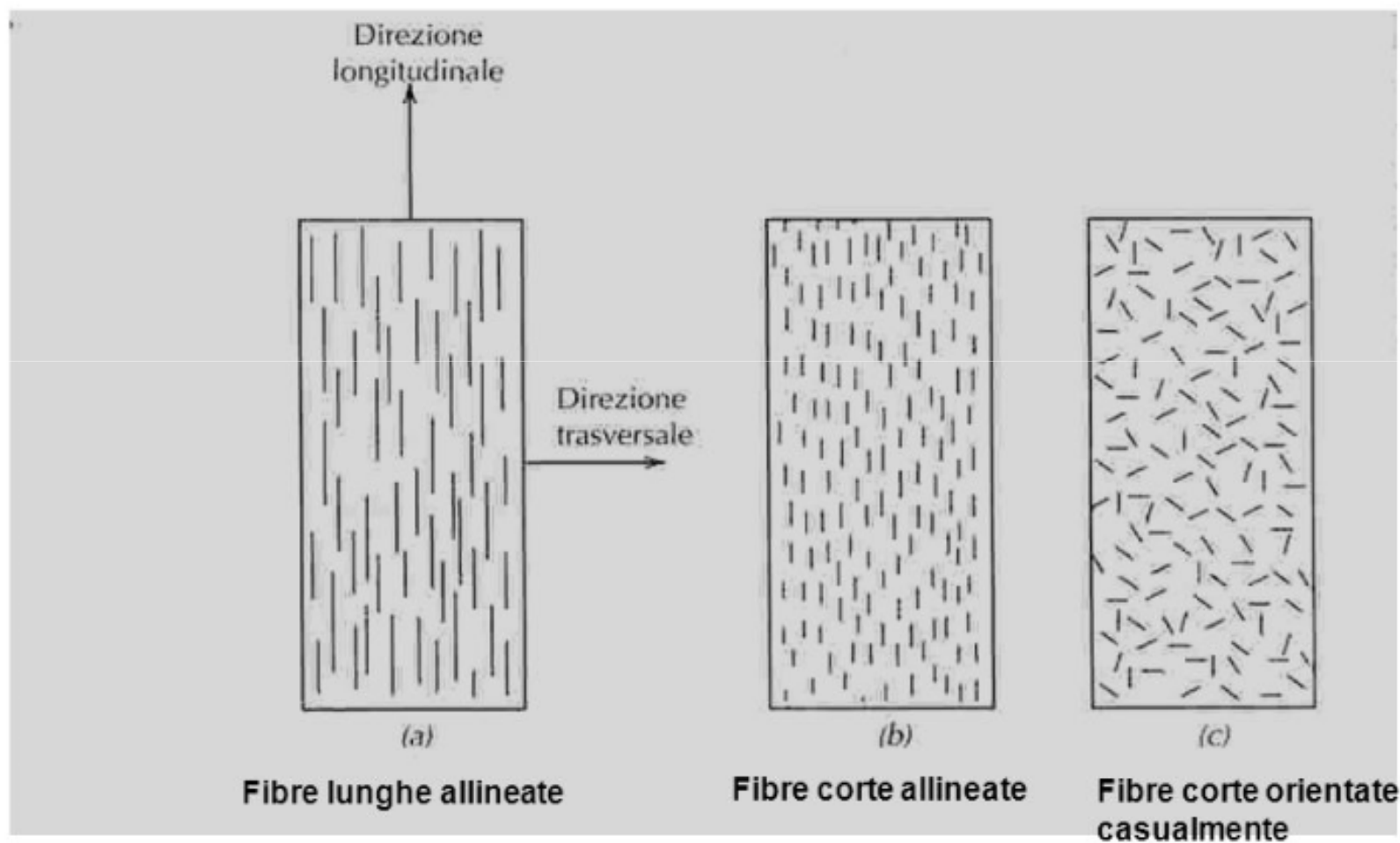
- La duttilità definisce la capacità del materiale di deformarsi (allungamento percentuale) prima della rottura
- La duttilità può anche essere determinata dalla riduzione di sezione (strizione) del provino
- Per la conservazione del volume infatti vale $A \cdot L = \text{cost}$

$$\text{allungamento} = \frac{L - L_0}{L_0} * 100$$

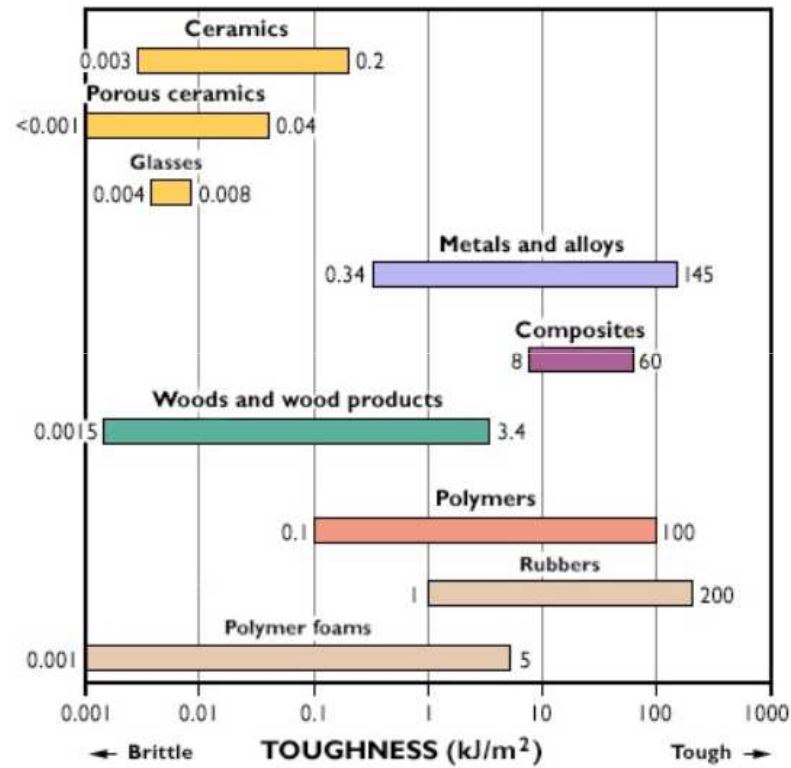
$$\text{strizione} = \frac{A_0 - A}{A_0} * 100$$



Disposizione delle fibre lunghe e delle fibre corte



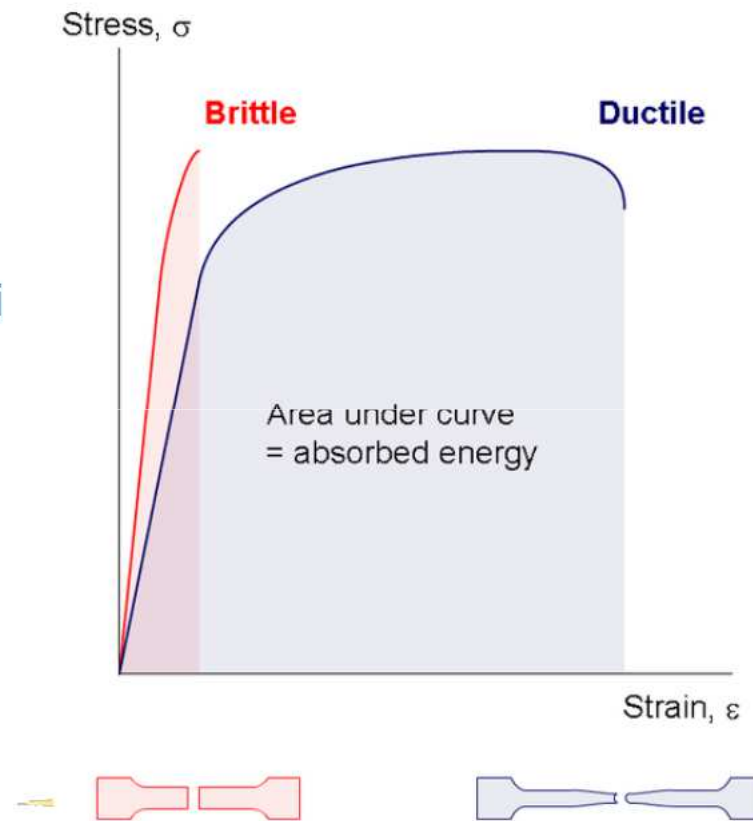
Tenacità a confronto



Antonio Licciulli Scienza e tecnologia dei materiali

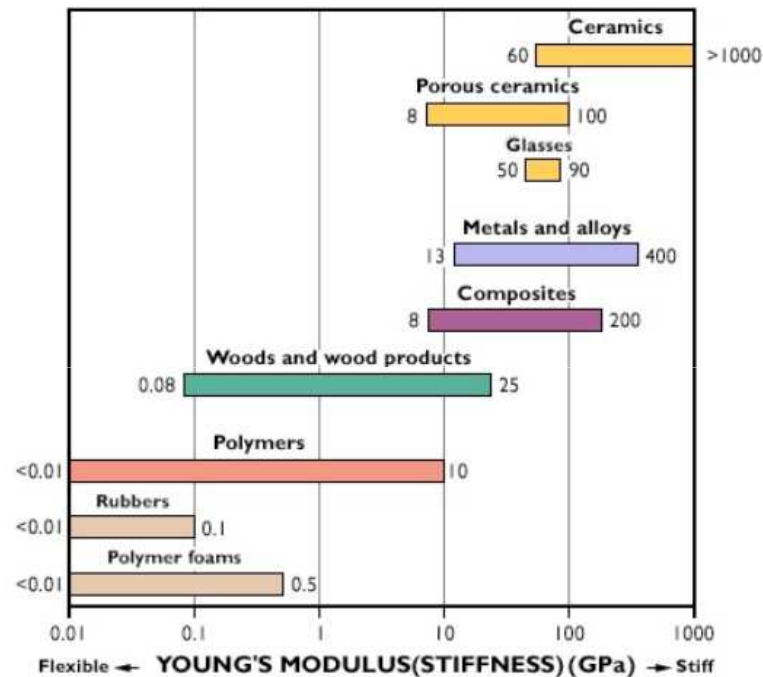
Resilienza o tenacità

- Capacità di un materiale di immagazzinare energia nel campo elasto-plastico prima di arrivare a rottura
- La tenacità è pari all'area sottostante la curva σ/ϵ



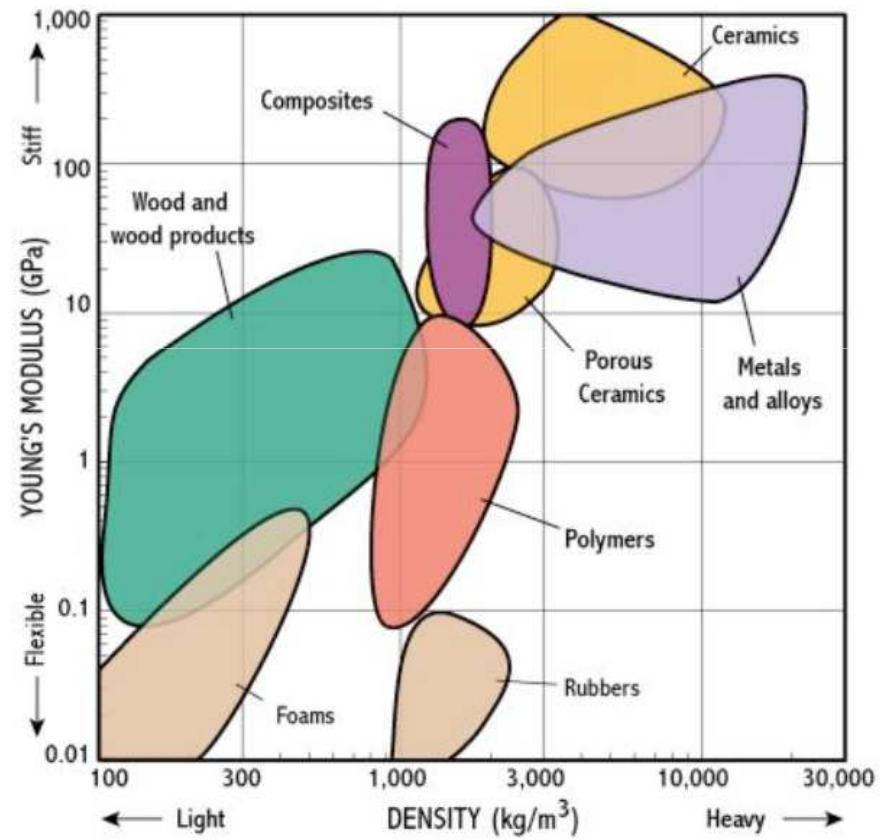
Rappresentazione grafica

- Il **modulo di Young** è dato dalla pendenza della retta nel campo elastico



Antonio Licciulli Scienza e tecnologia dei materiali

La rigidità specifica

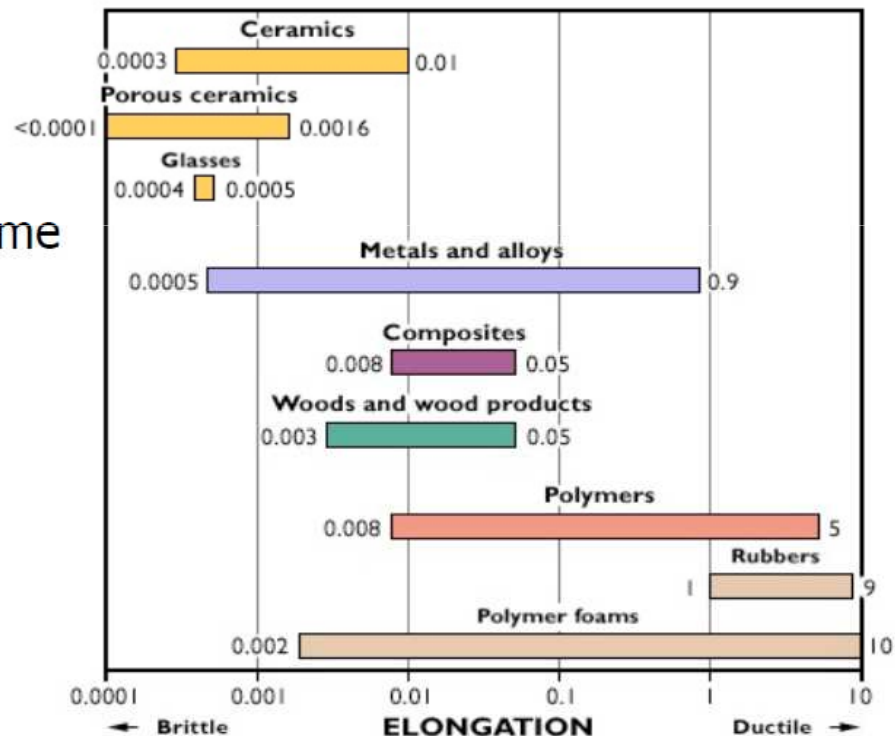


Duttilità e fragilità

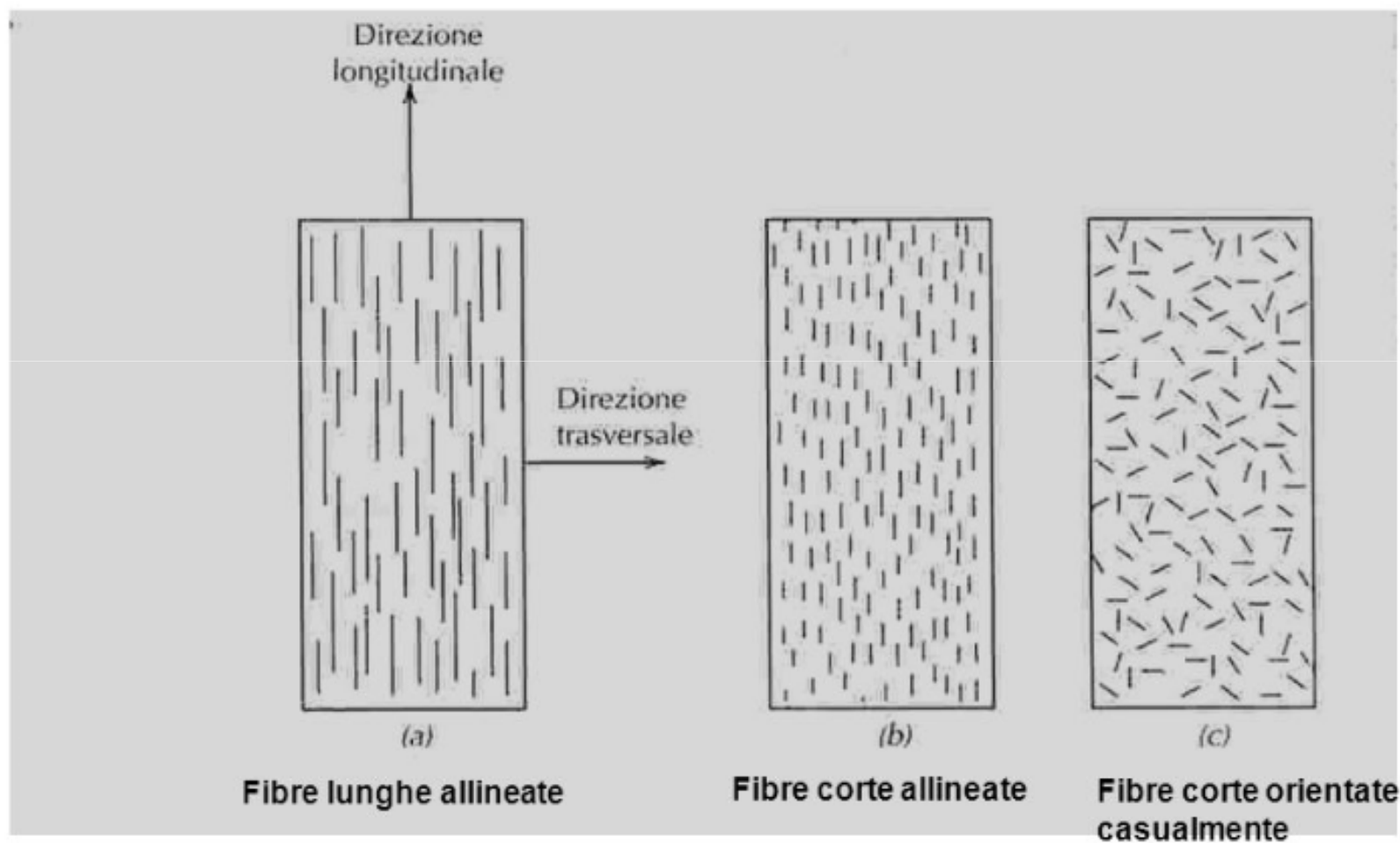
- La duttilità definisce la capacità del materiale di deformarsi (allungamento percentuale) prima della rottura
- La duttilità può anche essere determinata dalla riduzione di sezione (strizione) del provino
- Per la conservazione del volume infatti vale $A \cdot L = \text{cost}$

$$\text{allungamento} = \frac{L - L_0}{L_0} * 100$$

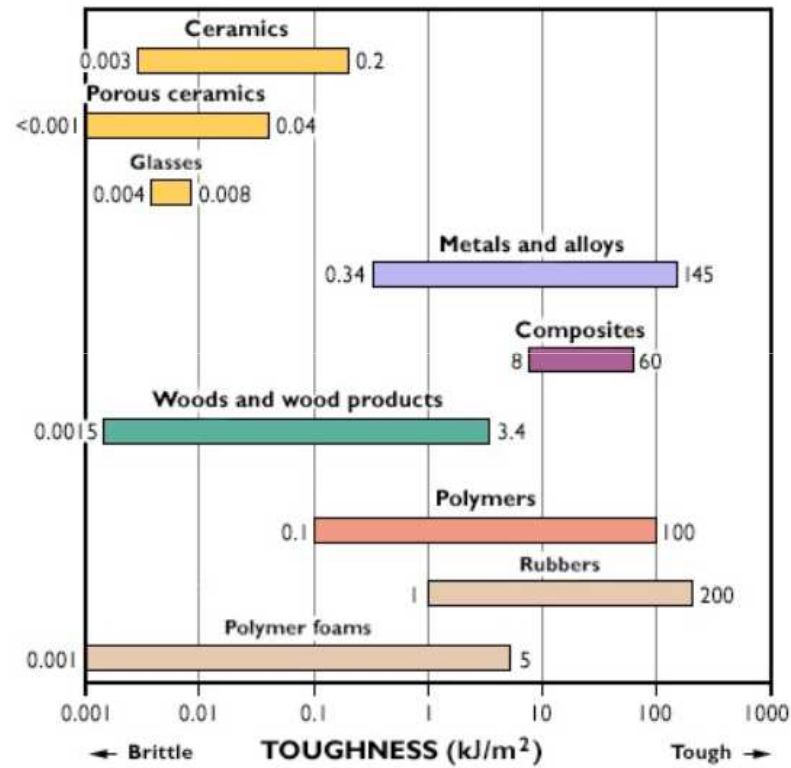
$$\text{strizione} = \frac{A_0 - A}{A_0} * 100$$



Disposizione delle fibre lunghe e delle fibre corte



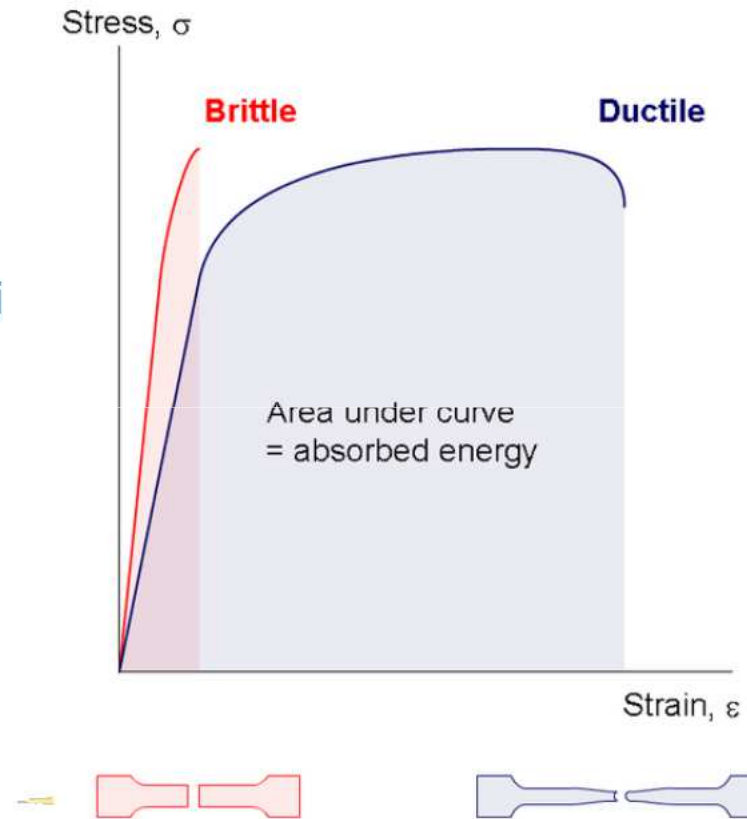
Tenacità a confronto



Antonio Licciulli Scienza e tecnologia dei materiali

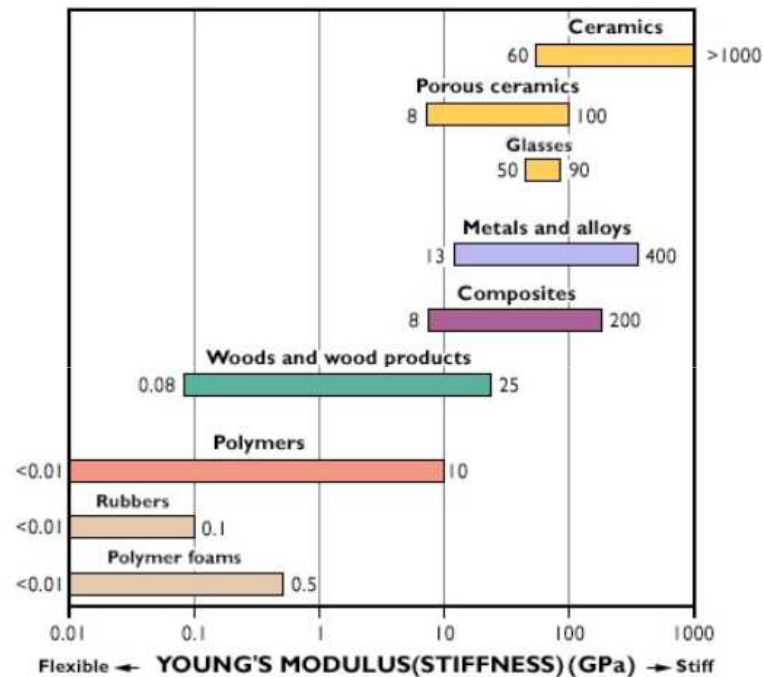
Resilienza o tenacità

- Capacità di un materiale di immagazzinare energia nel campo elasto-plastico prima di arrivare a rottura
- La tenacità è pari all'area sottostante la curva σ/ϵ



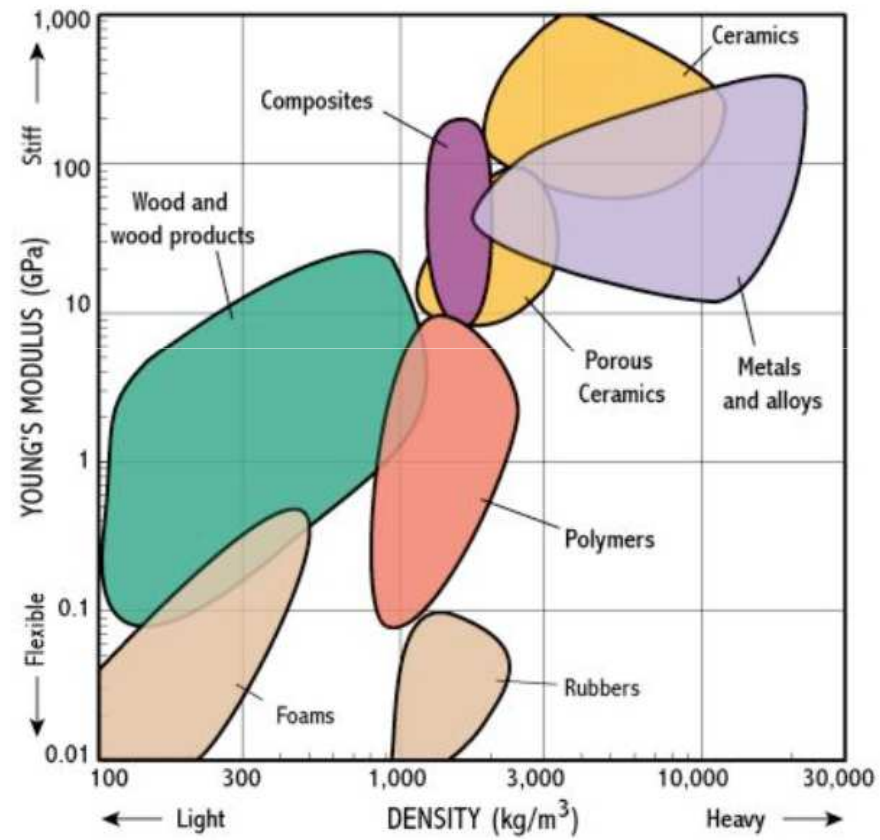
Rappresentazione grafica

- Il **modulo di Young** è dato dalla pendenza della retta nel campo elastico



Antonio Licciulli Scienza e tecnologia dei materiali

La rigidità specifica

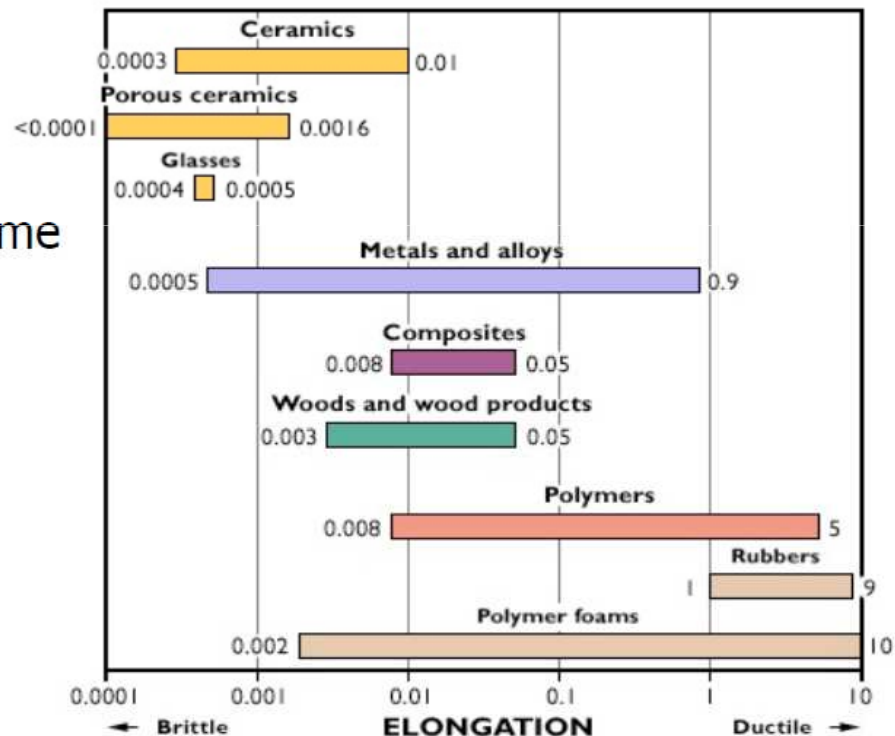


Duttilità e fragilità

- La duttilità definisce la capacità del materiale di deformarsi (allungamento percentuale) prima della rottura
- La duttilità può anche essere determinata dalla riduzione di sezione (strizione) del provino
- Per la conservazione del volume infatti vale $A \cdot L = \text{cost}$

$$\text{allungamento} = \frac{L - L_0}{L_0} * 100$$

$$\text{strizione} = \frac{A_0 - A}{A_0} * 100$$



Per riassumere: i compositi a fibre allineate sono altamente anisotropi e il carico massimo è raggiunto nella direzione di allineamento delle fibre. In direzione trasversale, l'effetto di rinforzo è praticamente nullo, con carichi di rottura tendenzialmente bassi.. Per altre orientazioni del carico le resistenze sono intermedie.

POSSIBILITA' DI STRUTTURE MULTISTRATO OTTENUTE SOVRAPPONENDO LAMINE DI COMPOSTI UNIDIREZIONALI SECONDO ORIENTAZIONI DIFFERENTI (**COMPOSITI LAMINATI**)

Per applicazioni con carichi MULTIDIREZIONALI si impiegano spesso COMPOSITI CON FIBRE DISCONTINUE CASUALMENTE ORIENTATE.

Con questi si ottengono PROPRIETA' MECCANICHE ISOTROPE, ma efficienze di rinforzo assai inferiori (1/5) che con i compositi con fibre unidirezionali allineate nella direzione longitudinale.

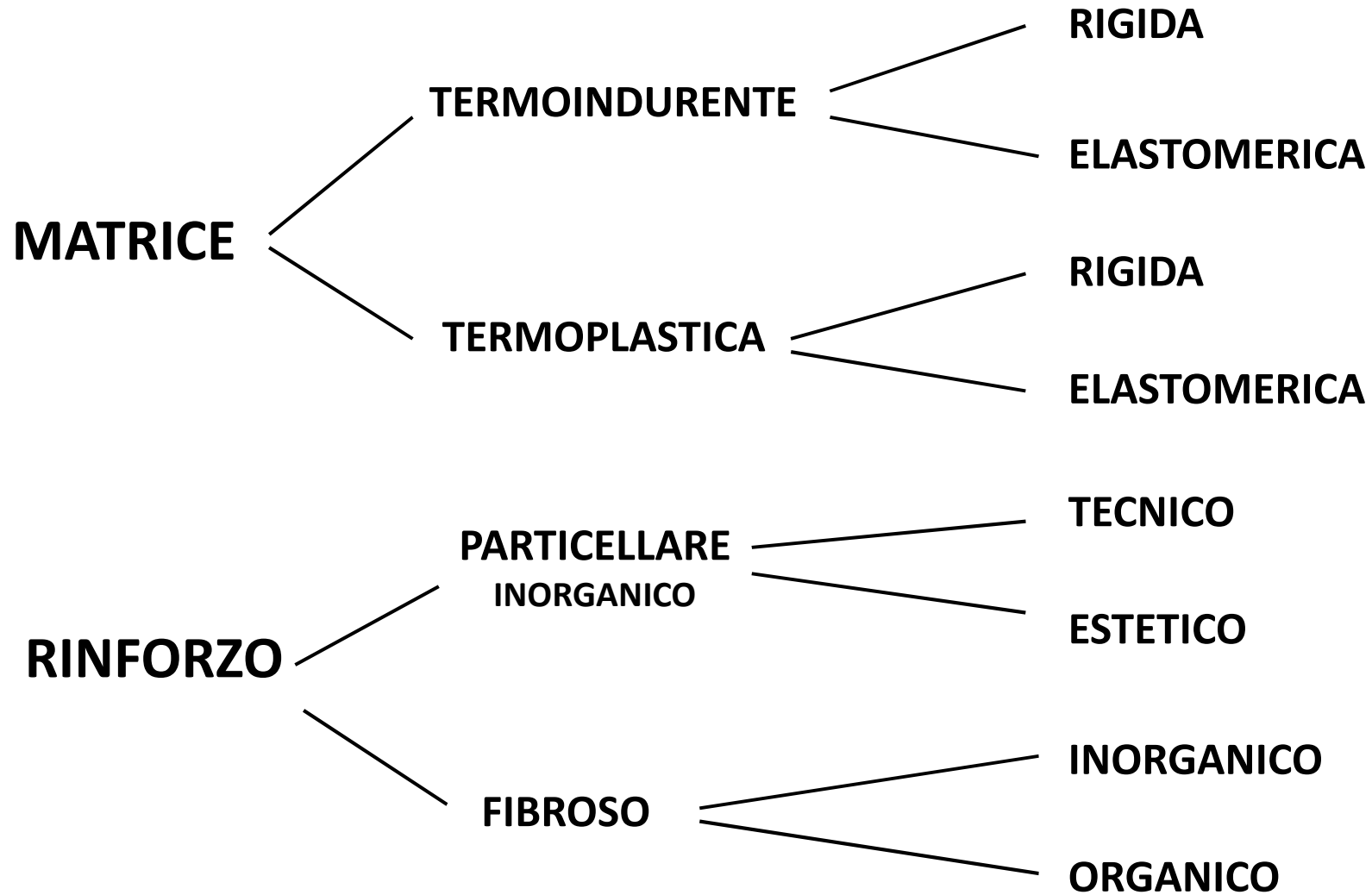
Efficienza del rinforzo per compositi fibro-rinforzati per varie orientazioni delle fibre e diverse direzioni di applicazione dello sforzo

<i>Orientazione delle fibre</i>	<i>Direzione dello sforzo</i>	<i>Efficienza del rinforzo %</i>
Fibre parallele	Parallelo alle fibre	100
	Perpendicolare alle fibre	0
Fibre casualmente ed uniformemente distribuite su di un piano	Qualsiasi direzione appartenente al piano delle fibre	40
Fibre casualmente ed uniformemente distribuite nelle tre dimensioni dello spazio	Qualsiasi direzione	20

Fonte: H. Krenchel, *Fibre Reinforcement*, Copenaghen: Akademisk Forlag, 1964 .

COMPOSITI PMC

COMPOSITI PMC



Matrici polimeriche termoindurenti

Tipo di matrice	E [N/mm ²]	Resistenza a trazione [N/mm ²]	Resistenza a compressione [N/mm ²]	Densità [kg/m ³]	Temperatura massima ° C
Poliestere	4900	70	150	1220	80
Epossidiche	800	70	200	1200	200
Fenoliche	7500	45	200	1390	oltre 200
Siliconiche	5000	25	105	1900	oltre 200

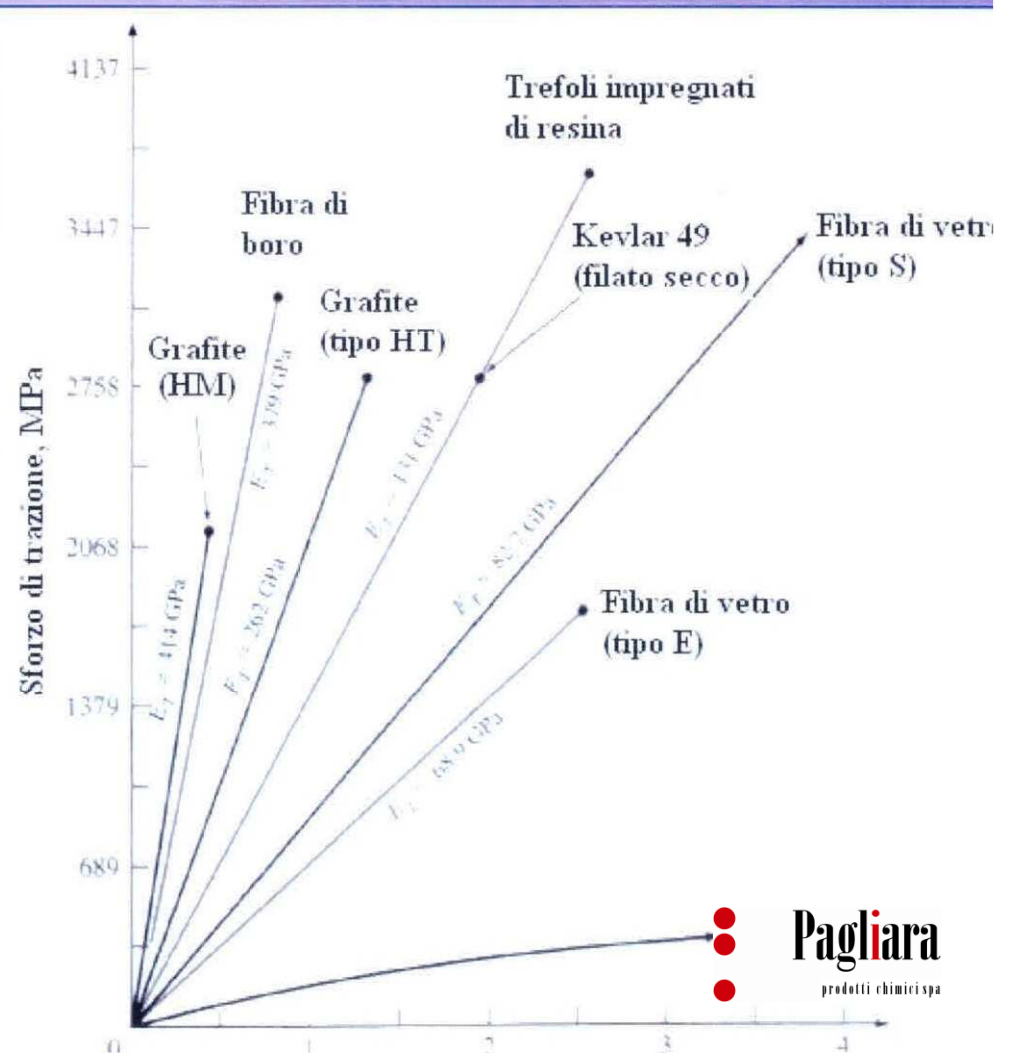
Matrici polimeriche termoplastiche

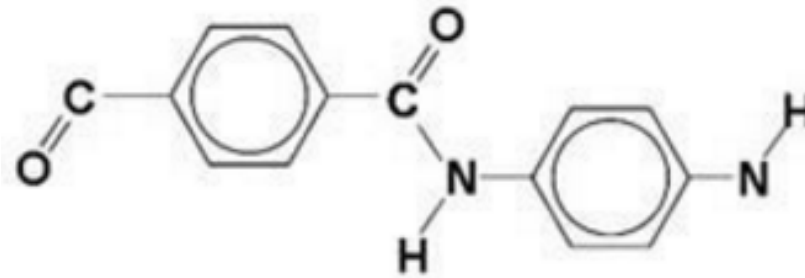
Resin	T _g (°C)	T _m (°C)	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)	Fracture toughness (J/m ²)
<i>Polyaryl ethers</i>					
PSF (Udel)	190	—	76	2.2	3,200
PES (Radel)	220	—	83	2.4	5,500
PEK (Kadel)	140	340	95	3.6	—
PEEK	143	343	103	3.8	2,000
PEKK	156	338	102	4.5	1,000
<i>Thermoplastic polyimides</i>					
LARC-TPI MTC	255	—	136	3.7	2,770
Rogers	256	—	153	4.4	3,500
LARC-CPI	224	354	134	4.2	—
NR-150 B2	340	—	110	4.1	2,400
PEI	220	—	110	3.3	3,700
PI 2080	280	—	120	1.3	—
Torlon	275	—	193	4.8	3,400
<i>Polyaryl sulfide</i>					
PPS	85	285	65	3.8	210 (high crystalline)
PPSS	218	—	92	—	—

Le Fibre

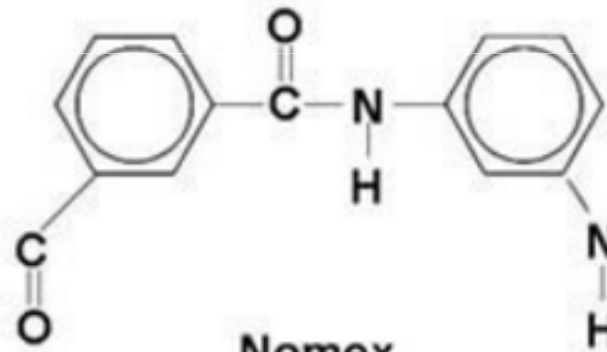
Esistono diversi tipi di fibre la cui diffusione è legata soprattutto al costo

- FIBRE DI VETRO
- FIBRE DI CARBONIO
- FIBRE ARAMIDICHE
- FIBRE DI BORO



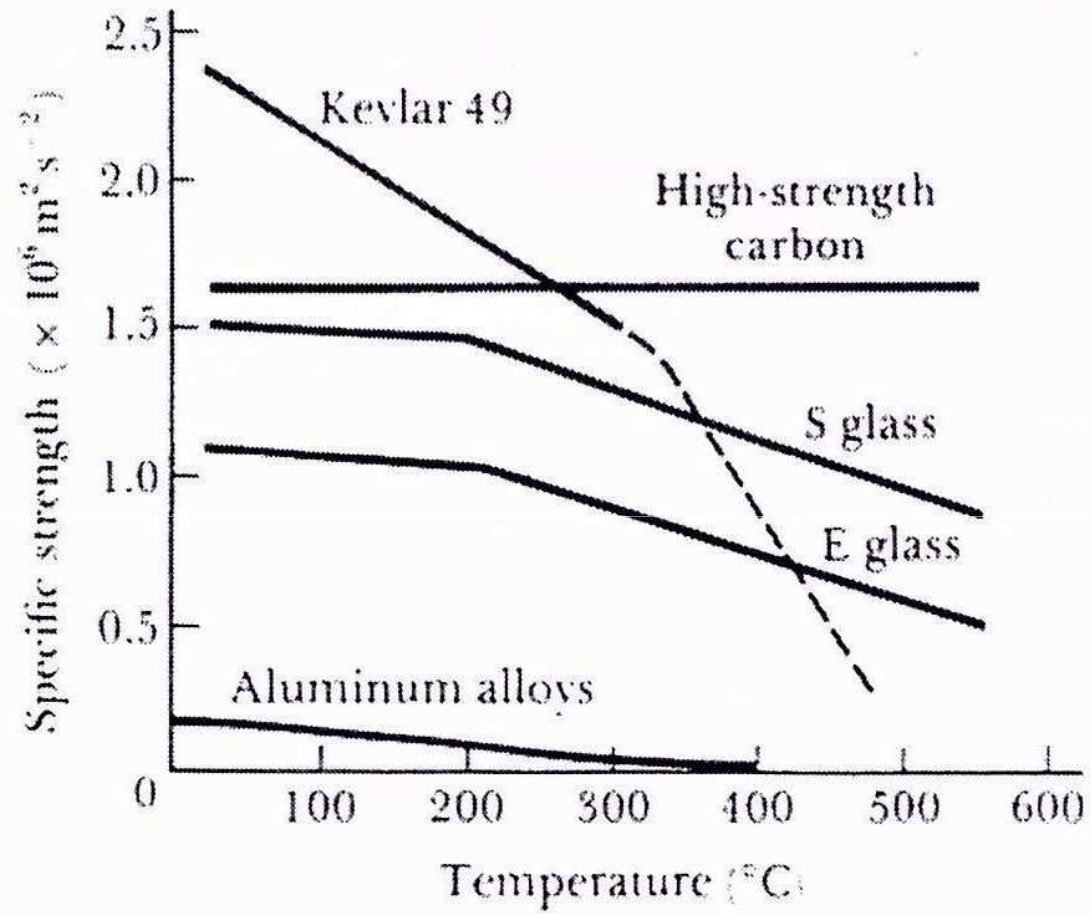


Kevlar



Nomex

Entrambe queste fibre aramidiche sono delle DuPont. Il Kevlar ha migliori prestazioni a trazione. Il Nomex è più resistente al fuoco.



- Effetto della temperatura nei confronti della resistenza specifica per diverse tipologie di fibre.

VETRORESINA = PRFV

*Poliestere Rinforzato con Fibra di Vetro
e funzionalizzato con una terza fase particellare*

**FIBRA DI
VETRO**



ROVING = Fibre continue parallele
STUOIE = Tessuto
TNT = Tessuto non tessuto
Feltri in lana di vetro
MAT = Fibre tagliate non orientate

**RINFORZO
PARTICELLARE**



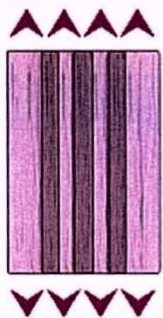
CALCITE
ALLUMINA IDRATA
PIGMENTI

**RESINA
TERMOINDURENTE**



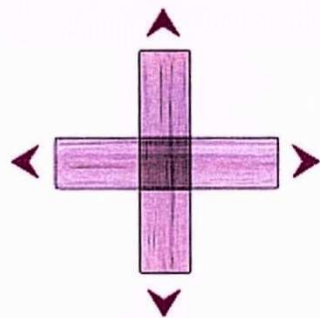
POLIESTERE INSATURO
ACRILICA INSATURA
VINIL ESTERE
EPOSSIDICA

FIBRE DISPOSTE IN
SENSO LONGITUDINALE



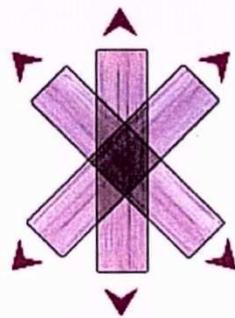
ML:L

FIBRE
INCROCIATE A 90°



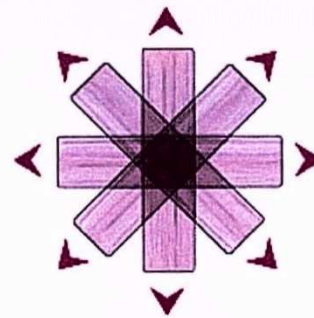
ML

FIBRE DISPOSTE IN
SENSO LONGITUDINALE
E FIBRE INCROCIATE A 45°



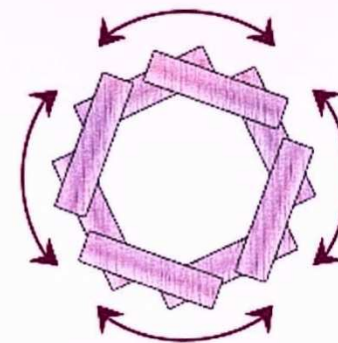
ML:R

FIBRE
INCROCIATE A 45°



ML:S

FIBRE DISPOSTE IN
SENSO TANGENZIALE



ML:T

↓
**pultrusione
filament Winding**

↓
laminati e pannelli sandwich

COMPOSITI A MATRICE POLIMERICA (PMC)

PMC RINFORZATI CON FIBRE DI VETRO (VETRORESINA).

Il vetro viene impiegato (vetro E: 55%SiO₂, 16% CaO, 15% Al₂O₃, 10% B₂O₃, 4% MgO) per aumentare le resistenze meccaniche perché poco costoso, facilmente estrudibile, chimicamente inerte con diversi polimeri.

Durante la filatura si impiega un 'appretto' protettivo, poi eliminato per la fabbricazione del composito e sostituito con un'agente di accoppiamento per migliorare il legame tra fibra e matrice.

LIMITAZIONI: basse temperature di esercizio (<200°C). Scarsa rigidità.

APPLICAZIONI: parti di autovetture/imbarcazioni, tubi di plastica ecc.

PMC RINFORZATI CON FIBRE DI CARBONIO (CFRP).

Compositi per applicazioni innovative. Fibre di carbonio con alti moduli/resistenze specifiche, resistenze ad alta temperatura, chimicamente inerti a T. amb. Processi di produzione relativamente economici. Si impiegano precursori (rayon, poliacrilinitrile) da cui per pirolisi si ottengono le fibre. Quattro classi in base al modulo elastico: standard, intermedio, alto e ultraelevato.

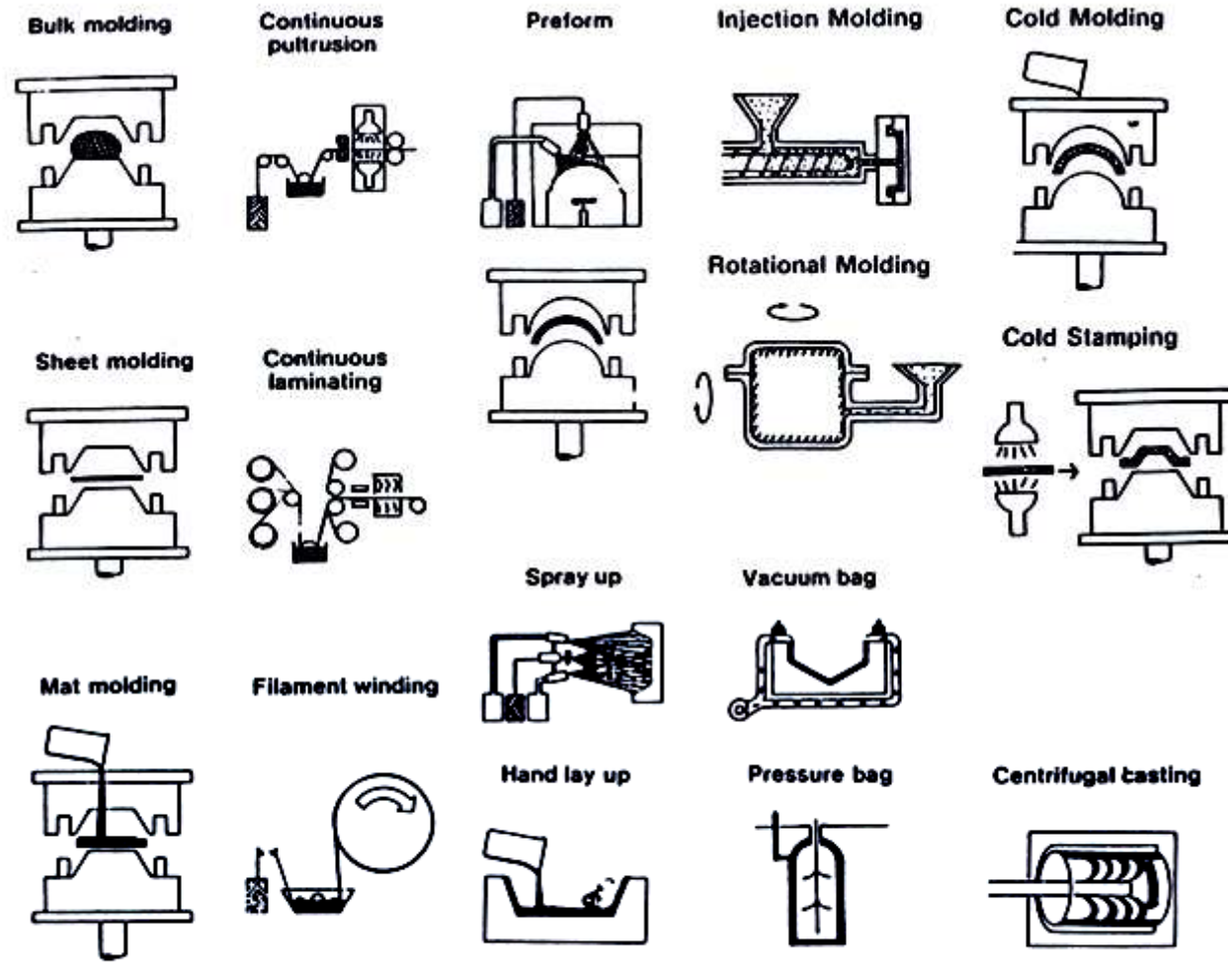
APPLICAZIONI: attrezzature sportive, recipienti in pressione, parti di elicotteri.

PMC RINFORZATI CON FIBRE ARAMIDICHE (KEVLAR, NOMEX).

Fibre aramidiche (poliparafenilene tereftalamide) con eccezionali rapporti resistenza/peso e capaci di mantenere le proprietà meccaniche da -200°C a +200°C. Attaccati da acidi e basi forti.

Le matrici più comuni sono epossidiche e poliesteri. Flessibili e duttili, sono lavorate alla stregua delle fibre tessili.

APPLICAZIONI: attrezzature sportive, pneumatici, pasticche freni al posto dell'amianto, giubbotti anti-proiettili.



SCHEMA DELLE TECNOLOGIE DI FABBRICAZIONE DELLA VETRORESINA

RINFORZO PARTICELLARE

In genere si adopera in aggiunta al rinforzo fibroso per conferire al composito delle ulteriori funzionalità:

- **RINFORZANTI:** Carbonio o silice precipitata per elastomeri (privi di fibre)
- **ANTIFIAMMA:** Allumina idrata, Magnesia idrata
- **PESO:** Barite P. Sp. 4,5
- **ECONOMIA:** Calcite per aumentare il volume del preparato tenendo sotto controllo le prestazioni.
- **PIGMENTI:** Per conferire colore ed estetica.
- **SPECIALI FUNZIONALITÀ:** Nanoparticelle ceramiche.

IMPIEGHI DELLA VETRORESINA

È il PMC più utilizzato per la sua leggerezza, resistenza meccanica agli agenti atmosferici, resistenza al fuoco (con allumina idrata) e facile riparabilità.

Gli impieghi più comuni sono numerosi e specialmente nel settore auto, aerei e natanti:

- piscine
- serbatoi, cisterne
- vasche da bagno
- imbarcazioni piccole e grandi
- canalette per passaggio cavi elettrici
- cassette per centrali elettriche
- particolari per elettrotecnica
- particolari per auto, aerei e natanti

Nella Tabella sono evidenziati i possibili pesi del veicolo e dei singoli materiali per le tre vetture dell'esempio, identificando rispettivamente con le lettere V, N e F una vettura di vecchia, nuova e di futura concezione



	V	N	F
	<i>Vecchia concezione (1050 Kg.)</i>	<i>Nuova concezione (900 Kg.)</i>	<i>Futura concezione (750 Kg.)</i>
ACCIAIO	695	440	220
ALLUMINIO	35	175	195
ALTRI METALLI	20	25	35
VETRO	35	30	15
PLASTICA	150	170	170
OLI VARI	15	15	10
MATERIALE DA INVIARE IN DISCARICA	157.5	135	112,5

Peso dei materiali su una vettura di vecchia, nuova e di futura concezione



Gli elementi funzionali interni



I sedili racing della Enzo



Per la sua leggerezza e resistenza, la vetroresina è ampiamente usata per la realizzazione sia di velivoli che di imbarcazioni.



La *Tulip chair* di Eero Saarinen, con seduta in vetroresina e base in alluminio



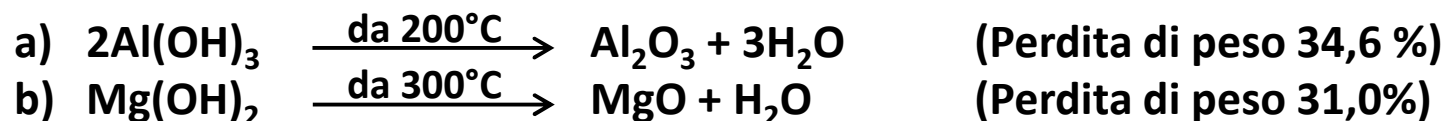
Un bambino in una piscina realizzata in vetroresina.



Le tavole da windsurf, un tempo in polietilene e PVC, sono state in seguito realizzate in vetroresina. Oggi si preferisce creare strati di vari materiali, tra i quali è presente la vetroresina.

RINFORZI ANTIFIAMMA

L'allumina idrata e la magnesia idrata trovano impiego crescente come rinforzo antifiamma giustificato dalle seguenti reazioni fortemente endotermiche:



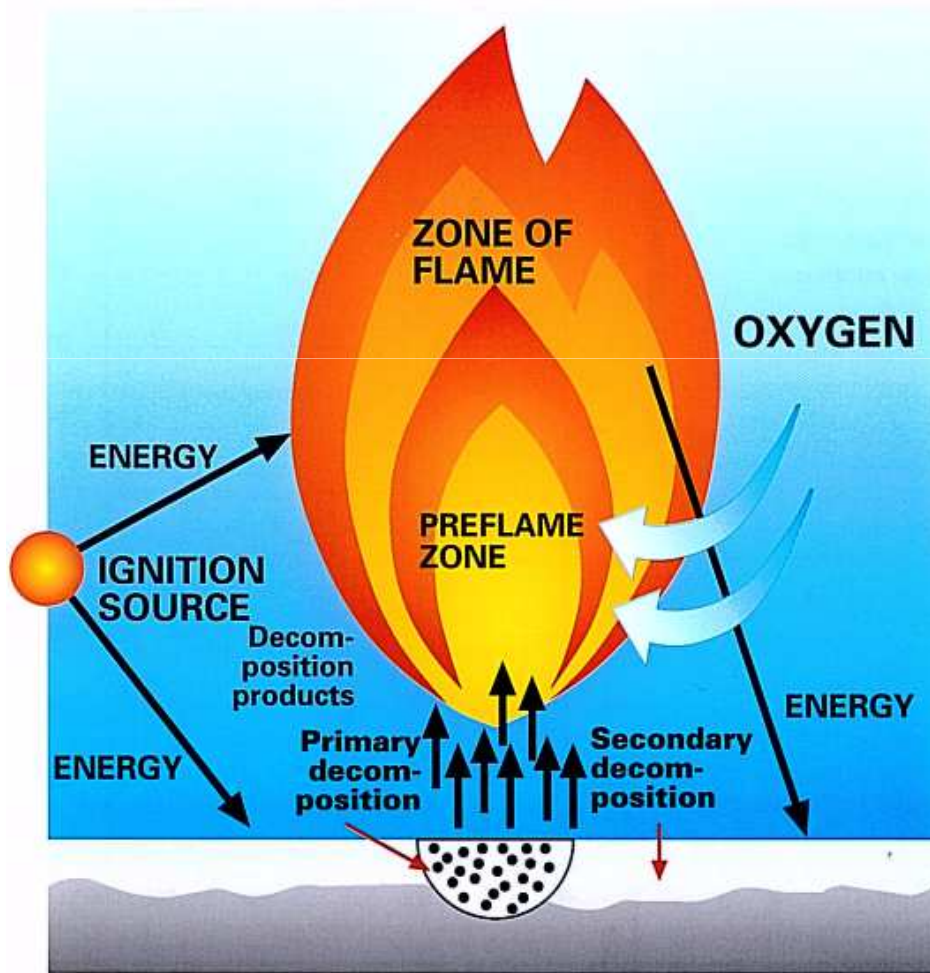
L'assorbimento di calore mantiene il pezzo a temperatura inferiore a quella di ignizione mentre nell'atmosfera comburente il vapore della reazione diluisce l'ossigeno innalzando il punto di infiammabilità LOI. Contemporaneamente alla superficie del composto si forma uno strato di Al_2O_3 o MgO refrattario.

Questo meccanismo svolge l'azione antifiamma in assenza di alogeni o antimonio e senza sviluppo di gas tossici o fumi otticamente densi.

Bisogna però tenere presente che sia Al(OH)_3 che Mg(OH)_2 sono da considerarsi cariche antifiamma e non additivi e quindi la loro percentuale d'uso deve essere almeno pari a quella della matrice comburente. Inoltre nel processo formativo del composito e del suo stampaggio, non si possono superare le temperature indicate nelle rispettive reazioni di decomposizione.

Nabaltec

APYRAL®
– the Flame-Retardant Filler
has the following advantages:



- halogen free
- ecologically acceptable
- non-hazardous
- significant decrease of smoke density
- reduction of consequential damages
- filler and flame retardant all in one
- inexpensive

APYRAL®

APYRAL® with the chemical formula $\text{Al}(\text{OH})_3$, from **Nabaltec** is an environmentally friendly halogen free product which is used as a flame retardant filler in a wide variety of rubber and polymeric materials. During thermal decomposition **APYRAL®** does not generate toxic or corrosive gases. In addition, there is a distinct reduction in smoke density.

APYRAL® is effective in the crucial phase of the burning process before the outbreak of a fully developed fire.

APYRAL® - the flame retardant filler, offers these advantages:

- free of halogens,
- environmentally friendly,
- no development of toxic gases,
- reduction of consequential damage,
- clear reduction in smoke density,
- cost effectiveness.

Nabaltec offers a wide range of **APYRAL®**-products to cover the different requirements of the plastics processing industry. The **APYRAL®**-types produced by different production processes can be distinguished by their properties into the five groups below:

1. Standard products
2. Morphology modified products
3. Ground products
4. Viscosity optimized products
5. Fine precipitated products.

The quantity of **APYRAL®** added to the organic matrix depends on the required flame retardancy, the properties of the end products and the cost of the mixture.

APYRAL® can replace other more expensive flame retardants. In addition, the amount of the usually more expensive polymer can be reduced and replaced by the cost effective filler **APYRAL®**. As a result, the total cost of the compound is generally reduced and is therefore more financially favourable.



Median grain size [μm]	Specific surface BET [m ² /g]	Bulk density [kg/m ³]	Moisture [%]
------------------------	--	-----------------------------------	--------------

Standard products:

APYRAL® 1E	50	0.2	1000	0.05
-------------------	----	-----	------	------

Morphology modified products:

APYRAL® 2E	20	0.5	950	0.1
APYRAL® 3	16	0.6	900	0.1
APYRAL® 4	12	0.7	750	0.1

Ground products:

APYRAL® 8	15	1.3	750	0.1
APYRAL® 15	12	1.7	600	0.2
APYRAL® 16	16	1.8	750	0.1
APYRAL® 24	8	2.5	650	0.15
APYRAL® 32	7	3.0	640	0.15

Ground, viscosity optimized products:

APYRAL® 20X	8	1.2	550	0.1
APYRAL® 30X	7	1.5	500	0.1
APYRAL® 22	12	2.0	600	0.15
APYRAL® 33	6	3.0	550	0.15

Fine precipitated products:

APYRAL® 40 CD	1.5	3.5	400	0.2
APYRAL® 60 D	1.0	6	350	0.3
APYRAL® 60 CD	1.0	6	300	0.3
APYRAL® 120 E	0.9	11	200	0.5

APYRAL®
The Flame-Retardant Filler

Nabaltec

Applications

APYRAL®-types can be used as a flame retardant filler in the following polymer materials:

- Thermosets
- Elastomers
- Thermoplastics

Typical applications are:

- Cable Compounds
- Technical Rubber Compounds
- Pressed and Cast Plastic Parts
- Thermal Insulation Foams
- Glass Fiber Reinforced Plastics

CANALETTE PASSACAVI CON APYRAL

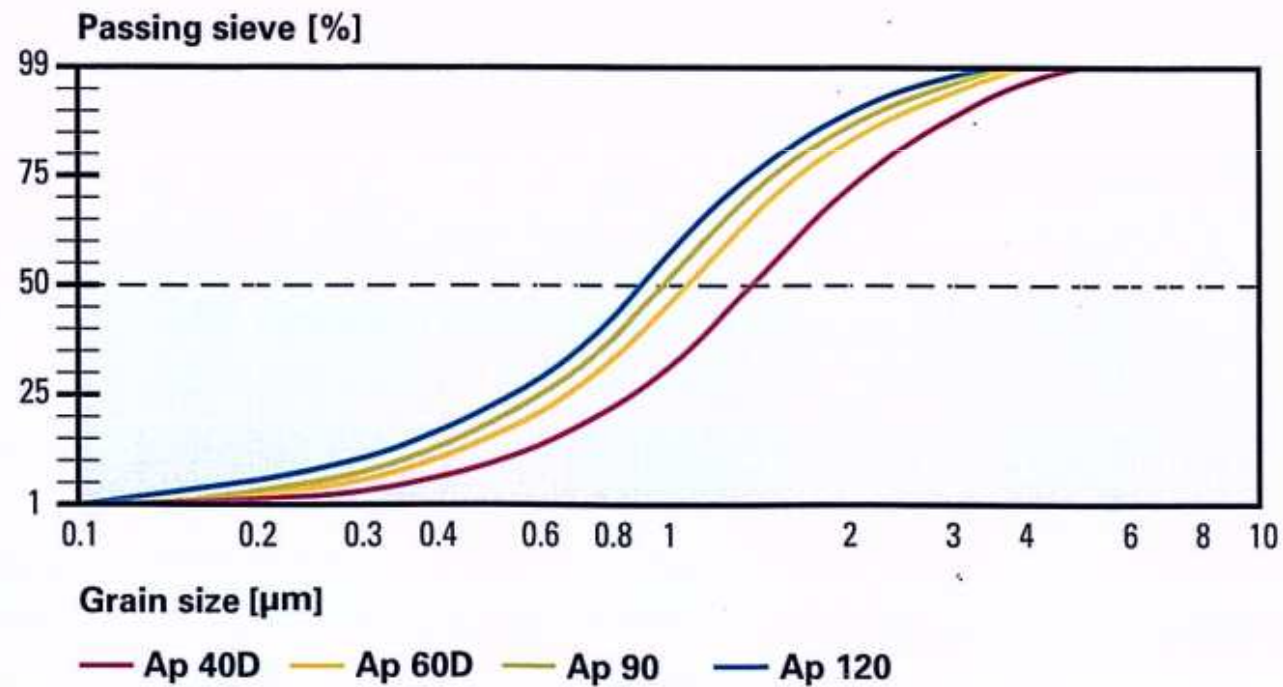


PRODOTTI IN PRFV DEL SETTORE ELETTRICO CON APYRAL



Grain size distribution Apyral 40D to 120

Product	BET in m ² /g	D50 in μm	D10 in μm	D90 in μm
Ap 40	3-5	1.5	0.7	3.1
Ap 60	5-7	1	0.4	2.7
Ap 120	>11	1.3	0.36	4.9



APYMAG®

The demand for halogen free flame-retardant plastics for applications in automobile, electrical and construction industries is stronger than ever. The use of mineral flame retardants within these products is of growing importance.

Nabaltec offers a product series called **APYMAG®**, which are magnesium hydroxides with a high thermal stability up to processing temperatures of 300 °C.

The **APYMAG®** series is a supplement to the **APYRAL®** product series. **APYMAG®** should be used if processing temperatures exceed 200 °C.

APYMAG® 30 and **APYMAG® 40** are preferable for applications which are very sensitive to processing parameters, like viscosity. When using **APYMAG® 60** and **APYMAG® 80** in thermoplastics, good mechanical and flame-retardancy can be achieved.

APYMAG® 30...S

To get high hydrophobicity and easy dispersion in polymers, all **APYMAG®** products are offered as surface coated qualities as **APYMAG® 30S, 40S, ...**

Average chemical analysis	Unit	APYMAG® 30 - 80
Mg(OH) ₂	[%]	90-93
Fe ₂ O ₃	[%]	0.5
CaO	[%]	3
Moisture content (20 - 105 °C)	[%]	0.5
Loss on ignition (105 - 1000 °C)	[%]	31

Physical properties	Unit	APYMAG®			
		30	40	60	80
Median grain size	[µm]	12	5	3.5	3
Specific surface area (BET)	[m ² /g]	3	4	6	8
		30S	40S	60S	80S
Stearic acid	[%]	0.5	0.5	0.5	0.5

COMPOSITI MMC

COMPOSITI MMC

MATRICE

Alluminio, acciaio, leghe di metalli vari ed ogni altro metallo sinterizzabile con la tecnologia della metallurgia delle polveri.

RINFORZO

Si utilizza solo quello ceramico (carbonio, boro, SiC, Al₂O₃) particellare o a fibra corta distribuito nella polvere metallica fino al 40% e poi sinterizzato con il metallo. Il rinforzo ceramico aumenta la resistenza meccanica all'usura e modifica la dilatazione termica del metallo. Dopo la sinterizzazione la porosità viene riempita con una infiltrazione di metallo allo stato liquido o di vapore. I compositi di questo tipo si usano sempre più per particolari di motori a scoppio (cilindri, bielle, cuscinetti) oltre che per freni e cerchi auto. Altri impieghi sono per articoli sportivi, dissipatori di calore nel settore elettronico e per inserti taglienti di utensili da taglio tipo CERMET.

CERMET

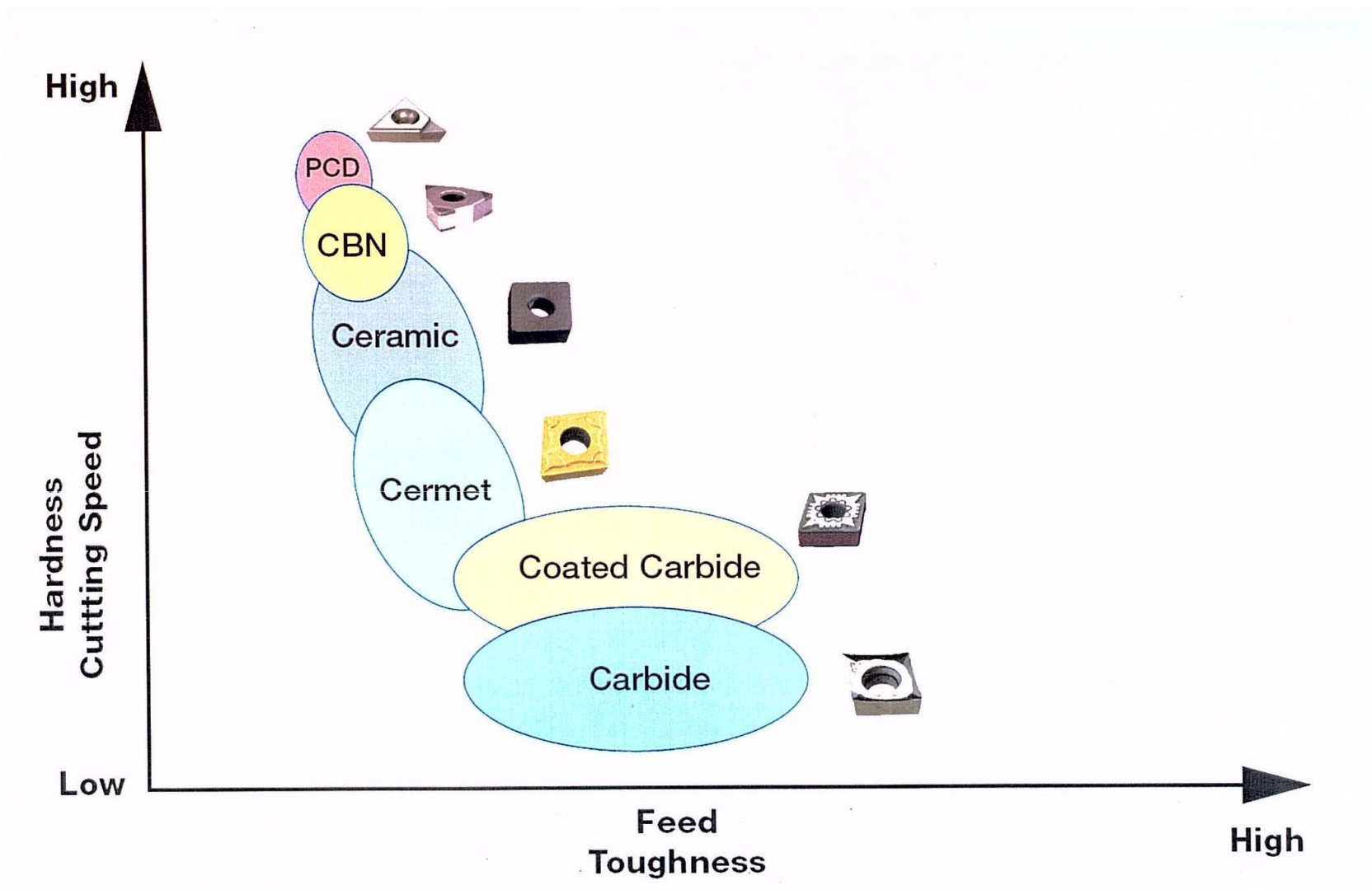
È un composito MMC METALLO-CERAMICA di elevata durezza e resistenza all'usura e stabile alle alte temperature.

La fase ceramica è costituita al 5-20% da WC, Al₂O₃, TiC, TiCN, CBN mentre quella metallica al 80-95% da Ni, Mo, Co. Prima si sinterizza la fase ceramica, poi quella metallica viene infiltrata.

Il tipo più noto per la sua durezza è il WIDIA costituito da WC + Co.

I CERMET vengono usati principalmente per utensili da taglio, stampi di presse per ceramica, pistoni, ecc.

La famosa azienda di orologi Jaeger-LeCoultre ha un cronografo subacqueo vintage "MASTER COMPRESSOR" con cassa in CERMET.



INSERTI PER UTENSILI DA TAGLIO

COMPOSITI CMC

COMPOSITI CMC

Inserendo nella matrice ceramica delle fibre (inorganiche) si risolve il problema della fragilità tipica della ceramica conservando l'utilizzabilità sotto carico anche ad altissima temperatura (superiore a 1200°C).

Le matrici più diffuse sono: C, SiC, Al₂O₃, Mullite (3Al₂O₃ • 2SiO₂).

Le fibre sono più o meno le medesime: C, SiC, Al₂O₃, Mullite, SiO₂ oltre che fibre metalliche di Boro (su Tungsteno), acciaio, leghe di alluminio e Titanio.

Tali fibre ceramiche vengono prodotte per filatura di gel ottenuto col sistema SOL-GEL oppure con il processo CVD ossia per deposizione chimica di vapore a 1100-1300°C su un filo di tungsteno o di carbonio. Naturalmente in alcuni casi si adoperano fibre metalliche di acciaio inox o di Tungsteno che però generano un aumento della densità a causa del loro peso elevato. Le fibre vengono sinterizzate nello stampo di una pressa a caldo. Il metallo viene infiltrato allo stato fuso.

Alcune volte il processo produttivo termina con una infiltrazione metallica di Si. Su una CMC tipo C/C = carbonio/carbonio a > 1414°C (p.f. Si) si produce la reazione di formazione di SiC, con diminuzione della porosità ed aumento della tenacità.

L'infiltrazione può essere anche di polimero fuso (per es. PP) se l'impiego avviene a bassa T.

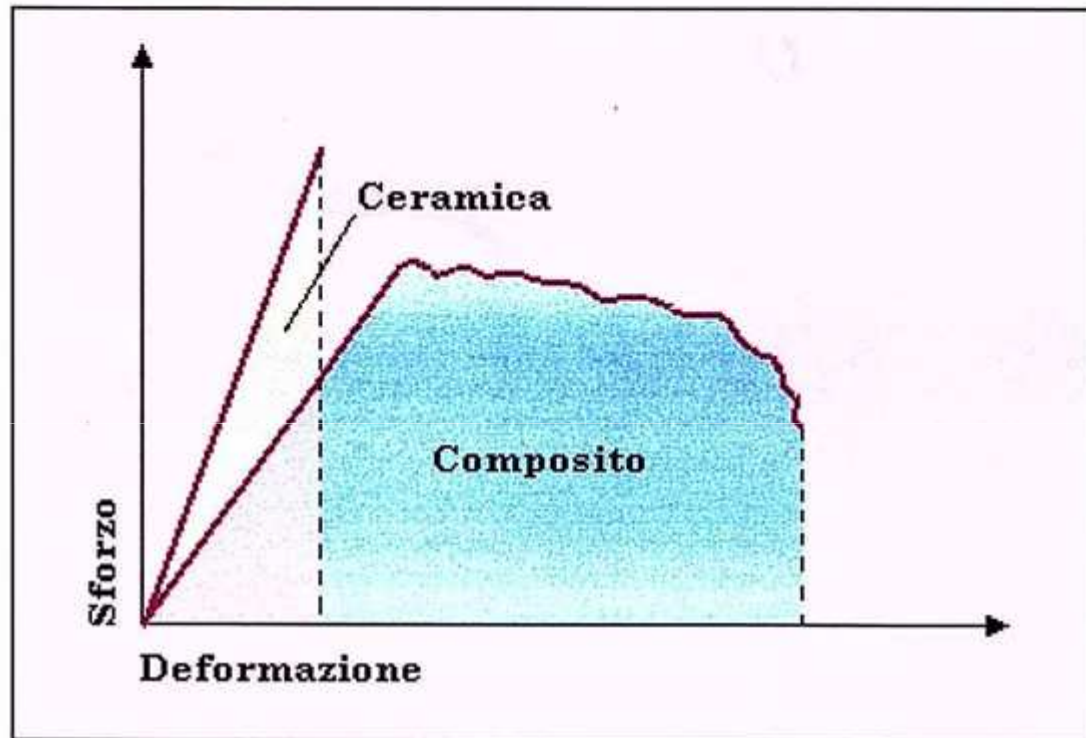
IMPIEGHI DEI COMPOSITI CMC

- **Scudo termico per navicelle spaziali.**
- **Componenti per turbine a gas, camere di combustione ecc.**
- **Componenti per bruciatori, ugelli ecc.**
- **Dischi freni e componenti sottoposti a grandi shock termici (compositi Carbonio-Carbonio).**
- **Sostituzione di metalli in ambienti corrosivi ad altissima T.**
- **Componenti per veicoli aerospaziali ove è importante il controllo del peso.**
- **Slide bearing di pompe per ossigeno liquido o fumi incandescenti.**
- **Sistemi Thrust per razzi e missili (spinta da espulsione di gas da combustione)**

CMC

Nel caso di matrici ceramiche, la funzione principale delle fibre è quella di aumentare la tenacità del materiale, evitando fratture improvvise.

A lato si riporta la curva sforzo-deformazione di un materiale ceramico e di un composito a matrice ceramica. L'area sottesa delle due curve è proporzionale alla tenacità dei due materiali.

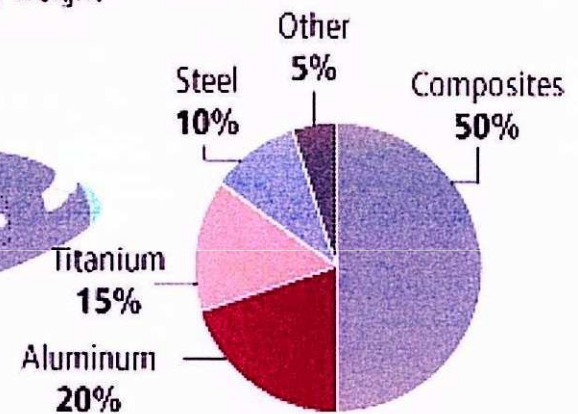


Materials used in 787 body

- Fiberglass
- Aluminum
- Carbon laminate composite
- Carbon sandwich composite
- Aluminum/steel/titanium



Total materials used By weight



By comparison, the 777 uses 12 percent composites and 50 percent aluminum.



**Sistema frenante anteriore Brembo:
Pinza monoblocco in alluminio a 6 pistoni con disco carbo-ceramico**

PROTEZIONE BALISTICA

PROTEZIONE BALISTICA

Si distingue la protezione individuale da quella di mezzi militari e di polizia (aerei, elicotteri, auto, ecc).

Per la personale esistono tre livelli di protezione soft, costituiti da giubbotti abbastanza vestibili in tessuto ed imbottitura sempre più pesante di Kevlar e/o di fibra di carbonio.

La protezione di livello IV rappresenta una protezione più pesante ed ingombrante perché il giubbotto è provvisto di tasche in cui infilare piastre ceramiche di Al_2O_3 , SiC, B_4C . Con l'uso di compositi con rinforzi più duri e tenaci si riesce ad utilizzare piastre più sottili e leggere. A tale proposito sono stati proposti anche i CERMET tipo WIDIA.

Per la protezione dei mezzi si usano piastrelle triangolari, quadrate o esagonali sistemate sulle parti più critiche.



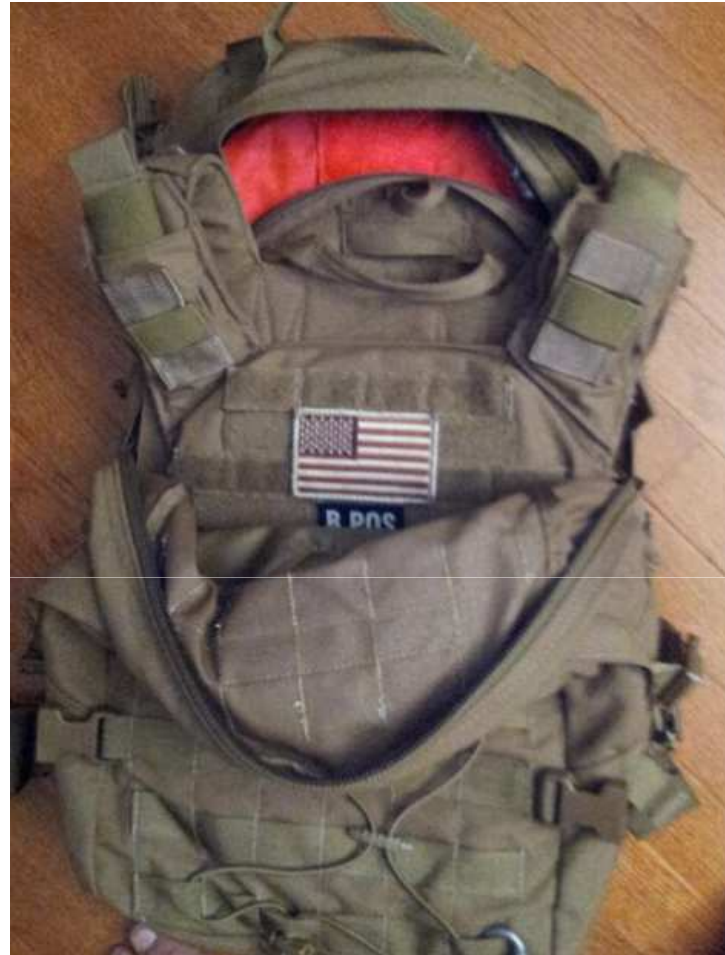
LIVELLO I



LIVELLO II



LIVELLO III



LIVELLO IV

CERAMICA BALISTICA

Le caratteristiche decisive per l'impiego della ceramica nella protezione balistica sono le seguenti:

DUREZZA ELEVATA

POROSITÀ MINIMA O ASSENTE

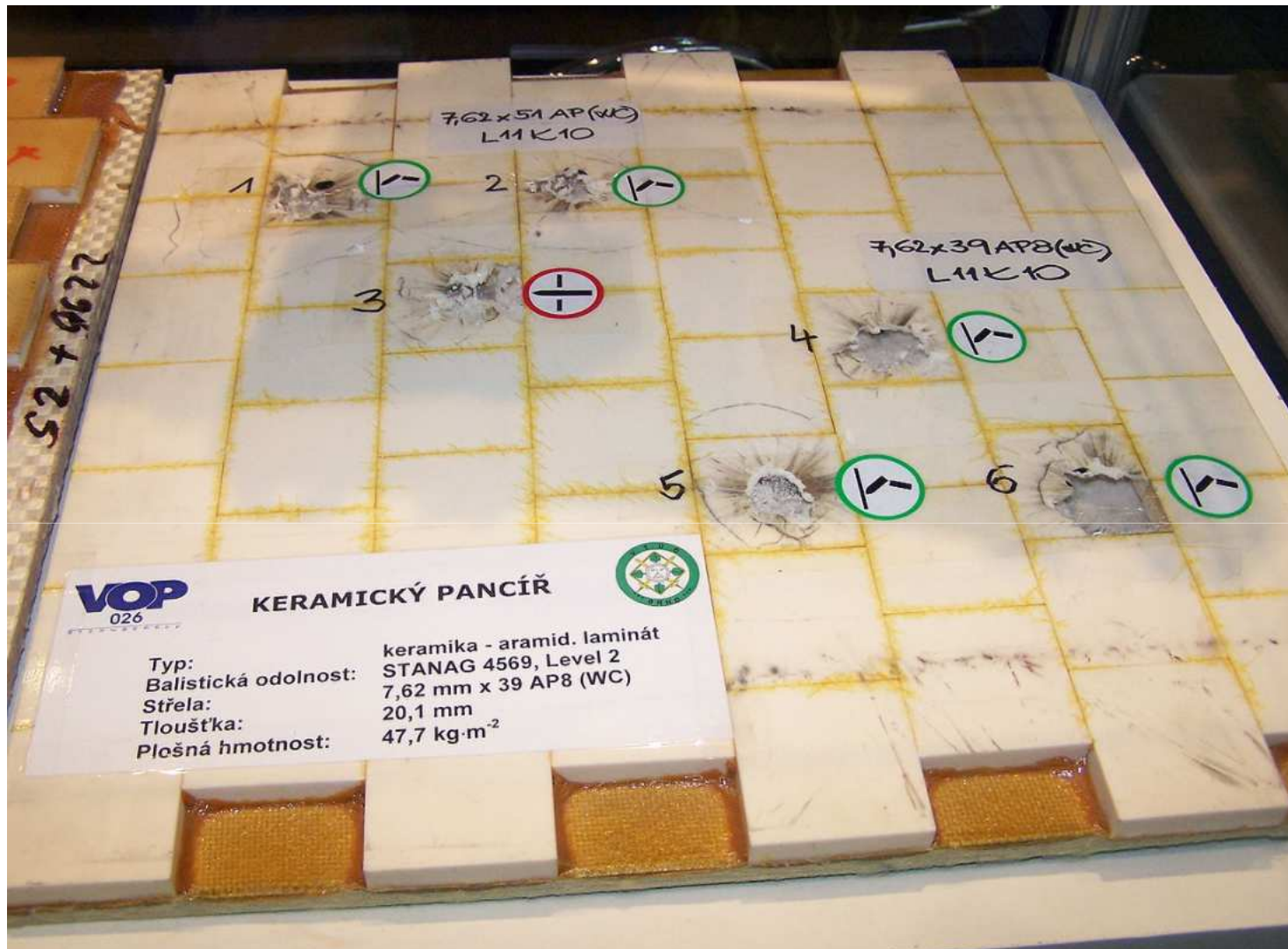
RESISTENZA A FRATTURA

MODULO DI YOUNG

RESISTENZA MECCANICA

Invece caratteristica non apprezzata è l'elevata fragilità che sotto impatto balistico produce la frantumazione nella zona colpita e la frattura piuttosto vasta della piastra protettiva.

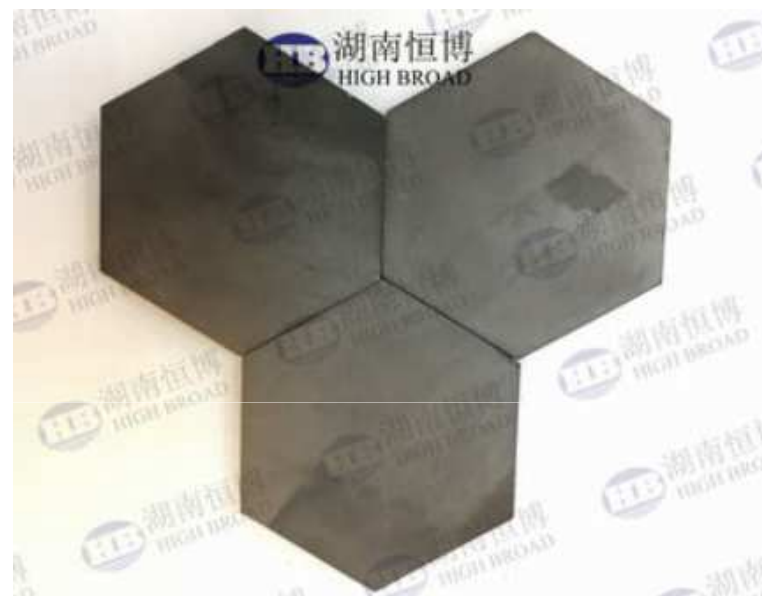
Un'alternativa è rappresentata da materiale composito sia per giubbotti che per altri usi militari e civili. I compositi PMC rinforzati con fibre+particelle ceramiche di Al_2O_3 pesano 30-50% meno e sono quindi di grande interesse.



**CORAZZA COMPOSITA LAMINATA IN CERAMICA-KEVLAR,
RISULTATI DEL TEST BALISTICO**



Protezione balistica di un mezzo militare



Piastrelle di SiC per protezione balistica

Ceramic	Density (g/cm ³)	Vickers hardness (GPa)†	Fracture toughness (MPa·m ^{1/2})	Young's modulus (GPa)	Sonic velocity (km/sec)	Flexural strength (MPa)
Alumina, sintered	3.60–3.95	12–18	3.0–4.5	300–450	9.5–11.6	200–400
Alumina–zirconia, sintered	4.05–4.40	15–20	3.8–4.5	300–340	9.8–10.2	350–550
Silicon carbide, sintered	3.10–3.20	22–23	3.0–4.0	400–420	11.0–11.4	300–340
Silicon carbide, hot pressed	3.25–3.28		5.0–5.5	440–450	11.2–12.0	600–730
Silicon nitride, hot pressed	3.20–3.45	16–19	6.3–9.0			690–830
Boron carbide, hot pressed	2.45–2.52	29–35	2.0–4.7	440–460	13.0–13.7	200–360
Titanium diboride, sintered	4.55	21–23	8.0	550		350
Titanium diboride, hot pressed	4.48–4.51	22–25	6.7–6.95	550	11.0–11.3	270–400
Aluminum nitride, hot pressed	3.26		2.5	330		350

† Tested at various loads.

CARATTERISTICHE DI MATERIALE CERAMICO PER PROTEZIONE BALISTICA

BIBLIOGRAFIA

L. BERTOLINI – *Tecnologia dei Materiali Ceramici, Polimeri e Compositi* – Città Studi Ed. 2012

E. BENVENUTI – *Manuale Basico sui Materiali Compositi* - Create Space Ed. 2017

I. CRIVELLI – *Materiali Compositi* – Hoepli – 2009

C. BADINI – *Materiali Compositi per l'Ingegneria* – Celid -2013

G. CALIGIANA – *I Materiali Compositi* – Pitagora Ed. 2002

S. RUSSO – *Strutture in Composito* – Hoepli – 2007

DANIEL – *Engineering Mechanics of Composite Material* – Oxford Uni. Press – 2013

R. M. JONES – *Mechanics of Composite Materials* – Taylor Ed. – 1975

NABALTEC – *Aluminium Hydroxyde* – Verlag Moderne Industrie – 2015

SITOGRAFIA

A. Licciulli – Prof. Unile – *VOCI SINGOLE*

Wikipedia – *VOCI SINGOLE*