

# Materiali per l'architettura (6CFU)

Prof. Alberto De Capua,



## MpA 3 Struttura e qualità dei materiali da costruzione

# La qualità dei materiali da costruzione

In un linguaggio non troppo specializzato, la locuzione “*qualità del materiale*” può indicare molte cose: elevata resistenza, geometria e dimensioni precise, durata, buon isolamento, aspetto gradevole ...

Generalmente per “qualità” si intende “*buona qualità*” e, contemporaneamente, si pensa ad un “*costo elevato*”.

In realtà, questi aspetti riguardano le “*proprietà*” di un prodotto e per avere un’ idea corretta di qualità occorre che queste proprietà siano considerate nell’ ottica dell’ **uso al quale il prodotto è destinato**.

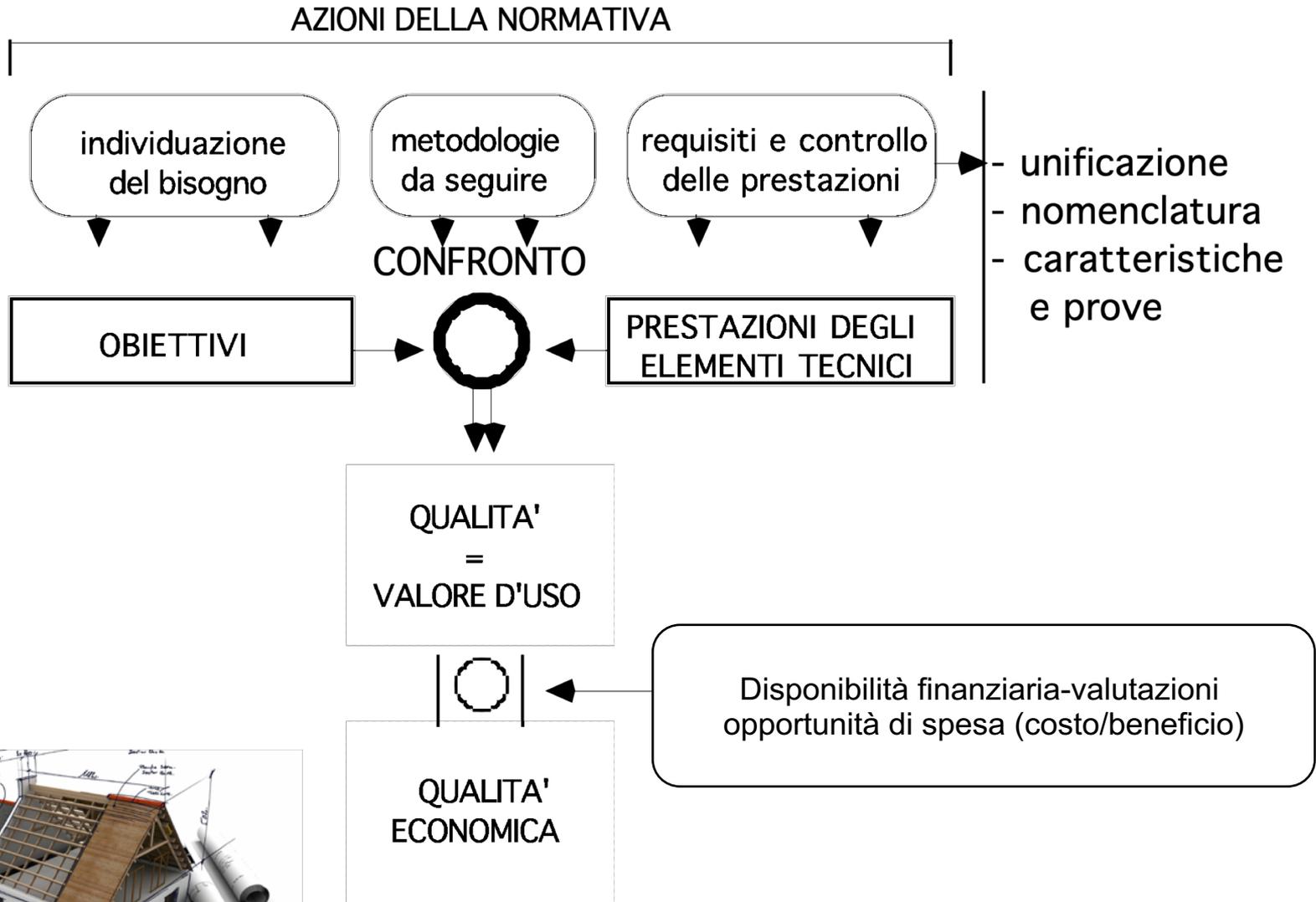
**Qualità è l’attitudine all’ impiego, il rapporto tra l’ obiettivo d’ uso e la prestazione dell’ elemento materiale.**

Un concetto che coincide con quello di “scelta appropriata” e di giusto impiego dei materiali.

Occorre distinguere la “*qualità astratta*” dalla “*qualità economica*”.



# AZIONI DELLA NORMATIVA



# Determinazione e controllo della qualità dei materiali

Per realizzare o controllare la “qualità” occorre un **apparato normativo**, cioè un insieme strutturato di norme, “*convenzioni*” tra produttori e consumatori.

...ovvero *documenti* che contengono la definizione e le caratteristiche di un materiale, con i massimi e i minimi di tolleranza e l’ indicazione dei metodi (prove) da seguire nella determinazione delle caratteristiche stesse.

Tali convenzioni, prodotte e approvate da autorità riconosciute contengono:

- le specifiche delle condizioni che il materiale deve soddisfare e i relativi metodi che stabiliscono se le richieste sono soddisfatte;
- le denominazioni dei prodotti e dei processi produttivi; condizioni “unificative” per rendere i prodotti compatibili tra loro e confrontabili.

## Organismi normatori:

- UNI (Ente Italiano di Unificazione)
- ISO (International Standardization Organization)
- CEN (Comité Europeen de Normalisation)
- CIB (Conseil International du Batiment)
- IEC (International Electrotechnical Committee), ecc.

# Caratteristiche dei materiali e prove fisico-chimiche

Per la verifica delle caratteristiche dei materiali, la normativa impone, a seconda dei casi, prove chimiche, fisiche e meccaniche.

**Verifiche fisico-chimiche:** peso, conduttività termica, punto di fusione ecc.

**Verifiche meccaniche:** modo di reagire alle sollecitazioni.

Le verifiche meccaniche possono avvenire utilizzando:

**PROVE STATICHE** (sollecitazioni gradualmente crescenti) carico unitario o chilogrammo.  
Forza - Kg/mm<sup>2</sup> o kg/cm<sup>2</sup>, oppure in Newton dove  $1\text{kgf} = 9,81\text{N}$ )

**PROVE DINAMICHE** (sollecitazioni brusche) in “lavoro assorbito”, chilogrammetri kgm o kgm/cm<sup>2</sup>, o Joule dove  $J=9,81\text{kgm}$ )

**PROVE DI FATICA** Dovuto a sollecitazioni ripetute (cicliche)



# Caratteristiche dei materiali o indicatori tecnici

Gli elementi che, direttamente o indirettamente, determinano la “qualità” del materiale sono:

- *Caratteri primari*
- *Caratteristiche fisiche*
- *Caratteristiche meccaniche*
- *Caratteristiche tecniche e tecnologiche*

## Caratteri primari

- *composizione:* natura chimica del materiale
- *costituzione:* genesi del materiale, come si è formato geologicamente
- *struttura:* composizione dei componenti (percentuale e modo)
- *colore:* presenza di pigmenti (aspetto, che varia nel tempo)

## **PESO O DENSITA' - $P = \text{g}/\text{cmc}$ o $\text{kg}/\text{mc}$**

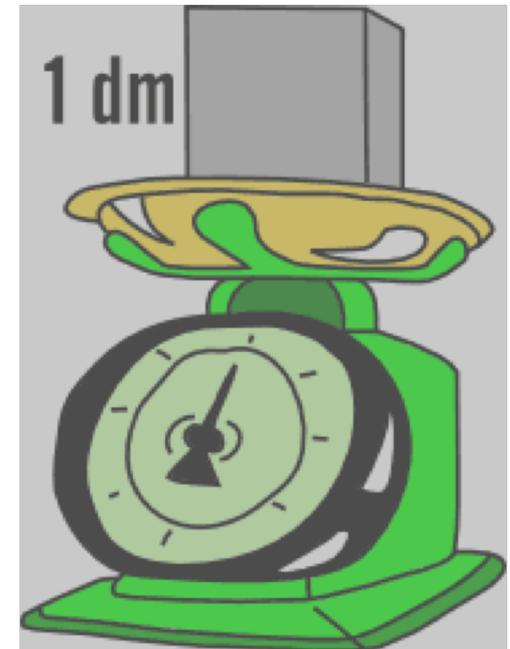
E' il peso dell' unità di volume considerato allo stato di integrità (condiziona il progetto delle strutture e i costi di trasporto).

Si dice anche “**peso specifico apparente**” per distinguerlo dal “**peso specifico reale**”, che definisce la “densità assoluta” del materiale, cioè il peso del volume senza i vuoti.

Il rapporto tra questi due “pesi” determina la COMPATTEZZA del materiale che, di solito, è indicativa della sua resistenza meccanica.

Alcuni valori di P:

- *legno:* da 0,51 a 1,01 g/cmc
- *laterizi pieni:* da 1,60 a 1,80 g/cmc
- *calcestruzzo:* da 2,10 a 2,50 g/cmc
- *acciaio:* da 7,50 a 8,10 g/cmc



**IMBIBIZIONE,  $g = (G_m - G) / G$**

G = peso del provino asciutto

G<sub>m</sub> = peso del provino saturo d'acqua

Capacità di lasciarsi penetrare dai liquidi e trattenerli

- marmo di Carrara, g = 0,001
- arenaria, g = 0,015
- tufo vulcanico, g = 0,274



**ASSORBIMENTO O IGROSCOPICITA'**

Capacità di assorbire liquidi per capillarità;  
dipende dalla porosità

**PERMEABILITA'**

Proprietà di lasciarsi attraversare o no dai liquidi;

può dipendere sia dalla porosità che da sottilissime fessurazioni



## DILATABILITA' TERMICA

E' la proprietà che hanno i materiali di aumentare le proprie dimensioni se si aumenta la temperatura.

Il "coefficiente di dilatazione termica" è particolarmente alto nei metalli e nei polimeri organici.

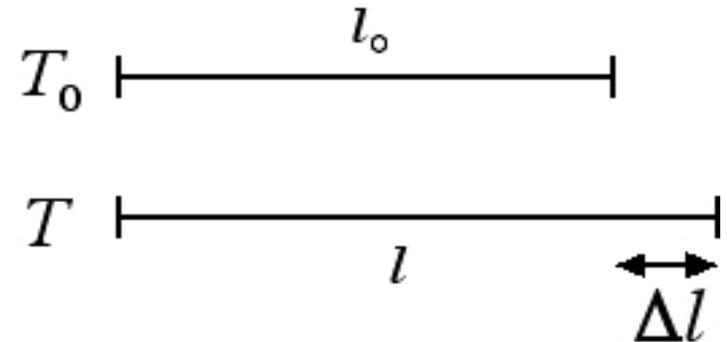
$$\alpha = \Delta L / L \Delta t$$

L = lunghezza del campione

$\Delta L$  = aumento di lunghezza

$\Delta t$  = innalzamento della temperatura

- legno (parallelamente alle fibre)  $\alpha = 0,000006-0,000003$ ;
- legno (perpendicolarmente alle fibre)  $\alpha = 0,000055-0,000035$
- laterizi  $\alpha = 0,000006$
- calcestruzzo  $\alpha = 0,000012$
- acciaio  $\alpha = 0,000012$
- alluminio  $\alpha = 0,000024$



## CONDUTTIVITA' TERMICA

E' la proprietà che hanno i materiali di lasciarsi attraversare dal calore, dipende dalla densità e anche dal grado di umidità.

$$Q = \lambda (t_2 - t_1) S h / s \quad \lambda = \text{coefficiente di conduttività termica}$$

Q = quantità di flusso termico

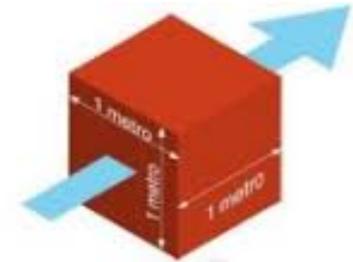
ponendo  $(t_2 - t_1)$ , S, h, s, = 1

$$Q = \lambda$$

(espresso in "calorie" o in Joule o in Watt) .

- legno  $\lambda = 0,08-0,15$
- laterizi pieni  $\lambda = 0,57-0,72$
- laterizi forati  $\lambda = 0,15-0,64$
- calcestruzzo  $\lambda = 0,70-1,20$
- acciaio  $\lambda = 10,00-52,00$
- alluminio  $\lambda = 178,00$

Il suo inverso rappresenta la **resistenza termica** del materiale.

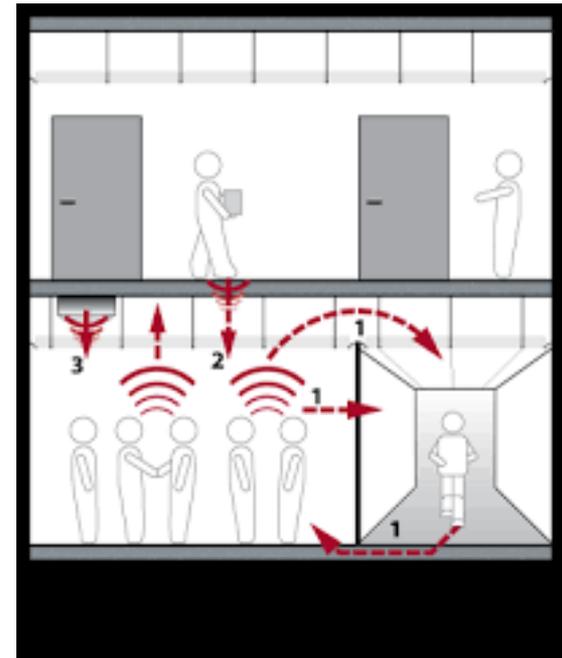


CONDUCIBILITA' TERMICA DEL MATERIALE

$\lambda$  LAMBDA

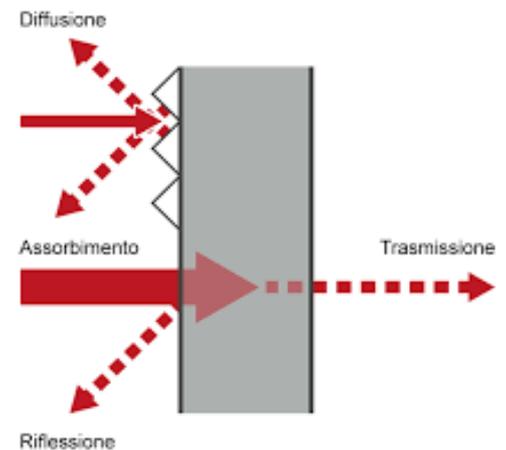
## RESISTENZA ACUSTICA

E' la proprietà dei materiali di impedire la propagazione del suono. Definibile come il prodotto della densità del materiale per la *velocità di propagazione* che è massima nei solidi e nei liquidi, bassa nei gas. Quindi l'isolamento si realizza con materiali pesanti e con porosità chiuse e poco voluminose.



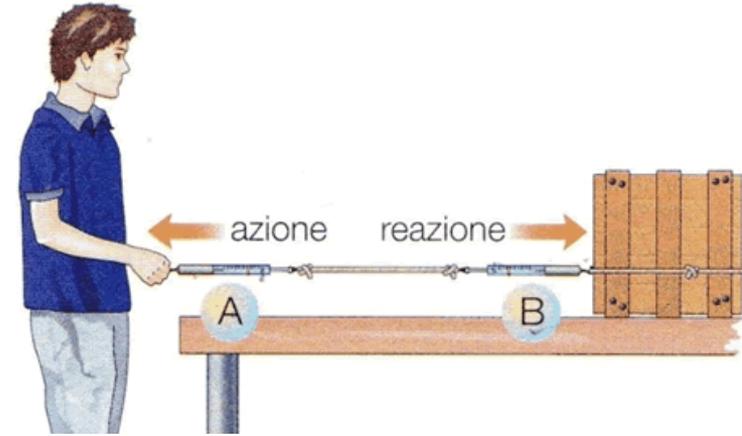
## ASSORBIMENTO ACUSTICO

E' la capacità di un materiale di assorbire una quota di pressione sonora, contribuendo ad una distribuzione omogenea e diffusa del suono nell'ambiente. Influisce sulla qualità di ascolto del suono. Dipende dal volume d'aria contenuto nel materiale e dalla struttura a cavità chiusa o aperta delle porosità.



# Caratteristiche meccaniche

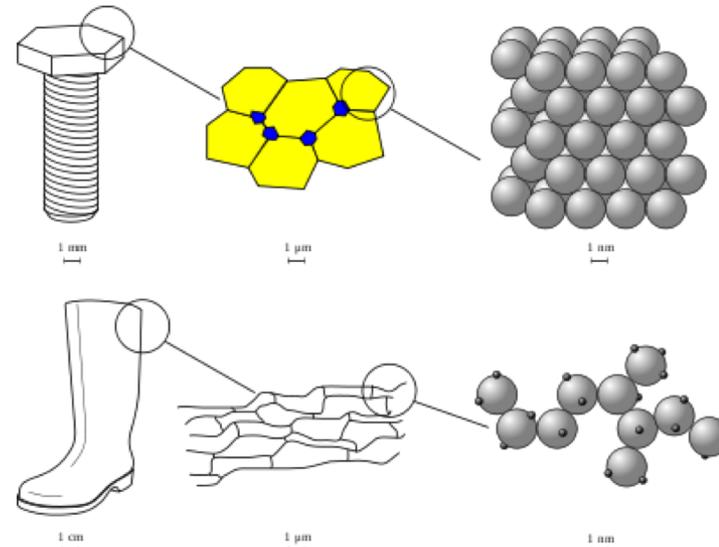
Tra le cose basilari che vengono richieste al materiale da costruzione c'è quella di resistere a sollecitazioni meccaniche. Il problema fu posto in termini scientifici e di calcolo con la nascita della Scienza delle costruzioni nel secolo XIX; ma le prime riflessioni sul concetto di resistenza furono poste molto tempo prima, dai fisici **Galileo Galilei (1564-1642)**, **Cristopher Wren (1632-1723)** e **Robert Hooke (1635-1703)** e soprattutto da **Isaac Newton (1642-1727)**, grazie al quale si capì che quando si verifica qualche sollecitazione su un corpo questo reagisce: **azione e reazione sono sempre uguali e contrarie (3° principio della dinamica)**.



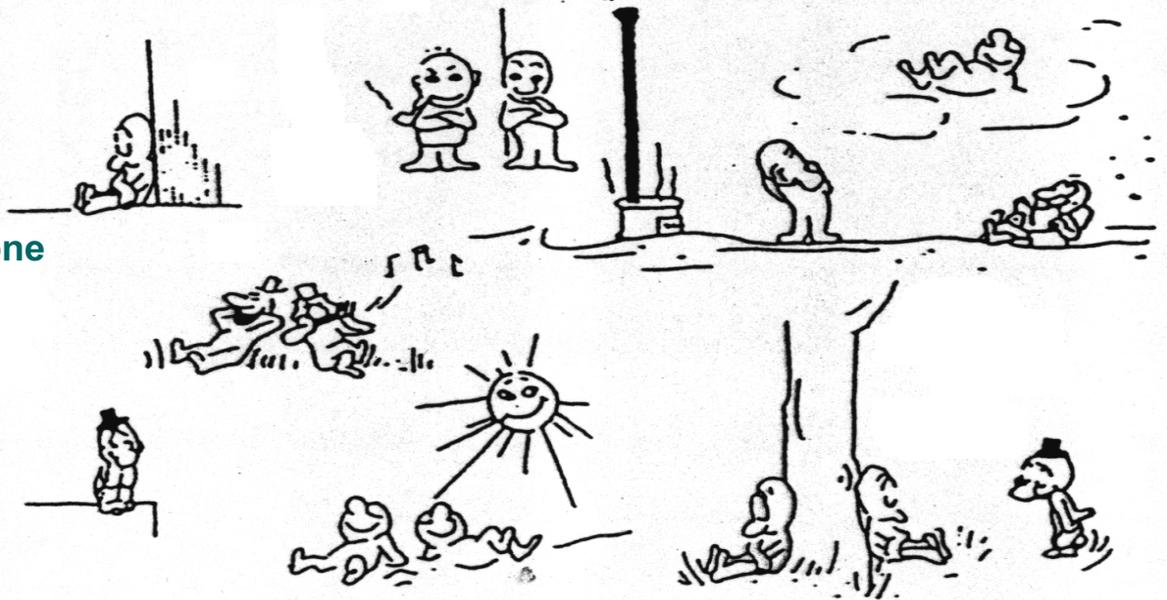
Questo fenomeno si spiega ed è osservabile ai raggi X.

La struttura dei materiali appare formata da atomi, più o meno ordinati, tenuti insieme da legami chimici. Questi legami sono rappresentabili come “molle elettriche”. Se il materiale non è sollecitato le molle sono “scariche” ogni tentativo di avvicinare gli atomi (compressione) o di allontanarli (trazione) comporta un accorciamento o un allungamento delle molle.

Sospendendo la sollecitazione il sistema atomi-legami riprende la sua configurazione iniziale: la struttura è “conservativa”.



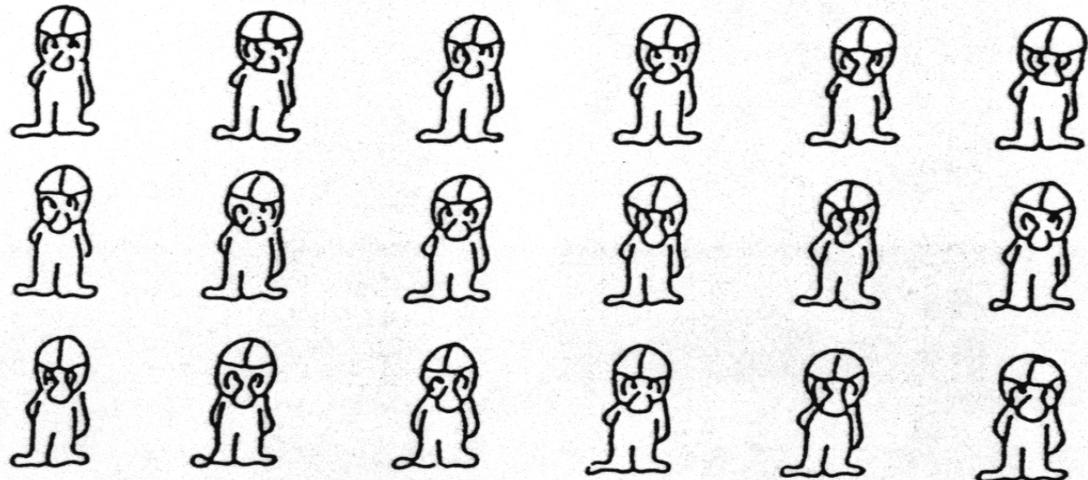
I corpi solidi possono essere:



**Amorfi** quando la disposizione è disordinata



**Cristallini** se le loro particelle sono disposte stabilmente e con regolarità nello spazio



Non esistono materiali del tutto rigidi, la **deformazione** anche se impercettibile c'è sempre ed è prodotta da forze che vincono la loro “coesione” fino a determinarne la rottura.

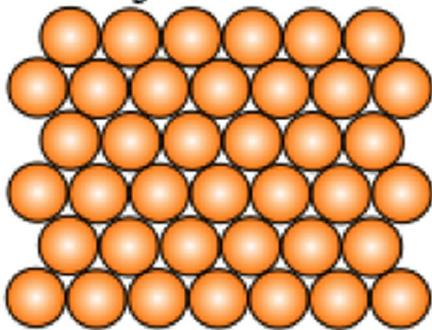
Nei **cristalli** la rottura avviene quando i legami si spezzano. Ciò richiede molta energia.

Nei **polimeri termoplastici** e nei solidi inorganici molecolari i legami coesivi sono invece più deboli, quindi, anche le forze che producono deformazioni e rottura sono minori.

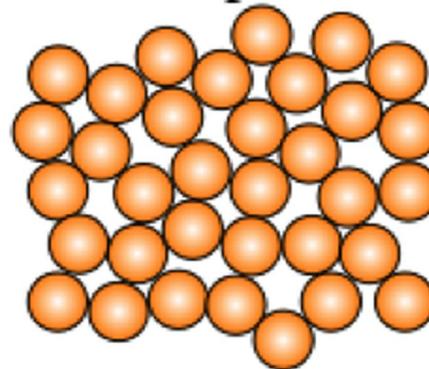
Si può quindi dire che conoscendo il numero degli atomi ed il valore dei legami di coesione è possibile calcolare la resistenza di un materiale.

Nella pratica, le sollecitazioni che determinano la rottura sono minori (da 10 a 100 volte) la ragione è nei difetti presenti nei materiali: “inclusioni” (impurità) o “dislocazioni” (difetti strutturali).

Crystalline



Amorphous



## Azioni e deformazioni



Ai fini di valutare la resistenza di un materiale occorre introdurre il concetto di **CARICO**

**UNITARIO** – carico che insiste sull'unità di superficie

$s = P/A$       $P =$  carico totale

$A =$  superficie su cui insiste  $P$

*esempio 1*: salgo con il mio peso di Kg 80 su un mattone appoggiato a terra sulla sua superficie piccola cm 5,5 x 12 = cmq 66 avrò:

$$s = 80/66 = 1,21 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (carico unitario)}$$

*esempio 2*: sul pilastro di un ponte in mattoni con sezione cm 400 x 200 = 80.000 cmq si è fermata una locomotiva di 100.000 Kg, avrò:

$$s = 100.000/80.000 = 1,25 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (carico unitario)}$$

Sostanzialmente lo stesso carico unitario: se è sicura la prima struttura, lo è la seconda.



Il ragionamento è identico per la **DEFORMAZIONE UNITARIA** che rappresenta l'*allungamento o accorciamento sotto carico per l'unità di lunghezza* :

$e = l/L$       $l =$  allungamento o accorciamento

$L =$  lunghezza originaria

Ciò significa che se una barra di 3 m si allunga di 3 cm si ha

$$e = 3/300 = 0,01 \text{ o } 1\%$$

analogamente alla deformazione di una barra di 1 m che si allunga di 1 cm

**Tabella proprietà fisiche e meccaniche di metalli (valori mediati).**

		Modulo di elasticità alla trazione (Young).	Carico di rottura alla trazione.	Peso specifico, massa volumica.	Coef. di dilatazione termica.	Calore specifico.	Resistenza elettrica.	Cond. termica.	Temp. di fusione.
		<b>E</b>	<b>Rm</b>	<b>p.sp</b>	<b>c</b>	<b>c.sp</b>	<b>Ω(ohm)</b>	<b>k</b>	
<b>Materiale:</b>		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kg/dm <sup>3</sup>	mm/m/ °C	kcal/kg	ohm/mm <sup>2</sup> m	kcal/m °C	°C
<b>Ferro</b>	Fe 37/360	190000	360	7,87	0,0123	0,12	0,0934	68	1550
<b>Ferro</b>	Fe 430	200000	430	7,87	0,0108	0,12	0,0934	68	
<b>Ferro</b>	Fe 510	210000	510	7,87	0,0108	0,12	0,0934	68	
<b>Acciaio non legato</b>	C40	220000	500	7,87	0,0108	0,12	0,142	57	1515
<b>Acciaio non legato</b>	C 45	220000	680	7,87	0,0108	0,12	0,142	57	
<b>Acciaio legato</b>	18NiCrMo5	230000	980	7,87	0,0124	0,12			
<b>Acciaio legato</b>	34CrNiMo6	220000	1100	7,87	0,0124	0,12			
<b>Acciaio legato</b>	42 CrMo 4	230000	1050	7,87	0,0124	0,12			
<b>Acciaio per cilindri</b>	St35 - St37	200000	480	7,87	0,0124	0,12			
<b>Acciaio per cilindri</b>	ST 52	220000	580	7,87	0,0124	0,12			
<b>Acciaio per cilindri</b>	ST E 460	220000	700	7,87	0,0124	0,12			
<b>Acciaio INOX</b>	AISI 304 X5CrNi 18-10	196000	515	7,91	0,0165	0,12	0,714	12,9	1398

<b>Acciaio INOX</b>	AISI 316 Z5CrNiMo 17-12-2	196000	515	8	0,0165	0,12	0,714	12,9	
<b>Acciaio INOX</b>	AISI 410 X12 Cr 13	198000	730	7,9	0,011	0,11	0,6	25,8	
<b>Acciaio INOX</b>	AISI 420 X30 Cr 13	198000	800	7,9	0,011	0,11	0,6	25,8	
<b>Acciaio INOX</b>	AISI 430 X6 Cr 17	200000	500	7,9	0,01	0,11	0,6	21,5	
<b>Acciaio INOX</b>	AISI 630 X5CrNiCuNb 16-4	196000	1200	8	0,011	0,12	0,7	13,8	
<b>Acciaio INOX</b>	AISI 904 X1NiCrMoCu25-20-5	192000	540	8	0,0161	0,108		10,3	
<b>INOX temprato</b>	X105 Cr Mo 17	196000	825	8		0,12			
<b>Corten</b>	Corten B	206000	500	7,87	0,0123	0,12	0,093	60	
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kg/dm <sup>3</sup>	mm/m/ °C	kcal/kg	ohm/mm <sup>2</sup> m	kcal/m °C	°C
		<b>E</b>	<b>Rm</b>	<b>p.sp</b>	<b>c</b>	<b>c.sp</b>	<b>Ω(ohm)</b>	<b>k</b>	
		Modulo di young.	Carico di rottura alla trazione.	Peso specifico, massa	Coef. di dilatazione termica.	Calore specifico.	Resistenza elettrica.	Cond. termica.	Temp. di fusione.

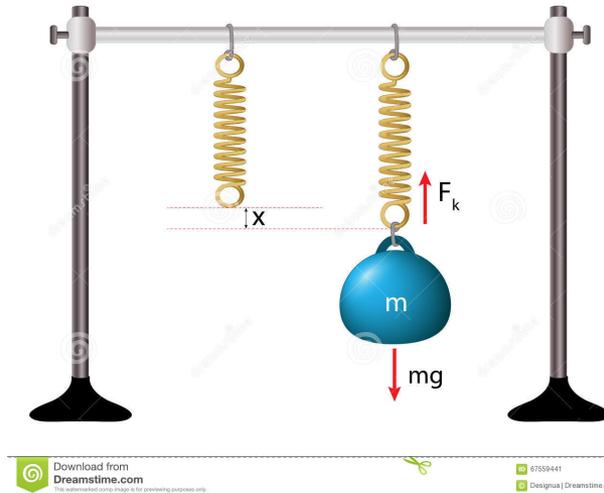
# Legge di Hooke

Il carico applicato ad un corpo è proporzionale alla deformazione indotta.

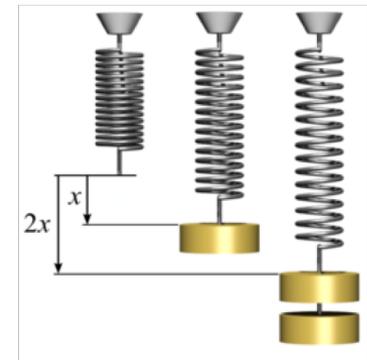
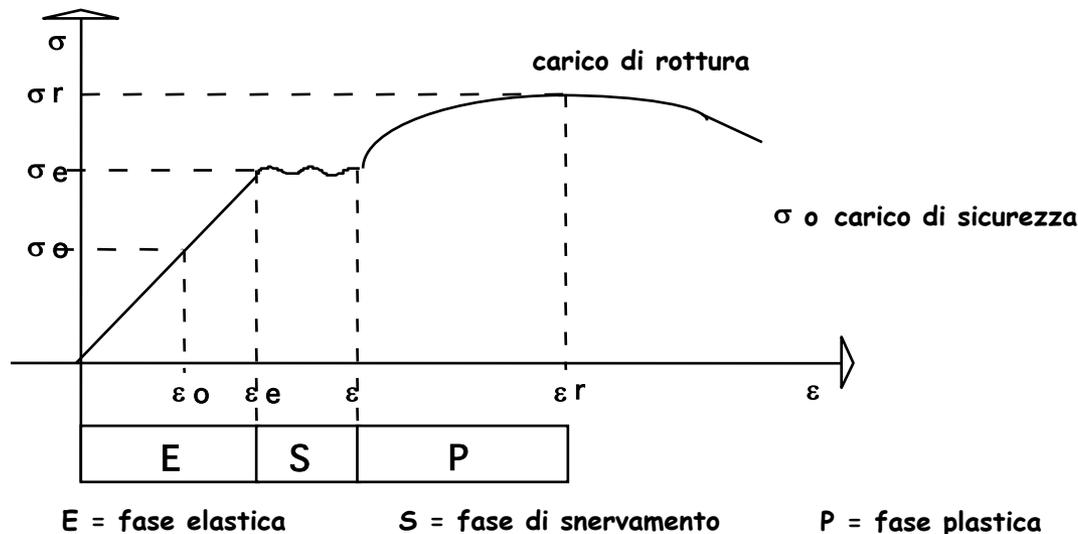
Esempio: se un filo metallico, sottoposto ad un carico di 100 kg, si allunga di 1 cm, sotto uno di 200 kg si allungherà di 2 cm.

Nella realtà, ciò è vero solo in parte: per deformazioni molto grandi lo sforzo è tutt'altro che proporzionale all'allungamento.

Per piccole deformazioni il processo è reversibile (comportamento elastico); oltre certi valori, è irreversibile (comportamento plastico).



Il rapporto tra il variare di  $\sigma$  e quello di  $\epsilon$  è dato dal diagramma di Hooke



La resistenza meccanica è la capacità di sopportare le tensioni interne prodotte da forze esterne:

- trazione
- compressione
- flessione (compressione + trazione)
- taglio
- torsione

Per ogni materiale è possibile determinare il **CARICO DI ROTTURA**, dato dal rapporto tra il carico corrispondente al punto di rottura nel diagramma di Hooke e il valore della sezione del materiale nello stesso istante.

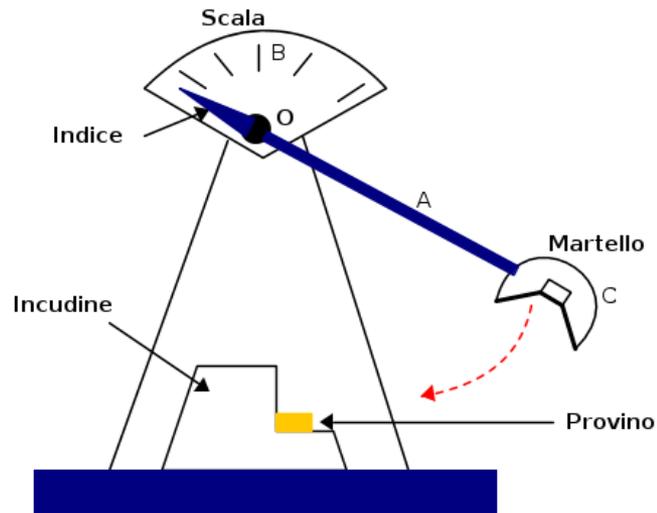
Nel progetto della struttura, si tiene conto del **CARICO DI SICUREZZA**, che è una frazione del carico di rottura e che definisce la sollecitazione massima che garantisce il non verificarsi di deformazioni irreversibili.

Questo numero di frazione esprime il **GRADO DI SICUREZZA “K”**, che varia al variare del materiale.

- |                                |               |
|--------------------------------|---------------|
| - acciaio                      | $K = 1,5-2,3$ |
| - legno                        | $K = 4-6$     |
| - materiali lapidei e laterizi | $K = 8-15$    |

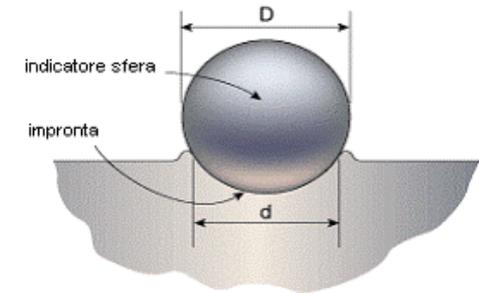
Tra le caratteristiche meccaniche, oltre alle resistenze citate con normali finalità strutturali, occorre ricordare:

**DUREZZA** o capacità di resistere ad azioni che tendono ad intaccarlo (taglio, abrasione, incisione, penetrazione, ecc.).

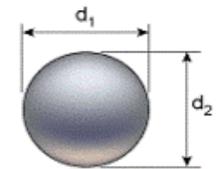


**RESISTENZA A FATICA** riguarda i casi in cui un corpo viene sollecitato in modo ciclico con carichi minimi e carichi elevati che provocano “affaticamento”, riducendone notevolmente il carico di rottura.

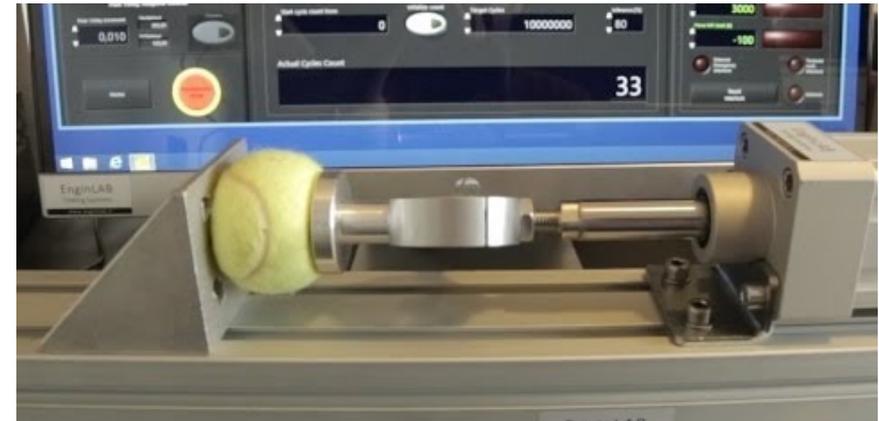
**RESILIENZA** o energia che un materiale può assorbire se sottoposto ad un urto, senza giungere a rottura



(a) Dentellatura Brinell



(b) misurazione dell'impronta del diametro



Le caratteristiche descritte prevedono prove di verifica sostanzialmente “distruttive”. Oggi si conoscono e si praticano altre prove che forniscono informazioni altrettanto attendibili senza menomare il materiale (raggi X, ultrasuoni, procedimenti magnetoscopici, ecc.).

# Caratteristiche tecniche e tecnologiche

<b>CARATTERISTICHE TECNICHE E TECNOLOGICHE</b> <i>Rapporto tra le caratteristiche intrinseche dei materiali e le "esigenze" (normativa della qualità)</i> <b>Classi di esigenze (UNI 0050)</b>		
<b>Sicurezza</b>	Stabilità	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistenza meccanica alle azioni statiche</li> <li>• Resistenza alle azioni dinamiche</li> </ul>
	Sicurezza al fuoco	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistenza reale</li> <li>• Assenza di emissione di sostanze nocive</li> </ul>
	Sicurezza d'uso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controllo della scabrosità</li> <li>• Antisdrucchiolevolezza</li> <li>• Comodità d'uso e di manovra</li> </ul>
<b>Benessere</b>	Igrotermici	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controllo del fattore solare</li> <li>• Impermeabilità ai liquidi</li> <li>• Controllo dell'inerzia termica</li> <li>• Tenuta all'aria</li> </ul>
	Acustici	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assorbimento acustico</li> <li>• Isolamento acustico</li> </ul>
	Visivi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assorbimento luminoso</li> <li>• Controllo dei fenomeni di abbagliamento</li> </ul>
	Olfattivi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assenza di emissione di odori</li> <li>• Impermeabilità ai fluidi aerei</li> <li>• Tenuta alle polveri</li> </ul>
	Tattili	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controllo della scabrosità</li> </ul>
<b>Fruibilità</b>	Attrezzabilità	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilità di fissare elementi</li> </ul>
	Comodità d'uso e di manovra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raggiungibilità elementi e manovrabilità</li> </ul>
	Accessibilità e utilizzabilità	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agibilità delle parti e raggiungibilità dispositivi</li> </ul>

## CARATTERISTICHE TECNICHE E TECNOLOGICHE

<b>Aspetto</b>	Appropriatezza dell'immagine	
	Conservazione dell'immagine	
<b>Integrabilità</b>	Integrazione dimensionale degli elementi tecnici	
	Giunzionabilità	
	Integrazione edilizia degli impianti	
<b>Gestione</b>	Economie di esercizio	come requisiti di benessere
	Economie di gestione	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservazione prestazioni nel tempo</li> <li>• Durevolezza</li> <li>• Pulibilità</li> </ul>