

Materiali per l'architettura (6CFU)

Prof. Alberto De Capua, coll. Arch. Valeria Ciulla, Arch. Lidia Errante, Arch. Valentina Palco



MpA 3 Struttura e 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.

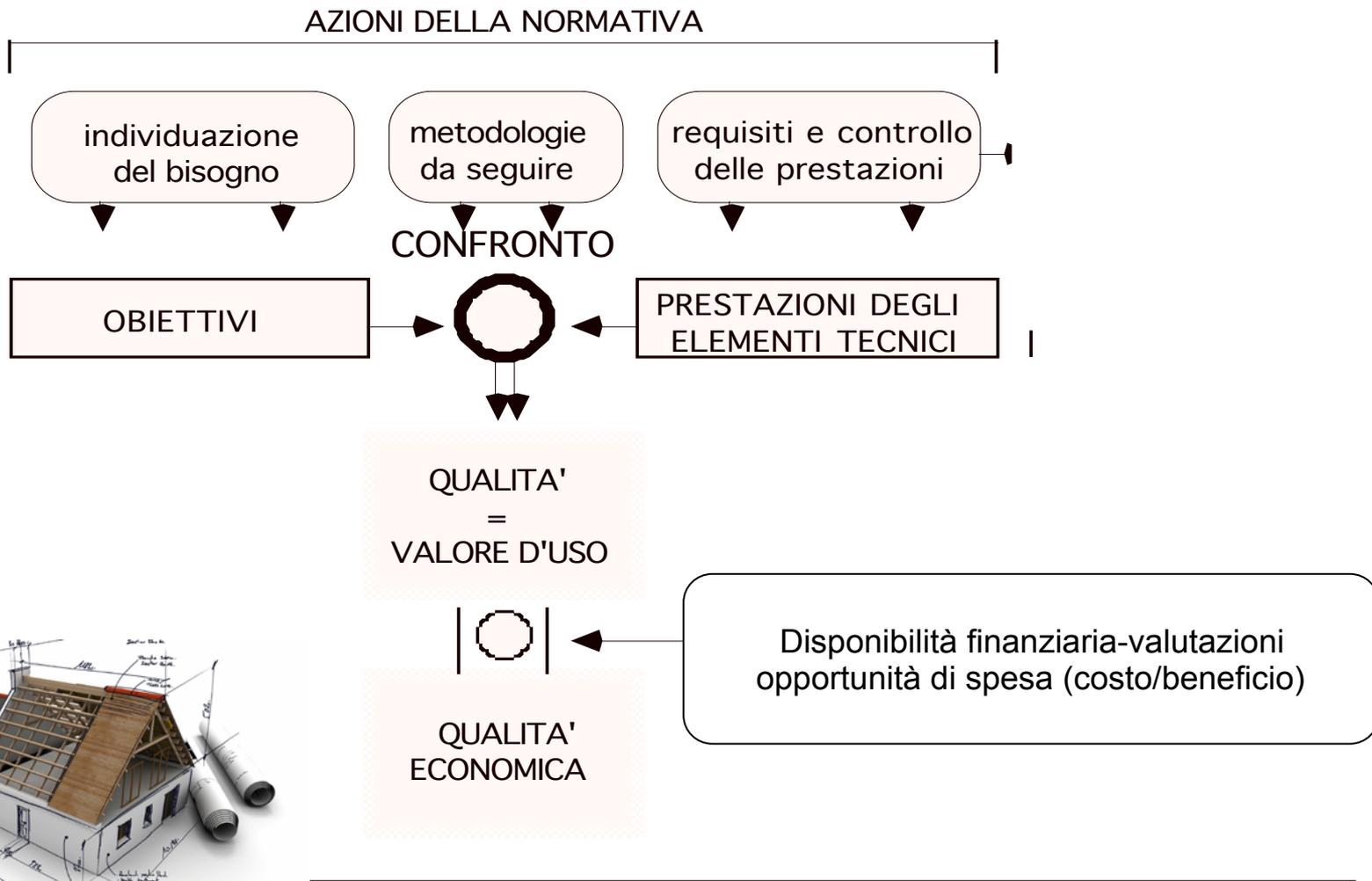
Un concetto che coincide con quello di “scelta appropriata” e di giusto impiego dei materiali.

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



AZIONI DELLA NORMATIVA

fig. 1 - Determinazione e controllo della qualità dei materiali



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 Européen 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/mm² o kg/cm², oppure in Newton dove $1\text{kgf} = 9,81\text{N}$)

PROVE DINAMICHE (sollecitazioni brusche) in “lavoro assorbito”, chilogrammetri kgm o kgm/cm², o Joule dove $J=9,81\text{ kgm}$)

PROVE DI FATICA (sollecitazioni 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)

Caratteristiche fisiche

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

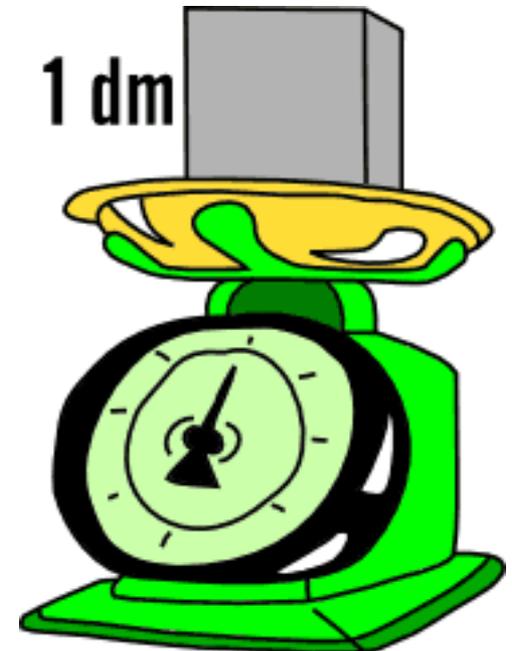
E' il peso dell' unità di volume considerato allo stato di integrità (condiziona il progetto delle strutture e i costi di trasporto).

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_m = 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
("cavilli" o peli")



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.

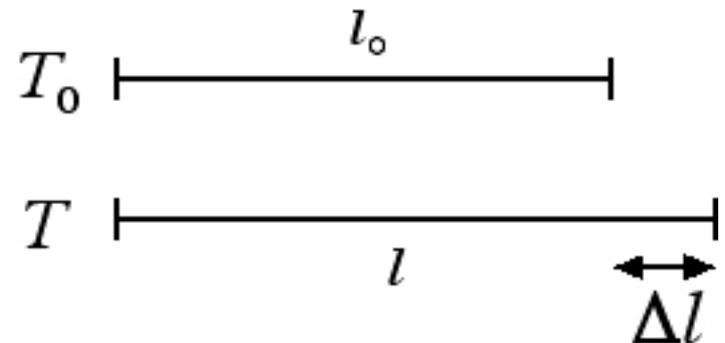
$$\alpha = \Delta L / L \Delta t$$

L = lunghezza del campione

ΔL = aumento di lunghezza

Δt = 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

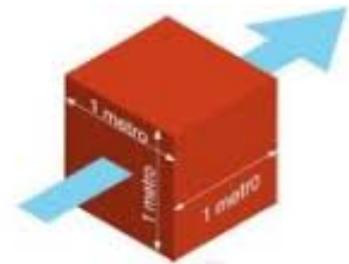
ponendo $(t_2 - t_1)$, S, h, s, = 1

$$Q = \lambda$$

(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.

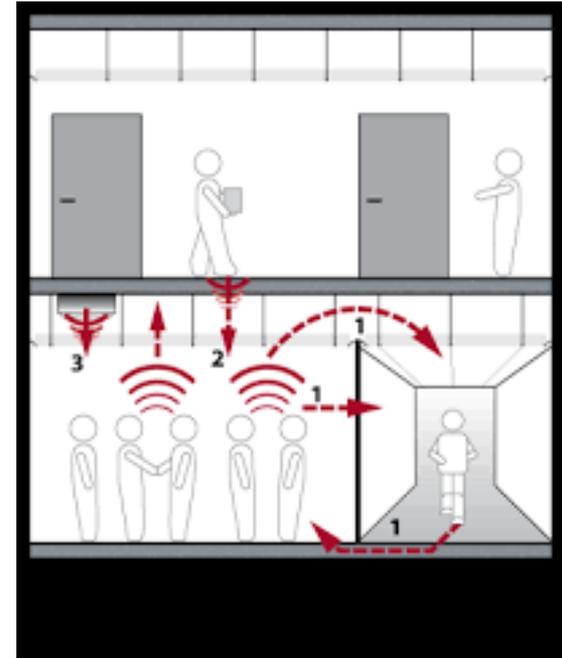


CONDUCIBILITA' TERMICA DEL MATERIALE

λ LAMBDA

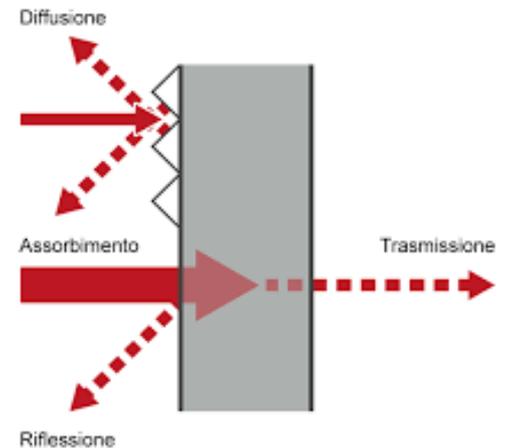
RESISTENZA ACUSTICA

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

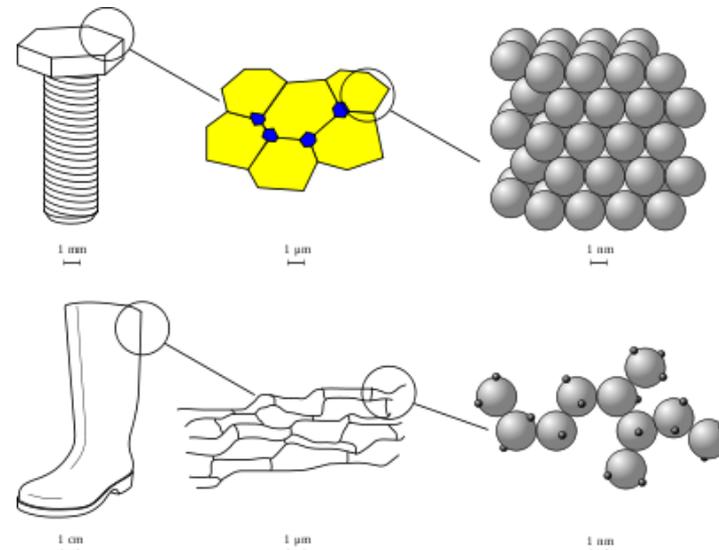
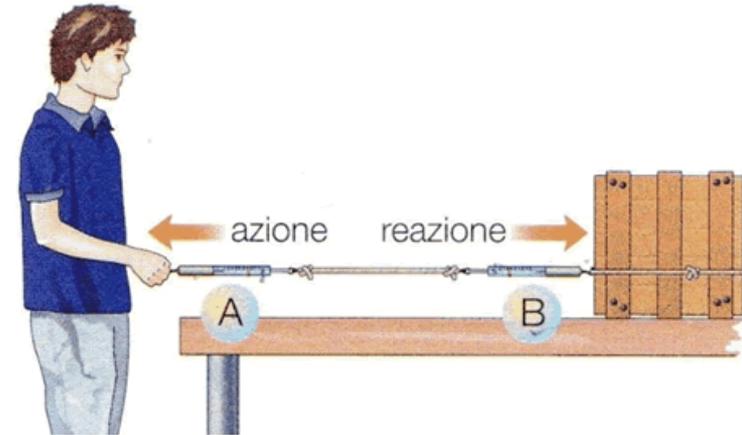
Tra le cose basilari che vengono richieste al materiale da costruzione c'è quella di resistere a sollecitazioni meccaniche.

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).***

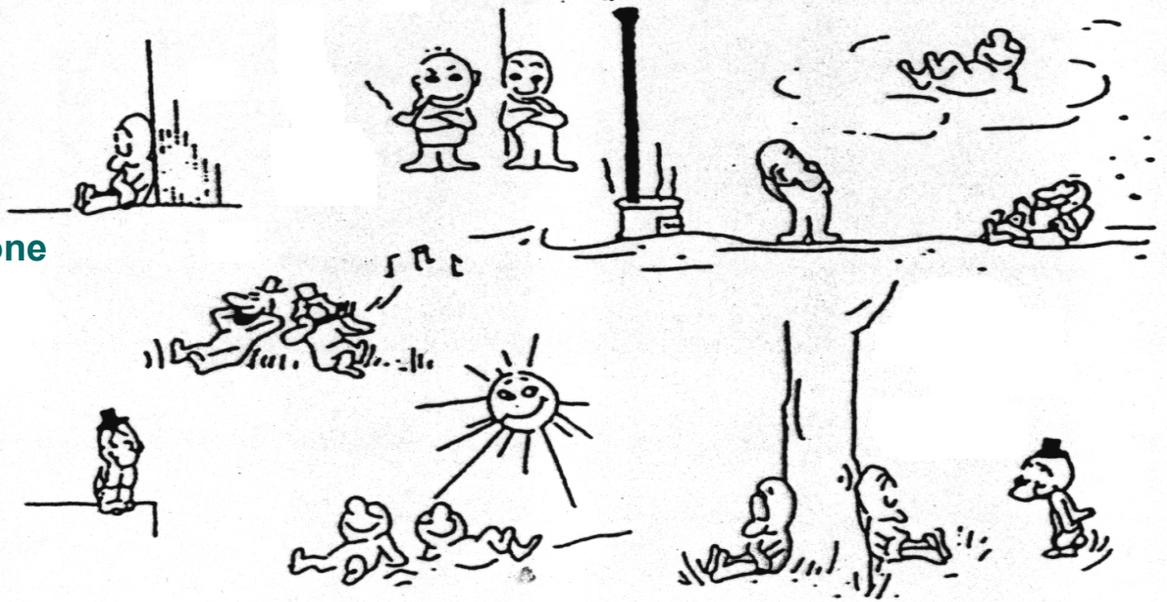
Questo fenomeno si spiega ed è osservabile ai raggi X.

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”.



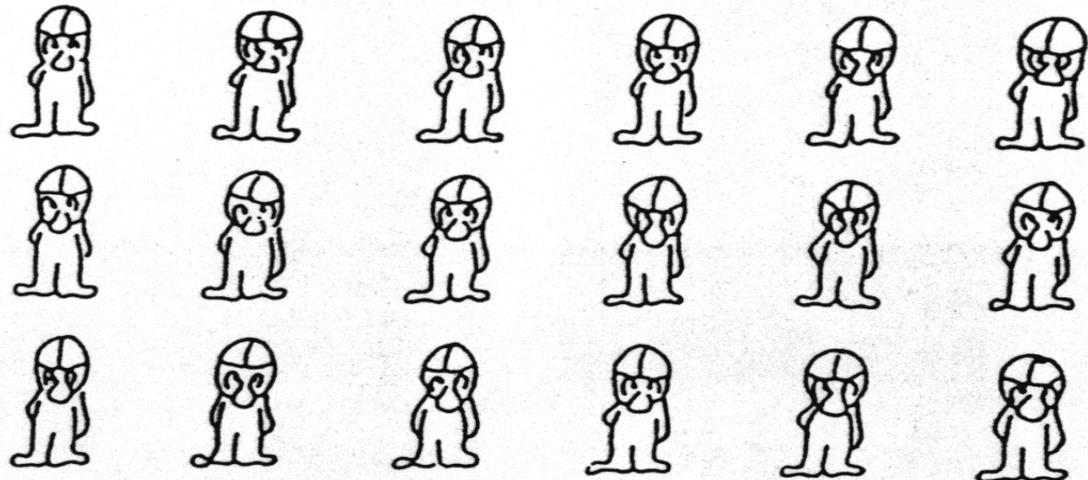
I corpi solidi possono essere:



Amorfi quando la disposizione è disordinata



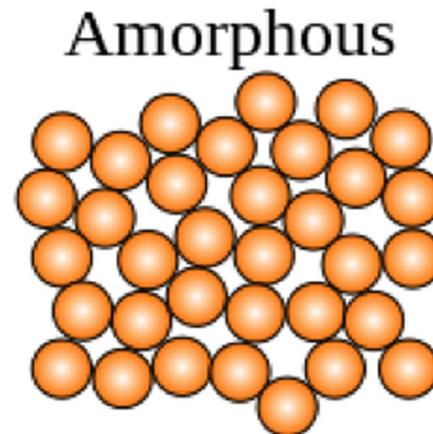
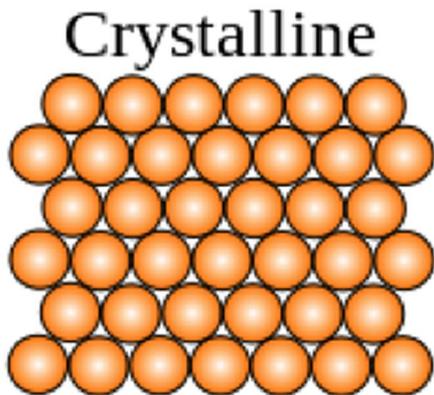
Cristallini se le loro particelle sono disposte stabilmente e con regolarità nello spazio



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).



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

$$s = P/A \quad P = \text{carico totale} \\ A = \text{superficie su cui insiste } P$$

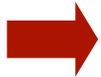
esempio 1: salgo con il mio peso di Kg 80 su un mattone appoggiato a terra sulla sua superficie piccola cm 5,5 x 12 = cmq 66 avrò:

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

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* :

$$e = l/L \quad l = \text{allungamento o accorciamento} \\ L = \text{lunghezza originaria}$$

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.
		E	Rm	p.sp	c	c.sp	Ω(ohm)	k	
Materiale:		N/mm ²	N/mm ²	kg/dm ³	mm/m/ °C	kcal/kg	ohm/mm ² m	kcal/m °C	°C
Ferro	Fe 37/360	190000	360	7,87	0,0123	0,12	0,0934	68	1550
Ferro	Fe 430	200000	430	7,87	0,0108	0,12	0,0934	68	
Ferro	Fe 510	210000	510	7,87	0,0108	0,12	0,0934	68	
Acciaio non legato	C40	220000	500	7,87	0,0108	0,12	0,142	57	1515
Acciaio non legato	C 45	220000	680	7,87	0,0108	0,12	0,142	57	
Acciaio legato	18NiCrMo5	230000	980	7,87	0,0124	0,12			
Acciaio legato	34CrNiMo6	220000	1100	7,87	0,0124	0,12			
Acciaio legato	42 CrMo 4	230000	1050	7,87	0,0124	0,12			
Acciaio per cilindri	St35 - St37	200000	480	7,87	0,0124	0,12			
Acciaio per cilindri	ST 52	220000	580	7,87	0,0124	0,12			
Acciaio per cilindri	ST E 460	220000	700	7,87	0,0124	0,12			
Acciaio INOX	AISI 304 X5CrNi 18-10	196000	515	7,91	0,0165	0,12	0,714	12,9	1398

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

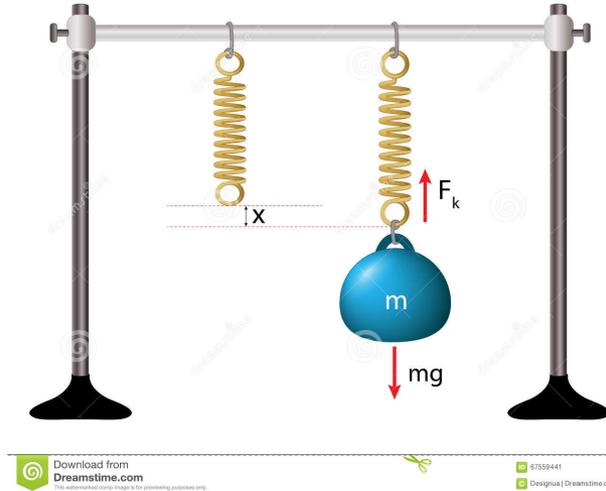
Legge di Hooke

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

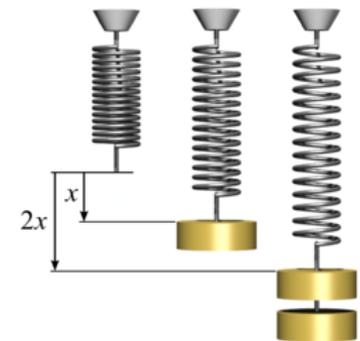
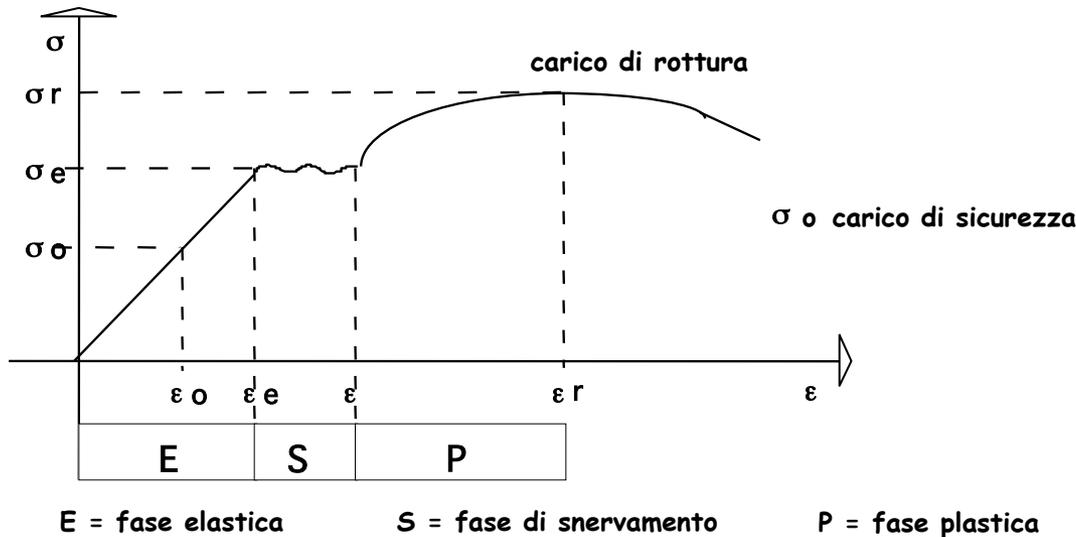
Esempio: se un filo metallico, sottoposto ad un carico di 100 kg, si allunga di 1 cm, sotto uno di 200 kg si allungherà di 2 cm.

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 σ e quello di ϵ 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.

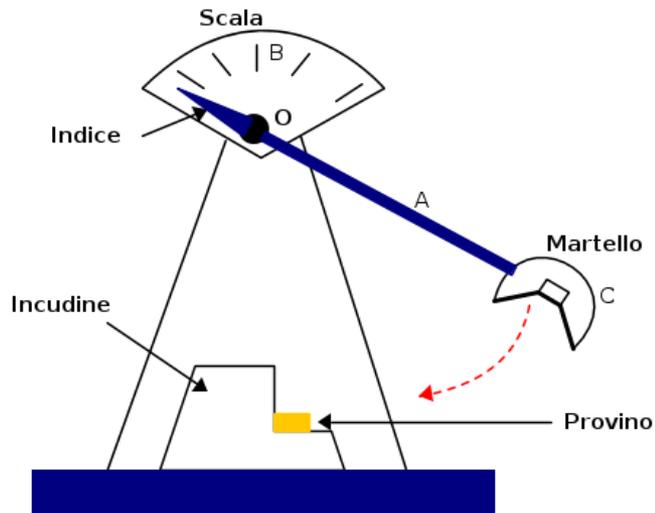
Nel progetto della struttura, si tiene conto del **CARICO DI SICUREZZA**, che è una frazione del carico di rottura e che definisce la sollecitazione massima che garantisce il non verificarsi di deformazioni irreversibili.

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 | $K = 8-15$ |

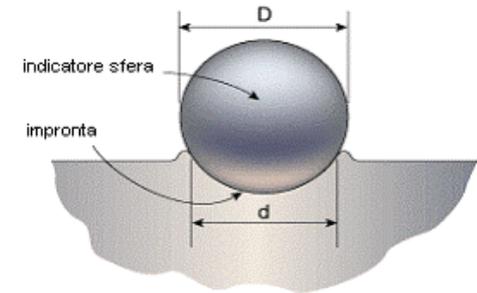
Tra le caratteristiche meccaniche, oltre alle resistenze citate con normali finalità strutturali, occorre ricordare:

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

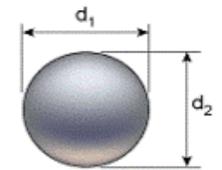


RESILIENZA o energia che un materiale può assorbire se sottoposto ad un urto, senza giungere a rottura

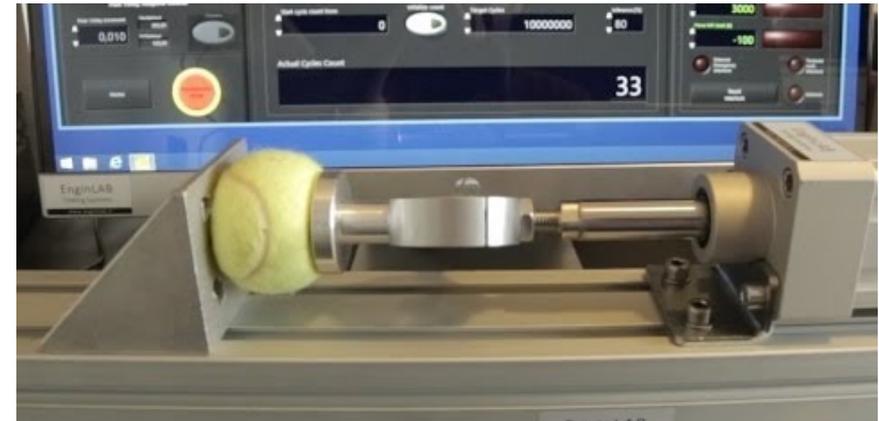
RESISTENZA A FATICA riguarda i casi in cui un corpo viene sollecitato in modo ciclico con carichi minimi e carichi elevati che provocano “affaticamento”, riducendone notevolmente il carico di rottura.



(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

Rapporto tra le caratteristiche intrinseche dei materiali e le "esigenze" (normativa della qualità)
Classi di esigenze (UNI 0050)

Sicurezza	Stabilità	<ul style="list-style-type: none">• Resistenza meccanica alle azioni statiche• Resistenza alle azioni dinamiche
	Sicurezza al fuoco	<ul style="list-style-type: none">• Resistenza reale• Assenza di emissione di sostanze nocive
	Sicurezza d'uso	<ul style="list-style-type: none">• Controllo della scabrosità• Antisdrucchiolevolezza• Comodità d'uso e di manovra
Benessere	Igrotermici	<ul style="list-style-type: none">• Controllo del fattore solare• Impermeabilità ai liquidi• Controllo dell'inerzia termica• Tenuta all'aria
	Acustici	<ul style="list-style-type: none">• Assorbimento acustico• Isolamento acustico
	Visivi	<ul style="list-style-type: none">• Assorbimento luminoso• Controllo dei fenomeni di abbagliamento
	Olfattivi	<ul style="list-style-type: none">• Assenza di emissione di odori• Impermeabilità ai fluidi aerei• Tenuta alle polveri
	Tattili	<ul style="list-style-type: none">• Controllo della scabrosità
Fruibilità	Attrezzabilità	<ul style="list-style-type: none">• Possibilità di fissare elementi
	Comodità d'uso e di manovra	<ul style="list-style-type: none">• Raggiungibilità elementi e manovrabilità
	Accessibilità e utilizzabilità	<ul style="list-style-type: none">• Agibilità delle parti e raggiungibilità dispositivi

CARATTERISTICHE TECNICHE E TECNOLOGICHE

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