

MATERIALI ED ELEMENTI COSTRUTTIVI – *Antonio Lauria*

05/10/2020

*Vitruvio* (30 a.C.): L'Architettura è una scienza, che è adornata di molte cognizioni, e colla quale si regolano tutti i lavori, che si fanno in ogni arte.

*Leon Battista Alberti* (1450): Architetto chiamerò io colui, il quale saprà con certa, e meravigliosa ragione, e regola, sì con la mente, e con lo animo dividere; sì con la opera recare a fine tutte quelle cose, le quali mediante movimenti dei pesi, congiungimenti, e ammassamenti di corpi, si possono con gran dignità accomodare benissimo all'uso de gli homini.

*Etienne-Louis Boullée* (1780): Cos'è l'Architettura? La definirò io, con Vitruvio, l'arte del costruire? Certamente no.

*Francesco Milizia* (1781): L'Architettura è l'arte di fabbricare.

*John Ruskin* (1854): L'Architettura è l'arte di disporre e di adornare gli edifici, innalzati dall'uomo per qualsivoglia scopo, in modo che la loro semplice vista possa contribuire alla sanità, alla forza, al godimento dello spirito.

*William Morris* (1881): Il mio concetto di architettura abbraccia l'intero ambiente della vita umana; non possiamo sottrarci all'architettura, finché facciamo parte della civiltà, poiché essa rappresenta l'insieme delle modifiche e delle alterazioni operate sulla superficie terrestre, in vista delle necessità umane, eccettuato il puro deserto.

*Le Corbusier*: "L'architettura è il gioco sapiente, rigoroso e magnifico dei volumi assemblati nella luce." (1920)

*Ralph Erskine*: "L'architettura è l'arte di costruire le comunità" (1986)

↓  
**RUOLO SOCIALE  
 DELL'ARCHITETTO**  
 soddisfare le esigenze  
 umane

TECNOLOGIA – **τέχνη** (mestiere/arte)  
 sintesi tra immagine, materia e struttura

+ λογος

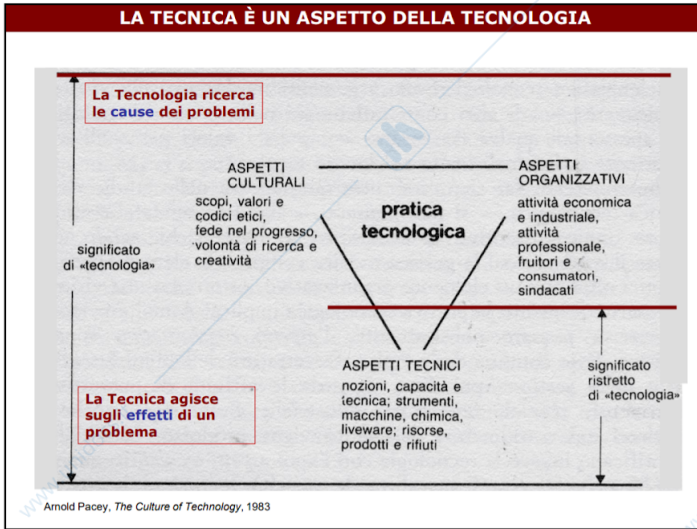
Heidegger: "La τέχνη è ciò che svela il vero nel bello."

TECNOLOGIA ≠ TECNICA (codifica di procedure, mezzi e modalità esecutive)

↓  
 "governo dei processi di trasformazione materiale per soddisfare le esigenze dell'uomo nell'ambiente in cui vive"; applicazione delle tecniche; selezione di tecniche in vista di uno scopo; riflessione sulle tecniche. Comprende aspetti CULTURALI, ORGANIZZATIVI e TECNICI

"(...) dobbiamo amare i materiali che usiamo. (...) se male lavorati e impiegati, trovano sempre il loro modo a volte severo, di vendicarsi." Mario Ridolfi, *Il disegno architettonico professionale* (1942)

- TORRE EINSTEIN, E.Mendelsohn, Potsdam-Germania, 1917-1921
- CENTRE GEORGES POMPIDOU, Renzo Piano/Richard Rogers, Parigi, 1971-77
- CHIESA DI PADRE PIO, Renzo Piano, San Giovanni Rotondo (FG), 1994-2004



**LA TEORIA ESIGENZIALE-PRESTAZIONALE\***

Bibliografia: N.Sinopoli, *La normativa tecnica*; C.Alexander, *Note sulla sintesi della forma* (1967)

INNOVATORI & EPIGONI: Apollodoro di Damasco, Pier Luigi Nervi, Filippo Brunelleschi  
 INNOVAZIONE – PERFEZIONAMENTO – REGOLA D’ARTE  
 Michelangelo – invenzione finestra inginocchiata (Palazzo Medici)



↓  
 invenzione costruzione cupola senza bisogno di sostegno

\*- si basa sulle esigenze umane il cui soddisfacimento è indipendente da forma e materiale  
 - pensare al fine, all’obiettivo - non tutte le esigenze possono essere quantificate

ESIGENZE – ciò che è richiesto o ritenuto utile per il conseguimento di un benessere materiale o morale

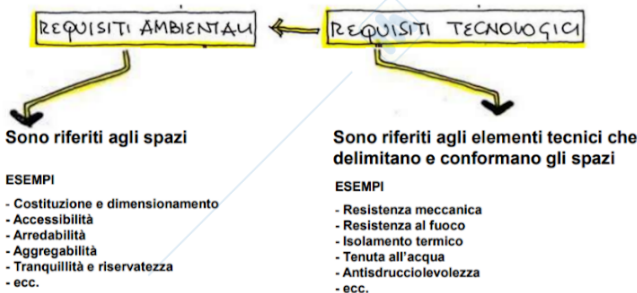
**LE CLASSI ESIGENZIALI**

- SICUREZZA :**  
 INSIEME DELLE CONDIZIONI RELATIVE ALL'INGOMBRAZIONE DEGLI UTENTI, MONITORAGGIO ALLA DISTRIBUZIONE E PREVENZIONE DI RISCHI DIPENDENTI DA FATTORI ACCIDENTALI NELL'USO DEL SISTEMA EDILIZIO
- BENESSERE :**  
 INSIEME DELLE CONDIZIONI RELATIVE A STATI DEL SISTEMA EDILIZIO ADEGUATI ALLA VITA ALLA SALUTE E ALLO SVOLGIMENTO DELLA VITA DEGLI UTENTI
- PROIBIBILITÀ :**  
 INSIEME DELLE CONDIZIONI RELATIVE ALL'ATTITUDINE DEL SISTEMA EDILIZIO AD ESSERE ADEQUATAMENTE USATO DAGLI UTENTI NELLO SVOLGIMENTO DELLE ATTIVITÀ
- ASPETTO :**  
 INSIEME DELLE CONDIZIONI RELATIVE ALLA PROIZIONE PERCETTIVA DEL SISTEMA EDILIZIO DA PARTE DEGLI UTENTI
- GESTIONE :**  
 INSIEME DELLE CONDIZIONI RELATIVE ALL'ECONOMIA DI ESERCIZIO DEL SISTEMA EDILIZIO
- INTEGRABILITÀ :**  
 INSIEME DELLE CONDIZIONI RELATIVE ALL'ATTITUDINE DELLE UNITÀ E DEGLI ELEMENTI DEL SISTEMA EDILIZIO A CONNETTERSI FUNZIONALMENTE TRA DI LORO
- SALVAGUARDIA DELL'AMBIENTE :**  
 INSIEME DELLE CONDIZIONI RELATIVE AL MANTENIMENTO E MIGLIORAMENTO DEGLI STATI DEI SONSISTEMI DI CUI IL SISTEMA EDILIZIO È PARTE

Fonte: UNI 828

## COS'E' UN REQUISITO?

« E' UNA RICHIESTA DI COMPORTAMENTO RINOLTA AD UN DETERMINATO ELEMENTO EDILIZIO (SIA ESSO UNO SPAZIO UN MATERIALE O UN COMPONENTE) DI POSSEDERE CARATTERISTICHE DI FUNZIONAMENTO TALI DA SOGGISFARE DETERMINATE ESIGENZE IN CONDIZIONI D'USO PREFISSATE E IN PRESENZA DI DETERMINATI FATTORI ESTERNI. »



REQUISITI- in fase di progettazione

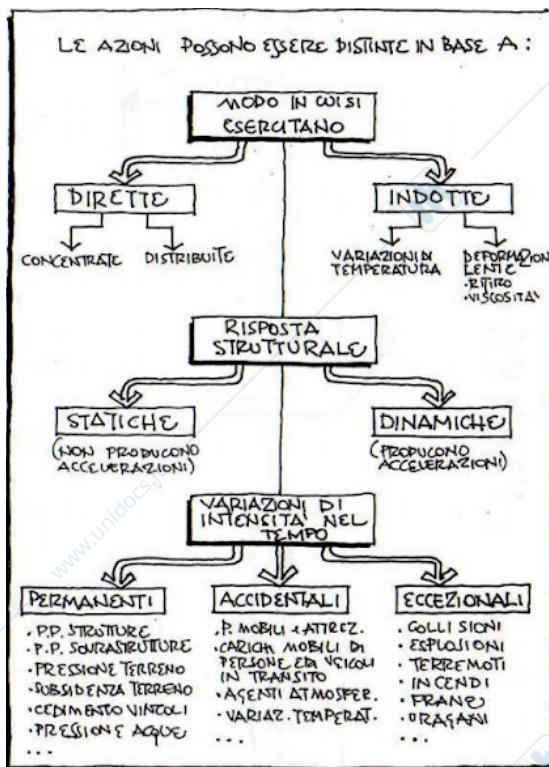
≠

PRESTAZIONI - in fase di verifica, ad opera realizzata;

requisito in atto; bisogno di specificare il metodo di verifica

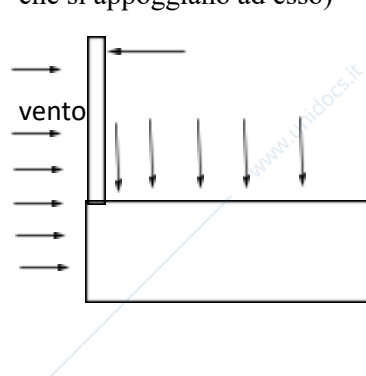
12/10/2020

## AZIONI CHE INTERESSANO LE COSTRUZIONI



Sulla terra ogni costruzione (dalle tende al grattacielo) è soggetta a: forza di gravità, variazioni di temperatura, terremoti, vento, pressioni e assestamenti del terreno.

Es. Balcone di Giulietta (la base/soletta è soggetta ad un carico uniforme. distribuito dato dal carico delle persone, il parapetto dall'azione del vento e dal carico delle persone che si appoggiano ad esso)



Le AZIONI DIRETTE CONCENTRATE si esprimono con un vettore, la freccia indica la direzione, la lunghezza del vettore l'intensità; è assimilabile ha una persona in posizione eretta.

Le AZIONI DIRETTE DISTRIBUITE si dividono in uniformi e non uniformi; le uniformi sono assimilabili ad una persona distesa: il suo peso si distribuisce uniformemente su una superficie più ampia che è quella di tutto il corpo. Nel caso di un acquario o di una diga la pressione dell'acqua sul muro di sostegno varia in maniera lineare, essendo 0 in corrispondenza del pelo libero dell'acqua ( $q=0$  [kg/m]), e massimo nella parte più bassa ( $q_{max}$ ): esempio di un'azione/un carico non uniformemente distribuito.

CARICO PERMANENTE = PESO PROPRIO della struttura + PESO PROPRIO di tutti i carichi che (volume · peso specifico  $[N/m^3]$ ) gravano permanentemente su di essa

CARICHI ACCIDENTALI:

- CARICHI MOBILI (persone, animali, attrezzature, arredi, veicoli in transito)
- AGENTI NATURALI (neve, acqua piovana, vento, ghiaccio, spinta del terreno, pressione acqua)

Balconi e scale possono essere interessate dal fenomeno della “folla compatta”, e bisogna prevedere un carico accidentale di circa  $400kg/m^3$  (circa il doppio per quanto riguarda gli altri ambienti di un edificio).

#### PESO SPECIFICO DI ALCUNI MATERIALI EDILI

Materiali	KN/m <sup>3</sup> (Kg/m <sup>3</sup> )
Calcestruzzo cementizio (cls)	24,0 (2400)
Calcestruzzo cementizio armato (ca)	25,0 (2500)
Acciaio	78,5 (7850)
Ghisa	72,5 (7250)
Alluminio	27,0 (2700)
Abete; Castagno	6,0 (600)
Quercia; Noce	8,0 (800)
Tufo	17,0 (1700)
Calcare compatto	26,0 (2600)
Calcare tenero	22,0 (2200)
Granito	27,0 (2700)
Laterizio (pieno)	18,0 (1800)
Malta di calce	18,0 (1800)
Malta di cemento	21,0 (2100)

$$DENSITÀ = \frac{MASSA}{VOLUME} [Kg/m^3]$$

$$PESO SPECIFICO = \frac{PESO}{VOLUME} [N/m^3]$$

$$PESO = MASSA [Kg] \cdot g$$

$$g = 9,81 m/sec^2 \text{ acc. di gravità}$$

I SOVRACCARICHI ACCIDENTALI di origine naturale dipendono dalle condizioni climatiche presenti nel luogo di intervento, ma anche dalla morfologia degli edifici e dalla scabrosità superficiale. L'azione del vento può essere mitigata efficacemente attraverso un'attenta progettazione dell'intorno ambientale e mediante un'accurata dislocazione e un corretto dimensionamento delle aperture.

AZIONI TERMICHE:

- VARIAZIONI DIMENSIONALI es. ponte in acciaio 90m; temperatura media durante la costruzione  $t_0 = -2^\circ C$   $t_1 = 35^\circ C$   $\Delta l = 36mm$   
 $\Delta l = \text{lunghezza} = \text{coefficiente di dilatazione} \cdot \text{differenza di temperatura}$   
 Se la trave non è libera di muoversi deve crearsi (nel vincolo) una spinta assiale P uguale e contraria alla dilatazione termica; è possibile evitare quest'azione, che impegnerebbe l'acciaio per metà della sua resistenza, assecondando la variazione dimensionale intervenendo sulle condizioni di vincolo (ad esempio con appoggio a bilanciere).
- VARIAZIONI MORFOLOGICHE, simmetrica (se all'aumento della temperatura abbiamo una dilatazione dell'intera struttura e viceversa) o asimmetrica.

CONDIZIONI DI EQUILIBRIO

L'obiettivo della progettazione strutturale è di evitare che si verifichino dei movimenti.

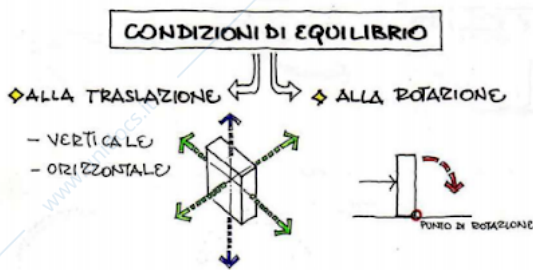
EQUAZIONI CARDINALI DELLA STATICA

- $\Sigma \text{FORZE ORIZZONTALI} = 0$
- $\Sigma \text{FORZE VERTICALI} = 0$
- $\Sigma \text{MOMENTI} = 0$  momenti (forza x spostamento)

## LEGGI DELLA DINAMICA

- I LEGGE (Leonardo): un corpo è immobile fin tanto che non gli si applichi una forza; il corpo in questo caso si dice in equilibrio
- III LEGGE (Newton): un corpo è immobile se la risultante delle forze applicate è uguale a zero; ad un'azione corrisponde una reazione uguale e contraria.  $P = P'$   $P - P' = 0$

CONDIZIONE DI MOVIMENTO:  $P > P'$   $P - P' \neq 0$



## CONDIZIONI DI EQUILIBRIO

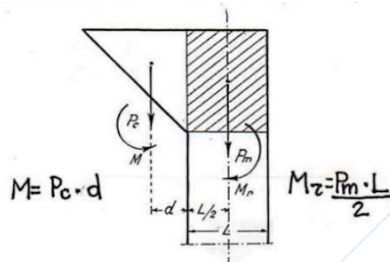
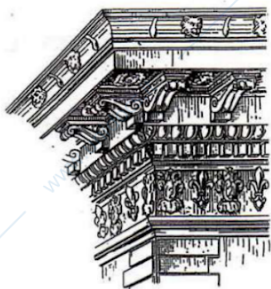
- ALLA TRASLAZIONE (verticale e orizzontale)
- ALLA ROTAZIONE: entrano in gioco il peso e la distanza del peso dal punto di rotazione chiamato fulcro



Se  $P_1 = P_2$  e si trovano entrambi alla stessa distanza dal fulcro ( $l_1 = l_2$ ) si ha perfetto equilibrio alla rotazione  $P_1 \cdot l_1 = P_2 \cdot l_2$ ; se  $l_1 < l_2$ , e quindi  $P_1 \cdot l_1 < P_2 \cdot l_2$  non si ha più equilibrio. Si tornerebbe ad una situazione di equilibrio aumentando  $P_1$  in modo tale che la prima uguaglianza risulti nuovamente vera.

La distanza del peso dal fulcro è chiamato BRACCIO DI LEVA.

Si definisce MOMENTO il prodotto della forza per il braccio di leva.



MOMENTO RIBALTANTE =  $M$   
 $P_c$  – peso che agisce nel baricentro

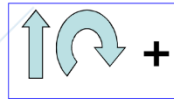
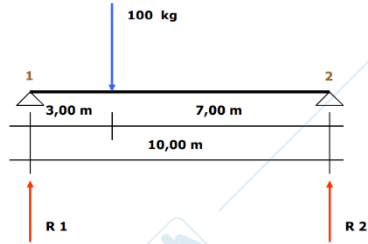
Ad  $M$  si contrappone un

MOMENTO RESISTENTE =  $M_r$   
 $P_m$  – forza corrispondente al carico  
 $L$  – spessore del muro  
 $M_r > M$

Se la condizione di stabilità non è soddisfatta occorre:

- incrementare  $P_m$  realizzando attici o parapetti
- diminuire  $P_c$  eseguendo il cornicione in materiali leggeri
- coinvolgere nella resistenza alla rotazione anche la parte di muro sottostante

Es. cornicione lapideo di Palazzo Strozzi (1489-1538); sporge di 2,5m; realizzato da Simone del Pollaiuolo, detto Il Cronaca



CONVENZIONE: tutte le forze verticali dal basso verso l'alto e le rotazioni di tipo orario sono positive

$$R2 = \frac{100Kg \cdot 3m}{10m} = 30Kg$$

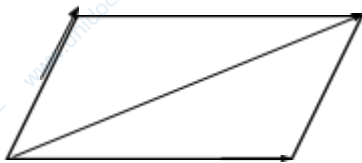
$$R1 = 100Kg - 30Kg = 70 Kg$$

$\Sigma$  forze orizzontali = 0

$\Sigma$  forze verticali = 0  $\Rightarrow$   $R1 + R2 - 100 kg = 0$  (1)

$\Sigma$  momenti 0 =  $\Rightarrow$   $100 kg \cdot 3,00 m - R2 \cdot 10,00 = 0$  (2)

La RISULTANTE di 2 forze concorrenti in un punto è rappresentata in INTENSITÀ/DIREZIONE/VERSO dalla diagonale del parallelogramma costruito sui segmenti che rappresentano le forze componenti.



ALLO STESSO RISULTATO SI PERVE CON UN'ALTRA COSTRUZIONE DETTA: **TRIANGOLO delle FORZE**

QUANDO LE FORZE SONO PIU' DI DUE SI APPLICA LO STESSO PROCEDIMENTO. NATURALMENTE NON AVREMO PIU' UN TRIANGOLO DELLE FORZE, MA UNA **POLIGONALE**

\* LA COMPOSIZIONE DI PIU' MOVIMENTI (FORZE) RISPONDE AL POSTULATO DI GALILEO DETTO DELLA "INDIPENDENTE COESISTENZA".

VINCOLI – ancoraggi che connettono gli elementi strutturali.

Si possono classificare in base al GRADO DI LIBERTÀ che consentono:

- CARRELLO: 2 gradi di libertà (traslazione orizzontale e rotazione; impedisce la traslazione verticale) es. gru
- CERNIERA: 1 grado di libertà (solo rotazione; impedisce traslazioni verticali e orizzontali) es. porta
- INCASTRO: 0 gradi di libertà (impedisce qualsiasi traslazione) es. mensola fissata a muro

Si deve tenere in conto non solo la realizzazione dell'assemblaggio (EQUILIBRIO ESTERNO, l'ancoraggio non deve cedere), ma anche la resistenza degli elementi strutturali connessi (EQUILIBRIO INTERNO, l'elemento strutturale non deve rompersi).

**SOLLECITAZIONE & DEFORMAZIONE**

Ogni corpo soggetto ad un carico si deforma. La deformazione come allungamento o accorciamento dei legami tra gli atomi, e possiamo avere uno stato di quiete, di compressione o trazione.

Il corpo più robusto si deforma anche se sollecitato dalla forza più modesta perché non esiste un corpo perfettamente rigido.

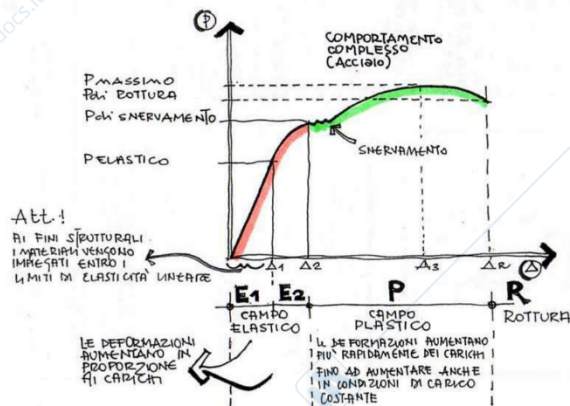
DEFORMAZIONE (ALLUNGAMENTO/ACCORCIAMENTO) UNITARIO =  $\epsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\text{allungam. o accorciam. tot}}{\text{lunghezza originaria}}$

## COMPORAMENTO DEI MATERIALI SOTTO CARICO

**MATERIALI FRAGILI** (si rompono senza deformarsi) es. vetro, pietre, ghisa, materiali ceramici... si verifica una separazione di strati adiacenti di atomi

**MATERIALI DUTTILI** (si deformano prima di rompersi) es. acciaio, rame, alluminio, ottone... si verifica uno scorrimento di strati che slittano uno rispetto all'altro secondo piani a 45° e che comporta una contrazione o una strozzatura del materiale

- **COMPORAMENTO ELASTICO** (deformazione temporanea). Può essere lineare/proporzionale se al raddoppiare di un carico P ottengo una deformazione pari a 2d, o parabolico/non proporzionale se al raddoppiare di un carico P ottengo una deformazione pari a 2d+k  
In edilizia non sono ammesse le deformazioni permanenti, bisogna sempre muoversi dell'ambito dell'elasticità.
- **COMPORAMENTO PLASTICO** (residui di deformazioni, deformazioni permanenti)
- **COMPORAMENTO COMPLESSO** (ACCIAIO, c. elastico-sneramento-plastico-rottura)



Il punto massimo non corrisponde al punto di rottura perché in una prima fase si allunga in maniera omogenea, mentre ad un certo punto si concentra in un punto specifico, su una superficie minore, portando così l'oggetto a rottura.

- **COMPORAMENTO FRAGILE** (VETRO, c. elastico-rottura)

### FASE ELASTICA E PLASTICA

esempi: vetro (limitata fase elastica, fase plastica inesistente)

gomma (ampia fase elastica, non è presente fase plastica)

plastilina (trascurabile fase elastica, ampia fase plastica)

I comportamenti sono influenzati anche da altri fattori, come la TEMPERATURA: a temperature elevate e sotto l'azione di carichi permanenti scorrono plasticamente molto lentamente, a temperature basse e sotto l'azione di carichi repentini sono elastici e fragili.

### RIGIDEZZA FLESSIONALE



#### MODULO DI ELASTICITÀ DI ALCUNI MATERIALI

Materiale	E. (N/m <sup>2</sup> ) a 20 °C
Acciaio	2,1 × 10 <sup>11</sup>
Alluminio	7 × 10 <sup>10</sup>
Argento	7,5 × 10 <sup>10</sup>
Ferro	2 × 10 <sup>11</sup>
Gomma	5 ÷ 80 × 10 <sup>6</sup>
Ottone	9,1 × 10 <sup>10</sup>
Piombo	1,4 × 10 <sup>10</sup>
Platino	1,5 × 10 <sup>11</sup>
Polietilene	1 ÷ 14 × 10 <sup>8</sup>
Rame	1,1 × 10 <sup>11</sup>
Tungsteno	3,5 × 10 <sup>11</sup>
Vetro per finestre	7 × 10 <sup>10</sup>
Calcestruzzo	2,3 × 10 <sup>10</sup>
Granito	2,5 × 10 <sup>10</sup>

La deformazione di pende dal modulo di elasticità. A parità di carico, un materiale con un maggiore modulo di elasticità si deforma meno, ed è dunque più rigido.

#### 1) MODULO DI ELASTICITÀ (O MODULO DI YOUNG)

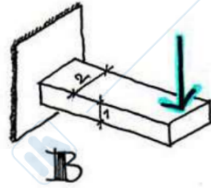
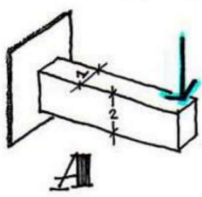
“Il carico ‘p’ teorico capace di allungare un filo della sezione di 1 cm<sup>2</sup> fino al doppio della sua lunghezza iniziale.” Si indica con E [Kg/cm<sup>2</sup>]

Se sottoponiamo a trazione una striscia di gomma e una molla d'acciaio otteniamo delle curve carico/allungamento simili.

Questo ci fa capire che la rigidezza dipende anche da altri fattori

come il materiale impiegato, e la geometria del materiale (momento di inerzia).

2) MOMENTO DI INERZIA (riguarda la geometria degli elementi)



$$f_A = \frac{1}{4} f_B$$

$$J_x = \frac{b \cdot h^3}{3}$$

- Il denominatore dipende dalla posizione dell'asse x
- L'altezza conferisce rigidezza
- Rigidezza (capacità di impedire deformazioni, natura

LA SOLUZIONE A È MOLTO PIÙ RIGIDA DELLA SOLUZIONE B

materica) ≠ resistenza (capacità di resistere alle azioni esterne)

3) LUNGHEZZA DELLA TRAVE

Se si raddoppia lo sbalzo, la freccia aumenta di 8 volte (al cubo)

4) DISPOSIZIONE DEI CARICHI (BRACCIO DI LEVA)

La freccia aumenta all'aumentare della distanza del carica rispetto all'incastro

5) FORMA DELLA TRAVE

Le maggiori tensioni dell'elemento strutturale non si verificano nella parte centrale, ma alle estremità – travi a doppio T (anima-parte centrale; ali-estremità). La trave a doppio T, forma più efficiente per una trave in acciaio, è l'emblema della rivoluzione industriale, Inghilterra metà '700. Si ha così gran parte della materia lontano dal baricentro (asse neutro) della trave (si può avere conferma con la formula del momento di inerzia /12). Vale anche per la trave reticolare (realizzata da Apollodor di Damsco nel celebre ponte sul Danubio riprodotto nella colonna traiana).

LE SOLLECITAZIONI ELEMENTARI

- COMPRESSIONE: tende all'avvicinamento delle particelle costituenti il materiale. In base alla costituzione del materiale e alla base abbiamo accorciamento a botte o a clessidra; la materia non scompare ma si disloca.
- TRAZIONE: tende all'allontanamento delle particelle costituenti il materiale.

La forza non è la sola entità da considerare, ma anche la superficie di appoggio. La pressione che un oggetto esercita su una base è data dal peso/superficie di appoggio.

Affinché vi sia equilibrio il materiale soggetto alle sollecitazioni di trazione/compressione deve contrapporre alle PRESSIONI UNITARIE ESTERNE delle TENSIONI UNITARIE INTERNE uguali e contrarie.

$$\sigma = \text{tensione unitaria interna} = \frac{P \text{ (carico)}}{A \text{ (unità di superficie)}} \quad [\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2]$$

MATERIALE	COEFFICIENTE DI SICUREZZA COMPRESIONE	COEFFICIENTE DI SICUREZZA TRAZIONE
ACCIAIO	2,3 ÷ 3	2,3 ÷ 3
PIETRE NATURALI	10 ÷ 15	/
CALCESTRUZZO	3,5 ÷ 5	/
LEGNAME IN BLOCCHI ALLE FIDRE	4 ÷ 5	8 ÷ 10

PER I MATERIALI ANISOTROPI OCCORRE PRECISARE LA DIREZIONE DELLA SOLLECITAZIONE.

COEFFICIENTE DI SICUREZZA (s)

I valori di  $\sigma$  realmente impiegati ( $\sigma_0$  ovvero  $\sigma$  ammissibile) sono una frazione del carico di rottura (materiali fragili) o del carico di snervamento (materiali duttili). I coefficienti di sicurezza variano in base al materiale e sono calcolati su base probabilistica.

$$\sigma_0 = \sigma^* / s \quad * \sigma \text{ di rottura o di snervamento in base al materiale}$$

Pietre naturali e calcestruzzo hanno una resistenza minima e dunque trascurabile a trazione

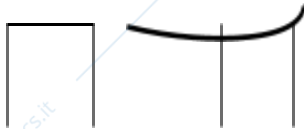
Il legno è un materiale anisotropo: ha un comportamento diverso se la forza agisce lungo o parallelamente alle fibre

16/10

LE SOLLECITAZIONI SEMPLICI

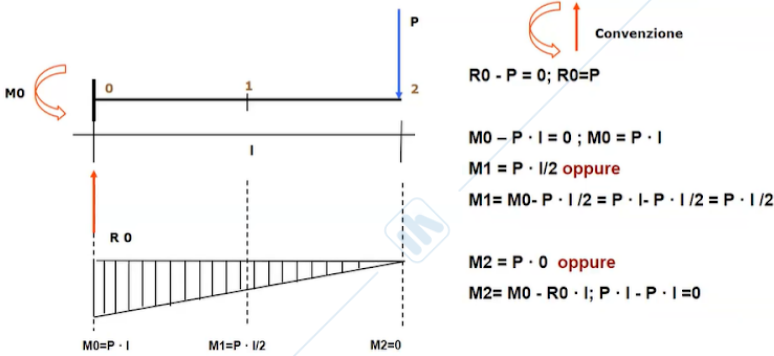
- FLESSIONE: tende all'incurvamento dei solidi.

A causa dell'inflexione i piani superiori si allungano e quelli inferiori si accorciano. La flessione altro non è che la combinazione di trazione e compressione che avvengono in piani paralleli; ci sarà un piano che non sarà soggetto a questi ed è chiamato ASSE NEUTRO (sempre baricentrico). Determinata dalla trasmissione dei carichi in direzione ortogonale alla loro linea d'azione.



MOMENTO FLETTENTE

- Trave a sbalzo



Momenti antiorari e forze dall'alto verso il basso positive

Valore del momento flettente negli infiniti punti della trave; varia linearmente da un punto massimo  $M_0 = P \cdot l$  a un punto minimo 0

FORMULA DI NAVIER  $\sigma = \pm \frac{Mf \cdot y}{J}$

$\sigma$  = resistenza interna; tensione

y = variabile; distanza dall'asse neutro; braccio di leva

Maggiore è il momento flettente (Mf), maggiore sarà la tensione; maggiore è il momento di inerzia (J) minore è la tensione. Se  $Mf = 0$  allora  $\sigma = 0$ ; se  $Mf$  max allora  $\sigma$  max

Il momento flettente è massimo all'incastro, ed è proprio all'incastro che la trave a sbalzo può rompersi.

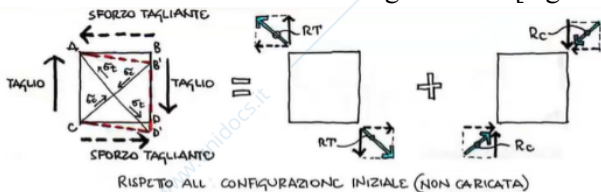
Sopra trazioni – sotto compressioni

- Trave appoggiata: caricata in mezzeria, e dunque la deformazione massima, il massimo valore del momento flettente avverrà in mezzeria ed è pari a  $Pl/4$ , mentre agli appoggi è 0 (e sono nulle anche le tensioni). È dunque in mezzeria che la trave può rompersi.

Sopra compressioni – sotto trazioni

- TAGLIO: tende a far scorrere le particelle una rispetto all'altra

$\tau$  = tensione unitaria di taglio =  $P/A$  [ $Kg/cm^2$ ]



A differenza delle sollecitazioni elementari (compressione e trazione), il taglio non provoca variazioni di lunghezza ma deformazioni angolari che determinano variazioni di forma. Ai fini

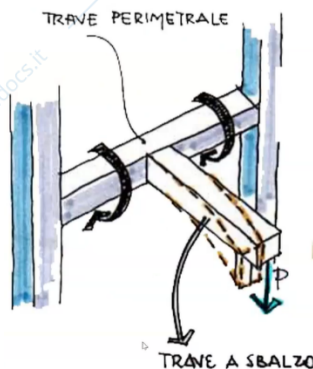
RISPETTO ALL CONFIGURAZIONE INIZIALE (NON CARICATA)  
 LA DIAGONALE AD SI ALLUNGA → AD'  
 ↓  
 VUOL DIRE CHE È SOGGETTA A TRAZIONE  
 LA DIAGONALE BE SI ACCORCIA → B'C'  
 ↓  
 VUOL DIRE CHE È SOGGETTA A COMPRESIONE

dell'equilibrio la lamiera non si rompe se all'azione tagliente  $\tau_v$ , il materiale riesce a contrapporre una coppia di forze uguale e contraria  $\tau_0$ .

Come la flessione, anche il taglio è combinazione di compressione e trazione, e dunque un materiale con bassa resistenza a trazione ha di conseguenza bassa resistenza a taglio e flessione.

Trave in calcestruzzo (cls) – materiale che resiste bene a compressione, ma non a trazione. Per effetto del peso proprio o di una forza, la trave appoggiata si deforma inferiormente all'asse neutro, lacerandosi per trazione. Se nella parte soggetta a trazione metto un materiale resistente a trazione, come per esempio l'acciaio, la trave si lesionerebbe con lesioni a  $45^\circ$ , poiché l'armatura in acciaio permetterebbe di contrastare la componente di trazione della flessione, ma c'è bisogno di contrastare anche quella del taglio. Dunque andremo a creare una struttura formata da ferri a trazione, staffe, reggistaffe e ferri sagomati proprio a  $45^\circ$ .

- **TORSIONE:** tende a far ruotare le sezioni una rispetto all'altra



La torsione produce deformazioni di taglio nelle sezioni dell'elemento e nei piani radiali perpendicolari alle sezioni.

L'asse neutro non subisce scorrimenti.

La torsione - che provoca la rotazione intorno all'asse neutro di ogni sezione trasversale del materiale rispetto alle sezioni adiacenti - equivale alla combinazione di trazione e compressione ortogonali tra di loro e agenti a  $45^\circ$  sui piani radiali.

Nella rotazione le sezioni restano parallele.

In un solido soggetto a momento torcente, la distribuzione delle tensioni è simile alla distribuzione delle velocità di un liquido contenuto in un recipiente soggetto ad una rotazione a velocità costante intorno al proprio asse. La distribuzione delle velocità è proporzionale alla distanza dal centro di rotazione. Più ci si allontana dall'asse neutro più aumento gli scorrimenti.

Per questo per contrastare la torsione si impiegano sezioni cave; i valori di tensione maggiore si verificano sulla parte più periferica, più lontana dall'asse neutro.

Si concentra il materiale dove vi è maggior bisogno offrendo alle tensioni interne con cui il materiale reagisce alle sollecitazioni di taglio il maggior braccio di leva possibile rispetto all'asse neutro.

## SOLLECITAZIONI COMPOSTE

- **CARICO DI PUNTA:** riguarda solidi snelli (sezione trasversale molto piccola in rapporto alla lunghezza, es. matita, bastone) soggetti a compressione. Sollecitazione composta nel tempo, perché prima produce una compressione, e poi una flessione. Si passa dalla compressione alla flessione una volta superato un certo valore del carico, chiamato **CARICO CRITICO O DI EULERO**. L'inflessione avviene perché la forza applicata difficilmente agisce con precisione matematica lungo l'asse geometrico, e non incontra le infinite sezioni trasversali del solido nel loro baricentro poiché i materiali presentano un'omogeneità imperfetta. Il carico di punta interessa tipicamente i pilastri, ma anche le aste compresse delle travi reticolari.

$$\text{CARICO CRITICO} = P_r = \frac{\pi^2}{l_0^2} \cdot E \cdot J$$

$E$  = modulo elasticità

$J$  = minimo momento d'inerzia della sezione trasversale

$l_0$  = lunghezza teorica di calcolo funzione delle condizioni di vincolo

Il CARICO MASSIMO AMMISSIBILE ( $P_0$ ) – pari ad una frazione del carico critico – varia in base al materiale.  $P_0 = \frac{P_c}{n}$

- **PRESSOFLESSIONE:** riguarda solidi tozzi soggetti a compressione non assiale. Quando l'asse neutro è esterno o al più coincidente con un lato del solido questo risulterà solo soggetto a compressione. Se l'asse neutro è viceversa interno al solido, questo sarà soggetto anche a trazione. Se l'azione di compressione è baricentrica avremo un diagramma triangolare con  $\sigma$  costante. Se invece l'azione si sposta, ma sempre all'interno del terzo medio, si crea un'eccentricità, e si avrà dunque un diagramma di tipo trapezoidale dove avremo  $\sigma_2 > \sigma_1$ . L'asse neutro è esterno. Se l'azione agisce al limite del terzo medio, avremo un diagramma triangolare, e avremo  $\sigma_1 = 0$  e  $\sigma_2 = 2\sigma$ . Se l'azione agisce al di fuori del terzo medio, oltre alla compressione compare la trazione, e quando queste avvengono su piani paralleli si verifica la flessione. Qui il diagramma avrà una configurazione a farfalla (lo stesso usato per la flessione).

In funzione di diverse geometrie quanto una forza di compressione agisce all'interno di uno spazio chiamato nocciolo centrale d'inerzia l'elemento è soggetto solo a compressione, quando invece la forza agisce al di fuori del nocciolo si verificano anche trazioni.