

www.unidocs.it

www.unidocs.it

www.



www.unidocs.it

www.unidocs.it



www.unidocs.it

www.unidocs.it



www.unidocs.it

www.unidocs.it

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

LE PROPRIETÀ DEI MATERIALI

Per progettare un oggetto bisogna individuare i **requisiti** del manufatto, per poi associarli alle relative **proprietà**, le quali descrivono fenomeni fisici e chimici.

REQUISITO	PROPRIETÀ	UNITÀ DI MISURA
Lavorazione per deformazione plastica	Deformazione a rottura o duttilità →	adimensionale o %
Rigidezza	Modulo elastico → E	GPa
Resistenza	Sforzo di snervamento →	MPa
Tenacità	Fattore di intensificazione degli sforzi → K_{IC}	MPa m ^{1/2}
Trasferimento di calore	Conducibilità termica →	W/(m·K) * * $\frac{\text{potenza}}{\text{temperatura}}$
Trasparenza	Trasmittanza	%
Magnetismo	Induzione magnetica	Tesla
Conduzione elettrica	Resistività	
Resistenza alla fiamma	Temperatura massima di esercizio → T_{max}	°C
Resistenza al lavaggio	Durabilità	-
Leggerezza	Densità →	Kg/dm ³
Economicità	Costo unitario	

- PROPRIETÀ GENERALI:** densità, costo;
- PROPRIETÀ MECCANICHE:** rigidità, resistenza, tenacità, duttilità;
- PROPRIETÀ FISICHE E CHIMICHE:** durabilità, conducibilità elettrica, conducibilità termica, magnetismo massima temperatura di esercizio;
- PROPRIETÀ OTTICHE:** trasparenza.

* quanto isolante
 CONDUCEBILITÀ TERMICA
 10^{-1} fino 10^3
 $10^{-1} = 0,1 \rightarrow$ isolante
 $10^3 = 1000 \rightarrow$ conduttore
 ↳ capacità di condurre (+ altro + conduttore)
 ↳ metalli NON ISOLANO il calore

1 PROPRIETÀ GENERALI

DENSITÀ (pesante o leggero)

↳ rapporto $\frac{m}{V}$ [g/cm³]

> peso per unità di volume

> METALLI → elevate densità (da 1,8 Kg/dm³ x magnesio a 19,3 Kg/dm³ x oro)

↳ perché formati da elementi con alto numero atomico → modo compatto struttura cristallina

> Materiali POLIMERICI → bassa densità (1 Kg/dm³)

↳ costituiti da elementi a basso numero atomico es. carbonio, idrogeno... → struttura parzialmente ordinata → semicristallina / amorfa

> Materiali ceramica → es. vetro, calcestruzzo non presenta un valore medio rappresentativo né per la densità

COSTO → proprietà da tenere in considerazione

> correlazione tra elevato volume di produzione e basso costo

↳ materiali + usati = prodotti a prezzi inferiori

↳ prezzo per unità di volume

- polimeri più economici hanno un costo per unità di massa doppio rispetto all'acciaio ma il costo per unità di volume = 1/4
- l'alluminio ha un costo per unità di massa pari a tre volte l'acciaio ma il costo per unità di volume è uguale
- i composti in fibre di vetro costano il doppio dell'acciaio inossidabile ma il costo per volume è la metà
- materiali + economici sono → calcestruzzo e legno

2) PROPRIETA' MECCANICHE

↳ Comportamento meccanico di un materiale: **CURVA SFORZO-DEFORMAZIONE**

→ m. considero un provino sottoposto ad una forza crescente F. m. ottengono le seguenti relazioni SFORZO (σ) e DEFORMAZIONE (ϵ)

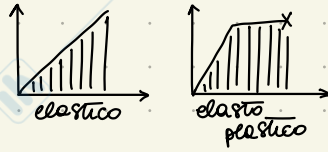
$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad F = m \cdot g$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \Delta L = L - L_0$$

$$A_0 = L_1 \cdot L_2 \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

↳ portando a rottura = tracciare la curva rapp.

comportamento meccanico



ELASTICO o ELASTO-PLASTICO

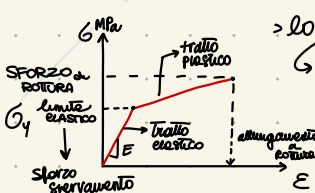
grandezze ottenibili dal grafico:

- MODULO ELASTICITA' (E) GPa;
- SFORZO di SNERVAMENTO MPa;
- SFORZO di ROTURA MPa;
- DEFORMAZIONE ELASTICA;
- DEFORMAZIONE PERCENTUALE ~ ROTURA %
- TENACITA' (area sottesa dalla curva)

$$Pa = \frac{IN}{m^2}$$

$$1 MPa = 10^6 Pa$$

→ **MATERIALE** a comportamento **ELASTICO**



> lo sforzo è direttamente proporzionale alla DEFORMAZIONE (→ risposta al comp. meccanico)

app. tra F che app. x allungare oggetto il provino torna alle dimensioni iniziali

$$\frac{F}{A_0} \rightarrow Pa (10^6)$$

SENZA SUBIRE DEFORMAZIONI

allungo di: $L_0 (mz.)$ a $L (mz.)$

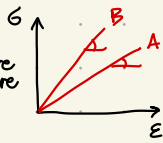
$$\epsilon = \frac{1cm}{10cm} = 0,1$$

↓ 10% ↓

ΔL è % di L_0

* la costante di proporzionalità → E, modulo di elasticità / Young

retta → descrive la FORZA da applicare x deformare



• maggiore è la pendenza della curva → maggiore il valore del modulo

→ COEFF. ANGOLARE

+ pendenza + rigido

- pendenza + deforma

* LEGGE di HOOKE

ceramica / vetro

↓

maggiore è il modulo minore è la deformazione

subito dal materiale

es. $L_1 = 10cm$ $L_0 = 100$ $g = 9.8 m/s^2$

$L_2 = 0.5cm$ $M = 100Kg$ $\Delta L < 100,2 cm$

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \rightarrow \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{0.2cm}{100cm} = 2 \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{m \cdot g}{L_1 \cdot L_2}$$

$$= \frac{100kg \cdot 9.8 m/s^2}{10cm \cdot 0.5cm} \rightarrow \frac{980N}{0.5mm^2} \rightarrow 19.6 N/mm^2 \rightarrow MPa$$

$$E = \frac{19.6 MPa}{2 \cdot 10^{-3}} = 9.8 \cdot 10^3 MPa = 9.8 \cdot 10^3 \cdot 10^6 Pa = 9.8 \cdot 10^9 Pa$$

quindi $9.8 GPa$

MAGIORE a 9.8 quindi va bene + RIGIDO

$\Delta L = 0.2cm$

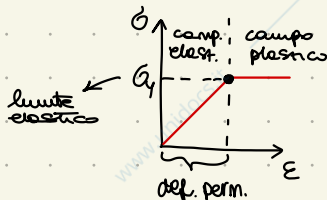
→ **MATERIALE** a comportamento **ELASTO-PLASTICO**

> la curva SFORZO-DEFORMAZIONE → suddivisa 2 zone:

> Fase elastica: proporzionalità tra σ e ϵ provino torna alle dim. iniziali

1° comportamento elastico

2° comportamento plastico



quando m supera un valore di SFORZO applicato (SFORZO SNERVAMENTO)

quindi ce a rimuovere lo sforzo applicato o si giunge a rottura → DEFORMAZIONE PERMANENTE

ALLUNGAMENTO PERCENTUALE a ROTURA A (%)

↓ differenza tra L_0 e L (dopo rottura)

risultato leggermente inferiore alla def. percentuale a rottura (%) a causa del parziale recupero delle forme nella fase elastica

↓ donata allo spostamento NON reversibile degli atomi del materiale

= materiali in grado di deform.

DUTTLI → metalli, polimeri

RIGIDITA' (resistere o cedere) E

$$\left[\begin{array}{l} \Delta L = F \text{ geometria} \\ \sigma = E \text{ materiale} \end{array} \right]$$

capacità di opporre deformazione in campo ELASTICO.

↳ grandezza è modulo ELASTICO E

• all'aumentare della pendenza della curva → + RIGIDO

• i moduli di elasticità dei metalli sono più alti dei polimeri

• la deformabilità della gomma naturale → elevata quindi modulo più basso

rapporto tra l'allungamento
numero e la
lunghezza iniziale

RESISTENZA σ

> capacità di sopportare le forze applicate senza rompersi e deformarsi permanentemente

> metalli > polimeri = legni

> grandezza dipende dal COMPORTAMENTO ELASTICO o PLASTICO del materiale



resistenza
concede
SFORZO di
ROTTURA
(fragile)

ELASTICO-PLASTICO
resistenza =
SFORZO di
SNERNAMENTO

MPa

DEFORMABILITA' PLASTICA o DUTILITA' (duttile o indeformabile)

> capacità di sopportare grandi deformazioni plastiche SENZA ROMPERSI

> materiali metallici detto dutilità → req. x fase di lavorazione

↳ sono dutili solamente: comportamento ELASTOPLASTICO, gli altri hanno dutilità nulla.

↳ i polimeri elevata dutilità

> grandezza la deformazione percentuale a rottura %
(ϵ_r %)

↳ spiega materiali ceramica o metalli a bassa dutilità
(ghisa; bronzo) → tecniche SINTERIZZAZIONE o colata
a solidificazione

TENACITA' (fragile o tenace)

> capacità di un materiale di mantenere la sua INTEGRITA' dissipando ENERGIA di DEFORMAZIONE

> un materiale FRAGILE → rompe IMPROVVISAMENTE
con minime
variazioni di forma
bassa energia
di def.

↳ proviene da una sollecitazione
energia necessaria
PER ROMPERE
l'oggetto

> materiale TENACE → frattura in modo controllato
modificando gradualmente
la sua forma e microstruttura
tramite ASSORBIMENTO
di energia di def.

al di sopra di una certa soglia = energia si trasforma
in DEFORMAZIONE
PERMANENTE

↳ **Tenacità** materiale correlato: AMPIEZZA del TRATTO PLASTICO che precede la rottura

dipende
dalla combiaz.
di rigidità,
resistenza,
dutilità.

• tratto ELASTICO → materiale assorbe ENERGIA di DEF. ELASTICA

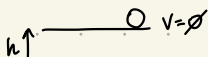
↳ reversibile, può essere rilassato

• tratto PLASTICO → materiale assorbe ENERGIA di DEF. PLASTICA

↳ non reversibile, no rilassato

> ENERGIA CINETICA (K)

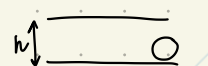
↳ ENERGIA POTENZIALE (U)



$$E_p(s) = m \cdot g \cdot h$$



$$E_c(s) = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$



energia def
in base
all'energia
CINETICA

- A → elastica; numb.
- B → elastica; resta def. e numb.
- C → rottura

↳ maggiore l'energia → rompe

la GOMMA è un materiale comportamento ELASTICO, basso E

↳ al momento dell'urto: palla deforma virtualmente

trasformando Energia cinetica (K) data

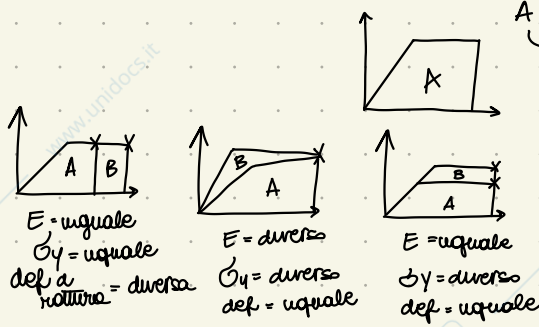
dalla velocità in energia di def.

↳ la palla si arresta K=0 mentre energia di def = massima

↳ comportamento ELASTICO quindi: l'energia immagazzinata

viene trasformata in energia cinetica → rimbombare
senza ROTTORE

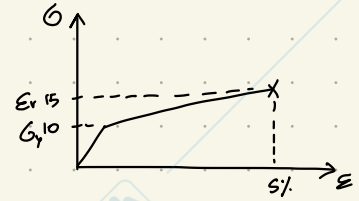
↳ materiale in deformazione → energia supera LIMITE ELASTICO (comporta superato campo elast.)



$A =$ indice di tenacità (energia)
 ↳ quanto energia a parità di volume per rompere il materiale

ESERCIZIO

$\sigma_y = 10 \text{ MPa}$
 $E = 1.5 \text{ GPa}$
 $\epsilon_r = 5\%$
 $\sigma_r = 15 \text{ MPa}$



$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$\frac{\sigma_y}{\epsilon_y} \rightarrow \epsilon_y = \frac{\sigma_y \cdot 10 \text{ MPa}}{E \cdot 1.5 \text{ GPa}}$$

$$\frac{10 \cdot 10^6 \text{ Pa}}{1.5 \cdot 10^9 \text{ Pa}} = \frac{10}{1.5} \cdot \frac{1}{10^3} = \frac{6.67}{1000}$$

$$= 0.0067 \rightarrow 0.67\%$$

allungamento percentuale a rottura

3 PROPRIETA' FISICHE e CHIMICHE

CONDUCIBILITA' TERMICA

- regola il trasferimento di calore
 - materiali con bassa conducibilità termica ISOLANTI TERMICI
 - metalli → conduttori termici
 - polimeri → isolanti termici
 - ceramica → conducibilità varia
- Q che passa nell'unità di tempo attraverso unità di superficie W/mK

CONDUCIBILITA' ELETTRICA

- condurre la corrente, RESISTIVITA' che diminuisce all'aumentare della conducibilità
- 4 livelli qualitativi
- corrente inversamente proporzionale alla sez. dell'oggetto (28)
- metalli → conduttori elettrici
- polimeri e ceramica → isolanti elettrici

$$[A \cdot m^{-1}]$$

$10^{-18} - 10^{-12}$ isolanti
 $10^{-12} - 10^4$ semiconduttori
 $10^4 - 10^{10}$ conduttori

MASSIMA TEMPERATURA di SERVIZIO

- temperatura massima alla quale il materiale → impieghi strutturali
- metalli e ceramica → valore elevato, coincide con il PUNTO di FUSIONE
- polimeri dipende → dalle T_g e T_m

4 PROPRIETA' OTTICHE

TRASPARENZA

- rappresentata da indice di RIFRAZIONE, gloss e torbidità
- ↳ 4 livelli:
 - Qualità ottica (eccezionale trasparenza)
 - Trasparente (trasparenza molto buona)
 - Traslucido (la luce diffusa trasmessa attraverso il materiale, mm. non nitide)
 - Opaco (completamente non trasparente, la luce NON passa)

STRUTTURE e PROPRIETA' → MATERIALI POLIMERICI

> molecole composte da carbonio, idrogeno, ossigeno, fluoro, cloro

↳ **FILIFORMI**, organizzazione dal concatenamento di **MONOMERI** → attraverso legami covalenti

> distinguere unità → **MONOMERICHE**

• **Omopolimero** → unità costituenti catene **IDENTICHE** tra loro

• **Copolimero** → partendo da due o più monomeri, ovunque catene con unità differenti

lunghezza delle catene espressa attraverso il numero di unità monomeriche presenti nella singola catena **GRADO di POLIMERIZZAZIONE** o dalla **MASSA MOLECOLARE (M)**

> **ARCHITETTURA** può presentarsi:

• **NON reticolata** → catene dispongono maniera **LINEARE** o **RAMIFICATA**

↳ ogni singola catena è **individuabile** e **separabile** dalle altre: **POLIMERI TERMOPLASTICI**

• **RETICOLATA** → catene **NON sono separabili** a causa dei legami covalenti (ponte tra diverse catene)

• **TERMOINDURENTI** → reticolazione indotta durante la polimerizzazione

influenza la **VISCOSITA'**

del polimero allo stato fluido:

> **M alta** → **viscosità alta** prodotto × **ESTRUSIONE***

poiché il materiale si **causola velocemente** e **mantiene la sua forma**.

> **M bassa** → **viscosità bassa** prodotto ottenuto × **STAMPAGGIO*** o **INIEZIONE**

allo stato solido presentano **STRUTTURA**

↳ **AMORFA**: disporaz. catene **CASUALE**

↳ **SEMICRISTALLINA**: zone **amorphe** e **disordinate**

zone **presenti in ordine** nella disp. catene (cristallina)

* **TECNOLOGIE di TRASFORMAZIONI (Termoplastica)**

• **ESTRUSIONE** → materiale stato liquido **FUSO** trasportato a **basse velocità** di flusso ed estruso

↳ ottiene **geometria costante** (profilati, lastre, film, tubi)

↳ passa attraverso la **testa di estrusione** (foro **SAECOMITO** ruotod. sez. manufatto) in seguito **raffreddato**

• **Stampaggio per INIEZIONE** → × manufatti **grande serie**, materiale **solido riscaldato** ⇒ **fluido (fuso)** (tramite **pressione**)

• **TERMOFORMATURA** → praticato a **caldo** su lastre polimeriche

↳ **pre-riscaldamento** della lastra (T_g superiore amorfie T_m inferiore semi)

↳ **formatura**: la lastra del materiale **riscaldato** viene **formata** sullo stampo per **applicazione** (forza e **pressione**)

• **SOFFIAGGIO** → parte da un prodotto **PREFORMA** inserita nella **cavità** **forme** **fluide** gas **caldo soffiato**, **riscaldato** il materiale × **pressione** o **vacuo** → **espande** nello stampo

• **STAMPAGGIO ROTAZIONALE** → **granuli** polimero, **riscaldato** = **liquido** → **rotazione** = **copre superficie** dello stampo

↳ **decoprimento SUPERFICIALE**

→ **iniezione/soffiaggio**: preforme **realizzate INIEZIONE**

→ **estrusione/soffiaggio**: preforme **ESTRUSIONE**

Considerazioni generali

Il consumo annuale di materie plastiche in Europa è pari a circa 47 milioni di tonnellate, di cui 7 milioni di tonnellate sono consumate in Italia. Più del 40% del volume totale di **materie plastiche è impiegato** nel settore dell'**imballaggio**, ma anche in **edilizia**, trasporti ed elettronica. Il largo impiego di materiali polimerici è dovuto alla loro leggerezza, capacità di isolamento, inerzia chimica e ambientale e alla facile processabilità che permette di ottenere diverse forme a basso costo.

I polimeri hanno bassa densità, per questo sono molto leggeri. Sono isolanti termici e elettrici. Sono chimicamente inerti, ossia immuni alla corrosione e con buone caratteristiche di resistenza ai solventi e alle radiazioni solari.

- **SENSIBILITÀ AGLI AGENTI CHIMICI**: facilità con cui alcuni agenti chimici sono in grado di penetrare all'interno del materiale e/o di provocare una significativa diminuzione della resistenza meccanica;
- **SENSIBILITÀ AI RAGGI ULTRAVIOLETTI**: facilità con cui l'esposizione prolungata ai raggi solari provoca reazioni chimiche che alterano l'aspetto e le proprietà meccaniche.

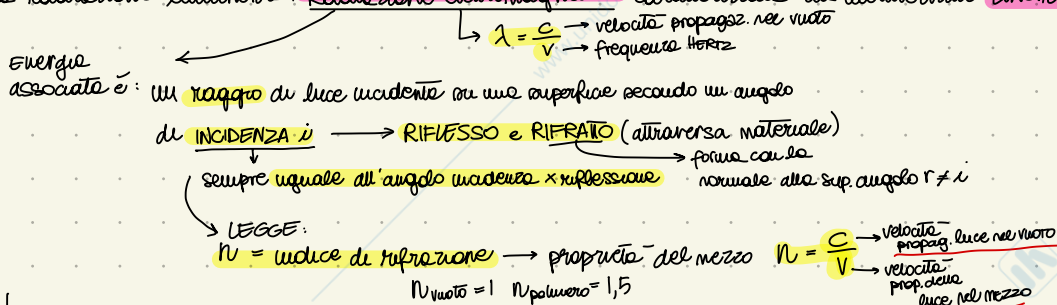
→ **PROPRIETA' MECCANICHE**

- > basso valore modulo elastico E → scarsa rigidita' e resistenza, maggiore deformabilita'
 - > diversi comportamenti ELASTICO o ELASTO-PLASTICO → diversi **MECCANISMI di SNERVAMENTO**
 - **CRAZING** → formazione di piccole fessure "CRAZE" v. simili → diff. della luce
 - comportamento fragile ma elastico → E mantenuto **COSTANTE** fino a prima della rottura → **ISTANTANEA**
 - **SCORRIMENTO** → formazione di una **STRIZIONE**, propagarsi lungo tutto il provino → rottura
 - comportamento tenace, rottura ad alte deformazioni
- un campo gommoso PERMANENTI. Temp. CRAZING inferiore scorrimento

- **RIGIDITA'** → riflette la deformabilita' del materiale, correlata ad E
- **RESISTENZA** → sforzo massimo che il materiale e' in grado di sopportare senza danneggi.
- **TENACITA'** → capacita' di dissipare energia prima della rottura
- **FRAGILITA'** → rottura imprevista del materiale senza alterazione della forma

→ **PROPRIETA' OTICHE**

> la radiazione luminosa: **Radiazione elettromagnetica** caratterizzata da un intervallo **UNGHEZZE d'ONDA**



↳ radiazione rifratta → **ASSORBITA, DIFFUSA e/o TRASMESSO** dal materiale

> rugosita' superficiale maggiore lunghezza d'onda della radiazione (> 760nm)

↳ coseno del raggio di luce che costituisce il fascio INCIDENTE ha ≠ valore angolo incidenza

↳ $i \neq 0$ corrisponde raggio riflesso $i' \neq i$

esempio: rugosita' finestre bagno
 ↳ lenti opaca crea diff. mentre trascurando difetto della superficie

DIFFUSIONE di SUPERFICIE (superficiale deviazione) (attenuazione I intensita' luminosa)

frangere di luce che viene riflessa e correlata all'indice di rifrazione del mezzo da cui proviene la luce i e indice di rifrazione del mezzo sulla cui superficie radiazione incide

ogni raggio ha angolo diverso torce indietro ma cambia

(R) → luce riflessa
 (i) → rad. incidente

rapporto $\frac{I_r}{I_i}$ **RIFLETTANZA** $R = \frac{I_r}{I_i}$

nel caso di incidenza non normale alla superficie, la percentuale di luce riflessa e' funzione dell'angolo di incidenza i

↳ I_t attraverso interfaccia risultare **TRASMITANZA**

→ un assorbimento totale delle radiazioni → campo radiazione UV

→ luce visibile non vi e' assorbimento valore $t < 100\%$

↳ polimeri sono materiali NON ASSORBONO le radiazioni elettromagn. → non risultano trasparenti

↳ presenza interno materiale particelle ASSORBONO/RIFRANCONO la luce

provocando **DIFFUSIONE della LUCE** → ripetuto fenomeno di riflessione/rifrazione sulla superficie di separazione

materiale **ETEROGENEO** (non omot.)

BIFASICO fasi differenti
 opaco se $n_1 \neq n_2$ (nesso ind. R.)
 semi opot. $n_1 \neq n_2$

deviazione dei raggi
 attenuando luce annullandola

PROPRIETA'

↳ **indice RIFRAZIONE n** : rapp. velocita' della luce nel vuoto e velocita' della luce nel mezzo $n = \frac{c}{v}$

↳ **RIFLETTANZA R** : rapp. intensita' luce riflessa e luce incidente perpendicolarmente alla superficie ($i = 0^\circ$)
 $R = \frac{I_r}{I_i} = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2}$ $I \uparrow I_r \frac{n_1}{n_2}$

↳ **GLASSO**: riflettanza massima per gli angoli $\neq 0^\circ$, minima se rugosita' \uparrow

↳ **TRASMITANZA**: rapp. intensita' di luce trasmessa attraverso una lastra di materiale e intensita' luce incidente \perp

OMOGENEO → trasparente. No diff. luce (Amorfi)



Es luce trasmessa totale (?) $[n = d]$

$R = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2}$

$R^{\pm} = \frac{I_r^{\pm}}{I_i^{\pm}}$

$I_r^{\pm} = R^{\pm} \cdot I_i^{\pm}$

$I_{ts}^{\pm} = I_i^{\pm} - I_r^{\pm}$

$I_{ts}^{\pm} = I_i^{\pm} - (R^{\pm} I_i^{\pm})$

$I_{ts}^{\pm} = I_i^{\pm} (1 - R^{\pm})$

relativo alla I_i^{\pm} superficie luce incidente che è riflessa
 quindi I_{ts} è quella che incide meno quella riflessa

totale meno la frazione riflessa FRAZIONE TRASMESSA

equivalente $I_i^{\pm} (1 - R^{\pm})(1 - R^{\pm}) \rightarrow I_{ts}^{\pm}$

POLIMERI AMORFI

- > allo stato solido \rightarrow struttura **DISORDINATA** priva di ordine e regolarità lungo catene molecolari
- > una sola temperatura T_g (temp. transizione vetrosa)
 - \rightarrow Temperature inferiore \rightarrow VETROSO (limitata mobilità)
 - \rightarrow al di sopra GOMMOSO (movimento lungo raggio)
 - \rightarrow temp. elevate scorrimento FLUIDO
- > Transizione Vetrosa è transizione CINETICA non corrisponde alcun cambiamento nello spazio
 - \rightarrow un corrispondenza aumenta la mobilità conserva DISORDINE STRUTTURALE
 - \rightarrow traduce in una dipendenza delle proprietà del materiale dalla temp.
- > valori di E passano da GPa (vetroso) MPa (gommoso)
- > $T_m = T_g + 100^\circ C \rightarrow$ aumento temp. fluidificazione (E basso)
- > MASSA MOLECOLARE \rightarrow influenza sulla formazione e numero agganciamenti catene
 - massa elevate (catene lunghe) + energia (calore) \rightarrow x fluido
 - $m = \infty$ polimero reticolato modo costante

- GRADO di RETICOLAZIONE \rightarrow densità numerica dei legami intermolecolari
- > aumento del grado \rightarrow aumento modulo materiale e diminuzione poss. movimento
 - > a temp. superiori a $T_g \rightarrow$ modulo non è influenzato dal grado reticolaz.
 - > reticolato molto: def. poco + liquido
 - > reticolato poco: def. molto - rigido

- \rightarrow risposte meccanica diversa per VETROSO/GOMMOSO
- $\rightarrow T \ll T_g$ (vetroso) comportamento FRAGILE, CRAZING, E e sforzo rottura elevati, E bassa
 - $\rightarrow T < T_g$ (vetroso) avviene SCORRIMENTO, sforzo massimo riduce, aumento def. a rottura, attenuaz. fragile
 - $\rightarrow T > T_g$ (gommoso) materiale NON snervano, modulo basso, def. rottura elevata, sforzo max moderato
- \rightarrow prima rottura rimuovere carico:
- materiale amorfo vetroso \rightarrow recupero def. Totale, aumentare temperatura recuperare parziale
 - polimero amorfo gommoso \rightarrow recupero def. completo solo reticolato

- \rightarrow NON RETICOLATI (termoplastici) APPLICAZIONI STRUTURALI possibile \rightarrow CAMPO VETROSO
- limitato da $T_A = T_g - 20^\circ C$ internamente temperatura infragilimento
 - a temp. superiori a T_g solo NON STRUTURALI
 - \downarrow
 - non mantengono la forma sotto applicazione di un carico internamente $T_B = T_g + 20^\circ C$

*PVC \rightarrow basso costo, buona resistenza chimica alla fiamma, scarsa tenacia, reqq. IV

aggiunta additivi

- serramenti, finestre, porte
 - ↓ pannelli; oscillanti, basculanti
 - ↓ sedie; membrane x impermeabilizzazione; abbigliamento, borse, calzature
- \rightarrow PVC NON plastificato: amorfo vetroso T_{amb} con $T_g = 80^\circ C$
 - \rightarrow snervamento
 - \rightarrow temperature + basse CRAZING, fragile
- \rightarrow PVC Plastificato: effetto principale è una progressiva riduzione alle T_g
 - \rightarrow presenza difetti = meno tenace

*** PS** → polimero amorfo vetroso T_{amb} , polimero di massa a basso costo.
 usa e getta
 forate, bicchieri
 lampade, imballaggi
 imballatore
 → oggetti usa e getta
 buona trasparenza 92%, bassa resistenza al graffio, scarsa resistenza agenti chimici
 T_{amb} materiale fragile snello **CRAZING** fase dispersa gassosa

*** PMMA** → amorfo vetroso, ottima trasparenza e resistenza UV (esterno: lampadine, fanali, insegne luminose)
 articoli casalinghi;
 tavolini occhie
 lampade
 alcuni esterni, fanali
 onerva x **CRAZING**, T_{amb} fragile, 60°C tenace → viene oltre T_g (85°C) **NO app. strutturali**
 → resistenza meccanica diminuisce → alcol, oli di silicone → cambiano disposiz. molecole

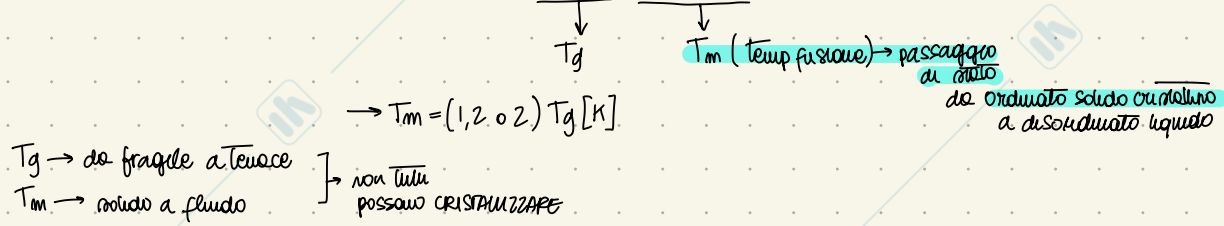
*** PC** → amorfo vetroso $T_g = 150^\circ\text{C}$ alta elevato costo, buona trasparenza ($T = 89\%$)
 lavare pneu;
 alzacristalli;
 lampade, appendiab.
 sciollette, sedie
 blocchi trasp.
 T_{amb} → scolorimento, tenace → diminuire presenza intagli, spessori elevati. (BOTONDI, AFCE)

→ **ELASTOMERI**

guarnizioni
 tubi
 Matrici trasp.
 > gomme/elastomeri aventi $T_g < T_{amb}$, valori modulo Young bassi in MPa → recupero totale e istantaneo
 → **RETICOLAZIONE FISICA** (gomme termoplastiche)
 → **RETICOLAZIONE CHIMICA** = T_g limite campo temperature, sotto T_g diventa + rigido. limite $T_g = T_g + 20^\circ\text{C}$ superiore dato dalla degradazione
 • Reticolazione chimica → reazione chimiche portano formazione legami covalenti

↳ impedisce di fluidificare
 ↳ all'aumentare del grado di ret. = aumento E alla temp. esercizio → ottenuta x **MECANIZZAZIONE** delle gomme polimeri con doppie legami
 ↳ **RESISTENZA LACERAZIONE**: misurato dal livello di carico necessario di propagazione di un intaglio fatto in un proprio braccio direz. opposto
 ↳ **RESISTENZA ABRASIONE**: prova abrasiva poggiato su rullo abrasivo rullo ruota v. costante prova durez. longitudinale variaz. peso = resistenza abrasione materiale

POLIMERI SEMICRISTALLINI → costituiti da due fasi **AMORFA** e **CRISTALLINA**



- > **REGOLARITA' di COSTITUZIONE**: ordine in cui atomi ripetono con regolarità omopolimeri
- > **REGOLARITA' di CONFIGURAZIONE**: disposizione con regolarità
 unità ripetute = simmetrica o asimmetrica → catalizzatore regolare

*** PE** → basso costo, $T_g = -100^\circ\text{C}$, $T_m = 110^\circ\text{C}$ e 135°C
 diventa inferiore 1, resistenza agenti chimici
 tenace, reusable alla degrad. UV
 ↳ diversi tipi. **POLITIENE** differiscono x linearità o M
 + lineare la catena + cristallina + densità
 + massa molecolare + viscoso, minore indice fluidità

HDPE = alta densità, alto grado cristall. 80% $T_m = 135^\circ\text{C}$ **LINEARI** → **inestensibili con, contenitori, casse scatolette,**
LDPE = bassa densità, catene ramificate basso grado 40% $T_m = 110^\circ\text{C}$ **RAMIFICATE** → **lubrificanti, manufatti, inestensibili con elettrici film**

*** PP** → basso costo, $T_g = -10^\circ\text{C}$, $T_m = 165^\circ\text{C}$, resistenza agenti chimici, resistente alla degradazione UV
 T_{amb} = tenace, fragile basse temperature, densità < 1 in funzione grado cristallinità
 → settore automobilistico, elettrico, imballaggi

*** PA** → assorbono l'acqua, $T_m = 180^\circ, 260^\circ$
 buone proprietà meccaniche
 ↳ resistenza agli agenti chimici
 ↳ basso coefficiente d'attrito
 ↳ buona resistenza all'abrasione
 ↳ **elettronica, arredamento**
 un materiale che assorbe acqua diminuisce la **TRANSIZIONE VETROSA**

*** POM** → $T_g = -10^\circ\text{C}$, $T_m = 175^\circ\text{C}$, resistenza solventi
 auto...
 elettrodom.
 parti meccaniche
 basso coefficiente attrito, resistenza usura/abrasione
 assorbe poca acqua, E alto, alto grado cristallinità
 elevato resistenza e tenace

		PVC Polivinilcloruro	PS Polistirene	PMMA Polimetilmetacrilato	PC Policarbonato
TEMPERATURA MASSIMA DI IMPIEGO	$(T_g-20)^\circ\text{C}$	$(80-20) = 60^\circ\text{C}$	$(100-20) = 80^\circ\text{C}$	$(105-20) = 85^\circ\text{C}$	$(155-20) = 135^\circ\text{C}$
PROPRIETA' OTTICHE	n ($\lambda = 400 \text{ nm}$)	1.53	1.59	1.49	1.58
	trasmissione (%)	80	88	92	89
	torbidità (%)	< 5	< 3	< 2	< 3
PROPRIETA' MECCANICHE	E (GPa) ($a T_{amb}$)	2.7	3.0	3.1	2.3
	tenacità ($a T_{amb}$)	tenace/fragile	molto fragile	fragile	tenace
DURABILITA'	resistenza ai raggi UV	scarsa	media	ottima	buona
	sensibilità a solventi		grassi	alcoli	benzine
	sensibilità all'invecchiamento	moderata	moderata	bassa	alta
PREZZO	€/kg	1	1.25	2.80	3.30