



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

NUMERO : 306

DATA : 25/06/2012

# A P P U N T I

STUDENTE : Rossi

MATERIA : Tecnologia dei Materiali

Prof. Actis

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.  
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

# MATERIALI

(parte 1)

- PROPRIETA' →
- meccaniche
  - termiche
  - elettriche e magnetiche
  - ottiche
  - stabilita' chimica

- CLASSIFICAZIONE →
- tipo di legame chimico
  - struttura: amorfa o cristallina
  - proprieta'
  - applicazioni

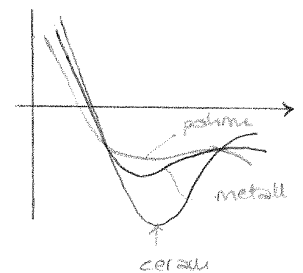
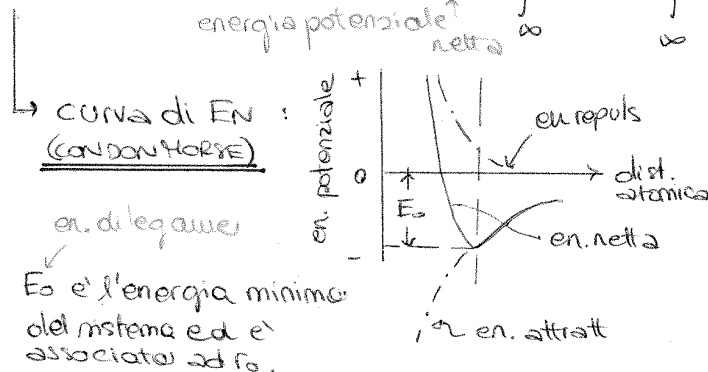
STRUTTURE ATOMICHE → un atomo si configura in funzione dei livelli energetici che sono funzione dell'energia degli atomi

↓  
Introdurre concetti probabilistici x il posizionamento degli elettroni

- numeri quantici:
    - $n$  = n° quantico principale
    - $l$  = n° quantico secondario
    - $m_l$  = n° quantico magnetico
    - $m_s$  = n° quantico di spin
- } definiscono la struttura degli elementi.

- forze:
  - attrattiva ( $F_A$ )
  - repulsiva ( $F_R$ )
  - globale netta ( $F_N$ ) =  $F_A + F_R$  → quando le 2 forze si bilanciano allora la forza globale netta si annulla e i 2 atomi sono alla distanza di equilibrio  $r_0$  → gli atomi restano fermi ad  $r_0$  non allo zero assoluto.

- energia:
  - energia potenziale tra 2 atomi:  $E = \int f dr$
  - nel caso di sistemi atomici:  $E_N = \int_{\infty}^r F_N dr = \int_{\infty}^r F_A dr + \int_{\infty}^r F_R dr = E_A + E_R$



3) **POLIMERI**: molto leggeri, isolanti, non sopportano alte  $T^\circ$ ; resist. meccan. ridotta, deformazioni plastiche, alcuni hanno proprietà elastiche.  
 (legami covalenti e secondari)  
 Legami covalenti e secondari costituiti da composti organici, preparati x sintesi organiche lavorabili meccanicamente

4) **COMPOSITI**: sistemi eterogenei costituiti da una matrice e un rinforzo class. fatti a seconda della matrice o della seconda fase  
 ↳ l'unico composto naturale è il legno

STRUTTURA dei MATERIALI →

crystalina: metalli e ceramici (ordine a lungo raggio)  
 amorfa: vetri e polimeri (ordine a corto raggio)

• Temperatura di fusione: ( $T_{fus}$ ) è  $T^\circ$  passaggio da solido a liquido  
 ↳ è direttamente proporzionale alla forza dei legami chimici  
 Solo i cristallini presentano una  $T^\circ$  di fusione ben definita, i materiali amorfi, infatti, presentano un intervallo di rammolimento

• Rappresentazione della cella unitaria → è utile, x raffigurare le celle cristalline, considerare gli atomi come sfere rigide con raggi ben definiti. → La distanza minima tra 2 atomi è pari al diametro  
 Oppure si può considerare la struttura cristallina come un reticolo: griglia 3D.

↳ celle cristalline: 7 ≠ sistemi di celle (presentano poi delle sotto categorie)  
 definizione dei parametri di cella ( $a, b, c$ ) e degli angoli di cella ( $\alpha, \beta, \gamma$ )



Strutture dei materiali:

• **CFE** → atomi di sposti ai vertici del cubo e al centro di ciascuna faccia

$n^\circ$  atomi x cella = 14

$a = 2R\sqrt{2}$

$n^\circ$  coordinazione = 12

fattore compatt. atomica = 0,74



• **CCC** → atomo centrale e gli altri ai vertici del cubo

$n^\circ$  atomi x cella = 2

$a = \frac{4R}{\sqrt{3}}$

$n^\circ$  coordinazione = 8

fattore compattazione atomica = 0,68

↳ incontro a rottura fragile a  $T^\circ$  basse

• **Esag. compatta** → atomi su facce n° p e i e f + piano intermedio

$n^\circ$  atomi x cella = 6

$n^\circ$  coordinazione = 12

fattore compatt. atomica = 0,74

attenzione: alcuni metalli come il ferro hanno celle ≠ a seconda della temperatura. Questo caract è detto POLIMORFISMO  
 o ALLOTROPIA

POLIMERI → i polimeri possono presentarsi anche allo stato cristallino.  
 Le catene possono essere più o meno impaccate e questo condiziona l'ordine.  
 Generalmente sono solo parzialmente cristallini (strutture complesse)  
 ↳ grado cristallinità variabile: 0-95%  
 ↓  
 dipende da : - configurazione delle catene  
 - velocità di raffreddamento

DIFETTI

↳ macroscopici  
 ↳ microscopici

↳ difetti influenzano le proprietà: fisiche  
 meccaniche  
 tecnologiche

↳ solidi cristallini hanno molti difetti → diminuendo o accrescendo i difetti si generano proprietà dei materiali diverse.

1) IMPUREZZE → tutti i solidi reali sono impuri

↳ le impurezze possono essere non volute o intenzionali

↳ sono soluzioni solide : solido che consiste di 2 o più elementi atomicamente dispersi in una struttura monofase  
 si parla di soluzione solida quando l'aggiunta di soluto non modifica la struttura cristallina del solvente

↳ • sostituzionali → sistema in equilibrio

↳ condizioni : differenza di diametri atomi inferiore al 15%  
 strutture cristalline dei ≠ atomi uguali  
 uguale (o simile) elettronegatività  
 stesso valenza degli elementi  
 esempio : argento e oro

• interstiziali → un atomo molto più piccolo si inserisce nell'interstizio della cella cristallina.  
 si ha una deformazione dello scheletro  
 Tolleranza max di concentrazioni è 10%

2) DIFETTI PUNTUALI

↳ • vacanze del sistema : zone in cui manca un atomo.

Aumentano l'entropia del sistema rendendolo meno stabile termodinamicamente

N° vacanze di equilibrio ( $N_v$ ) dipende dalla temperatura secondo la relazione :

$$N_v = N \cdot e^{-Q_v/kT}$$

⇒ il n° di vacanze aumenta esponenzialmente con T°.

• difetti interstiziali → atomo che occupa interstizio

↳ sono classificabili in :

- ↳ autointerstiziali → occupato da un atomo del reticolo
- ↳ impurezze chimiche → atomi estranei al reticolo.

## 5) DIFETTI TRIDIMENSIONALI :

- pori → generati dalla mancanza di materiali. Influenzano notevolmente proprietà termiche, meccaniche e ottiche
  - cricche di frattura → influenzano propr. meccaniche
  - inclusioni estranee → influenzano propr. ottiche, elettriche, meccaniche.
- Questi sono difetti macroscopici, non come le soluzioni solide.

## ESAMI MICROSCOPICI

Importante investigare gli elementi strutturali di un materiale x spiegarne le proprietà.

- Microscopia ottica :
- levigazione superficie e lucidatura a specchio
  - attacco metallografico : soluzioni acide x trattare la superficie
  - questo attacco produce solchi lungo i bordi di grano che sono chimicamente + reattivi → gli atomi dei bordi di grani si dissolvono + velocemente degli altri
  - otturamento di coloranti ≠ in funzione dell'orientazione dei grani stessi  
(i grani hanno dimensioni ≠, ma comparabili).

## STRUTTURA AMORFA

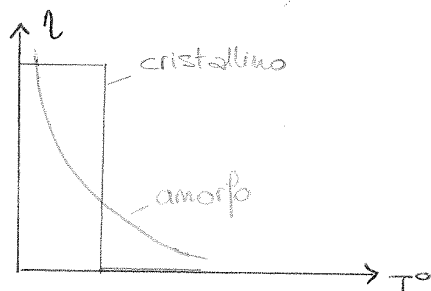
→ manca ordine a lungo raggio e non ha ben definita temperatura di fusione.

Ordine a corto raggio : qualche Å.

- La strutt. amorfa non è stabile → tende a ordinarsi : scaldare e lasciare in temperat (se si concede il giusto tempo nel raffreddamento si avrà la tendenza a formare struttura cristallina).
- Nella struttura amorfa non si hanno legami con eguale forza → non si ha uno temp di fusione fissa.

↳ mi deve causare la viscosità in funzione della temperatura

- VISCOSITÀ → ( $\eta$ ) è la resistenza allo scorrimento laminare, in risposta ad una sollecitazione meccanica applicata // alla superficie  
[Pa·s]  
Pa·s = 10<sup>10</sup> poise
- È dovuta all'attrito interno fra le varie unità strutturali che devono scorrere le une sulle altre.



amorfi :  $\eta$  decresce esponenzialmente con  $T$ , con curva continua

↓  
è il contrario dei cristallini

per ogni amoro ci sono temperature caratteristiche di  $\eta$  : liquido, lavorazione, rammolimento

- Prova di taglio e torsione → vengono definiti degli angoli di deformazione

$$\tau = \frac{F}{A_0}$$

↑  
sforzo di taglio

$$\gamma = \frac{\Delta}{h} = \tan \theta$$

↑  
deformazione di taglio

- Prova di flessione → caratterizzazione materiali fragili. A 3 o a 4 punti.



Curva analoga a quelle di trazione o compressione che dà indicazione della resist del materiale prima di andare a rottura.

### DEFORMAZIONE ELASTICA → reversibile

Il grado di deformazione di una struttura è funzione dello sforzo che subisce

La deformazione x cui sforzo e deformazione sono costanti è detta elastica e la pendenza della curva  $\sigma - \epsilon$  è il modulo E

↳ def. elastica segue legge di Hooke:  $\sigma = E \cdot \epsilon$

E è funzione del materiale ed è + elevato nei ceramici e + basso nei polimeri

E può essere visto come misura della rigidità del materiale → è la resist che il materiale oppone alle deformazioni.

Per alcuni mat il tratto elastico non è lineare → x questo E si misura come modulo tangente e modulo secante.

A livello atomico: E è la misura della resistenza opposta alla separazione di 2 strati adiacenti → misura delle forze di legame interatomiche.

Modulo E per i materiali: metalli → 200 + 300 GPa  
 ceramici → 250 + 1000 GPa  
 polimeri → 0,01 + 6 GPa

↑  
diamante

Coefficiente di Poisson: è il rapporto tra deformazione laterale e quella longitudinale →  $\nu = - \frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = - \frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$

$$\hookrightarrow 0,25 < \nu < 0,4$$

per i materiali ideali  $\nu_{max} = 0,5$

$$E = 2G(1 + \nu)$$

Materiali elasticamente anisotropi: ci sono materiali che variano le caratteristiche in funzione della direzione cristallografica dei grani. In funzione della simmetria varia il grado di anisotropia del sistema.

Nei materiali policristallini → i grani hanno orientaz cristallogr ≠ e le dislocazioni si muovono lungo le direzioni + favorevoli  
 Per ottenere grande deformazione si deve deformare fortemente ogni singolo cristallo. I bordi grani xo mantengono integrità meccanica e coesione infatti, normalmente, non si separano e non si aprono.

## DUTTILITA'

È la misura della deformazione plastica che può subire il materiale senza rompersi

• materiali fragili : presentano scarsa duttilità

↳ rottura per deformazioni minori del 5%.

• allungamento percentuale:  $A\% = \frac{l_f - l_0}{l_0} \cdot 100$   
 perc. deform. pl. a rottura  $\uparrow$  a rottura

• riduzione percentuale di sezione:  $S\% = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \cdot 100$   
 indipendente sia da  $l_0$  che da  $A_0 \uparrow$

• metalli : diminuzione duttilità se diminuisce la temperatura

## TENACITA'

Indica la capacità di un materiale di assorbire energia fino al raggiungimento della rottura

- carico dinamico → determinato mediante test a impatto
- condizioni statiche → area sotto alla curva  $\sigma - \epsilon$  fino a rottura

RESISTENZA A ROTTURA ( $\sigma_r$ ) → sforzo rappresentato dal picco della curva  $\sigma - \epsilon$

DEFORMAZIONE A ROTTURA ( $\epsilon_r$ ) → corrisponde alla deform. plastica a rottura del provino.

STRIZIONE → la formula  $\sigma = F/A_0$  vale bene finché l'area reale è uguale. Si può in fatti formare una strizione che diminuisce l'area. Da  $\sigma_s$  la curva fornita dalla macchina e la curva reale non coincidono più e questo è causato dal fenomeno della strizione. Inoltre la rottura avviene proprio in corrispondenza della strizione.



La propagazione della cricca è  $\perp$  alla direzione di applicazione del carico di trazione

Tanto + la cricca è piccola tanto + il materiale è fragile

- MECCANICA DELLA FRATTURA : la resistenza a rottura di un materiale è funzione delle forze coesive

Resistenza teorica coesiva  $\rightarrow \sim E/10$

Resistenza a rottura sperimentale  $\rightarrow 10 \div 1000$  volte meno del valore teorico.



questo perché le cricche diminuiscono la resistenza a rottura e il carico viene amplificato o concentrato all'apice del difetto.

$$\sigma_{eff} = \sigma_0 \cdot \left( \frac{a}{\rho_c} \right)^{1/2}$$

con  $a$  = raggio cricca

$\rho_c$  = raggio di curvatura all'apice della cricca

quanto + la cricca è spuntata tanto + è il suo raggio di curvatura

- FRATTURA NEI POLIMERI : alcuni polimeri vedono la formazione di microstrappi.

I microstrappi si manifestano in regioni molto localizzate in cui si formano delle microcavità. Tra queste microcavità si formano PONTI FIBRILLARI

La crescita dei microstrappi può assorbire energia  $\Rightarrow$  è in grado di incrementare la resistenza a frattura

- FATICA : avviene in strutture sottoposte a sforzi ciclici e fluttuanti

È possibile che avvenga a livelli di carico molto inferiori ai carichi di snervamento.

Le rotture per fatica avvengono in modo simile a quello fragile : improvvisamente (anche nei metalli).

- ciclo a carico invertito  $\rightarrow$  andamento sinusoidale e regolare nel tempo. Sforzo medio pari a zero. Valore massimo e minimo hanno ampiezza simile.
- ciclo a carico casuale  $\rightarrow$  livello di sforzo può variare casualmente in ampiezza e frequenza  $\rightarrow$  rappresento meglio la realtà
- ciclo a carico ripetuto con valori di  $\sigma_{max}$  e  $\sigma_{min}$  asimmetrico  $\rightarrow |\sigma_{max}| > |\sigma_{min}|$

- effetti ambientali → • fatica termica: sollecitazioni termiche fluttuanti provocano sforzi sul materiale quando questo non è capace di adattarsi o allungarsi:

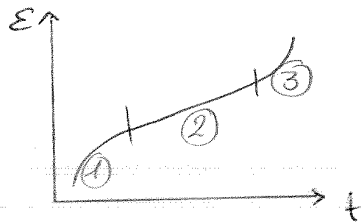
$$\sigma = \alpha_p E \Delta T$$

• fatica a corrosione: punti che maggiormente reagiscono con l'ambiente sono punti di concentrazione degli sforzi.

• CREEP (SCORRIMENTO CALDO) → materiali posti in opera a  $T^\circ$  elevate e soggetti a sforzi meccanici di tipo statico

Lo scorrimento a caldo da' deform. permanente dipendente dal tempo.

Definizione di curve  $\epsilon-t$  suddivisibili in 3 aree  $\neq$ .



La pendenza della 2° zona è molto importante ed è chiamata velocità di creep stazionario

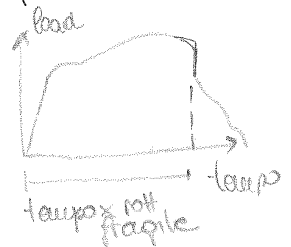
• VALUTAZIONE DELL'IMPATTO → l'impatto non lascia tempo al materiale di modificarsi.

Prove  $\left\{ \begin{array}{l} Izod \rightarrow \text{si utilizza una mazza} \\ Charpy \rightarrow \text{campione posizionato su 2 appoggi + utilizzo mazza} \end{array} \right.$

Intagli:  $\rightarrow V$  oppure  $\rightarrow U \rightarrow$  talvolta i materiali presentano resistenze molto elevate e l'intaglio consente di penetrare a rottura.

Energia assorbita =  $h_{iniziale} - h_{finale}$


Grafico:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{parte iniziale} = \text{energia iniziale} \\ \text{seconda parte} = \text{energia di propagazione} \end{array} \right.$



Prove di resilienza → il tipo di frattura si può dedurre dalle superficie

- frattura fragile → brillante e cristallina 

- frattura duttile → opaca e setacea 

- frattura mista → duttile ai bordi e fragile al centro 

Transizione duttile-fragile → è legata alla  $T^\circ$  in funzione dell'energia d'impatto assorbita.

↓

Quanto maggiore è l'energia assorbita tanto più il materiale è duttile

- Durezza vs resistenza trazione → sia carico a rottura che durezza sono indicatori della resistenza di un materiale.

↓

Per la maggior parte degli acciai vale:  $\boxed{TS(HB) = 3,45 \cdot HB}$

- Modifica delle proprietà → le proprietà che sono associate alla struttura (come  $E, \alpha, T_{ps}$ ) non sono difficili da modificare. Altre invece possono essere fatte variare con trattamenti termici, meccanici o formaz. leghe (C, Cr, H)

Nei mat metallici la duttilità è legata al moto delle dislocazioni → riducendo il moto delle dislocazioni si rende il materiale + duro e + resistente.

Quindi ↓: limitando od ostacolando il movimento delle dislocazioni si rende un materiale + duro e resistente

- 1) dimensione dei grani → la deformazione plastica deve passare attraverso i bordi dei grani che si comportano come una barriera al movimento → grani fine mat + resist

$$\sigma_y = \sigma_0 + k_y d^{-1/2}$$

eq Hall-Petch (correla resist allo snervamto con la dimens grani)

- 2) soluzioni solide → generalmente metalli puri risultano più teneri delle leghe. Introducendo un atomo estraneo al reticolo questo genera contrazione (se l'atomo è + grande di quelli ospitanti) o trazione (se è + piccolo) e limita il moto delle dislocazioni poiché riduce l'ea. di deformazione globale e limita la deformazione intorno alle disloc. In particolare questi atomi tendono a disporsi nei pressi delle disloc:
  - sopra il piano di scorrimento se sono + piccoli
  - sotto il piano di scorrimento se sono + grandi

- 3) incrudimento → è il fenomeno per cui un metallo diviene + duro e resistente dopo aver subito def. plastica. Si ha questo invecchiamento da lavorazione a freddo:

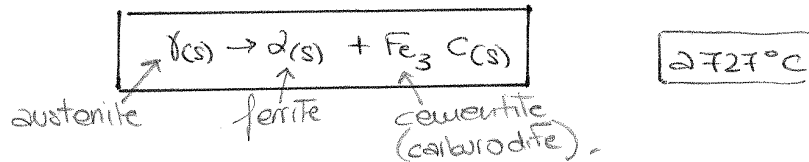
$$LF\% = \frac{A_0 - A_d}{A_0} \cdot 100$$

La def. plastica, infatti, genera nuove dislocazioni che cominciano ad ostacolarsi tra loro rendendone il moto + difficile.

↳ si aumenta il limite elastico (di snervamento) e resistenza a trazione e durezza, (ma) diminuisce la duttilità.

(14)

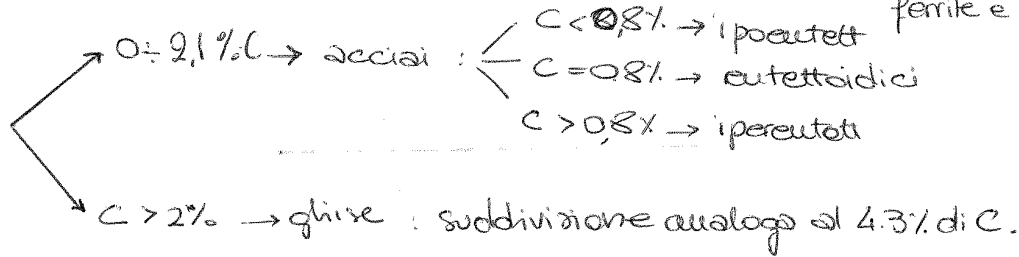
Per  $C \approx 0,8\%$  → REAZIONE EUTETTOIDICA : trasformazione della fase solida  $\gamma$  a 2 fasi solide  $\neq$  aventi strutture e abitus cristallini  $\neq$  :



Questa reazione parte da una determinata struttura e genera una  $\neq$  :



→ perlite → ultima miscela di ferrite e cementite



campo degli acciai : sistema monofase o bifase in funzione di  $T^\circ$ .

- acciaio eutettoidico : siamo a  $C = 0,8\%$  → formazioni PERLITE
- acciai ipoeutettoidici : trasformazioni :
  - $\gamma \rightarrow \alpha + \gamma$  <sup>α primario</sup>
  - $\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$  <sup>α secondario</sup> → avviene a 2727°C
- acciai ipereutettoidici : trasformazioni :
  - $\gamma \rightarrow \gamma + Fe_3C$
  - $\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$

attenzione: i primi punti in cui si generano nuove fasi sono nelle aree più reattive: bordi di grano e vicinanze.

• INFLUENZA ELEMENTI IN LEGA

Non solo C si lega con il Fe → qualunque materiale entri in lega modifica i punti critici del Fe.

affoganti → elem. che stabilizzano CCC, aumentano  $A_3$ , diminuisce  $A_4$

rafforzanti → elem. che stabilizzano FCC, aumentano  $A_4$ , diminuiscono  $A_3$ .  
↳ estensione fase  $\gamma$

TRASFORMAZIONI BAINITICHE → -  $T^\circ$  di mantenimento inferiori  
 - fase nucleare e la ferrite

TRASFORMAZIONI MARTHENSITICHE → -  $T^\circ < A_1$  martensite starting

(trasformazione da austenite a martensite quasi istantanea) -

cambiava da cfc a tetragonale  
 tetragonale → genera sforzi residui.  
 il C al centro ma con raggi rapidi non ha tempo di uscire → martensite è dura a causa delle grandi q.tà di dislocazioni e per il C in posizione interstiziale  
 Le iso-austenite non hanno tempi

DIAGRAMMI CCT → tauto + la curva è a dx tauto + è facile la formazione di martensite perché si avranno vel di raff. minori.

In funzione della composizione si hanno risposte ≠ ai trattamenti termici.

1) RICOTTURA

risaldamento in modo che l'acciaio sia austenitico permanentemente x durata opportuna e raffreddamento in forno.

(alla ricottura è associata una trasformazione che rispetta il diagramma)

Ricottura consente raggiungimento equilibrio termodinamico e di eliminare le disomogeneità.

a) RICOTTURA COMPLETA → mantenimento a  $T^\circ$  funzione dell'acciaio:

- ipoeutetoidici :  $A_{C3} + 50^\circ$
- iper-eutetoidici :  $A_{C1} + 50^\circ$

e raffreddamento lento

- ipoeutetoidici : ferrite e perle grossolane; tenacità e durezza moderate, duttilità elevata;
- ipereutetoidici : globuli 2202. parziale della cementite; aumento resistenza; no completa austenitizzazione

b) RICOTTURA di omogeneizzazione → completa austenitizzazione

$T^\circ$  maggiori (1000 - 1200 °C)

eliminazione/riduzione microsegreg.

Rischi : • fusione parziale non rimediabile

• ingrossamento eccessivo del grano.

c) RICOTTURA di RIGENERAZIONE → riscaldamento senza mantenimento a  $T^\circ$  poco >  $A_{C3}$

austenite a grano fine

raffreddamento in modo da ottenere ferrite-perlitica fine

5) TRATTAMENTO DI DISTENSIONE → è un rinvenimento a T° bassa.

Riscaldamento e raffreddamento a velocità lenta

RINVENIMENTO: in effetto dopo una Tempra in modo da limitare la bassa duttilità del materiale

Tempra + Rinvenimento = **BONIFICA**

Il rinvenimento porta il metallo a uno stato chimico-fisico stabile.

Trasformazione di martensite dovuta al rinvenimento:  
 $T_r > 450^\circ$  → formazione carburi legati → indurimento per precipitazione.

Parametri che influenzano rinvenim: • composizione chimica  
 • condizioni rinvenim ( $T_r, t_r$ )

6) TRATTAMENTI SUPERFICIALI → i trattamenti appena visti coinvolgono la totalità dell'elemento, i trattamenti sp coinvolgono solo la superficie

Obiettivo: superficie dura e cuore duttile e tenace

• Tempra superficiale: ottenimento struttura martensitica di qualche mm di spessore.

impiego acciai a basso C

$C < 0,5\%$

graino fine e poco sensibile all'in grossamento

• Cementazione: trattamento termochimico di diffusione.

L'acciaio viene arricchito di C superficiali (1-2 mm)

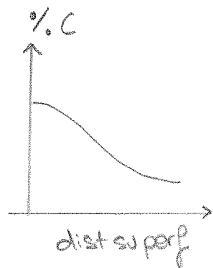
$T^\circ > A_{c3}$  (fra  $900^\circ$  e  $1000^\circ$ ) No grassamento

Cementazione: - liquida (o in cassetto) ( $900-950^\circ$ )

buono omogeneità & - solida ( $870-950^\circ$ ) → utiliz cloruro

- gessoso → ossido carbonio + idrocarburi.

- favorito da elem che formano carburi
- ostacolata da elem che formano soluz. solide.



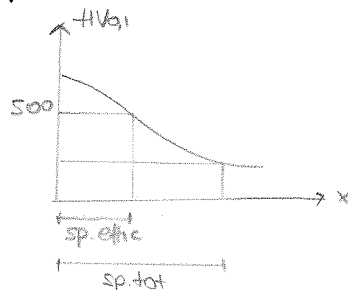
L'acciaio cementato subisce indurimento con tempi immediati e successivi → generazione di valori elevati di durezza (700-900 HV) martensite

→ Valore durezza tramite MICRODUREZZA VICKERS: in valore a distanza progressiva dalla sup della resina

determinazione microsp. caratteristici

oltre spess totale zone a cuore del materiale

↳ la dist progr. è dato dalla reazione.



• Nitrazione: trattamento termochimico di diffusione in cui

l'acciaio è arricchito di azoto.

$T^\circ \sim 520^\circ$

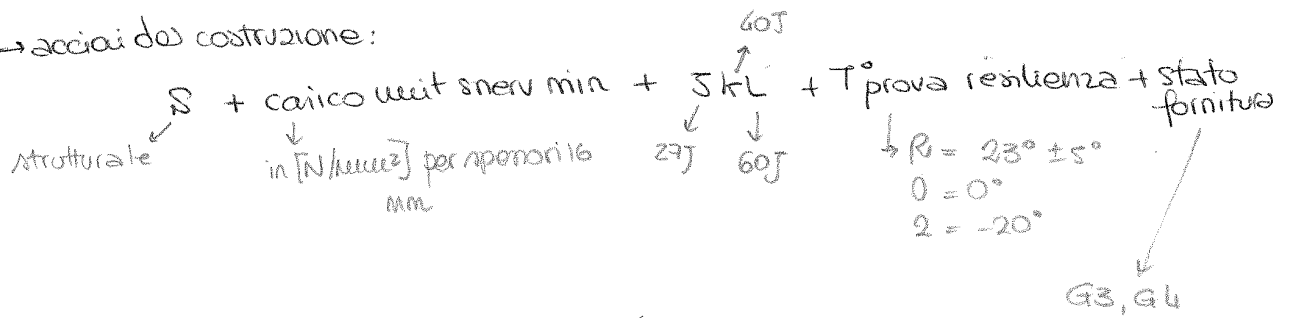
Nitrazione: - in bagno di sali utilizzo cloruro

- gassoso gas di ammoniaca e azoto

- ionica introduce ioni azoto a partire da ioni in plasma tramite scarica elettrica.

esigenza di formare nitruri → è necessario avere nel mat elementi che reagiscono formando nitruri (Al, G, Mo, Ti, V)

→ acciai da costruzione:



B) designazione numerica: A.BCDE (ZZ)

A = tipo lega (1-9) → 1 = acciaio

2 = met peranti escluso acciaio

3 = met leggeri (Al e sue leghe)

BC = class x compos chimica o impiego → se B=4 generalu e acciaio inox

DE = n° propr dello stesso classe

ZZ = possib estensione x futuro

• designazione in funzione della composizione chimica:

A) acciai non legati: C + %C × 100

↳ esempio: C40 = C + 40% → 0,4% C  
 C10 = C + 0,1% C

B) acciai legati: %C × 100 + simbolo chimico + % elem x fattore multipl  
 elem opposti  
 ordine di qta  
 ↳ esempio:  $0,34\%C \text{ } \textcircled{3} \text{ } 1\%Cr \text{ } 10\%Mn \text{ } 0,04\%Si$   
 ↳ = 1% Cr

C) acciai altolegati: non si usano coeff. correttivi

X + %C × 100 + simboli chimici + % elem. in lega

↳ esempio: X2CrNi1811

altolegato • 0,02% C • Cr 19% • Ni 11%

• ACCIAI DA COSTRUZIONE USO GENERALE: generalu, legati e posti in opera

↳ generalu, richieste senza pr. mecc. →  $R_s < 500 MPa$  - senza trattamenti termici

- $R_s$  ottenuto mediante:
  - affinam grado
  - inerziali x deformi plasticu
  - rafforzam x sol. solidu
  - presenza bainite e/o martensite

- resistenza meccanica correlata a composiz. chimica:

$$R = R_{Fe} + \Delta R_C + \sum \Delta R_{EL} \quad \rightarrow \text{valutazione spannometrica}$$

↑ influenza trattam termico  
 ↑ caratteri in lega  
 ↳ n indica T invenimento

5 - acciai autotempranti = prendono tempra con semplici esposiz all'aria  
 elevatissime resist 2000 MPa  
 tenacità soddisfacente  
 strut. martensitica anche a T° ambiente

6 - acciai per forni = elevato resist a trazione, torsione e piegamenti  
 scelto ottimale composiz chimica + def pl + tratt termico  
 $R_m = 1170 MPa$   
 $C < 1\%$

7 - acciai con elevatissime caratteristiche = ACCIAI MARAGING  
 acciai altolegati  
 da cui sono lo presenza di C. MARTENSITIC AGING  
 valori elevati di Ni (17 ÷ 25%) e Zielev < 30%  
 poco deformi, ma tenacità elevatissima  
 martensite prodotta dal invecchiamento  
 $R_s \approx R_m \approx 2000 MPa$  (elevatissima)

Trattamento termico di maraging:

- laminazione a freddo
- riscaldamento a  $820 \pm 25^\circ C$  ← solubil. composti intermet
- raffredd. fino a T° ambiente in aria ← strut. complet martensit
- permanenza a  $480 \pm 15^\circ C$  per 3 ÷ 6 h (MARAGING) ↑ precipitazione composti intermetallici

• ACCIAI INOSSIDABILI → altolegati

leghe a base ferro resistenti agli ambienti corrosivi  
 $Cr$  almeno 12% →  $Cr > 12\%$  = acciaio inossidabile

valido per leghe dopo solidificazione

diagramma di Schaeffler → consente di determinare le microstr. dominante una volta note composizione chimica e velocità di raffreddamento.

↓  
 $Ni_{eq}$   
 $Cr_{eq}$  → tempo e costo di questi elementi gammo gelii o sfoggetti non in leghe

1 - acciai inox martensitici: hanno A3 e A1  
 strut. martensitica ottenuta anche x V raffr basse  
 elevato quantitativo di C (0,12 ÷ 0,3%)  
 notevole temprabilità  
 limiti di applic ma a T° elevate che T° basse  
 ↳ campo di T° di impiego ridotto.

2 - acciai inox ferritici: non hanno A1 e A3  
 non sono induribili x tempra  
 subiscono rischio ingrossamento del grano  
 tenori di C inferiori  
 vanno bene a T° alte e malissimo a T° basse  
 ↓  
 resiste bene fino a T° = 1100°C



Resilienza anche a T basse -

Resistenza al fuoco → un terremoto può anche produrre un incendio

L'inox austenitico conduce poco il calore (= inerzia termica maggiore del acciaio al carbonio)

↓  
però presenta coeff dilatazione termica + elevato ⇒ questo comporta deform + elevate

In realtà però la perdita di proprietà è costante e per  $T > 500^\circ\text{C}$  l'acciaio inox è + performante dell'acciaio al carbonio -

↳ le T° in un incendio saranno oltre i  $500^\circ\text{C}$

Anche la diminuzione di E è funzione della T° e l'acciaio al carbonio è meno performante di quello inox.

## RAME e SUE LEGHE

Rame:

ottimo conduttore  
resistenza alla corrosione  
antibatterico  
elevate caratt meccaniche

① RAME RAFFINATO ( $w = 99,9\%$ )

- ↳ a) oxygen free
- b) disossidato
- c) contenente ossigeno

↳ le sue propr. cambiano con la presenza di ossigeno

② RAME BASSOLEGATO ( $Cu = 99\%$ )

↳ gli elementi in lega variano la microstruttura del rame e dunque modificano sostanzialmente le proprietà del materiale

③ LEGHE DI RAME (elem. leganti  $> 5\%$ )

① OTTONE → Cu + Zn : elevate caratt meccaniche + resistenza alla corrosione

- ↳ a) ottone monofasici  $\alpha$ : contenuto Zn  $< 33\%$ , facili eute deformabili a freddo e non a caldo
- b) ottone bifasici  $\alpha/\beta$ :  $34\% < \text{Zn} < 46\%$ . Deformabili a caldo e non a freddo. Per la presenza delle 2 fasi non sopportati a corrosione elettrolitica

c) ottone binari x formata: aggiunta di Pb x migliorare la lavorabilità. Hanno problemi di corrosione con l'acqua.

d) ottone speciali: contengono altri elementi in lega x migliorare resist alla corrosione (Fe, Mn, Al, Ni)

29

Corrosione: il rame è un metal che resiste bene alla corrosione. Non è comunque totalmente inossidabile e presenta rapido corrosione in presenza di:

- acidi ossidanti
- sali ossidanti di metalli pesanti
- solfuri e zolfati
- ammoniacali

il rame ha elevata resistenza alla corrosione grazie alla formazione di un ossido  $Cu_2O$  (conosciuto come VERDE PATINA) che opera come "elemento sacrificale".  
Al, Sn, Ni riducono ulteriormente la velocità del fenomeno corrosivo.

### Processo di estrazione:

- ① estrazione → da miniere a cielo aperto o in galleria
- ② frantumazione → il materiale viene ridotto tramite potenti mulini
- ③ flottazione → separazione delle parti contenenti il rame dagli altri
- ④ arrostitimento → i fanghi provenienti dalle emicanti vengono trattati termicamente a ridurre lo zolfo
- ⑤ raffinazione termica → si cerca di ridurre le impurità
- ⑥ raffinazione elettrolitica → tramite processo di anodo solubile in vasche contenenti solfato di rame → si ha fino all'esaurimento dell'anodo e i catodi vengono estratti e inviati alle lavorazioni successive o al commercio.
- ⑦ rifusione

### Processi di colata:

consentono d'ottenere con prezzi modesti forme geometriche complesse

Rame puro è difficile da colare poiché tende a formare fratture superficiali  
⇒ aggiunta altri elem. in lega

### Applicazioni:

- industriali
- beni di consumo
- architettura → resistenza agenti atmosferici  
+  
bassa manutenzione

Rame antibatterico: Tenuto in condizioni favorevoli allo sviluppo batterico il rame dopo 90 minuti elimina il 99% dei batteri.

Non è antibatterico solo con i virus, ma anche con i funghi

L'eliminazione dei virus e batteri è dovuta alla contemporanea presenza di 2 fattori → questo fa in modo che i batteri/virus non riescano ad abituarsi all'azione del rame.

Marchio → ANTIMICROBIAL COPPER

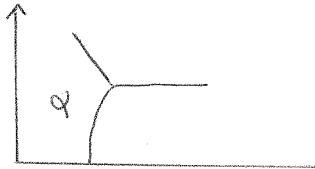
Norme che prevedono l'uso del rame contro la legionella.

Leghe : hanno molte applicazioni nell'edilizia e la buona resist. alla corrosione e x la leggerezza - queste proprieta vengono sfruttate anche nel campo delle costruzioni automobilistiche -

→ classificazione  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Leghe da lavorazione plastica} \\ \text{Leghe da fonderia} \end{array} \right.$

→ meccanismi di rinforzo :

1. soluzione di elem allo stato solido → nell'alluminio nessun elem ha totale solubilita' allo stato solido



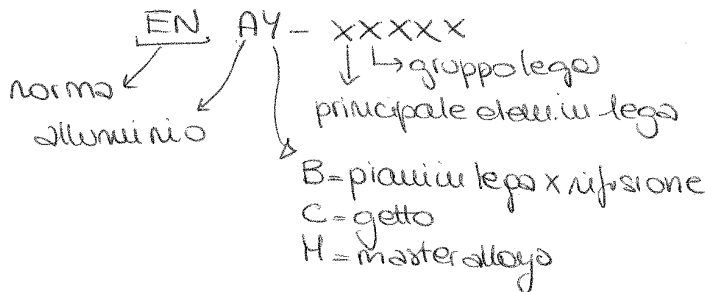
la solubilita' ridotta comporta la formazione di 2 fasi  $\neq$  :  $\alpha$  e  $\beta$   
 ↳ e' possibile svolgere determinati trattamenti termici

2. precipitazione e indurimento → effettuabili grazie alla parziale insolubilita' dell'alluminio. Realizzati tramite processi di invecchiamento che portano a formazione di precipitati

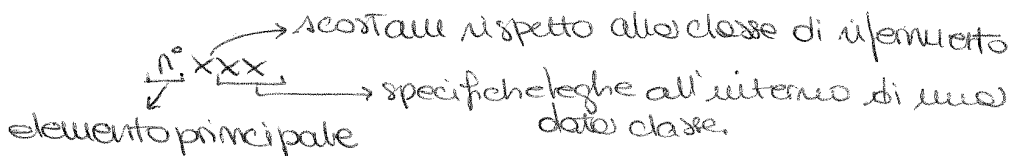
3. deformazione plastica a freddo → nelle leghe trattabili termicamente e' il punto di partenza, mentre nelle leghe non trattabili termicamente e' l'unico possibile di trattamento.

• LEGHE DA FONDERIA :

↳ Nomenclatura → norme EN-1780



• LEGHE DA DEF. PLASTICA



Per incrementare fortem. le caratteristiche meccaniche delle leghe trattabili termicamente → l'invecchiamento genera la precipitazione di 2 fasi che si dispergono tra i grani ostacolando il moto delle dislocazioni.

# CORROSIONE

La corrosione dei materiali metallici include tutte le interazioni fra ambiente e il metallo → la principale variabile che influenza la corrosione è l'ambiente

- ↳ Esempio: (Fe) quando è esposto ad una atmosfera industriale reagisce e forma ruggine che però non è aderente e dunque non può proteggere il metallo → si ha la formazione prima di idrossido ferroso (verde) e poi idrossido ferrico (rosso-marrone)
- (Cu): esposto con l'ambiente forma una patina (cuprea) che è aderente al metallo e x questo lo protegge - In questo caso la formazione dei composti di corrosione risulta favorevole.

## Classificazione della corrosione:

① UMIDA → associata ad un processo di natura elettrolitica, presenza di una zona anodica (reazione di ossidazione del metallo) e una zona catodica (riduzione del non metallo)

Le 2 zone non separate da un elettrolita che consente il trasporto di elettroni → le 2 reazioni si bilanciano procedendo insieme ⇒ più lenta è la reazione catodica e più lenta sarà la reazione anodica, quindi si vuole limitare la reazione anodica rallentando la reazione catodica.

La reazione di ossidazione procede tanto più velocemente quanto più ossigeno viene a contatto con la superficie

La corrosione in mezzi acquosi dipende sostanzialmente da 2 fattori:

- potenziale di corrosione
- pH → corrosione molto rapida in ambienti acidi poiché ci sono più  $H^+$  disponibili x reazione catodica.

Elettropositivi → elementi ed inistra del diagramma e che tenderanno a corrodersi e presentano potenziale elettrolitico minore

② SECCA → ambiente chimicamente aggressivo : ambiente industriale

## Forme di corrosione:

- UNIFORME → è la più frequente nei metalli però è facilmente visibile x la sua uniformità e dunque è meno pericolosa di altre. Può essere ostacolata con rivestimenti protettivi, inibitori o con protezione catodica

I suoi prodotti sono:

o) SOTTO SFORZO → stress corrosion cracking = SCC

Si generano microcricche in seguito all'applicazione di uno sforzo sul materiale: gli sforzi possono essere sia sforzi applicati che resi dui.

Questa corrosione si ha solo in particolari combinazioni metallo/ambiente.

Si ha una fase di innesco e una di propagazione → generalmente la superficie viene corrosa molto poco, mentre all'interno del materiale propagano cricche molto localizzate

Protezioni:

- rivestimenti galvanici
- rivestimenti non metallici con prerequisiti adeguati allo scopo
- rivestimenti con materiali sacrificali

↳ è importante che il rivestimento sia adeguato e aderente al materiale.

## GIUNZIONI

Collegamenti permanenti:

- incollaggio
- approssatura
- chiodatura
- saldatura

{ epossidici → imedi strutturali  
 poliuretani → " morbido  
 metacrilati → " tenace

Adesivi strutturali

: sono realizzati per diversi componenti → metalli, legno, ceramica. e sono usati soprattutto nel mondo automobilistico, nell'architettura navale, spaziale --

Chiodatura

: praticare dei fori in corrispondenza dei pezzi da unire. Nei fori sono introdotti chiodi caldi che vengono subito ribaditi. Oppure chiodatura non è più economica ed affidabile. Le chiodature sono ancora applicate nelle applicazioni in cui la saldatura non è più utilizzabile: aeronautica

- chiodatura a caldo → chiodi in acciaio extradolce
- chiodatura a freddo → corribattuti o rivetti in rame, alluminio, dione

Saldatura e saldabilità

saldatura = unione permanente di due parti metalliche realizzata ottenendo la continuità del collegamento, impiegando sorgente di calore

saldabilità = attitudine di un materiale a prestarsi alla realizzazione di collegamenti saldati con le solite esatte meccaniche.

Tipologie di saldatura:

- brasatura → si porta a fusione solamente un volume di metallo d'appoggio che risolidificandosi crea collegamento tra i pezzi.

# MATERIALI (parte 2)

## VERI → miscela di silicati

Vetro = materiale che in opportune condizioni genera struttura amorfa

Vetri = materiali amorfi ottenuti per progressivo irrigidimento (aumento viscosità) di un liquido che non ha saputo cristallizzare durante il raffreddamento.

Strutture amorfe termodinamicamente metastabili → tendono allo

cristallinità se condizioni termodinamiche e cinetiche lo consentono (servono trattamenti termici molto lunghi e ottenere il cambiamento in struttura cristallina).

La struttura amorfa è priva di ordine a lungo raggio, ma ha ordine a corto raggio (qualche Å).

↳ per i vetri comuni l'ordine è lo strutt. tetraedrica, nella quale si dispongono  $\text{SiO}_4$  e O

Silice: è presente in natura come cristallo → quarzo  
 è il costituente principale dei vetri comuni

Struttura amorfa: lo stato vetroso si ottiene se  $V_{\text{vetri}} > V_{\text{cristallizz.}}$

- ↳ se si riscalda amorfo a  $T^\circ$  e tempi canonici questo diventerà cristallino
- se si raffredda un liquido a velocità molto basse questo diventerà cristallino
- per ottenere un amorfo è necessario raffreddare a velocità elevate

### Raffreddamento di un liquido:

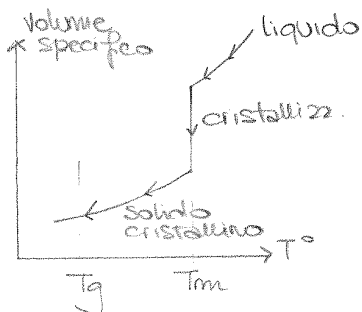


fig. 1: Raffreddamento lento

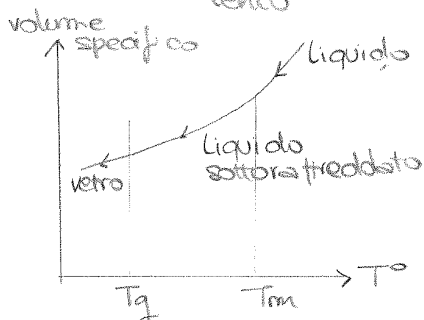


fig. 2: Raffred. rapido

- Raffreddando liquido il volume decresce gradualmente fino alla  $T^\circ$  di solidificazione
- ↳ Durante cristallizzazione si ha diminuzione di volume perché in ordiniamo le molecole
- Allo stato solido il volume diminuisce ancora a causa della contraz. termica legata all'abbassamento di  $T^\circ$
- Raffreddamento rapido fino alla  $T^\circ$  di solidificazione  
 ↳ formazione liquido sottoraffreddato
- L'evoluzione strutturale del liquido sottoraffreddato è impedito dall'elevata viscosità e viene bloccato allo stato vetroso alla temperatura di trasformazione  $T_g$ .

• PROPRIETA' FISICHE:

① TRANSIZIONE VETROSA:  $T_g$  = temperatura di transizione vetrosa

La risposta di un vetro alle sollecitazioni meccaniche e funzione della temperatura:

- $T < T_g \rightarrow$  comp. elastico, frattura fragile
- $T > T_g \rightarrow$  comp. viscoso con scorrimento delle unità strutturali del vetro.

(oltre  $T_g$  il vetro ha ancora elevatissimo viscosità, ma non può più essere considerato solido)

$T_g$  vetro ricco silice: 1300 ÷ 1400 °C

$T_g$  vetro soda-lime: 500 ÷ 550 °C

$T_g$  alcuni polimeri: < 25 °C

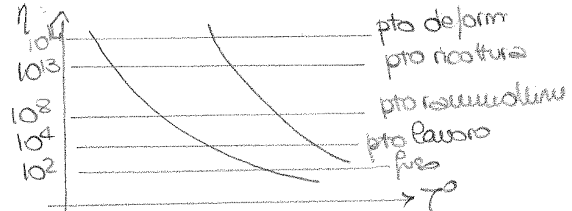
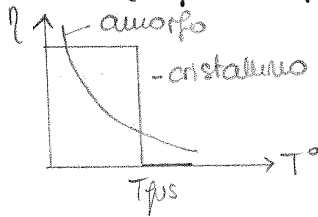
② VISCOSITA': è la resistenza di un mat amorfo allo scorrimento in risposta di una sollecitazione meccanica applicata tangenzialmente

A  $T > T_g$  la deformazione plastica negli amorfici avviene x scorrimento viscoso  $\rightarrow$  i legami si spezzano x riformarsi in un'altra posizione.

$$\eta = \frac{\tau}{dv/dy} = \frac{F/A}{dv/dy} \quad [Pa \cdot s] \quad 1 Pa \cdot s = 10 \text{ Poise}$$

↳ variazione di velocità con la distanza in direzione  $\perp$  e lontano dai piani.

La viscosità decresce all'aumentare della  $T^\circ$  con una curva continua (negli amorfici):



• PROPRIETA' MECCANICHE:

① MODULO ELASTICO, DUREZZA  $\rightarrow$  a  $T < T_g$  deformazione si ha comp. elastico e frattura fragile

legge Hooke:  $\sigma = E \cdot \epsilon$

$E = 61 \text{ GPa}$  x vetri Pb

$74 \text{ GPa}$  x vetri comuni

durezza dell'ordine 7 della scala di Mohs  $\rightarrow$  indipendente dalla composizione.

$$K_c = Y \left( \frac{a}{W} \right) \cdot \sigma_c (\pi \cdot a)^{1/2} \quad \left( K_c \text{ elevato per mat. duttili, basso per mat. fragili.} \right)$$

↑ tenacità a frattura → fattore critico di K

Resist a comp. vetro in lastra ha valore di 1 GPa

Sollecit a flessione (sollecit + frequenti nelle appl vetrate) → valore unitario di rottura e' 100 MPa x plast normali ricotte e 1400 MPa x plast temprate

fatica / raticca → vapore d'acqua si insinua nelle cricche facendo in modo che queste si diffondano nel materiale

freccia di inflessione → max flessione senza pervenire a rottura

$$f = \frac{1}{150} \div \frac{1}{200} \text{ dello diapdello lastra}$$

$$\hookrightarrow \text{per uni strutturali } f = \frac{1}{300} \div \frac{1}{500}$$

Coef. sicurezza →  $\frac{\text{carico unit di rottura}}{\text{carico unit ammiss}} = 2$

## • PROPRIETA' TERMICHE

① CONDUCEBILITA' → e' la quantita' di calore scambiato nell'unita' di tempo da un'imp unitario e con un grad termico unitario

i vetri hanno forte disordine strutt che impedisce il cammino dei fotoni → sono cattivi conduttori di calore

Alle altre temperature la conducebilita' e' dovuta soprattutto alla radiazione → non centrano vibrazioni atomiche

Comunque i vetri non isolano bene come le murature → si debbono impiegare particolari rivestimenti per l'isolam. termico

② DILATAZIONE TERMICA → e' dovuto ad un aumento delle distanze media tre gli atomi o cause dell'aumento di vibrazione dovuto al gradiente termico

$$\alpha = \frac{\text{coeff. dilataz termica lineare}}{\text{lungh all'aumentare di } 10^{\circ} \text{ della } T^{\circ}} = \text{misura aumento di}$$

Se nono presenti modificatori questi non sono legami così che gli atomi possono distanziarsi di più

↳ 2 maggiori



2) Fusione : molte ore a  $\approx 1500^\circ\text{C}$  x avere fluidità ed omogeneità

forni a riverbero:

- a) crogiolo  $\rightarrow$  discontinui, x piccoli volumi
- b) bacino  $\rightarrow$  continui, x produzioni di massa

3) Affinaggio e omogeneizzazione : eliminazione di bolle (presenti x aria e umidità nelle materie prime o dovute alla decomposizione dei carboni).

$\rightarrow$  si inseriscono agenti AFFINANTI che si scaldano, volatilizzano e portano così i gas

Inoltre lo sviluppo di gas promuove un notevole rimiscelamento migliorando l'omogeneizzazione del fuso.

4) formatura  $\rightarrow T^\circ$  decresce fino a consentire il processo di formatura (float, soffiatura, filatura)

5) Ricottura  $\rightarrow$  raffredd. dopo la lavorazione

Riscaldano alla  $T^\circ$  di ricottura per 15 minuti per eliminare le tensioni residue

6) Tempra  $\rightarrow$  fisica o chimica

Provoca delle tensioni permanenti di compressione in superficie e di trazione al centro.

Lo sono compresso in quota le cavità di tutto il vetro.

### • Formatura di lastre vetrate :

① PROCESSO FLOAT  $\rightarrow$  vetro fuso costretto a passare attraverso rulli che ne determinano lo spessore.

Viene incanalato in una zona di riscaldamento

e viene fatto galleggiare su un bagno di stagno fuso (garantendo planarità)

Passa in forno di ricottura e dopo subisce taglio

(metodi alternativi : - tiratura orizzontale

- tiratura verticale )

$\rightarrow$  ma non consentono planarità perfetta

② LASTRE PIANE SOFFIATE  $\rightarrow$  si ottiene per soffiatura su cilindro che viene tagliato e reso planare

### • Formatura di altri prodotti vetriari :

VERRE CAVO, FIBRE DI VETRO  $\rightarrow$  • filatura : ottenuta x tiratura

↓  
fibre lunghe : x rinforzo polimeri

fibre corte : x isolamento termoacustico

④

EMISSIVITÀ =  $\epsilon = \frac{\text{en. radiante emessa da una superficie}}{\text{en. emessa da corpo nero di equal misura a } T^{\circ}}$

FATTORE SOLARE =  $\frac{\text{en. tot. trasmessa}}{\text{en. incidente}}$

1) Periodo estivo o climi caldi → attenuazione effetti irradiazione solare  
↓

a) VETRI ASSORBENTI: vetri colorati che bloccano parte delle radiazioni assorbendole

↳ ottenuti con aggiunta di coloranti

attenzione: riradono in modo costante

l'en. amorbita e subiscono shock termici.

b) VETRI RIFLETTENTI: riflettono gran parte dell'en. incidente

La riflessione è dovuta al deposito di ossidi metallici attraverso:

Implicano  
reati all'abrasione

• PIROLISI → reazione sulla sup della lastre quando è ancora caldo di reagenti che vengono spruzzati

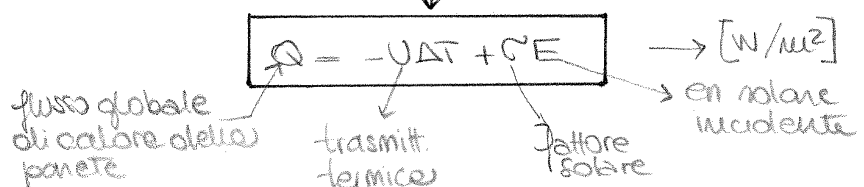
↳ sono operazioni dannose x l'ambiente.

Film ossido di Ti →

• SPUTTERING CATIONICO → in campo elettrom e sottovuoto spinto di metalli e ossidi metallici

2) Periodo invernale o climi freddi → isolamento termico

↳ Dispersioni termiche: BILANCIO ENERGETICO



Trasmittanza termica: dipende dal trasferimento termico

- x adduzione all'interno parete
  - x adduzione dalla parete all'esterno
  - x conduzione dalla parete all'esterno
- indipend. dalla natura della parete
- ↳ trasmet calore + difficilmente

a) VETRI ISOLANTI: lastre di vetri alternate ad intercapedini di aria immobile secca o di gas inerti

b) VETRI BASSOEMISSIVI: le trasmissioni termiche possono avvenire anche x radiazione emessa dei corpi riscaldanti presenti nei locali.

↳ vetri bassoemissivi sono lastre ricoperte da film a bassa emissività (= alto riflettanza nell'IR lontano).

Lo resist meccanica e' simile al vetro normale, ma resiste meglio agli urti

Assorbe en. d'impatto e impedisce penetrazione di oggetti contundenti

PVB non influisce sulla trasparenza e migliora propr. di isolam termico ed acustico.

④ VETRI DI SICUREZZA: x la loro spessore semplice i frammenti rimangono aderenti alla plastica in caso di rottura e i vetri restano in opera

Vetri antivaandalismo → resistenti alle azioni vandaliche occasionali

Vetri antirivoltella → ritardano l'azione vandalica: necessario bastone x rompere vetro e strumento tagliente x rompere la plastica.

Vetri autoprotettivi → non il massimo della protezione - spessore della lastra fino a 40mm (90kg/m<sup>2</sup>)

↳ vetri stratificati dove la forza d'urto e' progressiv ridotta x attrito con gli strati di vetro.

### CERAMICI TRADIZIONALI

Ceramiche = materiali ottenuti da mat. inorganici non metallici attraverso cottura ad alte T° = SINTERIZZAZIONE

#### • Caratteristiche:

- buona resist a compres e trazione / flessione → perche' rivestono molta importanza i difetti.
- elevata durezza
- comportamento fragile
- resistono alle alte T°, ma non agli shock termici
- buona inerzia chimica
- isolanti termici ed elettrici

• Legame: covalente - ionico

↓  
legame forte, direzionale, elettroni non liberi

tradiz  
I ceramiche sono ottenuti da modellazione e cottura di impasti plastici a base di argilla

↳ Argilla = rocce sedimentarie di deposito meccanico costituite da aluminosilicati.

↓  
silicati idrati di Al < caolini  
bentonite

+

ossidi idrati allo stato colloidale → danno plasticità all'impasto

(M)

- a secco: % acqua < 5% → controllare l'umidità dei singoli componenti
- a umido: vengono inseriti anche corpi estranei (corpi macinanti) che aggiungono azione meccanica x la rottura di particelle d'argilla.

③ MISCELAZIONE → • a secco → se la materia prima è unica  
 • ad umido → se si hanno miscele artificiali

④ FORMATURA → lavorazione dello pastore. Lo pastore assume forma e l'impasto mantiene forma e può essere spostato.  
 Il processo di formatura è da scegliere in funzione di di forma da ottenere e volume del prodotto.

• PRESSATURA: forme geometriche semplici (piastrelle)  
 mat secco (5-7% H<sub>2</sub>O)  
 eseguito con pressione (anche > 50MPa) in 2 tempi  
 x eliminare l'aria → grado compattazione dipende dalla granulometria ⇒ DIST. GRANULOM.  
 ↳ elevatore compattazione ed elevate resist. mecc.

attenzione: x le dim. degli stampi è necessario tener conto del ritiro

• ESTRUSIONE: forme geometriche semplici  
 paste sufficientemente plastiche (15-20% H<sub>2</sub>O)  
 pastore costretto a passare attraverso matrice con profilo geometrico prestabilito  
 successivamente si tagliano gli elementi alla lunghezza prefissata

• COLAGGIO: forme geometriche complesse  
 paste molto plastiche (35-40% H<sub>2</sub>O) + aggiunta sostanze deflocculanti  
 barbotina inserita in stampo assorbente (di gesso o resine polimeriche macro e microporose)  
 formazione strato argilla solido il cui spessore aumenta nel tempo, una volta raggiunto spessore desiderato si taglia barbotina in eccesso e si fa essiccazione lenta prima di aprire lo stampo

BARBOTINA → sospensione in cui le particelle di polvere sono sospese  
 ↓  
 ecco che servono dei deflocculanti

⑤ ESSICCAMENTO → processo in cui si allontanano le particelle d'acqua da condurre a T° > 120° se no il mat torna plastico ⇒ contatto con H<sub>2</sub>O

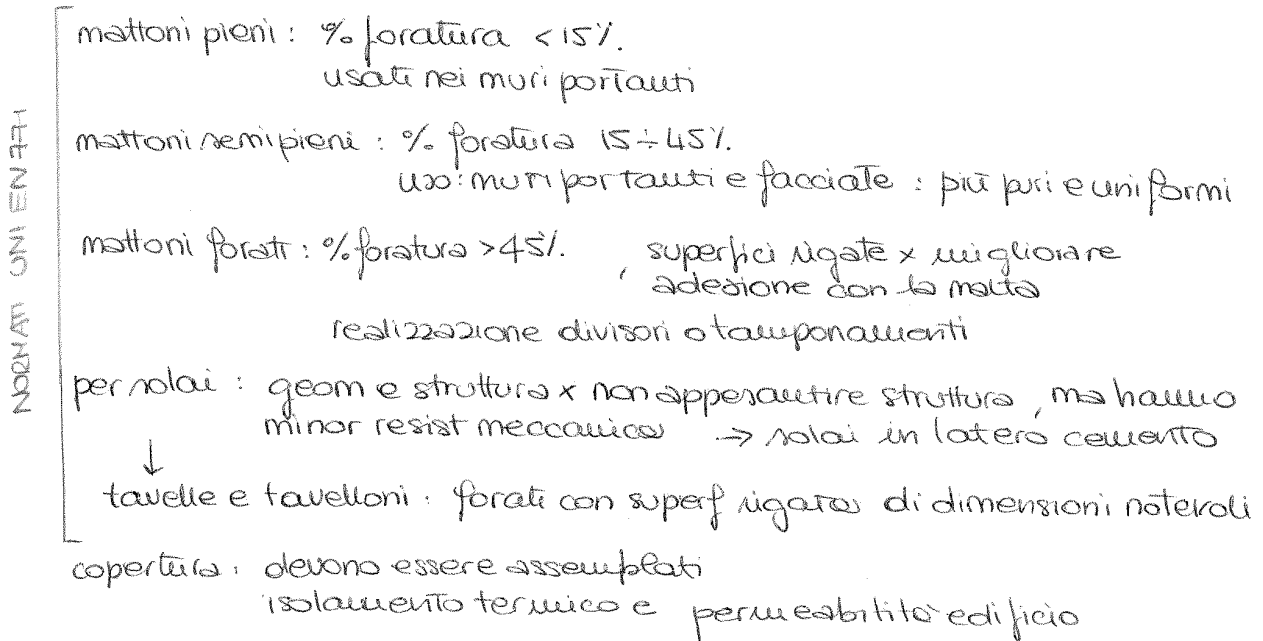
Deve essere sufficientemente lento

1° step: riscaldamento in ambiente molto umido → trasferimento dell'acqua nel cuore alla superficie

2° step: diminuzione umidità e aumento T° → evaporazione acqua

3° step: completamento essiccazione quando umidità del manufatto è pari all'1%

→ Essiccatore a tunnel: aria calda in controcorrente  
 dopo questi essiccatori si hanno i forni di sinterizzazione anche essiccatore a tunnel



Non sono presenti nella normativa:

- albari : cotti a T° basse, scarsa resist meccanica
- mezzai : sinterizzati giunge al termine → buone resist mecca.
- forti : rottura fragile ma resist notevoli
- ferrioli : porosità limitata vantaggi nel comport meccanico ma scarsa aderenza con la malta

materiali distinguibili x la loro densità → LD :  $d_s \leq 1000 \text{ kg/m}^3$   
HD :  $d_s > 1000 \text{ kg/m}^3$

### ② CERAMICI A PASTA COMPATTA:

GRÉS → prodotto impuro ad elevata resist meccanica naturali o artificiali (grés fusi)  
↳ resist agli acidi, impermeabili, buona resist meccanica

PORCELLANE → caolino + quarzo + feldspati

↳ tenere  
↳ dure → richiedono bicottura : cottura a  $900 \pm 1000^\circ$   
rivestim a  $1400^\circ$   
↳ resist chimica, meccanica, elettrica elevate

### ③ PIASTRELLE CERAMICHE:

- smaltate (GL) → superficie ricoperta da strato vetroso colorato esigenze estetiche e tecniche
- non smaltate (UGL) → uniformi in tutto lo spessore

UNI EN 144-1 → normativo e classificazione

↓  
funzione di e assorbimento

MAIOLICA → pareti interne } smaltati pressatura  
COTTOFORTE → pavim interni } % assorb : 10 ÷ 25%.

# POLIMERI

Polimeri = macromolecole formate dalle ripetizioni di un gruppo funzionale

↳ { sintetici → derivati della petrolchimica  
 semisintetici → biopolimeri

↳ Termoplastici TP : rammolliscono alle alte T°

Termoindurenti TI : diventano + rigidi e resistenti dei TP

Elastomeri : subiscono grandi allungam. recuperando la forma iniziale

Vantaggi : - leggerezza (costituiti da C ed H che sono leggeri)

- economici

- facilmente ottenibile il prodotto finito

- resist agli attacchi chimici ma non ai solventi organici

Svantaggi : - propr meccaniche basse

- scarsa resist al fuoco con emissione sostanze nocive

- attaccabili da solventi organici

• Polimerizzazione: ripetizione dell'unità funzionale



↳ a seconda della natura del monomero si può avere polimerizzazione per:

- addizione: i monomeri si legano fra loro

- condensazione: i monomeri hanno 2 gruppi funzionali in grado di reagire tra loro con eliminazione di sottoprodotto (generalmente H<sub>2</sub>O)

• % Cristallinità → dipende dai quanto le molecole abbiano spazio x disporsi e cristallizzare

↳ 
$$\frac{\text{peso del polimero cristallino}}{\text{peso del polimero totale}}$$

La possib di cristallin diminuisce con:

• velocità nel raffreddamento

• presenza di ramificazioni

• presenza di catene sostituenti ingombranti

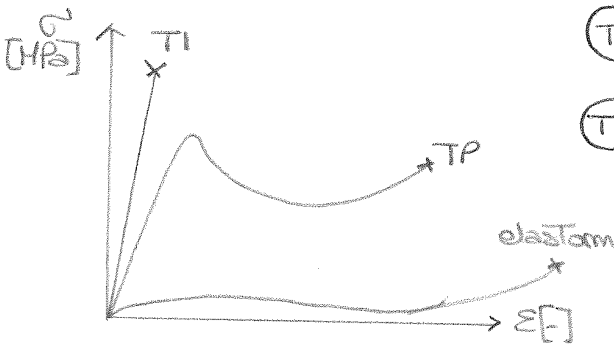
• Transizioni con T° : come nei vetri i polimeri non presentano T° fusione, ma hanno intervallo di fusione

↳ Importante è la T<sub>g</sub> (T° transizione vetrosa) :

Sopra T<sub>g</sub> comportamento gommoso;

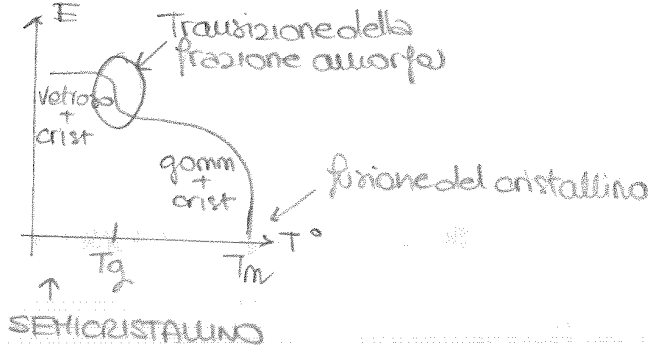
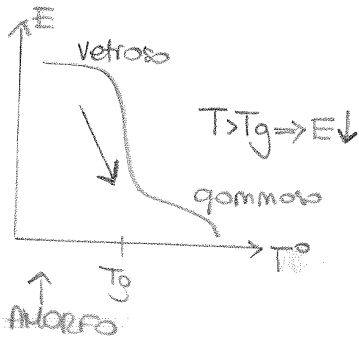
sotto T<sub>g</sub> comportamento fragile

• Proprietà delle materie plastiche:

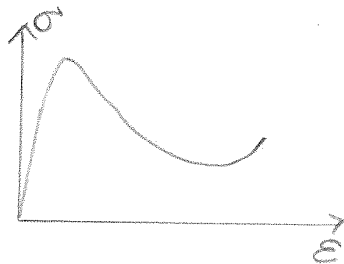


- TI → comportamento fragile. Rispetta la legge di Hooke → pendenza = E
- TP → comportamento duttile che al diminuire della T si trasforma in fragile
- Curva σ-ε può essere divisa in 3 zone
  - camp elastico → piccole deform
  - camp plastico → elevate deform
  - zona di rottura

• Comportamento a basse deformazioni:



• Comportamento alle alte deformazioni:



Nella fase iniziale, le zone amorphe iniziano ad orientarsi = solo quando la maggior parte delle zone amorphe è orientata iniziano ad orientarsi le zone cristalline.

Dopo snervamento in strizione - le macromol si orientano lungo la direz di appl. del carico con aumento di resist del materiale nell'ultimo tratto la zona di strizione si può estendere a tutto il tratto utile.

- Proprietà meccaniche dei TI: strutt reticolata totalm amorfa non c'è Tg
  - ↳ rigidi ma fragili
  - viscosità nulla
  - buone prestazioni anche a T° elevate

- Elastomeri o Gomme: polimeri amorfici a bassa Tg che hanno subito reticolazione blanda

vulcanizzazione = creazione di legami "trasversali" tra le catene che agiscono come ponti di richiamo

deformazione elastica e la blanda reticolazione consente di recuperare la deformazione

Per sforzi modesti si hanno def. elevate. Per def superiori al limite di elast non sono necessarie sollecit elevate x imprimere deform anche basse

Lo stampo è riscaldato x lavorazione TI e raffreddato x lavorazione TP

#### ④ ESTRUSIONE (TP):

motore fa girare una vite all'interno di un cilindro riscaldato  
I granuli di polimero fondono nell'estrusore, vengono trascinati dallo vite ed estrusi attraverso un profilo sagomato (- TESTA di ESTRUSIONE) → applicato x tubi, lamine, profilati

#### ⑤ CALANDRATURA (TP):

calandra = insieme di cilindri rotanti  
processo continuo in cui il materiale subisce schiacciamento tra i cilindri.  
I cilindri possono venire riscaldati per fluidificare il polimero e dare spessore o raffreddati x mantenere spessore

#### ⑥ TERMOFORMATURA:

processo discontinuo dove una lastra di polimero viene  
riscaldata, messa in uno stampo e viene fatto aderire allo stampo tramite il vuoto  
↳ utilizzabile solo x geometrie semplici

con lampade infrarosse

#### ⑦ STAMPAGGIO x SOFFIATURA (TP):

materiale posto in uno stampo e fatto aderire alle pareti tramite immissione di aria calda

#### ⑧ STAMPAGGIO ROTAZIONALE (TP):

materiale posto in uno stampo sotto forma di polvere  
lo stampo è fatto scaldare e ruotare in 2 direzioni ↓  
il materiale aderisce bene alle pareti  
↳ x geometrie cave e complesse

#### ⑨ STAMPAGGIO x SINTERIZZAZIONE (polistirolo espanso)

Le perle di polistirolo vengono fatte espandere in 2 fasi  
mediante vapore surriscaldato  
contemporaneamente all'espansione si ha saldatura tra le perle

#### • Tipologie di polimeri:

↳ polimeri di massa: 80% della produzione, prezzo contenuto, prestazioni non eccezionali

fascia intermedia: 15% della produzione: produzione sofisticata, per particolari applicazioni

tecopolimeri: 5% della produzione, prezzo elevato



• Sigillanti e impermeabilizzanti: si oppongono alla penetrazione di aria, acqua e sporco

- ↓
- adesione al substrato;
- resistenza alle sollecitazioni meccaniche;
- resistenza alle condizioni ambientali

SIGILLANTI SILICONICI: sono i siliconi → polimeri a base di  $(Si)$  (non C)  
 mantengono le loro proprietà in un elevato range di  $T^\circ$ , sono idrofobi, ottime pr. elettriche

IMPERMEABILIZZANTI:

- bitumi = miscele idrocarburiche ad alto peso molecolare derivanti dalla distillazione del petrolio
- catrami = sotto-prodotti di distillazione/gassificazione del carbone

ADESIVI STRUTURALI: a base polimerica: resine epossidiche, fenoliche, viniliche, poliuretatiche

FIBRE: polimeri TP costituiti da macromolecole lineari, stratte lungo una direzione e x questo con alte propr. meccaniche

- ↳ Fibre poliesteri
- fibre nylon (investimenti, emballaggi)
- fibre aramidiche (elevata rigidità, resist alla fiamma e al calore, pr. mecc KEVLAR)
- fibre acriliche (pavimentazioni, tendaggi).

## DEGRADO dei POLIMERI

I polimeri sono materiali che non sono stabili in tutti gli ambienti. Per conseguenza l'impiego non è spesso adoliziato con altre sostanze x migliorarne le pr. mecc, favorirne la lavorazione, prolungarne la vita utile ...

I polimeri possono subire nel tempo delle alterazioni della loro strutt e questo può compromettere il loro utilizzo a causa di esposizione alle radiaz, variazioni di temperatura, sostanze presenti nell'ambiente, sollecit meccaniche ...

Conseguenze tipiche del degrado:

- alterazione del colore: ingiallimento polimeri trasparenti  
variazione colore polimeri opachi
- aumento della rigidità: è accompagnato dalla perdita di tenacità  
↓  
crazing superficiale = rete di microcracks e microvoti  
↓  
si ha necessaria rottura del materiale

## DEGRADO AMBIENTALE :

Dovuto all'esposizione del polimero all'atmosfera

- ① **Radiazione solare** : polimeri sono sensibili alla componente UV ( $\lambda \approx 300 \text{ nm}$ ) della radiazione solare. Questa componente comporta la rottura dei legami covalenti infatti il riscaldamento porta gli elettroni allo stato eccitato e a conseguente rottura del legame
- PMMA  $\rightarrow$  molto resistente ai raggi UV
- Per gli altri polimeri : si aggiungono cariche che assorbono le radiazioni come titanica e nero di fumo (non utilizzabili in componenti trasparenti).
- Per gli altri polimeri trasparenti si usano cariche che assorbono gli UV o rivestimenti organici superficiali
- ② **Ossigeno** : può provocare delle reazioni che portano ossidazione e rottura dei legami covalenti. Può avvenire anche a  $T^\circ$  ambiente.
- L'ossigeno deve diffondere nel polimero  $\times$  interagire con i suoi legami  $\rightarrow$  a questo  $T^\circ$  ambiente questo processo è molto lungo.

Radiazione solare + ossigeno +  $\Delta T \Rightarrow$  degrado importante da valutare  $\times$  la valutazione dello vite utile  $\times$  l'esercizio

## DEGRADO PER GU ADESIVI STRUTTURALI :

La durabilità e funzione dell'adesivo e dipende

- dalla sua natura
- dai fattori ambientali
- dalle variazioni termiche

I fattori + importanti sono:

- ① **umidità** : l'adesivo può assorbire acqua  $\rightarrow$  danneggiamento delle catene polimeriche e rigonfiamento
- ② **temperatura** : a causa delle diverse dilatazioni termiche tra adesivo e substrato in risposta ai cicli termici  $\rightarrow$  il potere adesivo, inoltre, dipende da  $T^\circ$

## DEGRADO degli IMPERMEABILIZZANTI :

Le cause che possono portare al fallimento del rivestimento organico sono molteplici:

- difettosità del rivestimento
- cattiva applicazione
- esposizione troppo precoce all'ambiente
- sollecit. meccaniche cicliche
- rigonfiamento  $\times$  evaporazione d'acqua dal substrato

fessurazione o distacco del rivestimento -

- forma delle fibre
- distribuzione delle fibre
- adesione tra matrice e fibre.

Regola delle miscele:

$$pr. \text{composito} = \phi_m \cdot \text{proprietà}_m + \phi_f \cdot \text{proprietà}_f$$

$$E_c = \phi_m E_m + \phi_f E_f \rightarrow \text{nella direzione fibre e in campo el}$$

$$E_c = \phi_f E_f \rightarrow \text{x sollecit x cui matrice è in campo plastico}$$

$$1/E_c = \phi_m/E_m + \phi_f/E_f \rightarrow \text{nella direzione } \perp \text{ alle fibre e in campo elastico}$$

Importante: resist a trazione di una fibra aumenta al diminuire del suo diametro per il diminuire del n° e delle dimensioni dei difetti superficiali

Impieghi: serbatoi, pavimentazioni, tubazioni, profilati o pannelli, rinforzi strutturali...

**FRP** → fiber Reinforced Plastics.

• COMPOSITI SINTETICI → (es vetroresina)

elevata resistenza a trazione  
notevole duttilità e flessibilità



si conferisce alla matrice polimerica la capacità di sopportare carichi richiesti ad un materiale strutturale

## LEGNO: COMPOSITO NATURALE

Costituito da celle oave:

LUME (vuoto all'interno della cellula) → consente il passaggio dei fluidi all'interno della cellula x la vita dell'albero.

Parete della cellula → responsabile della resistenza meccanica

A seconda del rapporto lunghezza/spessore della parete della cellula i

legni si distinguono in: - dolci  
- duri.

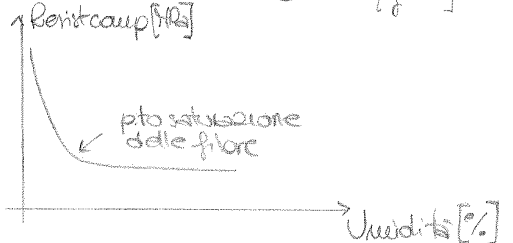
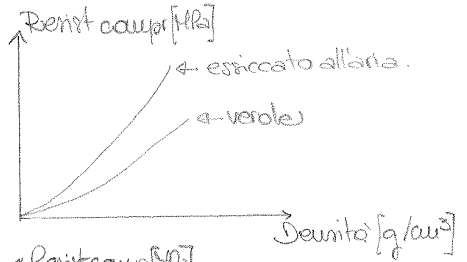
- umidità del legno

• PROPRIETÀ MECCANICHE → molto variabili a causa di difetti, igroscopicità, struttura non omogenea.

→ dipendono da:

- densità → poiché è legata allo spessore delle pareti delle cellule

- umidità → sotto il punto di saturazione delle fibre: aumenta l'interazione tra le macromolecole  
↓  
aumenta la resistenza

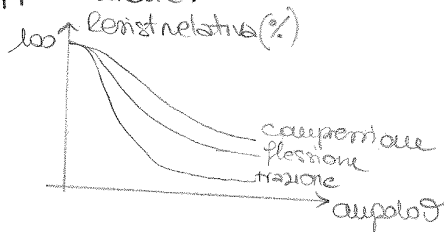


(prop. valutate in condizioni di legno verde o umidità del 12-15%)

- difetti → i nodi implicano una variazione della direzione delle fibre → riduzione della resistenza in funzione del tipo di nodo, delle dimensioni e della posizione

↳ attenzione: la valutazione della resistenza è fatta con provini esenti da nodi !!

- direzione di sollecitazione → l'allineamento delle microfibrille conferisce al legno caratt. fortemente anisotrope. Si valuta la resistenza in funzione dell'angolo di applicazione:



→ La resistenza a trazione è quella che riceve di più dall'angolo θ.

→ anisotropia: resistenza a trazione e a compressione maggiore nella direzione longitudinale rispetto a quella ⊥ delle fibre.

normativa: Eurocodice 5 → progetto mult. in legno  
prove riguardanti l'ambiente (a 20°C con 65% RH)

prove a provini → valutazione R<sub>med</sub>:

$$R_k = R_{med} - 1,64 s$$

valore caratt.      ↑      valore medio      ↓ s<sub>geom</sub>

$$s = \sqrt{\frac{\sum (R_x - R_{med})^2}{n-1}}$$

norme europee: volte alla classificazione del legno a seconda della sua resist. caratt. a flex, trazione e compr. statico e del suo modulo elastico.



## DEGRADO del LEGNO

### Degrado Biologico

↳ dipende dall'ambiente e dal tipo di legno

• Insetti → attaccano il legno provocando perdite di resistenza

↳ Coleotteri: depongono le uova sulla superficie del legno  
le larve scavano gallerie all'interno senza che sia visibile nulla in superficie.

È poi visibile il foro di sfarfallamento → quando l'insetto abbandona il legno.

↳ Insetti: ambienti caldi o temperati traggono nutrimento dalle cellule e attaccano l'albero in profondità provocando cedimenti strutturali

L'attacco biologico da insetti interona le zone a contatto con le murature o dove si verificano infiltrazioni di acqua piovana.

• Funghi → umidità > 20%

Il fungo si produce per nutrimento degradando alcune o tutte le componenti delle cellule.

↳ fase vegetativa e fase di propagazione

Il fungo attacca il legno con dei filamenti (IFE) che penetrano nel legno. Questi ife producono degli enzimi che convertono cellulosa, emicellulosa e parte dello lignino in zuccheri e composti a basso peso molecolare.

↳ • degrado superficiale → influenza molto sulla colorazione  
• degrado in profondità → riduzione della resistenza.

↳ Carie bruna: formazione sia ⊥ che // alla direzione delle fibre, formazione di frammenti cubici che vengono poi successivamente distrutti in polvere.

Carie bianca: perdita resistenza meccanica.

• Batteri → molto lento, implica perdita di permeabilità

L'attacco dovuto ai batteri dipende da:

- periodo del taglio

- età del legno

- fattori ambientali: presenza organismi, umidità, temperatura ---

## COMPORIAMENTO al FUOCO

La prevenzione dei rischi è concentrata sulla riduzione della probabilità dell'evento, sul fatto che la combustione sia limitata e non si propaghi - Inoltre è necessario permettere alle persone di abbandonare l'edificio in sicurezza

Resistenza al fuoco = attitudine del materiale a conservare durante l'incendio

- stabilità
- tenuta
- l'isolamento termico.

Le norme prevedono i tempi minimi per i quali elementi strutturali devono continuare a svolgere le loro funzioni durante l'incendio

Combustione = reazione endotermica di ossidazione di un combustibile con un comburente che avviene rapidamente sviluppando calore e prodotti di combustione.

Un combustibile è caratterizzato da un POTERE CALORIFICO → quantità di calore sviluppata nel corso della combustione completa dell'unità di massa

### Gas della combustione:

- anidride carbonica ( $CO_2$ ) → si forma sempre in abbondanti quantità con concentrazioni del 10% è mortale
- ossido di carbonio (CO) → si forma prevalentemente in ambienti chiusi o in carenza di ossigeno. Concentrazione 1% può causare morte
- anidride solforosa → si ha quando si ha combustione completa di sostanze contenenti zolfo. Dannosi agli occhi e all'apparato respiratorio
- ossidi di azoto → sviluppati nella combustione di nitrocellulosa elevata tossicità - concentrazioni dello 0,001% possono provocare gravi irritazioni alle vie aeree con effetti anche letali

Vetri: il vetro è materiale incombustibile che ha resistenza modesta al fuoco.

↳ Le lastre di vetro comune si rompono immediatamente se esposte direttamente alle fiamme, mentre resistono fino a  $100 \div 180^\circ C$  se riscaldate x irraggiamento.

Vetri temprati e armati → resistono fino a  $600 \div 700^\circ C$

Vetri coibenti → si utilizzano come isolante non strato di indicato infortunante che a  $120^\circ$  inizia a rigocciare

## Rivestimenti autoaccendi: rigouffiano x formare schiume protettive

- ↳ • sorgenti di acido: liberano l'acido a  $T > 150^{\circ}C$
- composti carbonifici: oleidristano e carbonizzano in seguito all'attacco dell'acido
- composti spumifici: sotto l'effetto della  $T^{\circ}$  liberano elevate q.to' di gas incombust fornendo lo strato carbonioso rigouffato che protegge la superf. dalle combustioni
- leganti resinosi: coprono lo schiuma con una "pelle" che impedisce al gas di fuggire

## BIOEDILIZIA

Scelta dei materiali: si basa sull'analisi del loro ciclo di impiego con considerazioni anche sulle fasi di prelievo e trasformazioni delle risorse, l'impatto sull'ambiente e sull'uomo e soprattutto valutando la fase di dismissione

### Risorse rinnovabili:

- collegate a cicli naturali (radiazione solare, calore geotermico, moti dell'acqua --)

↓  
uso energetico

- risorse biologiche (animali e vegetali) → cibo e combustibili

Risorse non rinnovabili: sono le risorse la cui velocità di impiego è molto maggiore della velocità in cui si possono rigenerare

↳ es: petrolio → disponib x 50 anni  
 rame → " " x 40 anni  
 argilla → " " illimitato

Ciclo produttivo dei materiali: è importante la valutazione degli inquinanti immessi in atmosfera durante il ciclo produttivo -

Il costo dei materiali è funzione di:

- materie prime e loro qualità
- en. elettrico e combust x la produzione
- costi energetici indiretti

Ciclo di vita dei materiali: alla fine della vita utile l'oggetto di smesso non svolge più la funzione per cui era nato progettato

↳ dismissione prevede la possibilità di altri impieghi alternativi

- Reimpiego → se il bene non perde caratteristiche e funzionalità originarie si può procedere al riutilizzo diretto. Il bene può essere destinato allo stesso tipo di funzione o ad altre funzioni.