



Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 2415A

ANNO: 2019

A P P U N T I

STUDENTE: Sales Cristian

MATERIA: Tecnologie dei Materiali da Costruzione Metalli e non Metalli - Prof. Maizza

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

Sono il risultato di una correlazione di più fattori

PROCESSO PRODUTTIVO

determina la

MICROSTRUTTURA

con scale di studio
(10^{-3} ÷ 10^0) m
grani

influenza le

PROPRIETA'

consentono di valutare le

PRESTAZIONI

influenza la natura e la distribuzione dei difetti, esse altera

LEGAMI

ad es. anche legami metallici intervengono le impurezze nei legami

STRUTTURA CRISTALLINA

modificando impaccamento e disposizione

DIFETTI

ovvero modifica la distribuzione dei difetti alle diverse scale, ad es. ostacolando le dislocazioni

si presenta su diverse scale, ad esempio al microscopio ottico si possono apprezzare i difetti del materiale e determinare tenacità a frattura, resistenza meccanica, ...

sono grandezze misurabili su un campione (ad es. sforzo di trazione su provino) ma non possono essere utilizzate per caratterizzare la trave, perché non sempre il campione è rappresentativo della trave (ad es. perché la sezione è maggiore)

sono le capacità valutate dell'oggetto: possono essere utilizzate per caratterizzare la trave, ad es. valutare diverse sezioni di un ponte e individuare la più critica

i materiali presentano caratteristiche antitetiche: se una diminuisce l'altra deve aumentare

- RESISTENZA** e **DUTTILITA'**
- TEMPRABILITA'** e **SALDABILITA'**

la microstruttura si può apprezzare dai diagrammi di stato, che ad es. permettono di individuare la T dell'eutettico: conoscere questa T è molto utile per valutare i processi che permettono di spendere meno energia, infatti se la T aumenta \Rightarrow occorre più energia per realizzare la lega

PRESTAZIONI

della componente strutturale

RIGIDEZZA

la struttura deve presentare rigidità, ottenuta lavorando sulle proprietà o sulla architettura

RESISTENZA

deve presentare snervamento nel punto stabilito, con prima

TENACITA' A FRATTURA

\Leftrightarrow comportamento a frattura in presenza di difetti, si ottiene lavorando sulla microstruttura

LEGGEREZZA

lavorando sulla densità del materiale ad es. ponti con luci molto ampie

SOSTENIBILITA'

devono essere sostenibili dal punto di vista ambientale ed energetico: assenza di sostanze nocive liberate in atmosfera minimo dispendio di energia

evitano la formazione di residui dopo la lavorazione

\Rightarrow gli acciai offrono un'elevata riciclabilità e versatilità, oltre a resistenza meccanica, tenacità, basso costo, ma sono carenti in presenza di elettroliti (acidi) come solfuri/nitruri + Umidità

LEGAMI INTERATOMICI

reticolo di ioni positivi circondato da una nuvola elettronica

neutralità del reticolo

legame metallico

duttilità del materiale

legami istantanei avvengono a velocità altissima

legami essendo temporanei permettono il continuo spezzarsi e riformarsi di nuovi legami

Un legame tra 2 atomi equivale a 2 corpi collegati da una molla



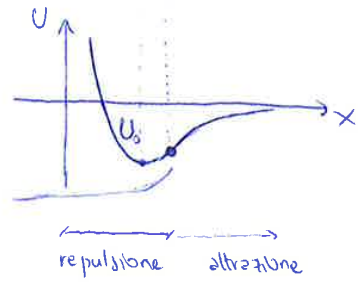
esiste una distanza per cui la forza tra 2 atomi si annulla

dato dalla somma delle forze attrattive e delle forze repulsive

distanza di equilibrio x_0



minima energia di legame U_0



energia spesa per formare il legame

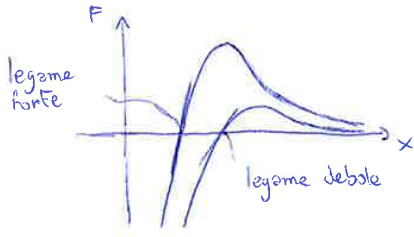
il flesso corrisponde alla massima forza, cioè all'energia U e alla distanza x che porta alla rottura del legame

determina anche il coeff. di dilatazione termica α

si identifica in base ad una scala cristallina, non è funzione della microstruttura, cioè non dipende dal processo

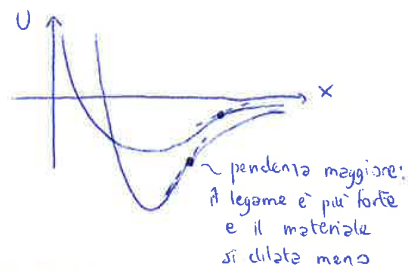
modulo elastico E

è legato alla robustezza del legame, alla pendenza



$$E = \left| \frac{dF}{dr} \right|_{r_0} = \left| \frac{dU}{dr^2} \right|_{r_0}$$

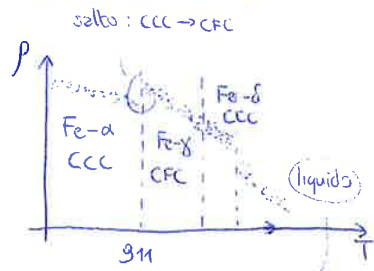
LEGAME FORTE \Rightarrow GRANDE BUCCA DI POTENZIALE \Rightarrow E ALTO \Rightarrow T_{fus} ALTA \Rightarrow α BASSO



POLIMORFISMO

proprietà di mutare configurazione della struttura al variare della T

la densità varia linearmente con la T



mappe di Ashby

consente di progettare la microstruttura e definire le proprietà:

- densità
- resistenza
- tenacità e fratture



alle alte T l'energia di legame decresce e i legami Fe-Fe e C-C si spezzano

METALLURGIA

possiamo analizzare un SISTEMA di un materiale e individuare delle FASI

area di materiale
o
più leghe con stesse componenti

porzione del sistema
con caratteristiche uniformi

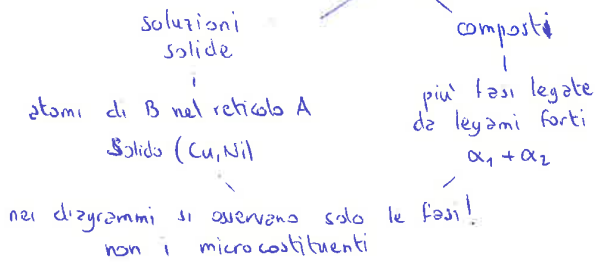


per formare una LEGA (soluzione solida)
esistono delle condizioni necessarie ma non sufficienti

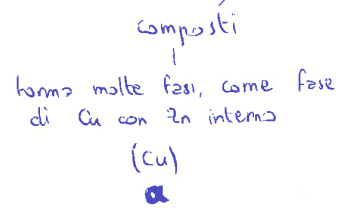
REGOLE DI HUME' - ROTHERY (+) **CRITERIO DI MINIMA ENERGIA**

- ① identica struttura cristallina → ad es. 2 metalli CCC hanno elevata solubilità
- ② dimensioni atomiche simili → se sono diverse solo la minore può essere solubilizzata nella maggiore
- ③ modesta differenza di EN → non sempre valida: se c'è forte differenza si formano composti
- ④ uguale valenza

es. regole ①, ②, ③, ④ : lega Cu-Ni forma



regole ①, ②, ~~③~~, ~~④~~ : lega Cu-Zn forma



② dimensioni atomiche simili
 $\Delta R \sim 15\%$

alcuni elementi possono legarsi al Fe perché le dimensioni atomiche sono comprese nella fascia $\pm 15\%$

Si, P Mn, Ni, Zn, Cu, Co, Cr, Ti Nb, Mo

campo aperto
favorece ferrite

campo chiuso
favorece austenite

③ modesta differenza di EN

se ΔEN aumenta gli elementi si legano in modo più forte piuttosto che a formare una miscela, con legami più blandi

ΔEN

soluz. solida disordinata

soluz. solida ordinata

composto intermetallico M₂M

composto semimetallico M₂nM

$A_n B_m$

il composto $A_n B_m$ discioglie poco nel solvente A o nel solvente B

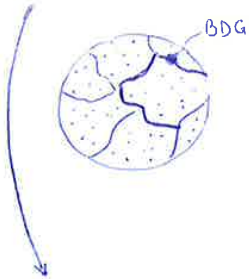
es. $A_2 B_3$
ma anche $A_4 B_6$

DISLOCAZIONI

La dislocazione per muoversi nel metallo deve rompere temporaneamente i legami

ogni volta che la dislocazione attraversa l'intero grano (cristallo) emerge sulla superficie opposta del grano formando un gradino

l'accumulo di gradini forma un ledge



si creano dei gradini dentro ai Bordi di Grano (BDG)

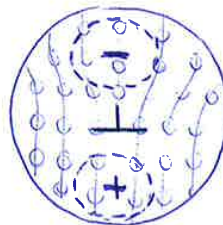
in presenza di impurezze il BDG è ancora più indebolito

sono sede di accumulo delle dislocazioni

sono le zone a più alta energia, cioè le zone più reattive, allaccate dei fenomeni di corrosione e ossidazione

quando la dislocazione si trova all'interno del grano crea uno stato di tensione bipolare

questo reagisce con altri difetti o stati di tensione, che genera un' attrazione/repulsione della dislocazione al difetto



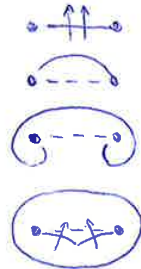
zona più densa → Compressione

zona più dispersa → Trazione

la sorgente di Frank-Read si attiva quando una dislocazione interagisce con 2 particelle nanoscopiche: la dislocazione si distorce avvolgendo le particelle e formando un anello di dislocazione, oltre alla dislocazione stessa che può continuare a generare altri anelli.

Sorgenti di dislocazioni

oltre alle sorgenti di Frank-Read esistono altre sorgenti: i (BDG) sono le sorgenti di dislocazione più efficaci



nei corpi continui si hanno dislocazioni di disclinazione

esiste una forza τ che mette in movimento la dislocazione

la difficoltà di movimento e l'addensamento delle dislocazioni determinano il rafforzamento della lega

la laminazione a freddo è un processo che aumenta la concentrazione delle dislocazioni, sotto forma di bande inspessite formando strutture chiamate stacking walls

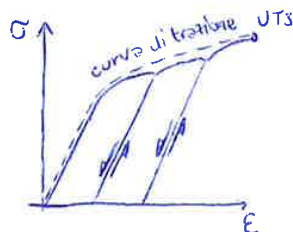
si valuta con la prova di trazione: applicazione di cicli di carico-scarico con sforzo crescente, che porta ad innalzare la tensione di snervamento fino al carico ultimo UTS

INCRUDIMENTO

σ_y non cambia: è unica per ogni materiale

dopo la laminazione i grani risultano allungati in una direzione e i precipitati evitano che si abbia ingrossamento del grano

oltre questo punto non si ha più riserva plastica, avendo superato il Flow stress, e il materiale si rompe come un ceramico



↕
coalescenza

trattamento chimico selettivo dei BG

se attaccato chimicamente, la perlite (lamelle fini di ferrite + cementite) dovrebbe risultare grigia (perché la cementite non reagisce e la ferrite riflette bene la luce); invece si colora di nero

è scura perché, come nei BDG, le interfacce ferrite - cementite hanno grande energia e reattività

quando trattato con materiale chimico, i bordi di grano corrosi sono visibili perché i raggi luminosi non tornano alla sorgente (risultano neri)

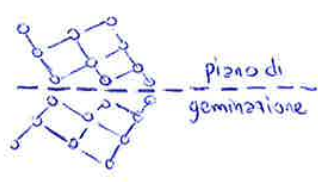


quando attaccato, l'ottone (lega Cu+Zn) presenta delle macchie scure, che sono macchie di soluzione solida di Cu, all'interno dei quali si formano i



GEMINATI

difetti reticolari generati per rotazione infatti presentano un piano di geminazione ai lati del quale il cristallo è identico



difetti reticolari con energia quasi nulla sebbene associati a bordi a grande angolo (difetti di impilaggio)

analogo alla disclinazione, ma in scala maggiore

il materiale, quando risente del blocco delle dislocazioni, attiva un altro sistema plastico per garantire il flusso plastico

quando la struttura è saturata dalle dislocazioni e il flusso plastico bloccato, il geminato fa ruotare la struttura e permette ad altre dislocazioni di arrivare a saturazione

acciai austenitici e leghe di Cu

i geminati sono favoriti in questi materiali e causano un aumento della resistenza perché le dislocazioni hanno più difficoltà a scivolare, per cui si ha incrudimento

nei CCC si formano geminati solo quando l'en. è rilasciata velocemente (urti, shock, esplosioni)

le condizioni che favoriscono la formazione dei geminati sono

sistema di tensioni triassiali

in un cubetto vincolato che è sollecitato a compressione non può variare la lunghezza, quindi l'unico modo di deformarsi è la rotazione

metalli CFC con bassa energia di stacking fault



bassissime T

gli acciai TWIP

geminato plastico strutturano i geminati per avere grandi risorse plastiche e avendo molti elementi legati si stabilizzano anche a T_{amb}

la fase dominante è austenitica

negli EC si formano nella direzione in cui mancano le risorse plastiche nella direzione meno resistente

Al Cu Pt Fe
CFC CCC

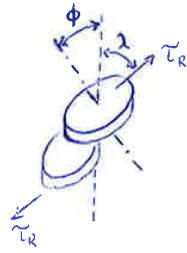
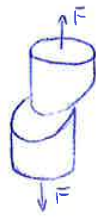
le leghe di questi metalli danno luogo a en. di stacking fault più basse, quindi a geminati più frequenti

suscettibilità del materiale a formare difetti di impilaggio

Tensione Risolta

e
Moto Dislocazioni

Presso un provino sottoposto a sforzo di trazione (oltre il limite di snervamento) nasce un flusso plastico causato da una sollecitazione tangenziale



la zona plastica si produce sul campione lungo un'area inclinata

si individuano quindi una direzione di slittamento e un piano di slittamento



diverso dal piano di scorrimento che è legato al creep, cioè simultanea sollecitazione meccanica + diffusione

oltre a $\sigma = \frac{F}{A}$ agisce sul provino anche una $\tau_a = \frac{F_s}{A_s}$, che è

della tensione risolta:

è la τ che agisce proprio sul piano di slittamento, dove le dislocazioni si muovono

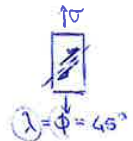
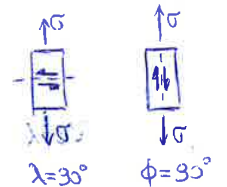
$$\tau_r = \frac{F \cos \lambda}{A \cos \phi}$$

$\tau_r = \sigma \cos \lambda \cos \phi$
LEGGE DI SCHMIDT

lega la scala nanoscopica (dislocazioni) alla scala macroscopica (duttilità)

$\tau_r = 0 \rightarrow$ non si manifesta flusso plastico

$\tau_r = \frac{\sigma}{2} = \tau_{max} \rightarrow$ flusso plastico massimo



orientazione grani

$\tau_r > \tau_{cris}$

minimo τ che bisogna superare perché si manifesti il flusso plastico



corrisponde alla σ_y (gli snervamento), cioè quello oltre cui si ha la prima dislocazione mobile

negli acciai il rafforzamento determina anche la natura della deformazione

se dopo snervamento fino a rottura le tensioni sono ipotetiche \perp alla sezione (durante il flusso plastico)

deformazione uniforme

nella strizione la tensione non è uniformemente distribuita e la deformazione non uniforme



gli acciai comuni sono policristalli e la rottura avviene a 45°

si può applicare la legge di Schmidt non solo ai monocristalli, ma anche ai policristalli, che sono aggregati di monocristalli orientati in modo casuale

in media ogni cristallo si comporta allo stesso modo manifestando rottura a 45°

\Rightarrow rafforzamento per allineamento del grano

③

PER PRECIPITAZIONE o DISPERSIONE + INVECCHIAMENTO

è il risultato di un fenomeno di

PRECIPITAZIONE o DISPERSIONE

è un metodo di rafforzamento molto importante per i metalli e in particolare per le leghe

è il processo utilizzato per i materiali compositi, dove le particelle sono disperse nel liquido mescolato (esiste un'interfaccia)

è differenza della dispersione, qui non ci sono interazioni meccaniche tra particella e liquido, perché l'interfaccia è esigua, ma avviene la nucleazione del precipitato, che fa nascere l'interfaccia

l'aumento della resistenza è dovuto all'introduzione del precipitato, che rappresenta un ostacolo, e possono essere collocati

ostacoli già visti sono le dislocazioni stesse

sui BDG

che partecipano al rafforzamento perché impediscono l'ingrandimento dei grani (pinning)

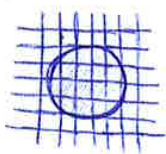
all'interno, che induce il maggior rafforzamento, perché ostacola le dislocazioni

al punto triplo, di incontro fra più grani

il rafforzamento è dovuto sia alla distorsione del reticolo (se presente), sia al fatto che i precipitati sono duri e alto-fondenti

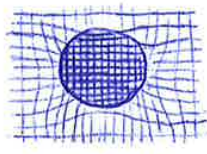
se i BDG sono instabili, trovandosi su una frontiera dinamica che vibra, all'aumentare di T questi si attivano e si uniscono per formare grani più grandi

l'interposizione dei precipitati al BDG inibisce il fenomeno di coalescenza



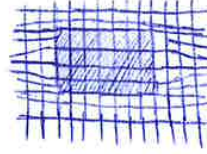
Coerente

il reticolo del precipitato coincide con il reticolo del grano (situazione "ideale")



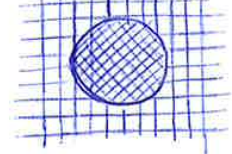
Coerente con strain nel reticolo

la particella ha il suo reticolo mentre il grano ha una costante reticolare maggiore
il grano si deve adattare e nasce una distorsione



Semicoerente

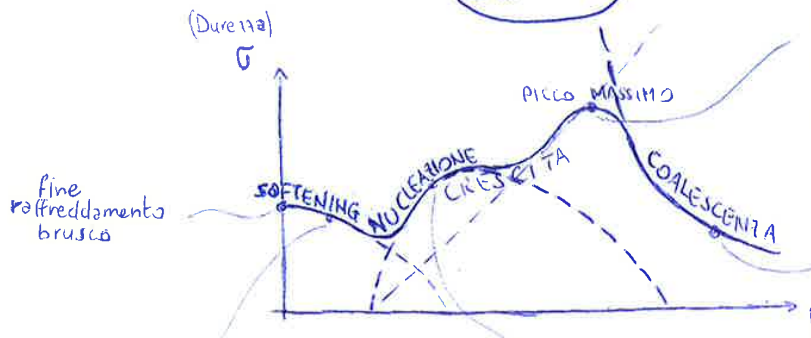
quando i precipitati diventano poco più grossi si ha coerenza lungo una direzione (reticoli allineati) mentre nell'altra direzione si ha distorsione; perdendo parte della distorsione diminuisce il rafforzamento



Incoerente

è il caso di precipitato di grandi dimensioni, il cui reticolo è diverso dal reticolo del grano
l'interfaccia non risente di questa incoerenza

Durezza



si ha una nuova impennata della durezza, perché le interfacce perdono parte della loro coerenza, diventando tutte semi-coerenti nel picco massimo

nella prima metà ora si ha softening, cioè la resistenza diminuisce perché gli effetti di tempo sono ridotti dal fatto che la soluzione supersaturata tende a riorganizzarsi e trovare un assetto

in queste prime ore i precipitati iniziano a nucleare e diffondere: il precipitato nasce da un nucleo stabile formato da aggregati di 15-20 atomi, si formano delle GP zones (Guinier-Preston)

si ha un'impennata della durezza dovuta all'aumento del grado di outercamento delle dislocazioni, dovuto alla distorsione del reticolo, perché il precipitato cresce con interfaccia coerente

all'aumentare del tempo si ha un crollo perché i precipitati ingrossano in modo incontrollato diventando incoerenti

è importante non raggiungere questa fase di sorrahvecchiamento e rimanere con una interfaccia semi-coerente

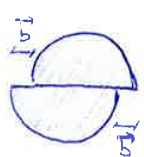
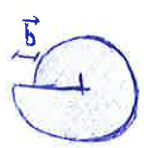
le dislocazioni danno massimo rafforzamento quando interagiscono con precipitati semi-coerenti

i precipitati si oppongono al moto in 2 modi

SHEAR



la dislocazione prosegue indeformata tagliando le particelle (particelle deboli → coerenti)



quando le particelle sono piccole e coerenti la dislocazione non incontra difficoltà e taglia la particella lungo il piano di scorrimento, formando un gradino (b = vettore di Burgers) e tagliando il precipitato in due

la difficoltà di taglio aumenta se il precipitato è più grande

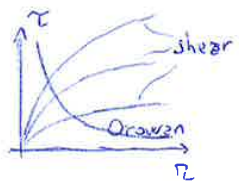
BOWING



la dislocazione non riesce a proseguire e deve inlettersi (particelle forti → semicoerenti)

si innescia il meccanismo di Orowan: il rafforzamento è maggiore se diminuisce la distanza tra le particelle, perché la dislocazione è più bloccata, dovendo inlettersi di più

a parità di volume di precipitato, la tensione e il rafforzamento diminuiscono all'aumentare del raggio (è come se la distanza aumentasse)

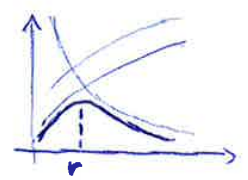


la condizione ottimale combina i 2 meccanismi, e compende ad un raggio per cui i precipitati sono semicoerenti

assunto nelle GP zones

$$\tau_{Orowan} = \frac{1}{2} \frac{Gb}{L} \sqrt{f}$$

frazione volumica di particelle



⑥ PER TESSITURA

è il metodo più economico per rafforzare acciai anche di bassa qualità

l'aumento di resistenza è dovuto alla presenza di direzionalità delle fibre

anisotropia microstrutturale

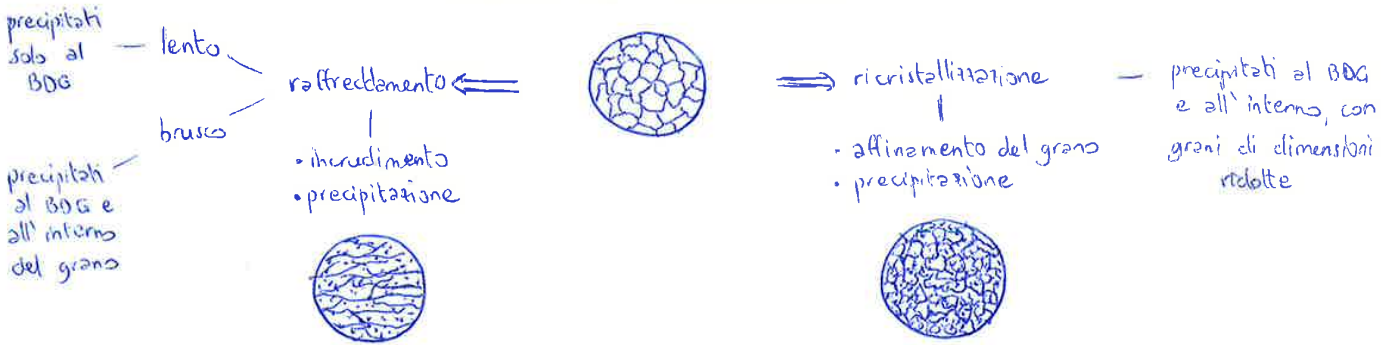
nel gancio forgiato le fibre si orientano nella direzione di sollecitazione

si distingue una direzione di laminazione: direzione più debole per tenacità a frattura



interfaccia fibre-matrice (ferro-cemento) non bene legata ↓ debole

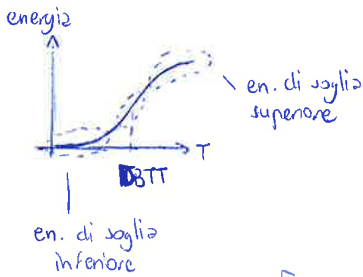
Metodi di Rafforzamento



(Ductile-Brittle) Transition Temp.

DBTT negli acciai

Temp. di Transizione Duttile → Fragile



è la T alla quale un acciaio manifesta comportamento fragile quando sottoposto a sforzo

nelle prove di resilienza il provino è munito di intaglio ed è sollecitato fino a rottura fragile

si valuta l'energia assorbita e si valuta la pendenza della curva

in questo modo si valuta il comportamento meccanico dei materiali durante un assorbimento rapido di energia (ad es. urti accidentali, esplosioni)

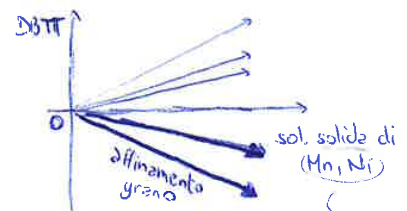
la DBTT deve essere la minore possibile

se in un acciaio si aumenta la resistenza, si paga con minore resilienza e tenacità

intaglio a U (rott. fragile) oppure a V per acciai più resistenti (rott. duttile)

introdurre un intaglio equivale ad applicare uno stato di tensione triassiale

quando esiste questo stato il materiale si rompe in modo fragile

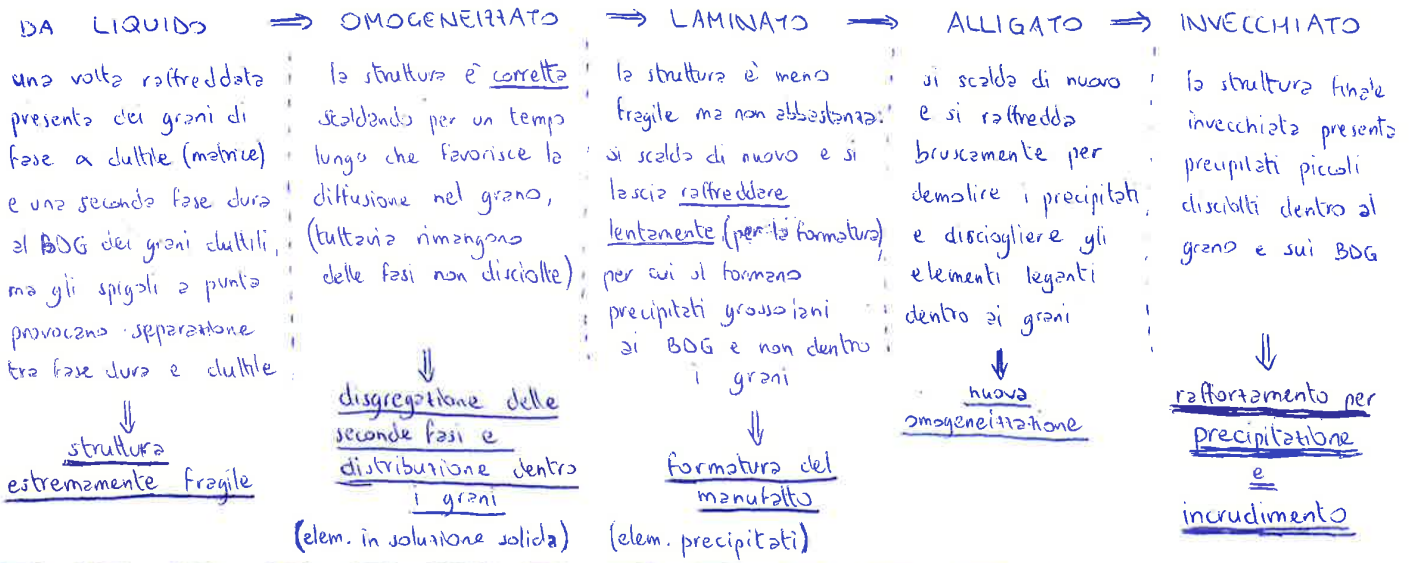


per formare acciai inox autentici (resistono meglio alle basse T)

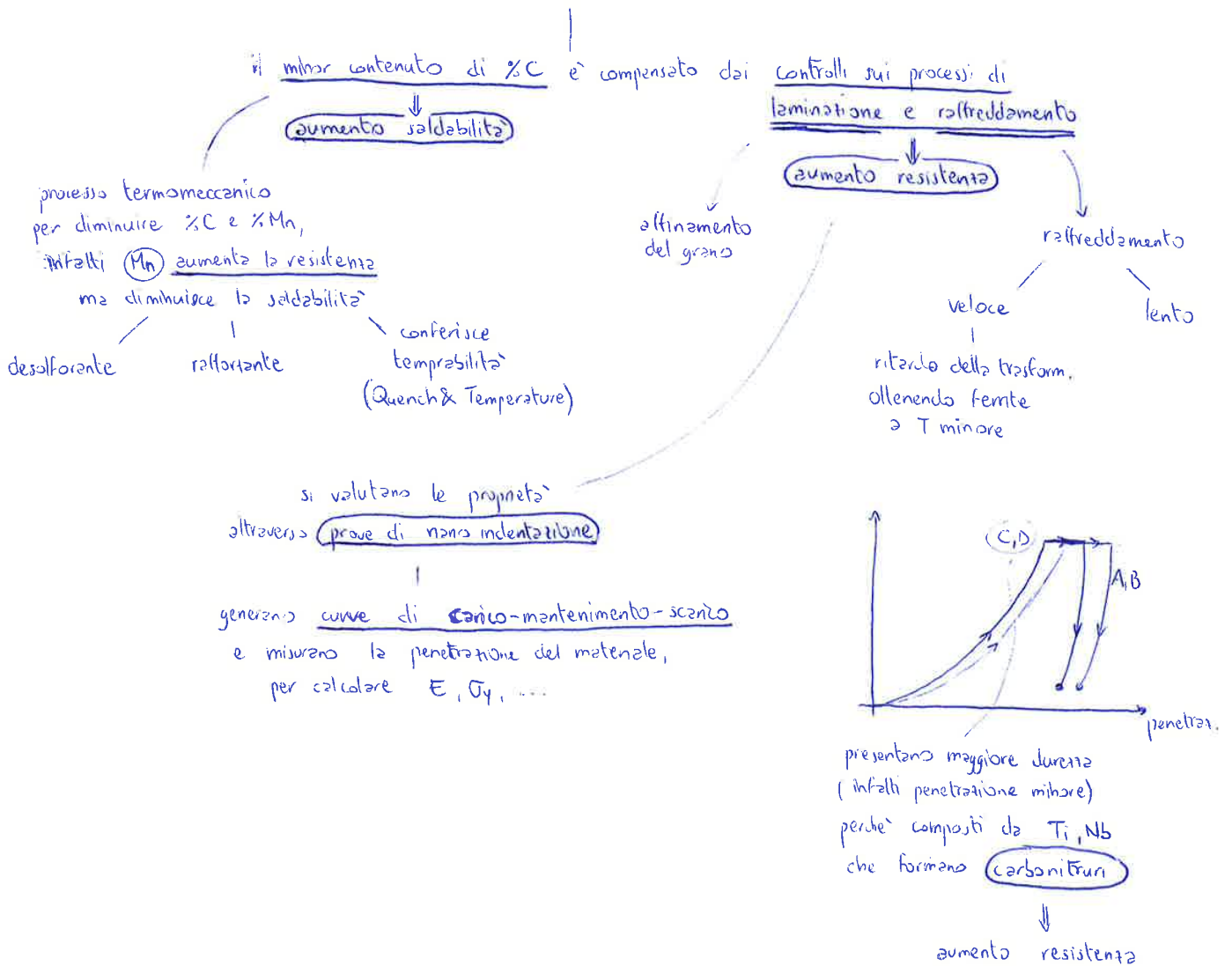
Leghe Al 7xxx

le più resistenti
sono le 7xxx e 2xxx

sono prodotte allo stato liquido e dopo invecchiamento acquisiscono le proprietà



RESISTENZA DEGLI ACCIAI HSLA



① (IMPIEGO)

ACCIAI STRUTTURALI S

**Sottogruppo D
LAMIERE SOTTILI**

sono acciai che presentano notevole allungamento data la grande riserva plastica

← le lamiere sono facilmente deformabili

→ **Imbutitura**
stampa in negativo della forma che si vuole ottenere

es. **Strip**

EN 10152

(DC03)
aliquanto numerico
(1.0347)

(ZE)

(50/50)

(A)

(P10)

oleatura per la fase di conferimento

trattamento per preservare la superficie

entrambe le superfici rivestite con spessore 50

qualità inferiore

è un nastro, cioè una lamiera avvolta a rotoli

questi acciai devono garantire una buona interazione con l'ambiente esterno

trattati con **(Zn)** per immersione o elettrolitica

lo Zn ha capacità di proteggere il Fe consumandosi cioè **resistente alla corrosione**

trattati con **(Al, Si)**

conferiscono durezza, cioè **resistente all'usura**

① (IMPIEGO)

ACCIAI ALTO-RESISTENZIALI LAMINATI H

ALTO-RESISTENZIALI

sono acciai HSLA a minore resistenza degli ultra alto resistenti

ULTRA ALTO-RESISTENZIALI

per questi acciai l'allungamento è minore perché sono già sollecitati al massimo (AHSS)

H X (220) B D

indica la tensione di snervamento

informato a 180-200°C per un incremento di resistenza

H D T (450) F

laminato a caldo

carico di rottura

acciaio multifase FB

Esnile stress: non si ha snervamento ma al carico di rottura

(ZF)

il Fe migliora l'aderenza della Zn

(ZA)

il Al si ossida e oltre resistenza all'erosione

(AZ)

Al sistema (res. erosione) e Zn sistema (res. corrosione)

(AS)

resistenza erosione corrosione

Al aderisce meglio (spessore minore) (lastre curve)

Si è più economico (spessore maggiore) (lastre piane)

l'aggiunta di **(Mn)** ha effetto austenitizzante

↳ Mn stabilizza l'austenite > Tamb

↳ l'austenite favorisce la fase duttile

perché ha struttura **CFC** che migliora lo slittamento delle dislocazioni

DESIGNAZIONE AISI/SAE (Americana)

(12)

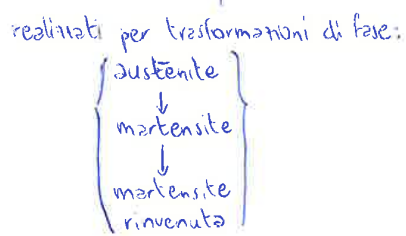
Acciai comuni e legati usati nelle costruzioni

CARBON STEELS

10XX - %C nello lega
(es. 1020 → $\frac{20}{100} = 0,2\%$)

12XX - risolforati e rifosforati
(S) (P)
in piccole quantità NON sono intraglienti

1040 - %C > 0,4 sono detti acciai da bonifica



si forma uno strato superficiale indurito che è dovuto ad uno stato di compressione che porta aumenti di resistenza

→ fatica → compressione

un'eventuale cricca nella zona superficiale (dovuta ad un difetto) tenderà a propagarsi quando il materiale è sottoposto a fatica, ma aumentandone la resistenza si evita: uno sforzo di compressione richiude la cricca, uno di trazione viene scaricato dalla resistenza

MANGANESE STEELS

13XX
massimizzano Mn: 1,75%

CHROMIUM-MOLYBDENUM STEELS

41XX
acciai altoresistenziali da bonifica

NICKEL-CHROMIUM-MOLYBDENUM STEELS

43XX
basso legati, ad alta tenacità
Ni = 1,82%
usati per i cavalli d'arredo

secondo del valore di %C cambia il contenuto degli elementi di lega come Cr, Mo perché questi elementi sono fortemente carburiogeni, mentre il Ni, che non si lega al C, non varia in quantità: se cambia %Ni cambia proprio l'acciaio! (81XX, 86XX, ...)

a parità di proprietà, maggiore è %C, maggiore è la probabilità che questi elementi vadano a legarsi al C, in soluzione solida

8620

per renderlo resistente all'usura viene sottoposto a miscela di idrocarburi in forno (cementazione) oppure arricchito di C tramite (cementazione locale) fiamma ossidato-cetilenica

per aumentare la resistenza si aggiunge %C, ma se %C > 0,4 si operano trattamenti termici, perché se si aggiungesse ulteriore C il materiale diventa **duro ma estremamente fragile**

ACCIAI INossidabili

2XX

3XX

molto utilizzati ma molto costosi

il posto alto è dovuto al costo del legante + costo della accurata procedura per legarli

4XX

5XX

XX-X PH

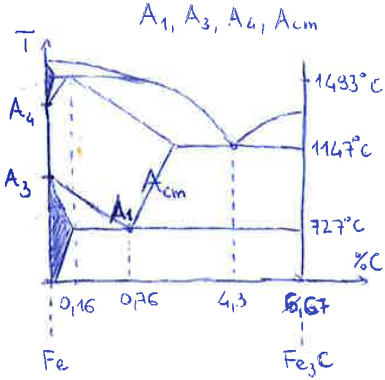
combinano al massimo resistenza e tenacità a frattura

ottenuti per precipitazione, combinando la forma dei precipitati (aghi, ellissi, ecc) e compattando la struttura

Punti Critici

si definiscono delle temperature di equilibrio tra le fasi

si definiscono delle linee di solubilità e quindi dei limiti di solubilità al variare di T:



i punti critici non sono fissi, il loro valore dipende da:

processo

elementi di lega

se il processo è "di equilibrio" si ha una A_e : il processo è di non equilibrio, ma alla $T=A_e$ è soddisfatta la condizione di equilibrio

se il processo si allontana dall'equilibrio, ad es. aumentando la velocità di trasformazione, avverrà con più difficoltà

A_c = Achnuffage
 A_r = Arefreadment

isteresi

occorrerà
T più alta al riscaldamento e
T più bassa al raffreddamento

GAMMAGENI

favoriscono l'sustenite, allargando il campo di γ
↓
Mn, Ni, C, N

ALFAGENI

favoriscono la ferrite, restringendo il campo di α
↓
Si, Cr, Mo, V

Struttura delle fasi

FERRITE



- struttura CCC
- bassa solubilità a T amb.
- ferromagnetica
- velocità di diffusione elevata, non dà il tempo di formare BDC rettilinei; quindi BDC curvilinei
- molto duttile

AUSTENITE



- struttura FCC
- può disciogliere fino al 2,14% C, quindi risulta stabile, duttile
- paramagnetica
- ad alta T può diffondere lentamente, per cui quando raffredda forma BDC più definiti e rettilinei

• la ricottura dell'austenite rende evidente la geminazione, cioè la rotazione del cristallo (che ha un'energia di stacking fault molto bassa)

↓
i grani di austenite presentano geminati di ricottura, perché ha subito un processo di deformazione plastica a monte e dopo si è inacidito, seguito dal moto delle dislocazioni e della geminazione

CEMENTITE

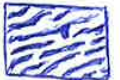


- composto interstiziale 12 Fe : 4 C
- elevata durezza e resistenza meccanica
- oltre a Fe e C presenta elementi interstiziali che rafforzano la matrice ferritica pertanto non si scrive Fe₃C ma

[Cr, Mo, Mn, Fe]₃C
delta cementite composta

↓
gli elementi leganti metallici introdotti in elementi ferritici non formano carburi, ma si combinano fra loro formando composti intermetallici

PERLITE



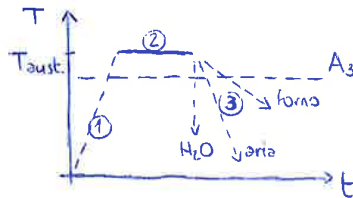
- NON È UNA FASE
- struttura a lamelle: ferrite e cementite (scuro) (bianco)
- lamelle più fini aumentano la resistenza
- è duttile (più duttile della ferrite, ma più dura dell'austenite)
- durante i T.T. la ferrite può efficacemente raffreddare la perlite adiacente, infatti più è lontana la perlite più formerà grani grossolani la ferrite

(T.T.) TRATTAMENTI TERMICI DEGLI ACCIAI

Una volta che il progettista ha valutato la resistenza che deve avere l'acciaio, consulta i cataloghi per scegliere il più idoneo, e decide il T.T. migliore per combinare le proprietà di resistenza e saldabilità

è importante il ruolo degli elementi leganti

Ciclo Termico



1 RISCALDAMENTO

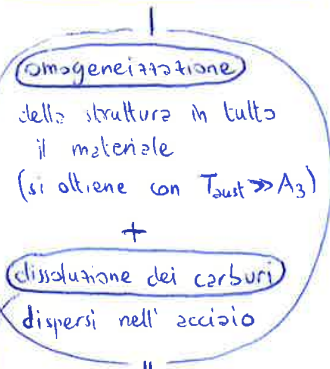
grandi masselli d'acciaio vengono portati al laminatoio dove subiscono le variazioni dimensionali utili alla lavorazione, e poi scaldati in forno fino a raggiungere la T_{idest} , uniforme

a seconda delle dimensioni, si creano gradienti di Temperatura più o meno forti

gradienti di Deformazione tra le componenti, oppure interno-superficie,...

disciogliere la perlite è semplice perché è lamellare, mentre i carburi sono altofondenti, perché sono formati da C concentrato, a cui serve molta energia per disgregarsi e diffondersi, quindi occorrerebbe una T molto alta

2 AUSTENITIZZAZIONE



è importante scegliere la Temp. e la durata

gradienti troppo elevati tra cuore e superficie provocano l'ingrossamento solo all'esterno

gradiente di deformazione

tempi di risc. troppo lunghi portano all'ingrossamento del grano austenitico

infragilimento

per evitare queste proprietà negative si mantiene una T non eccessivamente elevata per un tempo non troppo lungo, proporzionalmente alle dimensioni del pezzo

3 RAFFREDDAMENTO

il raffreddamento determina la microstruttura, e quindi le proprietà dell'acciaio

diverso per ogni T.T., avviene in 3 diversi modi:

- il tempo aumenta }
 - in forno
 - all'aria
 - in acqua
 - immersione
 - spray
 - in olio
- il tempo diminuisce }

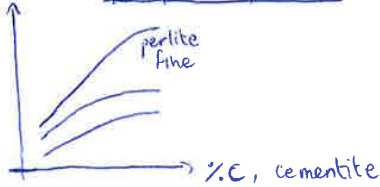
l'immersione in vasca non permette l'eliminazione delle bolle di vapore acqueo che restano intrappolate nell'acciaio (ebollizione nucleata), mentre spruzzando acqua dagli ugelli si evita il problema e si ottiene un effetto di tempra (migliore resistenza)

utilizzato quando il raffreddamento in ~~acqua~~ è troppo drastico

Proprietà

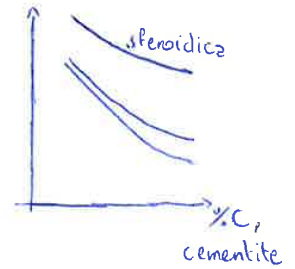
Durezza

aumenta con la presenza di precipitato più fine e disperso



Duttilità = deformazione uniforme

diminuisce con la presenza di cementite e con la struttura sferoidica dei precipitati



Temprabilità

proprietà del materiale di avere almeno il 50% di martensite a trasformazione avvenuta.

si ottiene tramite il processo di **TEMPRA**:

- riscaldamento
- ↳ completa austenitizzazione
- ↳ brusco raffreddamento

↓
l'obiettivo è ottenere una struttura completamente martensitica, perché i carburi residui non contribuiscono a formare martensite

dipende da più fattori

tempo di nucleazione

elementi leganti

dimensione del grano

una volta terminato il processo di tempra non si possono più eliminare i grani grossolani (fragilità)

hanno la capacità di formare carburi e modificare la (A₁) trasformazione eutettoidica

anticipano la trasformazione (ALFAGENI)

- ⊆ V
- ⊆ W
- ⊆ Mo
- ⊆ Cr
- ⊆ Si

anche in piccole quantità è estremamente avido, assorbendo quasi tutto il C come V sono microalloyanti, ma sono meno potenti perché in parte formano carburi con C e in parte entrano in soluzione solida

aumentano il contenuto dell'eutettoide, ⇒ migliorano la tenacità

perché non si legano a C per formare carburi, quindi possono essere utilizzati per mantenere l'acciaio allo stesso %C (ma riducendo effettivamente %C)

(GAMMAGENI)

ritardano la trasformazione, cioè incrementano l'inerzia dell'acciaio alla trasformazione

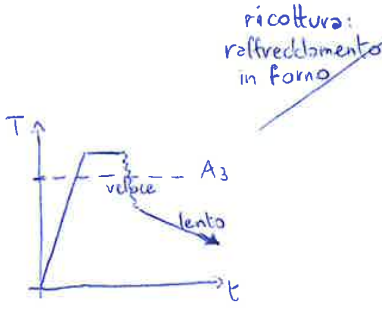
- ⊆ Cu
- ⊆ Mn
- ⊆ Ni

non si legano al C ma entrano in soluzione solida

spostando l'eutettoide si possono variare a piacimento le proporzioni di ferrite e cementite
perlite

Confronto delle proprietà antitetiche nei diversi T.T.

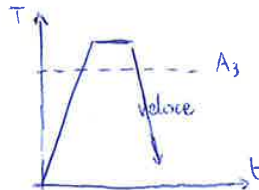
RESISTENZA/DUREZZA VS RESILIENZA/TENACITÀ



PERLITE GROSSOLANA

- tenacità elevata (110J)
- durezza bassa (20 Rc)

normalizzazione: raffreddamento all'aria

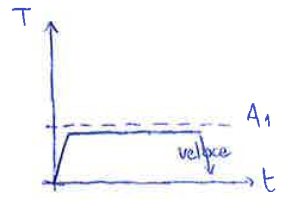


PERLITE FINISSIMA o BAINITE

- resilienza elevata (55J) (struttura fine in matrice duttile)
- durezza aumentata (57 Rc)

ha caratteristiche simili a quelle della martensite rinvenuta, ma può essere ottenuta solo con processi di raffreddamento in condizioni isoterme (TTT), mentre la martensite rinvenuta è realizzabile con processi di raffreddamento continui (CCT)

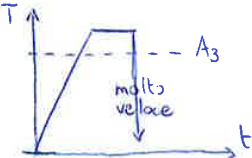
sferoidizzazione



PERLITE SFEROIDIZZATA

- tenacità molto elevata (110J)
- durezza bassa (20 Rc) (è la più tenera e la più tenace)

raffreddamento brusco

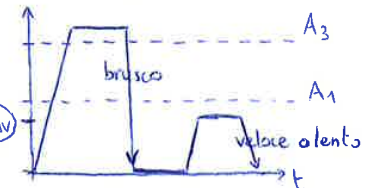


MARTENSITE

- resilienza minima (35J)
- durezza aumentata (65 Rc)

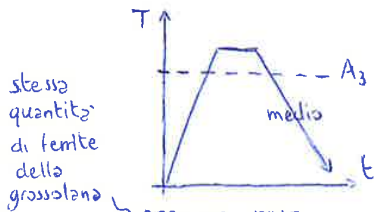
le pessime caratteristiche, ma è la condizione necessaria per realizzare un acciaio resistente

RINVENIMENTO $T_{RIN} < A_1$



MARTENSITE RINVENUTA

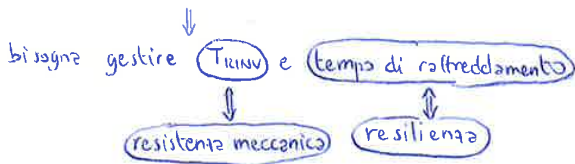
- resilienza elevata (55J)
- durezza elevata (57 Rc)



PERLITE FINE

- tenacità si dimezza (55J)
- durezza aumentata (30 Rc)

la T_{RIN} deve essere maggiore della T_{min} utile per distendere le tensioni residue, ma minore di A_1



trasformazione $\gamma \rightarrow m$

inizia alla $T = M_s$, che può essere abbassata se aumenta il contenuto di elementi leganti e finisce a $T = M_f$ in cui tutto l'austenite è trasformata in martensite

se $T > M_f$ se non si raggiunge M_f , allora al termine della trasf. rimane γ residuo

avviene 'scatti', cioè a ogni abbassamento di T , una frazione di γ si trasforma in m

quando l'acciaio in esercizio subisce degli stress, γ (metastabile dopo la trasf., cioè instabile) si trasformerà formando cricche

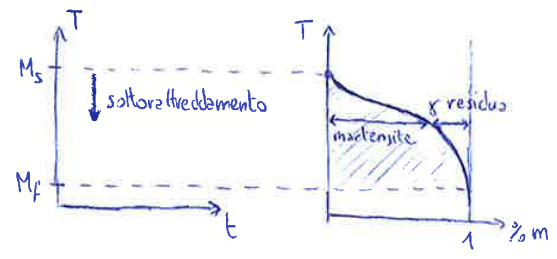
riduzione tenacità

Martensite

perché ottenuta con raffreddamento elevato
 è un microcostituente metastabile
 con struttura tetragonale corpo centrato
 ↓
 forte distorsione del reticolo
 ↓
 è composta da matrice dura con
 seconde fasi immerse nella matrice
 (come nelle cementite)
 che la rendono fragile

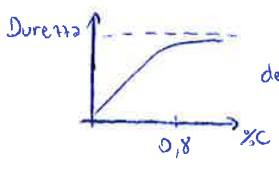


dalla $T = M_s$ si comincia a formare martensite; la quantità aumenta con l'aumento del sottoraffreddamento fino alla $T = M_f$ in cui tutta la γ è diventata m difficile da stimare



secondo della quantità di C la martensite presenta strutture diverse e diverse applicazioni

la martensite per saldature possiede zone più ricche di C che manifestano strutture tetragonali e cementite aghiiforme Fe_3C
 ↓
 bassa resilienza



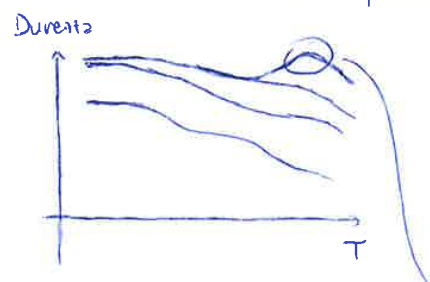
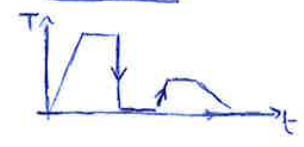
oltre 0,8% C è meglio aumentare il tenore dei carburi per aumentare la resistenza, piuttosto che aggiungere altro C

la martensite strutturale presenta lamelle orientate
 ↓
 alta resilienza

dell'eutettoide in poi ($\%C = 0,76$) la durezza rimane costante

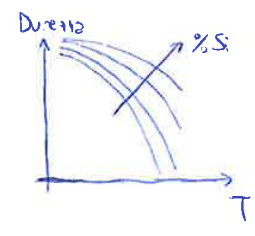
RINVENIMENTO

è la procedura attraverso cui si migliorano le proprietà meccaniche: aumenta la resilienza ma diminuisce la durezza



per aumentare la durezza e la temprabilità occorre aggiungere elementi di lega, e quindi più C

indurimento secondario alle alte T per acciai legati con Mo, Si



all'aumentare della quantità di Si aumenta la durezza

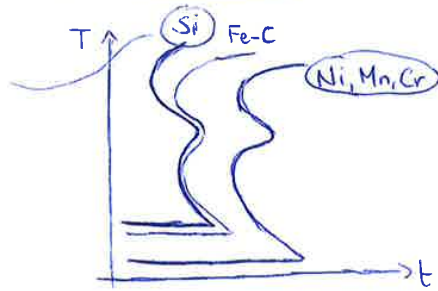
La Martensite rinvenuta presenta cementite sferoidale dispersa uniformemente nella matrice

→ si riduce la criticità di formazione delle cricche

→ elevata tenacità a frattura

le curve TTT possono essere modificate dagli elementi leganti

il Si sposta la curva a sx riducendo la zona di resistenza della martensite



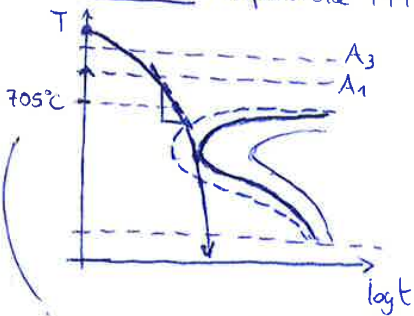
gli elementi che spostano la curva verso destra offrono inerzia termica, cioè ritardano la trasformazione

Inoltre questi elementi aumentano il dominio di martensite spostandola più a dx, cioè forniscono temprabilità

CCT

la trasformazione CCT avviene più lentamente e a T minori rispetto alle TTT

si possono correlare le TTT con le CCT:



bassi sottoraffreddamenti \Leftrightarrow basse velocità di raffreddamento

per ottenere martensite: grande sottoraffreddamento \Leftrightarrow elevata velocità di raffreddamento

in assenza di altri fattori (ad es. elementi di lega) le curve CCT sono spostate verso basso e verso destra perché gli effetti dinamici introducono un' ulteriore inerzia nel sistema, perché qui le T non sono ben precise (come la erano nel TTT) nel diagramma di stato

si usa per convenzione $T=705^\circ\text{C}$ per definire la pendenza \rightarrow velocità di raffreddamento VR

$VR > VC_S$

$VR < VC_I$



In base alla velocità di raffreddamento si ottengono diverse strutture

RAFFREDDAMENTO LENTO: RICOTTURA

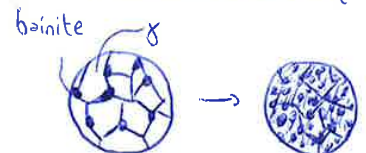
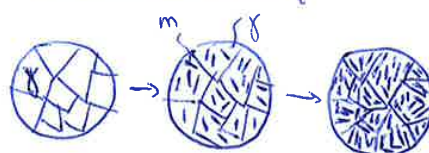
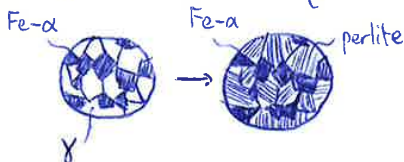
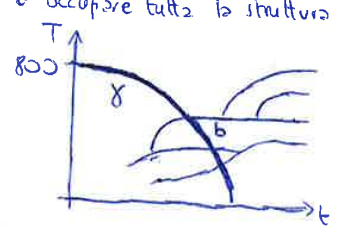
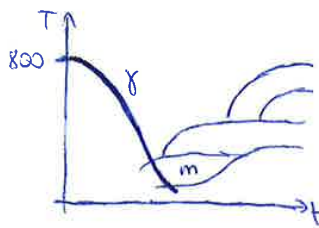
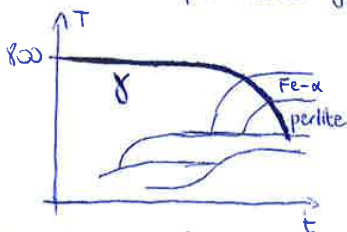
RAFFREDDAMENTO RAPIDO: TEMPRA

RAFFREDDAMENTO INTERMEDIO

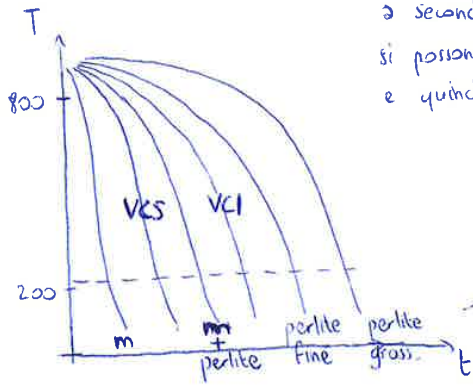
la fase ferritica non si completa, ma subentra la perlite fino a sostituire completamente γ

si passa da γ fino a struttura completamente martensitica

la bainite inizia a nucleare ai BDG, poi si ispessisce fino a occupare tutta la struttura



Velocità di Raffreddamento



a seconda delle proprietà meccaniche che si vogliono ottenere si possono decidere quali curve CCT intercettare e quindi quali microcostituenti ottenere

le pendenze indicano la severità di tempo: pendenze maggiori

↓
velocità di raffreddamento maggiori

↓
struttura più fine

(perlite gross → perlite fine → bainite → martensite)

Elementi leganti

hanno funzione di:

indurire per soluzione solida la ferrite α

migliorare la resistenza alla corrosione

migliorare la temprabilità

provocare la precipitazione di altri carburi oltre a Fe_3C

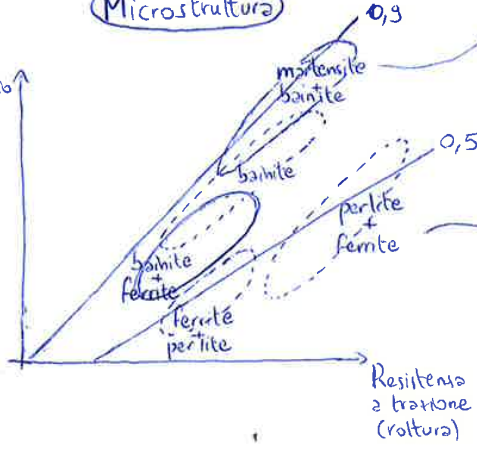
si dividono in:

ALFAGENI
Si, Cr, Mo, V

GAMMAGENI
Mn, Ni, C, N

Microstruttura

Resistenza a snervamento



bainite: placche gross.

martensite: sfondo + placche agniformi



la ridotta solubilità della ferrite provoca il rigetto di C in eccesso: precipitati di Fe_3C terziaria

per strutture antisismiche bisogna garantire duttilità:

↓
snervamento ~ 0,5
rottura

↓
perlite + ferrite

- (Mn)
- (P)
- (S)
- (Si)
- (Cu)
- (Ni)
- (Mo)
- (B)

- ↑ desolfonante,
- ↑ durezza, temprabilità, resistenza (quantità limitata)
- ↑ durezza, resistenza (in basse quantità >P)
- ↑ saldabilità (piccola %S), lavorabilità
- ↑ durezza, resistenza (piccole %Si), disossidante, ^{abbasso} DBTT
- ↑ resistenza alla corrosione (0,2 < %Cu < 0,3)
- ↑ tenacità, temprabilità, resistenza all'urto
- ↑ temprabilità, resistenza ai BDC, diminuisce fragilità > rinvenimento
- ↑↑ temprabilità

- ↓ duttilità, saldabilità
- ↓ resilienza per intagli a V (Kv)
- ↓ resilienza per intagli a V, infragilente
- ↓ saldabilità
- ↓ dannoso se %Cu aumenta

Convertitore

nel convertitore avvengono delle reazioni chimiche che hanno lo scopo di ridurre la %C e di diminuire le impurezze

DECARBURAZIONE DELLA GHISA

(S) P Cu Sn (Ni) (Cr)

(FeS) è basiofondente, rende l'acciaio fragile già dal processo di laminazione perché si posiziona ai BDG

possono essere dannosi quando non si vogliono ottenere le proprietà che questi conferiscono

nel convertitore si utilizzano due metodi di depurazione dal C, oltre al BOF

EAF + AOD

si utilizza Argon come gas di protezione

EAF + VOD

Vacuum (vuoto) (più costoso)

a cui segue una post-raffinazione con SCORIE SINTETICHE FUSE

producono calore sulla superficie e reagiscono con le sostanze nocive depurando l'acciaio

Colaggio

la ghisa è colata dalla siviera alla lingottiera: solidificano prima il Fe e i costituenti basiofondenti poi gli aliofondenti e infine le impurezze

dal lingotto viene scartata la forma che contiene le impurezze (materozza)

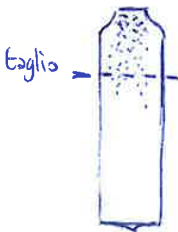


il volume di ghisa colata contiene una % vuoti detta porosità

ACCIAIO EFFERVESCENTE

contiene gas che producono porosità

utilizzato per acciai laminati perché in piccoli spessori i pori vengono richiusi (economico)

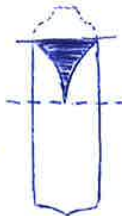


ACCIAIO CALMATO

l'aggiunta di (Al) assicura l'eliminazione di porosità perché

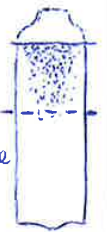
Al si lega con i gas contenuti nei pori formando allumina o nitruri (N dell'aria).

Si forma una zona di ossidi estremamente duri che riduce la produttività del lingotto



ACCIAIO SEMI-CALMATO

l'aggiunta di (Si) dà luogo ad eliminazione dei gas e dispersione di ossidi in misura tollerabile (Si ha capacità inferiori ad Al)



utilizzati per acciai strutturali

Si possono manifestare diversi inconvenienti di produzione:

① **INCLUSIONI**

durante il processo di colata, si formano **inclusioni**

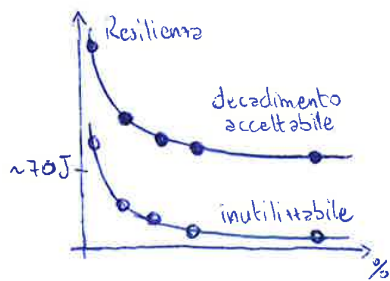
causano diminuzione della tenacità e della sezione resistente

per limitare la quantità di inclusioni occorre una solidificazione molto lenta che permetta alla scoria di risalire e galleggiare sul bagno, a causa della minore densità

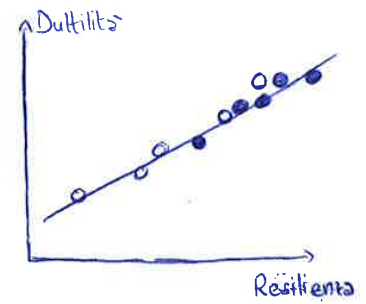
elementi di scoria (ossidi non metallici) che si disperdono all'interno della matrice metallica

influenzano in modo negativo le proprietà

RESILIENZA
(TENACITÀ A FRATTURA)



DUTTILITÀ



dipende dalla direzione di sollecitazione sullo provetto

- longitudinale
- trasversale

la duttilità aumenta linealmente con l'energia (risorsa plastica) maggiore

le inclusioni sono di natura plastica e tendono a deformarsi nella direzione della sollecitazione

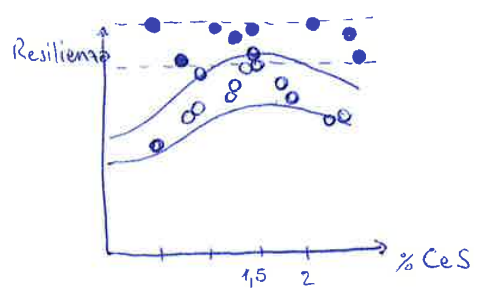
dopo una prima desolfurazione nel convertitore, per ridurre ulteriormente %S, FeS viene trattato con **Mn**, che combinandosi con FeS forma MnS; (che vengono asportati successivamente) oppure con il Cerio **Ce**

solfuri, (nitrucci) **(FeS)**

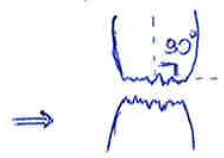
in genere sono favorevoli, ma quando formano aggregati di grandi dimensioni sono nocivi perché lacerano la matrice

durante la laminazione "rigano" il metallo

sferoidizza le inclusioni, rendendole meno sviluppate in direzione longitudinale, lasciando la matrice circostante più attiva in presenza di cricche

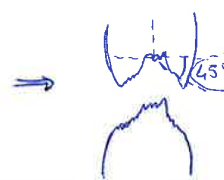


le inclusioni danno luogo a superfici di frattura piane, cioè **frattura fragile** mentre quello che si vuole ottenere è **frattura duttile** (del tipo coppo-longo)



quando un metallo si rompe in modo fragile è perché si è verificata una di queste condizioni

- stato tensionale triassiale (campione costretto in tutte e 3 le direzioni)
- T bassissime
- sollecitazione per urto
- struttura cristallina esagonale (es. Mg, Zn)

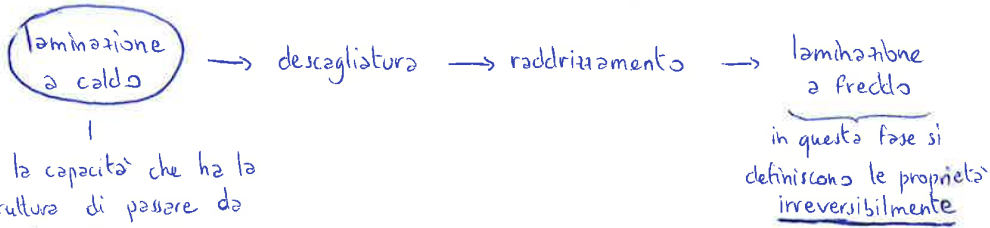


o al limite direzione di max slittamento (Tresca e Schmidt)

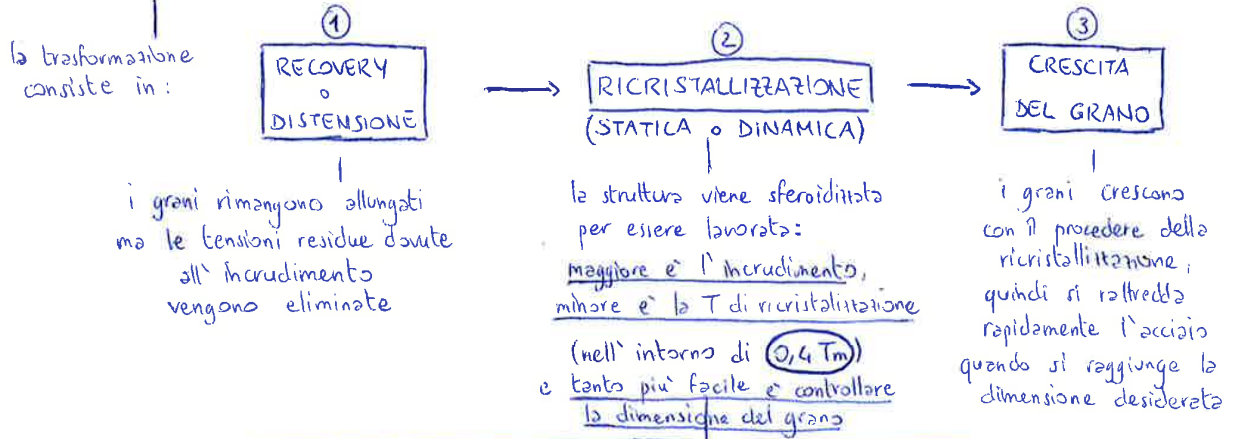


LAMINAZIONE CONTROLLATA E TMCP ACCIAI DA COSTRUZIONE

il processo di laminazione avviene in più fasi:



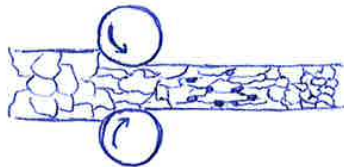
sfrutta la capacità che ha la microstruttura di passare da una configurazione con grani allungati a grani fini



STATICA

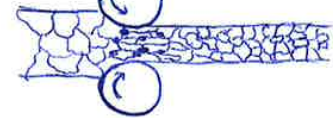
DINAMICA

deformazione plastica avviene in una zona al di fuori dei rulli

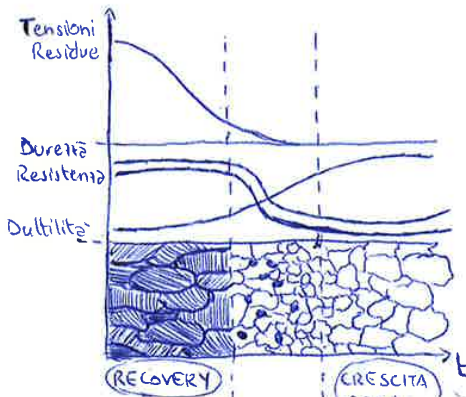


si formano nuovi grani ai BDG, molto piccoli, ma che tendono a ingrossarsi e a coalescere assorbendo altri grani più piccoli

avviene in corrispondenza dei rulli e in processo continuo



si raggiunge una nuova configurazione con grani affinati: qui si raffredda e si blocca la dimensione



si consolida la duttilità ma si annullano durezza e resistenza

INFRAFRAGILIMENTO

le tensioni si annullano ma durezza e resistenza crollano perché la struttura viene resa sferoidizzata, e aumenta la duttilità

ideale per la **LAVORAZIONE**

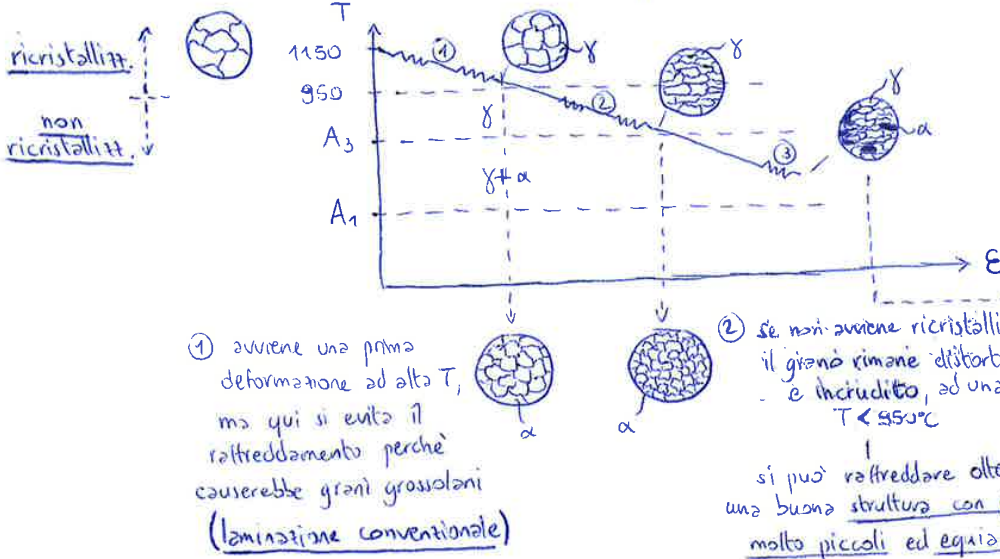
riduzione tensioni senza rilevanti cambiamenti in struttura, duttilità, durezza, resistenza

ACCIAIO DISTESO

Laminazione Controllata o Control Rolling (CR)

nei processi moderni si controlla la laminazione e quindi l'assottigliamento dei grani

si ottengono a T di produzione più basse grani più fini

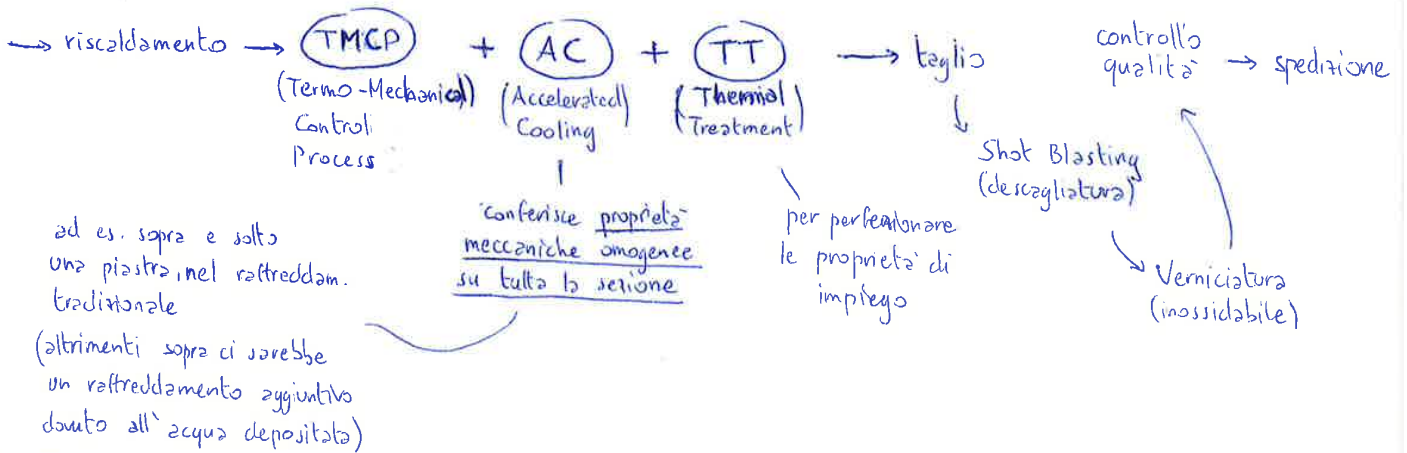


① avviene una prima deformazione ad alta T, ma qui si evita il raffreddamento perché causerebbe grani grossolani (laminazione convenzionale)

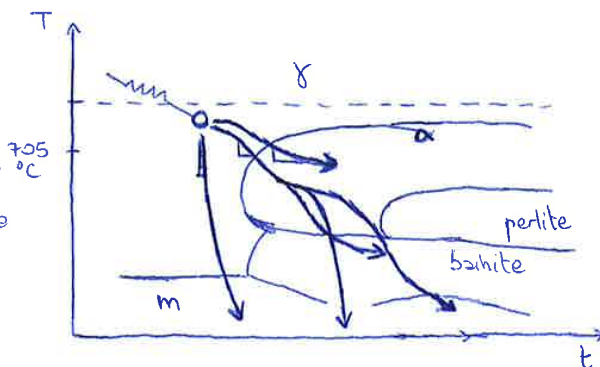
② se non avviene ricristallizzazione il grano rimane distorto e incoerente, ad una $T < 950^\circ C$ si può raffreddare ottenendo una buona struttura con grani molto piccoli ed equiassica

③ prima della trasf. $\gamma \rightarrow \alpha$ avviene una deformazione molto spinta, severa, ottenendo ferrite α deformata plasticam, a $T < A_3$ raffreddando in modo brusco si ottiene struttura fine ed equiassica (pancake)

il ciclo di vita dell'acciaio è quindi:



AC è la fase in cui si definisce la microstruttura: l'aggiunta di leganti è determinante:



la struttura finale si ricava da questa pendenza

- Al anticipa la bainite, martensite e ferrite ritarda la perlite
- Mn, Cr, B allargano il campo della martensite (ottenibile quindi per lenti raffreddamenti)
- C, Si, Mn, Al, B, Cr posticipano la perlite: eseguendo raffreddamenti lenti si può evitare di ottenere la perlite (tenere)

ACCIAI PER COSTRUZIONI E HPS



EN 10025

classifica gli acciai in base all'impiego e alle proprietà

S460 N M

gli acciai strutturali fino a $Y_S = 460$ MPa non necessitano di leganti (o meno di quelli utilizzati per ottenere una struttura fine)

S690 Q

oltre $Y_S = 460$ occorrono microleganti (Ni, Cr, Mo, V, Cu, ...) per garantire temprabilità

HPS

High Performance Steels

vantaggi:

- peso ridotto
- riduzione costi di costruzione
- riduzione forze dinamiche
- aumento di Y_S e K in presenza di sisma
- il criterio di resistenza allo SLU si adatta bene

svantaggi:

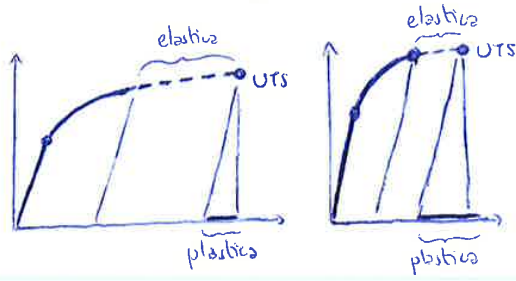
- mancanza di informazioni a lungo termine
- pochi esempi di applicazione su strutture con basso Y_S/T_S (applicazioni sismiche)
- è sufficiente una sollecitazione che va oltre il carico di rottura per consumare tutta la riserva plastica
- il criterio di resistenza alle tensioni ammissibili non si adatta bene



Fanno parte degli acciai HSLA quando sono associati ai processi di:

- TCMR (controllo laminazione)
- TCMP (controllo laminazione e trasformazione)
- QT (controllo trasformazione per garantire microcostituenti duri)

gli acciai convenzionali hanno minor resistenza ma maggiore riserva plastica



negli HPS quando la struttura si inacidisce per l'effetto sismico si consuma molta riserva plastica e rimane poca riserva elastica per una sollecitazione successiva

Resistenza a fatica

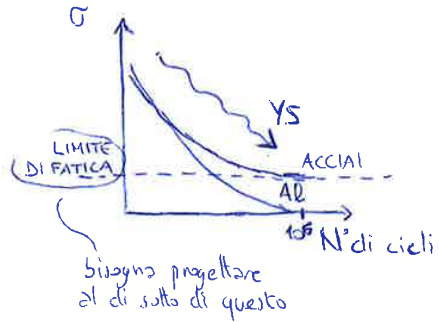
per aumentare la resistenza a fatica occorre

aumentare σ_S

la cricca è bloccata da un acciaio con struttura più fine

perché la cricca è costretta a deviare direzione nella matrice per aggirare i grani

un acciaio martensitico con grano grossolano non resiste a fatica !!



mostrano σ_K alto e duttilità elevata
rispetto ai convenzionali (HSLA) che hanno σ_K alto ma minore riserva plastica

ACCAI STRUTTURALI
N, TMCP, QT

domanda esame !!!
(tabella)

N

spessore	C	S, P	Nb, V, Al	Ni, Cu, Cr, Mo	Ceq	σ_S RESISTENZA	TENACITA' RESILIENTA
(poco vincolato) (sullo spessore)	aumentata durezza e resistenza	minimizzati per poter garantire purezza e resilienza	aumentano resistenza e resilienza	aumentano resistenza, resilienza, temprabilità	ridotto per garantire saldabilità	garantito da elevate %C, %Cu	garantito da basse %S, %P, %C e da aggiunte di (Ni) (va in soluzione solida)
20	0,13 ÷ 0,22						
30	%C _{min} = 0,13	molto bassi	presenti	presenti	Ceq < 0,45	490 MPa	> 110 J @ T = -20 °C

TMCP

spessore	C	S, P	Nb, V, Al	Ni, Cu, Cr, Mo	Ceq	σ_S RESISTENZA	TENACITA' RESILIENTA
(più vincolato) (sullo spessore)	eliminato ma la resistenza è garantita da elementi leganti e dal controllo del processo			temprabilità: conferiscono struttura dura e resistente (bainite + martensite)	avendo ridotto al minimo C, è garantito da (Cu)	garantito da basse %S, %P e bassissime %C e da (Ni)	
32							
30	%C _{min} = 0,04	molto bassi	assenti	presenti	Ceq < 0,45	460 MPa	220 J @ T = -40 °C

doppio rispetto a N

QT

spessore	C	S, P	Nb, V, Al	Ni, Cu, Cr, Mo	Ceq	σ_S RESISTENZA	TENACITA' RESILIENTA
(più versatile) (rispetto a N e TMCP)				temprabilità garantita da alti valori di (Ni) = 1,5% e piccole di (B)			molto inferiore rispetto a N e TMCP
6							
140	%C _{min} = 0,10	molto bassi	in piccola quantità			480 MPa	> 50 J @ T = -40 °C

Forme di Corrosione

① CORROSIONE GENERALIZZATA

la reazione elettrochimica si innesca sulla superficie metallica e si diffonde in modo uniforme/non uniforme su tutta la superficie, (staccando la vernice da sotto)

per scongiurarla bisogna agire su uno dei 3 fattori, ma in pratica non si agisce mai sul ~~catodo~~

si blocca il meccanismo elettrolitico

si cambia l'anodo

inibitori
bloccano gli ioni H che innescherebbero la reazione.

rivestimento protettivo
introducendo un isolante si interrompe la continuità elettrica del circuito di carica

protezione catodica:
cambiando l'anodo, si fa avvenire la corrosione su questo elemento più debole (ad. es. Zn) preservando l'acciaio (Fe)

② CORROSIONE GALVANICA

la D.D.P. tra due metalli a contatto innesca il circuito dove l'anodo (es. Fe) si consuma mentre il catodo (es. Cu), più nobile, resta intatto



la soluzione è fatta a priori, perché è fondamentale progettare la superficie.

cioè progettare una grande superficie dell'anodo rispetto al catodo:

$$\text{FATTORE D'AREA} = \frac{\text{AREA CATORICA}}{\text{AREA ANODICA}}$$

quando l'area catodica è ampia e l'area anodica piccola, il rapporto è sfavorevole perché l'anodo si consuma e aumenta la velocità di corrosione

occorre progettare con fattore d'area molto basso

per esempio, per una giunzione chiodata acciaio-rame in acqua di mare

- CASO A: lastra di rame e chiodi di acciaio (catodo/anodo)
- CASO B: lastra di acciaio e chiodi di rame (anodo/catodo)

→ FATTORE D'AREA ALTO
→ FATTORE D'AREA BASSO

preferibile, perché è meglio che sottomo i chiodi piuttosto che la piastra

la soluzione è una sostituzione periodica dei chiodi oppure la saldatura

5 CORROSIONE INTERSTIZIALE

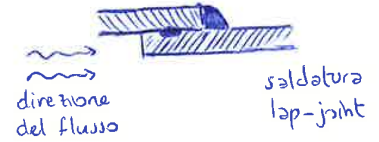
27

è anche questo un attacco corrosivo localizzato dovuto a soluzioni stagnanti di acqua

si cercano soluzioni tecniche, ad es:

- fornire una pendenza al profilo, per il deflusso
- preferire le saldature anziché rivettature/bullonature
- utilizzare guarnizioni idrorepellenti, per interrompere il circuito elettrochimico

si concentrano sotto guarnizioni, chiodi, bulloni, fessure e porosità



occorre valutare la direzione ed evitare di lasciare interstizi



6 CORROSIONE SOTTO SFORZO

è provocata dall'effetto combinato di corrosione, dovuto ad agenti chimici e cricche, che viene accelerata dallo

sforzo di trazione

processi termici

processi meccanici

tensioni residue

le soluzioni sono

- distensione tramite riscaldamento a $\sim 200^\circ\text{C}$
- ridistribuzione forze (se possibile), riducendo la forza sulla specifica componente
- eliminazione/riduzione agenti aggressivi
- utilizzo di metalli meno suscettibili alla corrosione (Ti)
- protezione catodica: la corrosione esiste ma è deviate su un altro elemento, detto anodo sacrificale (es. Zn)
- aggiunta di inibitori
- trasformare lo stato superficiale da trazione → compressione

(N) in questo caso è sfavorevole perché funge da catalizzatore

nel caso di un acciaio soggetto sia a pitting che a corrosione sotto sforzo, si evita N e si utilizzano altri elementi (Mo, Cr, ...)

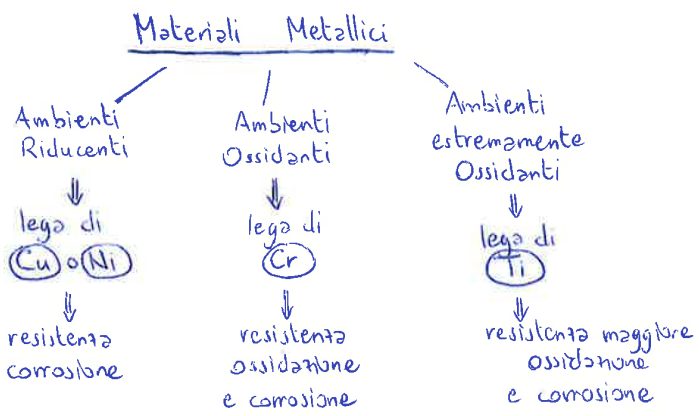
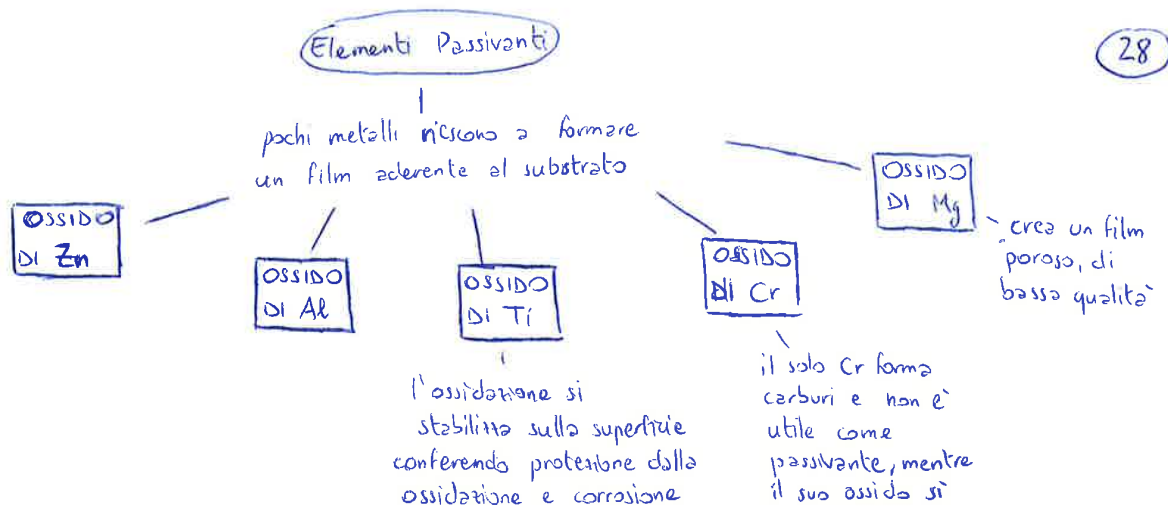
gli acciai ferritici che presentano N sono soggetti a infragilimento, come quello dovuto a H



ha morfologia ramificata e coinvolge tutta la superficie

- pallinatura
- fiammatura

(da fiamma ossidrica, C è iniettato in profondità, e una volta raffreddato, genera compressione)



Materiali non Metallici

utilizzati più che altro come rivestimenti o guarnizioni

Sistemi di Protezione

occorre una buona progettazione:

- preferire le saldature alle bullonature
- evitare saldature lap-joint
- sigillare le superfici a contatto con bulloni
- prevedere fori di drenaggio (NON SUI PROFILI!!!)
- sigillare sezioni scolate
- prevedere una circolazione naturale dell'aria:

In ambiente secco (ASSENZA DI ELETTROLITA) nei locali interni non è necessario alcun sistema di protezione dalla corrosione (manca il vapor d'acqua da Condensa)

l'assenza di O₂ favorisce la corrosione in presenza di H₂O stagnante perché aumenta la concentrazione di ioni H⁺

ACCIAI WEATHERING

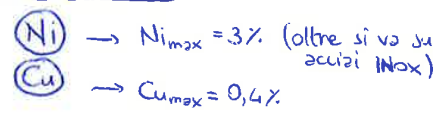
sono acciai bauxlegati per ambiente esterno che offrono maggiore resistenza alla corrosione e saldabilità

EN 10155

la saldabilità è sfavorita da elementi temprabili (in ordine B, Mo, V, Mn, ...)

che fanno aumentare Ceq ≡ Pcm

garantita dalla formazione di uno strato passivante dovuto a



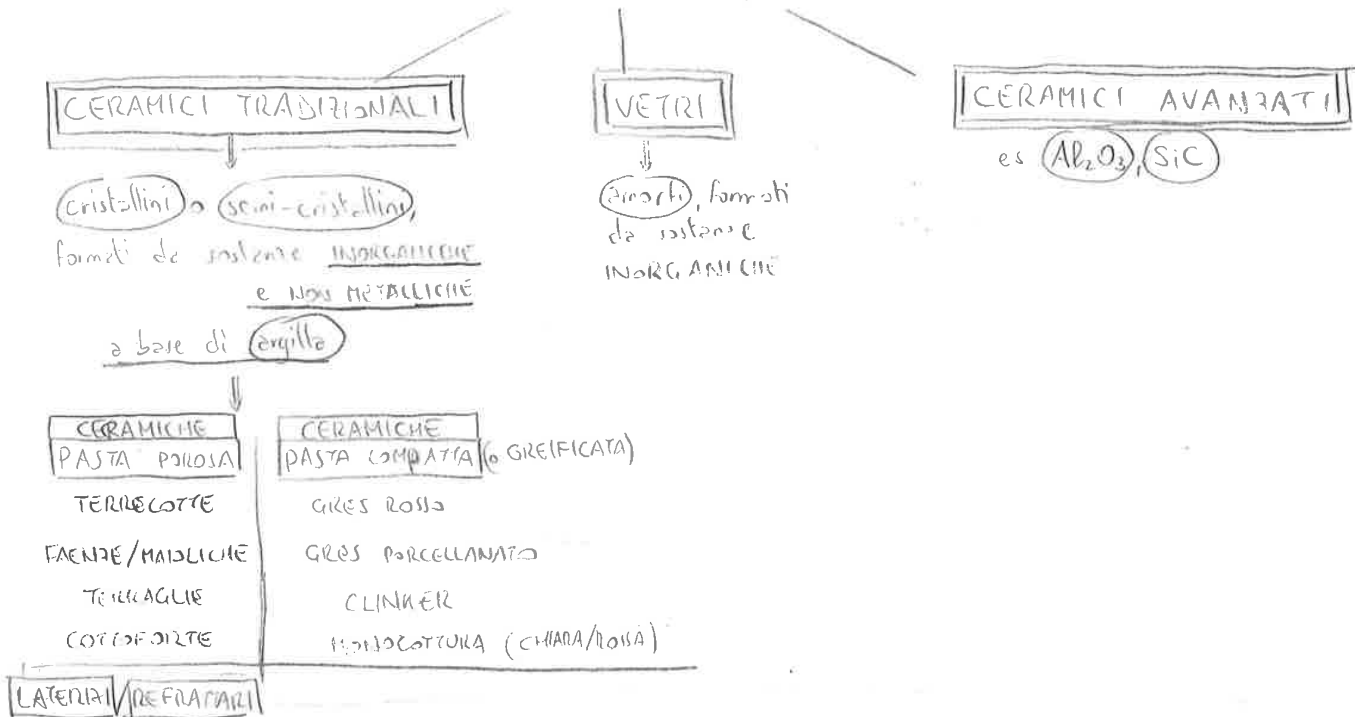
che mantiene una penetrazione bassa

430W → aggiunta di V, Cr per formare carburi e dare resistenza maggiore

570W ←

CERAMICI

materiali INORGANICI e formati da elementi METALLICI e NON METALLICI con legame ionico (o covalente in parte)



CERAMICI

ottenuti a partire da materie prime INORGANICHE e NON METALLICHE

attraverso un processo di COTTURA AD ALTA T

SINTERIZZAZIONE

legame IONICO o COVALENTE
a differenza del mare di e⁻
(legame metallico)

⇒ LEGAME
ENERGETICAMENTE
FORTE,
DIREZIONALE,
e⁻ NON LIBERI

- alto T_{fusione}, durezza
- bassa conducibilità termica [W/mK] (alto isolamento termico)
- alta resistenza alla corrosione
- ma
- bassa resistenza a trazione (qualche MPa)
- bassa resistenza agli shock termici
- Fragilità
- deformazione plastica nulla o scarsa

(2)

PLASTICITÀ

fondamentale in fase di lavorazione per ottenere la forma voluta,

è acquisita AUMENTANDO IL CONTENUTO D'ACQUA ed è perduta dopo l'essiccamento

→ le particelle di silicati idrati sono circondate da un film d'acqua che permette lo scivolamento



↓
influenza

- la DEFORMABILITÀ DEL VERDE/CAVOSO
- il RITIRO durante l'essiccazione
- la PERMEABILITÀ dell'acqua al prodotto finito
- la GELIVITÀ in fase di esercizio

INERTI

conferiscono stabilità alla forma del prodotto crudo e si dividono in

SILICE
e
FELDSPATI

SMAGRANTI

CONTROLLANO IL RITIRO e LA PLASTICITÀ per evitare la rottura

FONDENTI

FELDSPATI
CaO, ecc
CaMg(CO₃)₂

CALCITE
DOLOMITE

GENERANO UNA FASE FUSA

per evitare la rottura e riempire le porosità lasciate dall'acqua durante l'essiccamento, legando i granuli tra loro

Controlla il contenuto d'acqua:

più acqua → più plasticità provoca ritiro maggiore e maggiore facilità di rottura, cioè gli smagranti costituiscono lo scheletro rigido del macchinato che altrimenti cederebbe sotto il peso proprio

le argille possono ancora essere classificate in:

GRASSE

MAGRE

↓
elevata plasticità, quindi necessita di smagranti

↓
contiene naturalmente gli inerti

FRANTUMAZIONE MACINAZIONE VAGLIATURA (1)

CICLO PRODUTTIVO

MISCELAZIONE MATERIE PRIME

SMAGRANTI + FONDENTI +

ARGILLA con ACQUA

↓
maggiore contenuto d'acqua conferisce maggiore lavorabilità ma provoca maggiore ritiro in fase di essiccamento

FORMAZIONE A FREDDO (2)

si conferisce la forma all'impasto, ottenendo un prodotto stabile sotto il peso proprio e lo inumidimento

Il metodo di formazione INFLUENZA IL CONTENUTO D'ACQUA

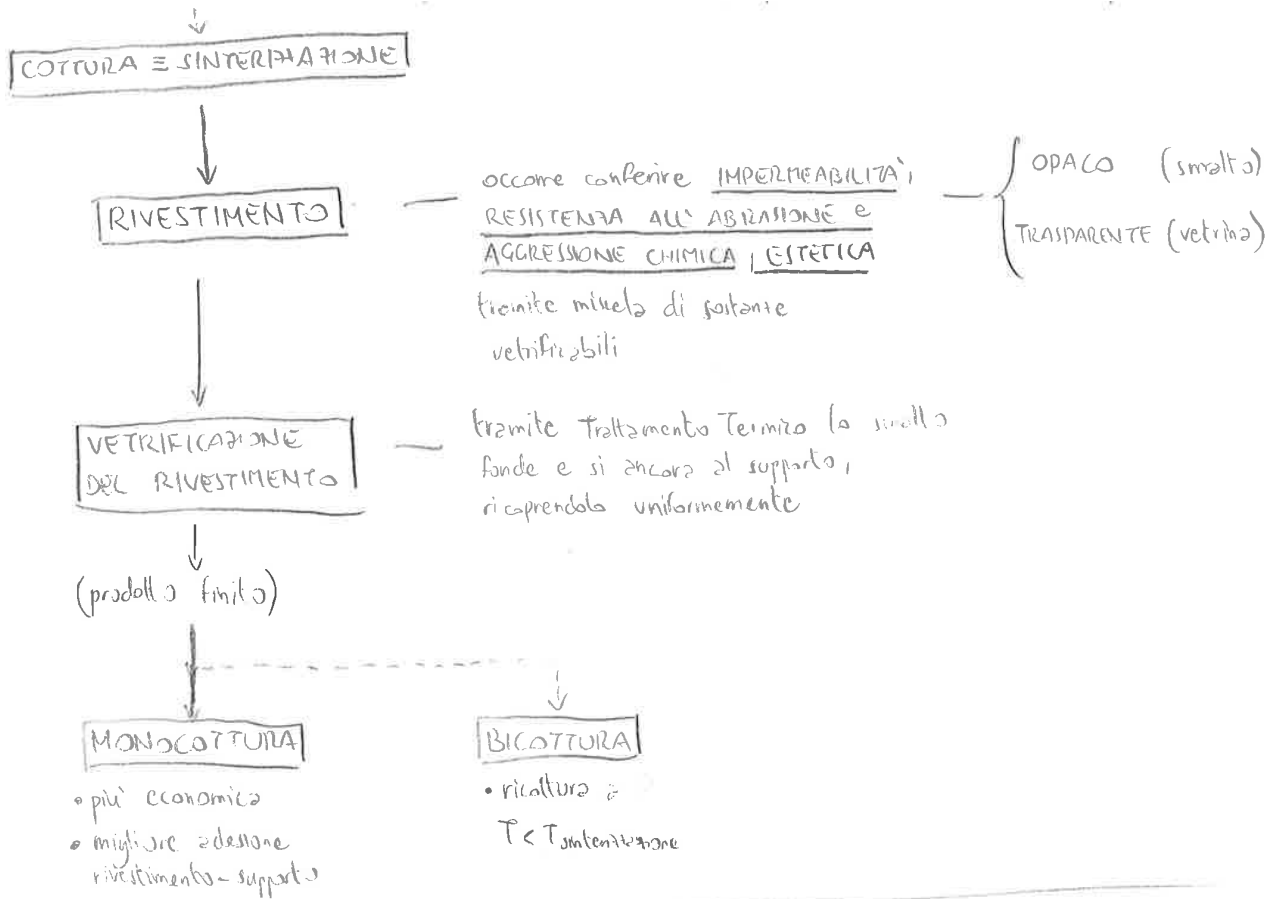
ESSICCAMENTO (3)

COTTURA (4)

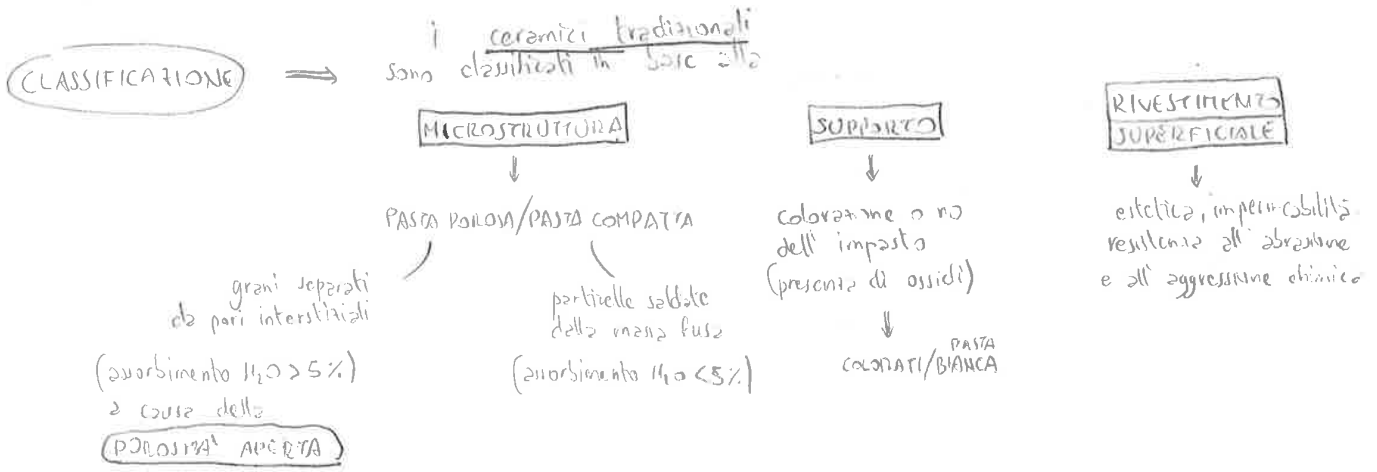
PRESSATURA
ESTRUSIONE
COLAUCIO

↑
contenuto d'acqua crescente

3



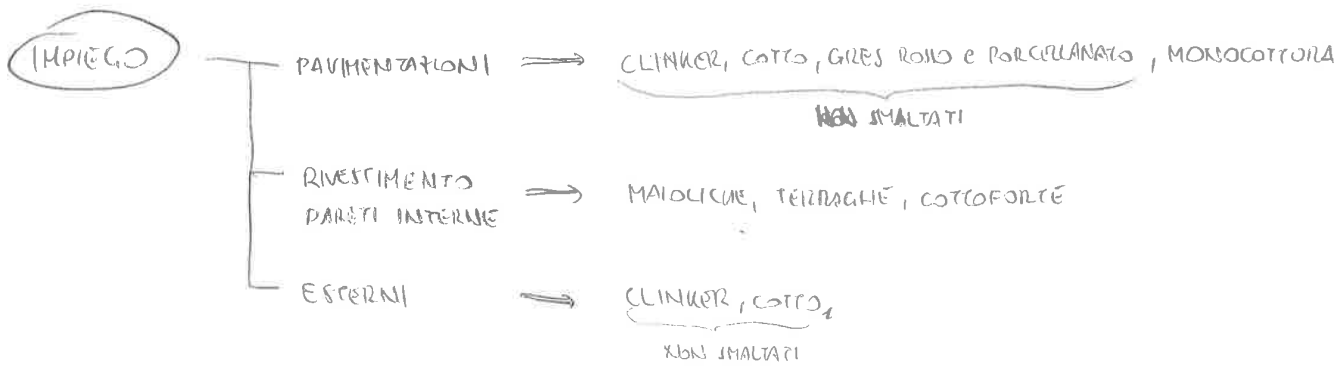
CERAMICI TRADIZIONALI



- ② MURATURA FACCIA A VISTA : uso di argille selezionate per avere DURABILITÀ, dimensioni e colori UNIFORMI e TRATTATI SUPERFICIALMENTE.
 Vengono classificati in:
 - ESTRUSI
 - PASTA MOLLE
 - PRESSATI
 frangisole: delimitano gli spazi e permettono il passaggio di luce e aria
- ③ SOLAI (strutture orizzontali): utilizzati per definire i piani di un edificio, o copertura. Sono blocchi forati (foratura=60-75%) impiegati insieme a cemento e acciaio per travi
- ④ COPERATURE (tegole e coppi): assemblati per formare la copertura, si dividono in:
 - TEGOLE CURVE o COPPI — sovrapposizione di elementi
 - TEGOLE PIANE — incastrate fra loro
- ⑤ TRAMELLI E TAMPONAMENTI : maggiore foratura \Rightarrow MINORE CAPACITÀ PORTANTE
- ⑥ TAVELLE E TAVELLONI : elementi forati impiegati per la realizzazione di strutture orizzontali, tramezzature, controsoffitti e per isolamento termico
- ⑦ VAUVENTAGIONE : diverse forme e dimensioni, sono messi in opera o su massello di sabbia, garantiscono DURABILITÀ, RESISTENZA ALLO SCIVOLAMENTO, ECOLOGICITÀ ecc. (UNI EN 1344/06)

- REQUISITI**
- ASPETTO, DIMENSIONI, UNIFORMITÀ
 - RESISTENZA A COMPRESSIONE
 - ADESIONE ALLA MALTA
 - ASSORBIMENTO D'ACQUA
 - RESISTENZA ALL'EFFLORESCENZA
 - CELUIVITÀ
- ① ASPETTO — limite lacerazioni, dimensioni spigoli, limite alle scoppie dei granuli di CaO, assenza di efflorescente
- ② RESISTENZA MECCANICA A FLESSIONE e A COMPRESSIONE — variabile da $5 \div 20$ MPa e varia tra $40 \div 60$ MPa } dipende dalle CONDIZIONI DI PROCESSO e dalla COMPOSIZIONE DELL'IMPASTO:
 - l'alleggerimento con polistirolo riduce la resistenza a flessione
 - carbonati e materiale argilloso fine aumentano la resistenza a flessione
- ③ TOLLERANZA DIMENSIONALE — dimensioni lineari e planarità delle facce
- ④ AGENTI AEROSFERICI \Rightarrow RESISTENZA AI CICLI GEL/DINGELO e IMPERMEABILITÀ
- ⑤ POROSITÀ — determina il peso specifico del prodotto — sono piccoli valori m_{10} e m_{20} e m_{30}

5



PIASTRELLE CERAMICHE ⇒ lastre solite e di vario formato per rivestimento pareti e pavimenti ⇒

- (GL) SMALTATE
ricoperte da strato di vetro colorato con funzioni ESTETICHE e TECNICHE (durezza, impermeabilità)
- (UGL) NON SMALTATE
senza rivestimento

UNI EN 14411 → classificazione in base al **ASSORBIMENTO D'ACQUA** e al **METODO DI FISSATURA**

↓
dipende dalla **POROSITÀ APERTA** che mette in comunicazione la superficie esterna con l'interno

ESEMPI

	PASTA POROSA: TERRAGLIA	PASTA COMPATTA: GRES ROSSO
• composizione	argilla: caolina pura smegrante: sabbia quarzifera fondente: CaCO ₃ (terrazzole dotate) feldspati (terrazzole forti)	argilla: alto contenuto di ossido di Fe smegrante: sabbia fondente: bassa contenuto di CaCO ₃
• colore	bianco	rosso bruno
• proprietà	elevata porosità resistenza meccanica modesta smaltatura → durezza, impermeabilità (contro umidità)	resistenza meccanica, all'abrasione, agli acidi e basi, al gelo
• processo di formazione	pressatura	pressatura
• superficie	smaltata	non smaltata
• applicazioni	rivestimento pareti interne	pavimentazione interna o esterna



DEGRADO

UMIDITA' NELLE MURATURE

dovuta a:

⇒ comporta **DEGRADO DA GELO/DISGELO**
EFFLORESCENZE/SUBEFFLORESCENZE

RISALITA CAPILLARE o ASCENDENTE

dovuta al SOTTOSUOLO, l'acqua risale per le FORZE OSMOTICHE, provoca **MACCHIE** sulle pareti in varie zone a seconda della porosità, difficile da rimuovere ⇒ meglio PREVENIRE LA RISALITA DELL'UMIDITA' DEL TERRENO

- alto basamento in pietra
- uso di mattoni vetrificati, impermeabili
- guaine impermeabili tra parete e terreno
- taglio nel muro e inserimento di guaina impermeabile o liquido idrorepellente
- vespi aerei per favorire evaporazione

DA CONDENSATIONE

dovuta alla CONDENSA SULLA PARETE a contatto con ambiente umido, dipende dalla dimensione dei pori e dalle T tra interna ed esterna

DA COSTRUZIONE

è l'umidità ACCUMULATA dai singoli componenti durante la costruzione, che nel tempo è caduta all'ambiente ⇒

dipende dalle condizioni ambientali esterne, come T, umidità e velocità aria

DISCENDENTE

(METEORICA o DI INFILTRAZIONE)

dovuta all'UMIDITA' DELL'ARIA o alle INFILTRAZIONI nelle fessurazioni dell'intonaco e dell'ACQUA PIOVANA

⇒ occorre PROGETTARE LA COPERTURA per evitare l'insorgere di muffe ed efflorescente

ACCIDENTALE

DA TERRAPIENO

UMIDITA' NELLE MURATURE

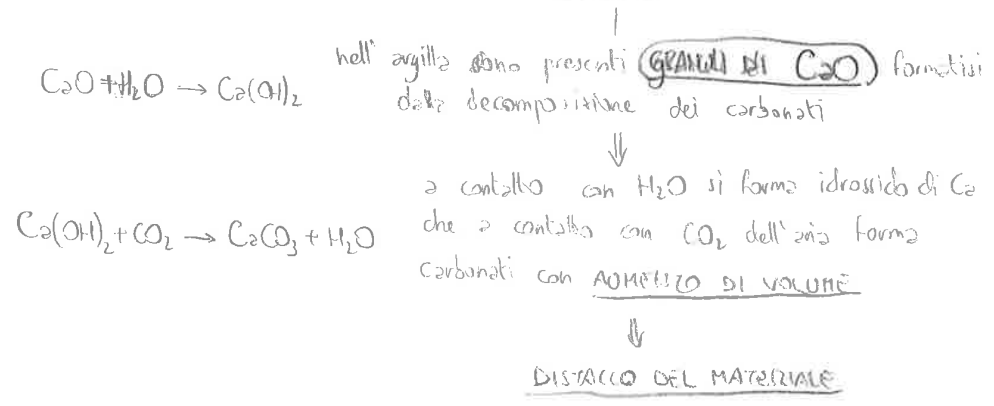
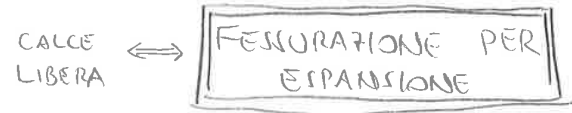
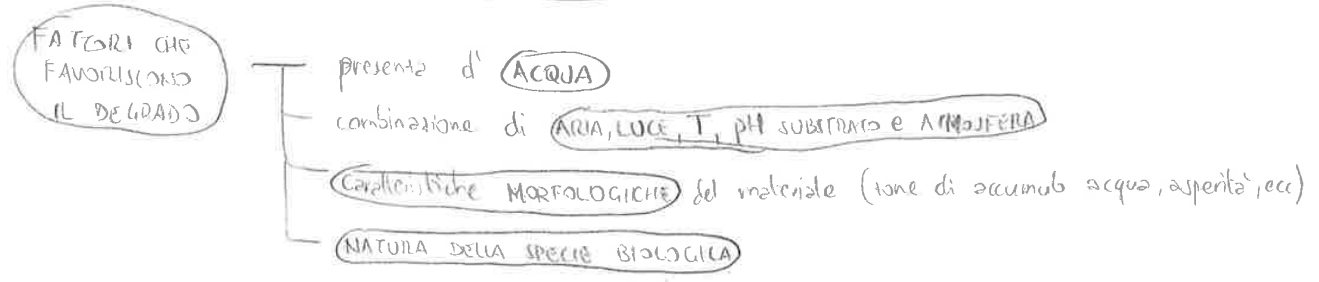
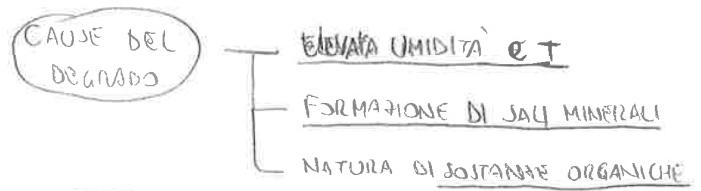
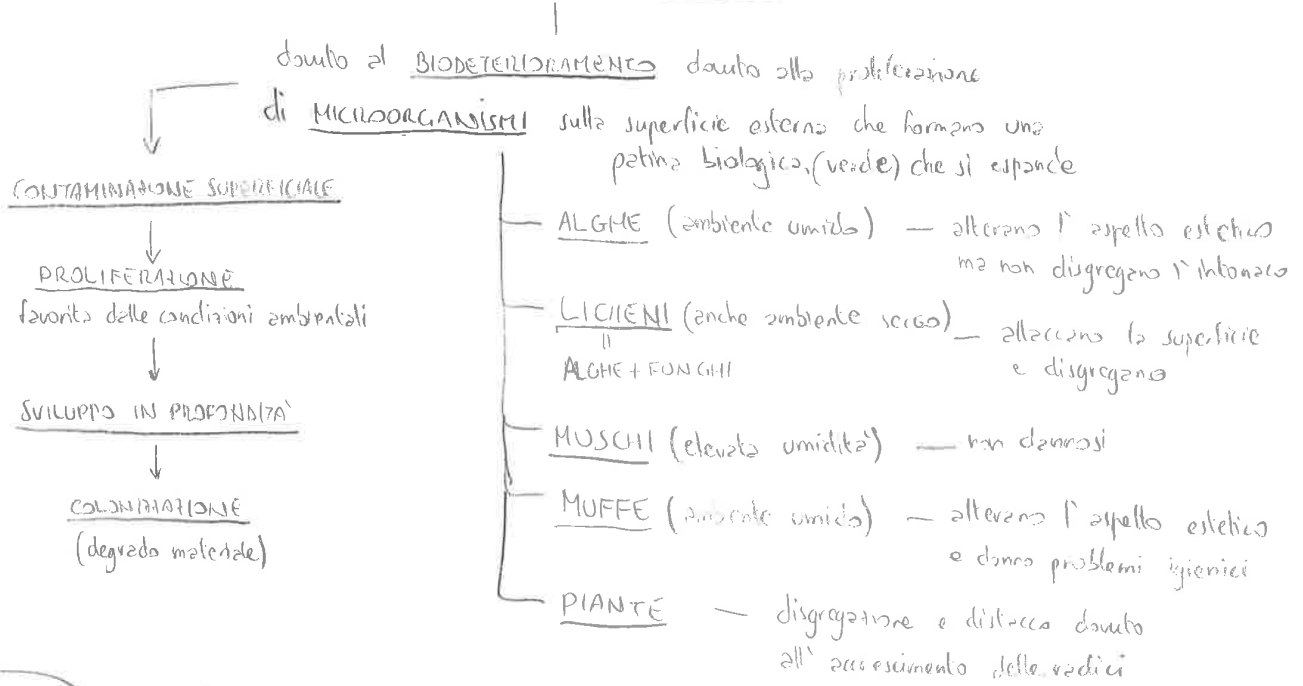
DEGRADO DA GELO/DISGELO

in presenza di UMIDITA' e FORTI ESCURSIONI TERMICHE a cavallo della T=0°C i laterizi degradano a causa della formazione di ghiaccio nelle porosità e del conseguente AUMENTO DI VOLUME (~9%)





DEGRADO BIOLOGICO



8

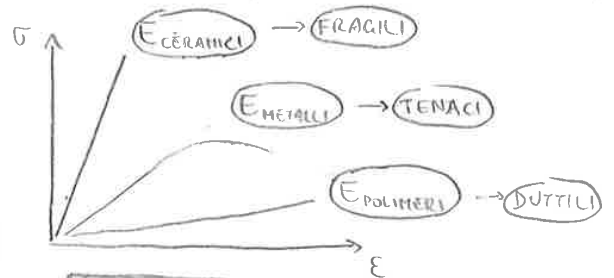
MODULO DI YOUNG

$E [MPa]$

valori alti indicano che occorrono alte tensioni per produrre modeste deformazioni

(RIGIDO MA FRAGILE) ⇒ CERAMICI

valori bassi indicano che occorrono bassi sforzi per produrre grandi deformazioni ⇒ POLIMERI



$E_{CERAMICI} > E_{METALLI} >> E_{POLIMERI}$

il modulo di Young è proporzionale alla FORZA DI LEGAME

COVALENTE o IONICO > METALLICO > LEGAMI SECONDARI

quindi anche alla TEMPERATURA DI FUSIONE

$T_{f,CERAMICI} > T_{f,METALLI} > T_{f,POLIMERI}$

es. TiC, Al_2O_3 | Fe, Cu, Al | PE

CARICO DI SNERVAMENTO

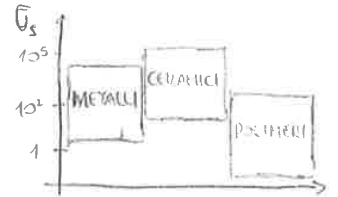
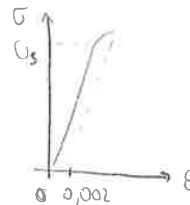
$\sigma_s = \sigma_y [MPa]$

$\sigma_{0,2}$

max sulle citazioni ELASTICA che il materiale può sopportare. → cioè senza subire ϵ permanenti

(Corrisponde al limite oltre il quale la DEFORMAZIONE procede a $\sigma = const.$)

Si valuta come il carico a cui corrisponde una ϵ permanente di 0,2%



COMPORTAMENTO PLASTICO

→ oltre il carico di snervamento

si ha deformazione irreversibile: plastica

⇒ rottura dei legami e formazione di nuovi legami tra atomi e dislocazioni

FRAGILITA'

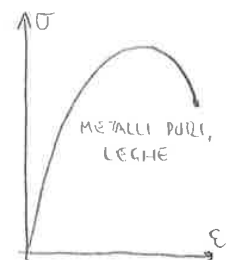
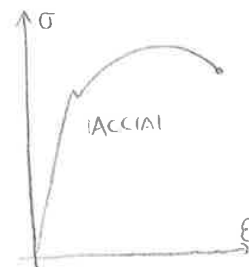
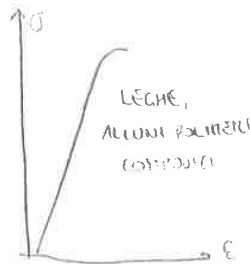
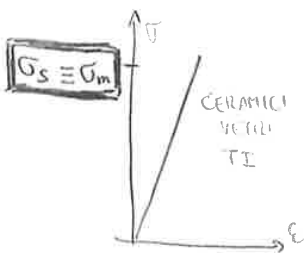
deformazione plastica inesistente $A < 5\%$

CERAMICI, VETRI, POLIMERI TI

DUTTILITA'

deformazione plastica notevole prima di andare a rottura e in fase di fabbricazione dei componenti

METALLI PURI, LEGHE, POLIMERI



non presentano fase duttile perché il LEGAME COVALENTE o IONICO rende difficile lo SPOSTAMENTO DELLE DISLOCAZIONI

CERAMICI AVANZATI

utilizzati come rinforzanti all'interno dei COMPOSITI

prodotti INORGANICI NON METALLICI e POLICRISTALLINI
(OSSIDI, NITRURI, CARBURI)

ad LIMITATA ELEVATA DENSITA', prodotti per SINTERIZZAZIONE partendo da materie prime selezionate per fornire PRESTAZIONI STRUTTURALI o/e PRESTAZIONI FUNZIONALI

RESISTENZA MECCANICA e ALL'USURA
in condizioni di T e p ELEVATE e AMBIENTI AGGRESSIVI

proprietà ELETTRICHE, ELETTRONICHE, OTICHE, MAGNETICHE

PROPRIETA'

- DENSITA' LIMITATA
- MODULO ELASTICO ELEVATO ⇒ TENSIONE ELEVATA ⇒ (REFRATTARI)
- DUREZZA ELEVATA
- RESISTENZA A CORROSIONE BUONA
- ISOLANTI ELETTRICI E TERMICI ⇒ utilizzati come ISOLANTI o al massimo come SEMICONDUTTORI ⇒ dovuto all' legame ionico-covalente che determina la struttura cristallina
- STABILITA' CHIMICA ⇒ dovuto ai legami ionico-covalente ⇒ dovuto all' ASSENZA DI e⁻ LIBERI
- ✗ FRAGILITA' INTRINSECA (ASSENZA DI DEFORMAZIONE PLASTICA) ⇒ TENACITA' A FATTURA BASSA
- ✗ FRAGILITA' ESTRINSECA (POROSITA')
- ✗ RESISTENZA A TRAZIONE E FLESSIONE BASSA

ESEMPI

ALLUMINA (Al_2O_3)
(CORINDONE)

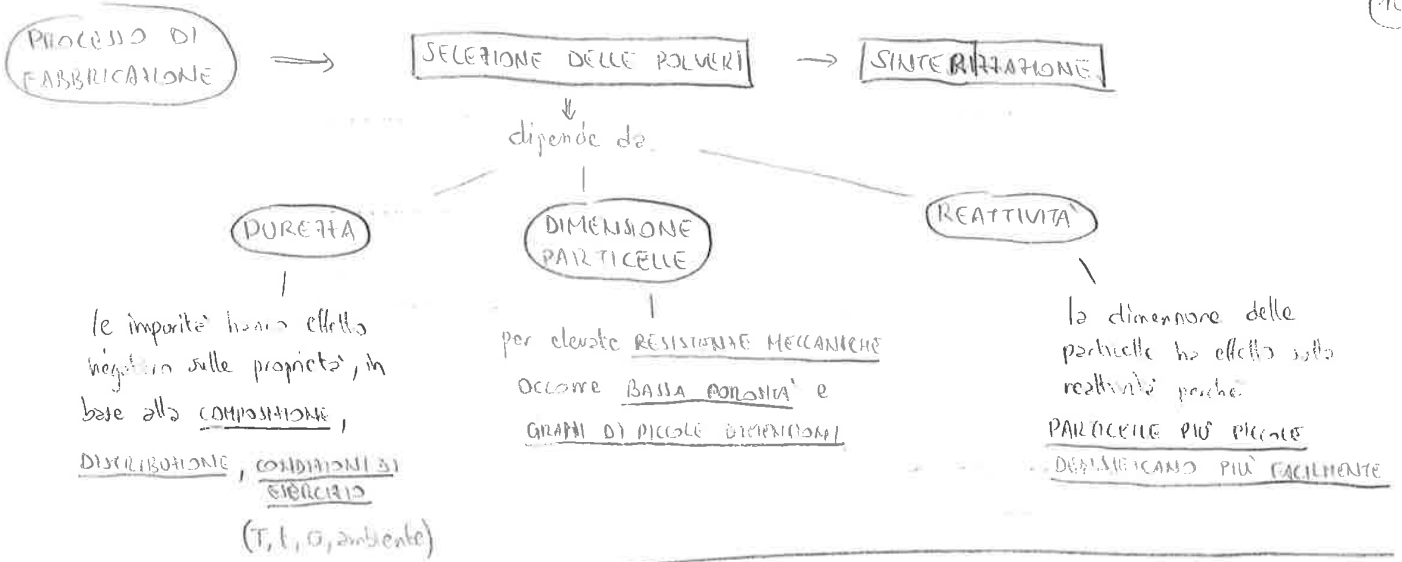
- resistenza meccanica
- resistenza all'abrasione
- resistenza alle alte T
- isolante elettrico
- conduttore termico
- basso costo
- bassa resistenza allo shock termico
- bassa resistenza all'impallo

- ⇒ impiegato come
- isolante termico e elettrico
 - tubazioni refrattarie
 - rinforzi blindature, rivestimenti
 - abrasivo
 - valvole, proteggi
 - ceramiche sanitarie

ZIRCONIA (ZrO_2)
(sinterizzato ad alte T_p)

- resistenza meccanica
- isolante termico
- resistenza alle alte T ma con espansione termica
- conduttore di ioni
- isolante elettrico
- bassa resistenza agli shock termici

- ⇒ impiegato per:
- utensili da cucina
 - sensori di ossigeno
 - membrane



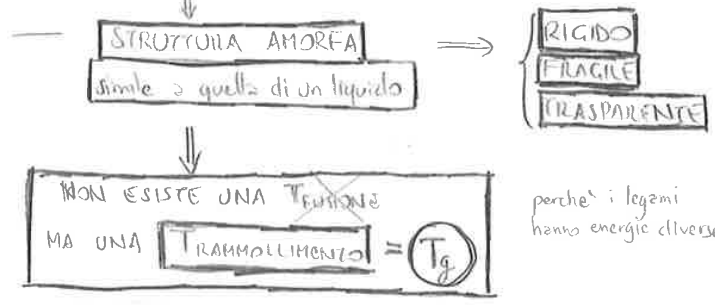
NETRI (INORGANICI) ^{SONO}

MISCELA DI SILICATI in cui avviene SOLIDIFICAZIONE SENZA CRISTALLIZZAZIONE di una miscela formata da (SILICE + SODA + CALCE) che viene FUSA a $(T \sim 1500^\circ C)$ ottenendo una massa viscosa

↓
la VELOCITÀ DI RAFFREDDAMENTO è così ELEVATA da non permettere agli atomi di formare un reticolo cristallino ordinato

↓
raffreddamento della massa che diventa sempre più VISCOSA (resistente) e si IRRICIDISCE ottenendo

È termodinamicamente **METASTABILE**, cioè può diventare cristallina, se le condizioni lo permettono, (per il PRINCIPIO DI MINIMA ENERGIA)



PROPRIETÀ

VANTAGGI

- ELEVATA RESISTENZA A COMPRESIONE (1 GPa)
- (CONTRAZIONAMENTO LINEARE)
- BASSA DILATAZIONE TERMICA E ELETTRICA
- BASSA CONDOTTIVITÀ TERMICA
- INERZIA CHIMICA (solo HF è in grado di attaccare il vetro)
- IMPERMEABILITÀ A LIQUIDI/GAS
- DURABILITÀ
- RICICLO ∞
- STERILIZZABILITÀ

SVANTAGGI

- FRAGILITÀ
- ALTO PUNTO DI FUSIONE DEL VETRO DURO
- BASSA LAVORABILITÀ ALLE BASI T

COMPOSIZIONE

→ le materie prime dei VETRI INORGANICI sono tutte ossidi!!

VETRIFICANTI

(ACIDI)

FORMATORI

↓
Inducono lo stato vetroso al raffreddamento, dopo fusione



SILICE privo di FeO

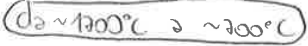
(ma anche B₂O₃, P₂O₅, GeO₂, TeO₂)

FONDENTI

(BASICI)

MODIFICATORI

↓
non sono in grado di vetrificare ma possono abbassare la T_{viscosità} (perché si inseriscono nel reticolo amorfo e sono liberi di diffondere)



(ossidi alcalini e alcalino-terrosi)

OSSIDI STABILIZZANTI

(BASICI)

INTERMEDI

↓
non sono in grado di vetrificare ma aumentano il coeff. di dilat. termica (?) e la resistenza meccanica e chimica (si inseriscono anche questi nel reticolo di SiO₂)



↓
possono essere

- **COLORANTI** • **OPACIFICANTI**
- **DECOLORANTI**

(per eliminare il giallo/verde degli ossidi di Fe dei vetri acidati) e ottenere vetro puro trasparente o colorato

PRINCIPIO FISICO
(aggiunta di colore complementare: neutralizzazione)

PRINCIPIO CHIMICO
(ossidazione o riduzione dell'elemento)

CICLO PRODUTTIVO

MATERIE PRIME

→ sabbie silicee e rottami di vetro

MACINAZIONE, DOSAGGIO E MISCLAZIONE

→ macinazione in grani (mm) e mescolamento delle polveri fino a ottenere una MISCELA OMOGENEA

AFFINAGGIO E OMOGENEIZZAZIONE

durante la fusione vengono aggiunti **AFFINANTI** (rotoli, rotoli) formano GAS AD ALTA T che tendono a trascinare con sé vetro l'alto bolle e IMPURETTE (decomposizione carbonati) e promuovono il RIMESCOLAMENTO e l'OMOGENEIZZAZIONE

FUSIONE

→ si ottiene una miscela FLUIDA e OMOGENEA a **T ≈ 1400 → 1600 °C** all'interno di FORNI A RIVERBERO

A CRUCIOLA (piccoli volumi)

A BACINO (produzione di massa)

FORMATURA

→ (si preleva la massa fusa appena al di sotto della superficie (minori bolle e impurezze))

- es. VETRI DA LASTRE
- 72% SiO₂ (sabbie)
 - 14% Na₂O (Na₂CO₃)
 - 9% CaO (CaCO₃, rottame)

SOFFIATURA

per il **VERILO CAVO**
 si realizza un processo di SOFFIATURA DEL MATERIALE FUSO IN STAMPI

MATERIE PRIME dosate, miscelate e immerse nel forno
 ↓
 Forno FUORNO AD ALTE T ($T > 1500^{\circ}C$) da cui esce il liquido fuso
 ↓
 CANALI DI CONDIZIONAMENTO TERMICO dove il liquido è reso viscoso e tagliato in 'gocce'
 ↓
 STAMPO entro cui la goccia cade per gravità
 ↓
 FORMATURA SOFFIO-SOFFIO nello stampo o PLESSO-SOFFIO
 ↓
 RICOTTURA per eliminare le tensioni residue
 ↓
 RAFFREDDAMENTO GRADUALE FINO A l'ambiente

TERMOFORMATURA

— lastra molle ADAGIATA SU UNO STAMPO che gli conferisce la forma → (resistenza strutturale dovuta alla forma e al lento raffreddamento)

COLATURA (CASTING)

— colatura del vetro fuso in uno STAMPO e poi levigazione e lavorazione superficiale

FILATURA

per **VERILO CAVO (TORI) E FIBRE DI VETRO (E LANE DI VETRO)**

— le FIBRE si ottengono per TIRATURA MECCANICA, CENTRIFUGAZIONE o SOFFIATURA

FIBRE LUNGHE → miscelano gli materiali polimerici
 ↓
FIBRE CORTE → isolamento termoisolante, coibentazione, ecc.

↓
 dopo il filaggio sono trattate con RESINE e passate in stufa a $250^{\circ}C$ dove avviene la POLIMERIZZAZIONE DELLE RESINE

RESINE POLIESTERE, EPOSSICHE, ACRILICHE

5) RICOTTURA

→ dopo la formatura avviene il raffreddamento (rapido) quindi occorre ELIMINARE LE TENSIONI RESIDUE dovute a ΔT tra cuore e superficie, riscaldando alla T_{ricottura} per 15', a cui segue RAFFREDDAMENTO LUNGO

CONCENTRAZIONE DEGLI SFORZI

i DIFETTI agiscono come concentratori degli sforzi intensificandoli di 2-3 ordini di grandezza



$\sigma_m > \sigma_0$
tensione effettiva > tensione nominale

cricca ellittica
 $\sigma_m = \sigma_0 \left(1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho_f}}\right)$
 cricca allungata (ρ_f piccolo)
 $\frac{a}{\rho_f} \gg 1 \Rightarrow \sigma_m \gg \sigma_0$
 a = metà asse cricca ellittica
 ρ_f = raggio curvatura di una cricca

FATTORE DI CONCENTRAZIONE DEGLI SFORZI

$K = \frac{\sigma_m}{\sigma_0}$

MATERIALE DUTILE

⇒ cricche vengono arrotondate e la σ_m diminuisce

MATERIALE FRAGILE

⇒ rottura di schianto

PROPRIETÀ MECCANICHE

- RESISTENZA A COMPRESIONE ALTA ($\sigma \sim 1 \text{ GPa}$)
- RESISTENZA A FLESSIONE ($\sigma = 40-120 \text{ MPa}$ (temperate))
- ROTTURA DOVUTA A FATICA STATICA — dovuto alla diffusione del vapor d'acqua atmosferico all'apice delle microfessure

TEORIA DI GRIFFITH

durante la PROPAGAZIONE DI UNA CRICCA il materiale:

— CENS energia di def. elastica
 — ASSORBE energia superficiale per creare 2 nuove superfici agli estremi della cricca

UNA CRICCA ELLITTICA SI PROPAGA SOLO QUANDO SUPERA LA $\sigma_{critica}$

Mat. FRAGILE ⇒ $\sigma_c = \sqrt{\frac{2E \gamma_{superfic}}{\pi a}}$
 Mat. DUTILE ⇒ $\sigma_c = \sqrt{\frac{2E (\gamma_s + \gamma_{frattura})}{\pi a}}$

⇒ $\frac{\sigma^2 \pi a}{E} > G_c$

G_c = VELOCITÀ DI RILASCIO DELL'EN. CRITICA DI DEFORMAZIONE

nei MATERIALI FRAGILI IN PRESENZA DI DIFETTI

LA FRATTURA SI PROPAGA SE

$\sigma > \sigma_c \Rightarrow K_I = Y\left(\frac{a}{W}\right) \cdot \sigma_c \sqrt{\pi a} \quad [MPa \cdot m^{1/2}]$

TENACITÀ A FRATTURA

misura la resistenza di un materiale alla frattura fragile in presenza di cricca cioè misura l'energia assorbibile

MATERIALI FRAGILI

⇒ **ASSENZA DI DEFORMAZIONE PLASTICA**

⇒ **BASSA K_{Ic} TENACITÀ A FRATTURA**

⇒ **ROTTURA DI SCHIANTO**

PROPRIETA' TERMICHE

occorre valutare
TRASMISSIONE DI CALORE
 e
VARIAZIONI DIMENSIONALI

la STRUTTURA AMORFA
 (disordinata) e
 l'IMPOSSIBILITA' DI MOVIMENTO degli e⁻
 riducono la propagazione delle
ONDE TERMOELASTICHE

CONDUCEBILITA'

$K \approx 1 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$

quantità di calore
 trasmessa nel tempo $\frac{Q}{(A \cdot t)} = K \left(\frac{\Delta T}{\Delta x} \right)$
 attraverso una superficie
 sotto un gradiente di T

CATTIVO CONDUTTORE TERMICO

ma comunque meno efficace
 di legno, murature o calcestruzzo
 ($K=0,14$) ($K \leq 1$) ($K=1,66$)
 spesso elastici

$K_{METALLI} \gg K_{CERAMICI} > K_{POLIMERI}$

struttura disordinata → il cammino dei fononi è ostacolato → cattivi conduttori

come ISOLANTE TERMICO

la conducibilità è dovuta solo alle
VIBRAZIONI TERMICHE DEL RETICOLO

occorre utilizzare particolari
RIVESTIMENTI SUL VETRO
 per attuare l'isolamento termico

alle ALTE T è dovuta all'IRRAGGIAMENTO
 e alla COMPOSIZIONE DEL VETRO (es. il Fe assorbe il campo IR e riduce K)

DILATAZIONE TERMICA

$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \alpha \Delta T$

$\alpha \approx 10^{-5} [K^{-1}]$

aumento di lunghezza subito dal materiale per aumento di T

influenza la possibilità di ACCOPPIARE AL VETRO ALTRI MATERIALI
 e la RESISTENZA AGLI SHOCK TERMICI (α BASSO)

$\alpha_{POLIMERI} \gg \alpha_{METALLI} > \alpha_{CERAMICI}$

la dilatazione dipende
 • dal tipo di LEGAME ATOMICO:

legame più forte → ampiezza di vibrazione degli atomi minore ⇒ dilatazione termica inferiore

minori tensioni transitorie (termiche) che si occorrono durante un rapido raffreddamento per le diverse velocità di raffreddamento e contrazione tra cuore e superficie

• e dalla COMPOSIZIONE:
 alcuni modificatori indeboliscono il reticolo rompendo i legami primari (H_2O, B_2O_3, GeO_2)

PROPRIETA' OTTICHE

TRASPARENZA

capacità di TRASMETTERE le radiazioni ottiche VISIBILI
 ($\lambda = 380 - 780 \text{ nm}$)

30% trasmesso
 8% riflesso
 2% assorbito

VETRO INCOLORE

VETRO COLORATO

assorbe le λ del visibile corrispondenti agli

OSSIDI DEI METALLI DI TRANSIZIONE ($Cu^{2+}, Mn^{3+}, Fe^{3+}, Cr^{6+}$)

che compongono il vetro e dipende dall'AMBIENTE OSSIDANTE/RIDUCENTE in cui si forma

RIFRAZIONE

VARIAZIONE DELLA DIREZIONE DI PROPAGAZIONE DELLA RADIAZIONE per le diverse velocità delle onde di aria a vetro

dipende dalla λ e dalla COMPOSIZIONE DEL VETRO

COMPOSIZIONE CHIMICA

VETRO DI SILICE

$T_{fus} > 2000^{\circ}C$

LAVORAZIONE DIFFICILE (T_{fus} ALTA)
 RESISTENZA ALLE ALTE T ($800^{\circ}C$)
RESISTENZA AGLI SHOCK TERMICI **ELEVATA!**
 BASSO COEFF. DI DILATAZ. TERMICA
 ELEVATA RESISTENZA CHIMICA
 TRASPARENTE A UV e IR

strumenti
 ottici

VETRO SODA-LIME
 (VETRO COMUNE)

$T_{fus} = 400-500^{\circ}C$
 $T_g \sim 300^{\circ}C$

BASSO COSTO
FACILE LAVORAZIONE (fondenti)
 ALTO COEFF. DI DILATAZ. TERMICA
 BASSA RESISTENZA AGLI SHOCK TERMICI
 DURABILITA (Al_2O_3)
 TRASPARENTE SE PRIVO DI IMPURITA'

vetri per
 finestre, bulbi,
 bottiglie, tubi,
 contenitori

SILICATO DI Pb

T_{fus} più basso

FACILE LAVORAZIONE (fondenti)
 Pb
ALTA RIFLESSIONE → BRILLANTEZZA
 NON ADATTI A USI ALIMENTARI (Pb)

luci, lenti,
 schermi per
 televisori
 (50% Pb)

BOROSILICATO
 (PIREX)

(T_{fus} più elevato)
 $T_{fus} = 800-850^{\circ}C$

LAVORAZIONE PIÙ DIFFICILE (T_{fus} alto)
 RESISTENZA ALLE ALTE T ($500^{\circ}C$)
RESISTENZA AGLI SHOCK TERMICI
 BASSO COEFF. DI DILATAZ. TERMICA
 RESISTENZA ALL'IMPATTO
 INERZIA CHIMICA
 ALTA RESISTIVITA' ELETTRICA

vetri da
 laboratorio,
 isolanti
 elettrici,
 termometri,
 vetro da
 fondo,
 contenitori
 per nuclei

ALLUMINO-BORO
 -SILICATI

RESISTENZA CHIMICA (Al_2O_3)
 RESISTENZA AGLI SHOCK TERMICI

profumi,
 contenitori
 farmaci

ALLUMINO-SILICATI

RESISTENZA ALLE ALTE T
 RESISTENZA AGLI SHOCK TERMICI

schermi per
 telefoni

APPLICAZIONI
 EDILITIE

PRIMA era
 elemento di discontinuità
 e debolezza
 (illuminazione e protezione)

OGGI è
 valorizzato il suo aspetto estetico
 e le sue applicazioni strutturali
 (risparmio energetico, comfort acustico, termico)
sicurezza
trasparenza, luminosità, continuità dentro/fuori

16

VETRI PER CONTROLLO SOLARE E ISOLAMENTO TERMICO

LUCE

ATTENUAZIONE DELLA RADIAZIONE solare nel periodo estivo

VETRI ASSORBENTI

vetri colorati che bloccano la radiazione incidente assorbendola ma la rirradiano verso l'interno in parte

colorati con l'aggiunta di ossidi metallici riducendo la trasmittanza

se assorbono parte della luce visibile potrebbero necessitare di illuminazione artificiale

VETRI RIFLETTENTI

riflettono la radiazione incidente, trasmettendo solo il 50% dall'altra parte

ottenuti dalla deposizione di metalli o ossidi metallici tramite
 • PURCUIST (resgenti spruzzati sulla superficie)
 • SPUTTERING CATERDICO (elettrodeposizione)

non conviene aumentare lo spessore ma la conduttività termica (diminuisce)

VETRI ISOLANTI (VETROCAMERE)

lastre di vetro alternate ad INTERCAPEDINI di ARIA IMMOBILE SECCA, perché i gas fermi non possono generare fenomeni convettivi

VETRI BASSEMISSIVI

le dispersioni termiche per irraggiamento dei corpi all'interno vengono ASSORBITE E RIEMESSE all'interno

lastre di vetro ricoperte da un FILM A BASSA EMISSIVITA', cioè alta riflettanza nell'IR lontano

STRATO DI ARGENTO (Ag) PROTETTO DA OSIDI DI Zn, A CONTATTO CON ARIA SECCA

(GUARDARE IMMAGINI PULVINI)

CALORE

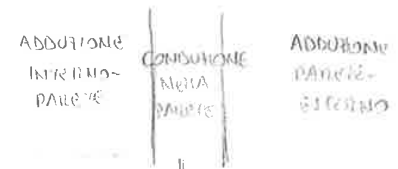
miglioramenti dell'ISOLAMENTO TERMICO delle vetrate in periodo invernale

la DISPERSIONE TERMICA deve essere limitata

$$Q = -U\Delta T + G_e \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Flussi di dispersione calore di calore irraggiamento solare

la TRASMITTANZA è il contributo di trasferimento di calore dato da

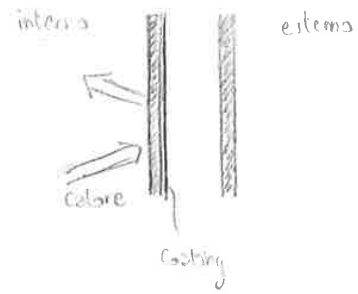


il trasferimento di calore è più difficile se

AUMENTA LO SPESORE e/o DIMINUISCE LA CONDUCIBILITA' TERMICA

$$K_{VETRO} = 0,78 \frac{W}{mK}$$

$$K_{ARIA FERMA} = 0,026 \frac{W}{mK}$$



RESISTENZA ALLE ESPLOSIONI

— vetri temprati, stratificati

RESISTENZA AL FUOCO

— si interpongono tra PIU' LASTRE degli INTERCALARI REATTIVI AL CALORE che generano SCHIUMA POROSA e ALTOPROTEGENTE

PANNELLI DI VETRO CLASSE REI

si dividono in:

RESISTENTI AL FUOCO SENZA ISOLAMENTO
(tenuta < 30 minuti)

RESISTENTI AL FUOCO CON ISOLAMENTO
(tenuta > 30 minuti)

↓ $\Delta T^{\circ}C$
 FLOAT : $\approx 30-40$ propaga la crisi
 RICOTTI : $\approx 80-120$ ramifica la crisi
 TEMPERATI : $\approx 180-200$ esplosione il vetro

VETRI SPECIALI

MATTONE IN VETRO

utilizzato in edilizia tradizionale: coperture, pavimentazioni, strutture verticali

- SCOPPI ESTETICI/DECORATIVI
- TRASPARENZA → ILLUMINAZIONE DI AMBIENTI CON Poca LUCE
- ISOLAMENTO TERMICO E ACUSTICO → dovuto alla massa elevata e alla camera d'aria interna
- RESISTENZA AL FUOCO

VETRO AUTOPULENTE

(rivestimento con Na^+ e TiO_2)

vetro che necessita di un lavaggio meno frequente dovuto a:

- EFFETTO FOTOCATALITICO :
- EFFETTO IDROFILO :

il rivestimento riflette la radiazione UV e provoca la DECOMPOSIZIONE DELLO SPORCO ORGANICO sulla superficie

il rivestimento crea una superficie liscia che attrae l'acqua creando un film sottile che riduce l'aderenza dello sporco e viene rimosso insieme all'acqua stessa

VETRI SENSIBILI ALLE RADIAZIONI

quando esposti a radiazioni si colorano più o meno intensamente

VETRI FOTOSENSIBILI

vetri silicatici che subiscono irradiazione con RAGGI UV e RAGGI X e successivo T.T. $\approx 400-600^{\circ}C$ che conferisce una COLORAZIONE IRREVERSIBILE

⇒ circuiti stampati, pellicole fotografiche

VETRI FOTOCROMICI

vetri con fase dispersa di cloruri, ioduri e bromuri nella fase vetrosa che vengono esposti a RAGGI UV e VIS e subiscono una SCURIMENTO REVERSIBILE

⇒ filtri per radiazioni IR, lenti, occhiali da sole

VETRI INTELLIGENTI (VETRI ELETTROCROMICI)

un circuito elettrico può attivare l'OSCURAMENTO DEL TiO_2 contenuto nelle lastre, conferendo controllo luminoso o termico

⇒ finestre

VETRI PILOTETTICI

VETRO

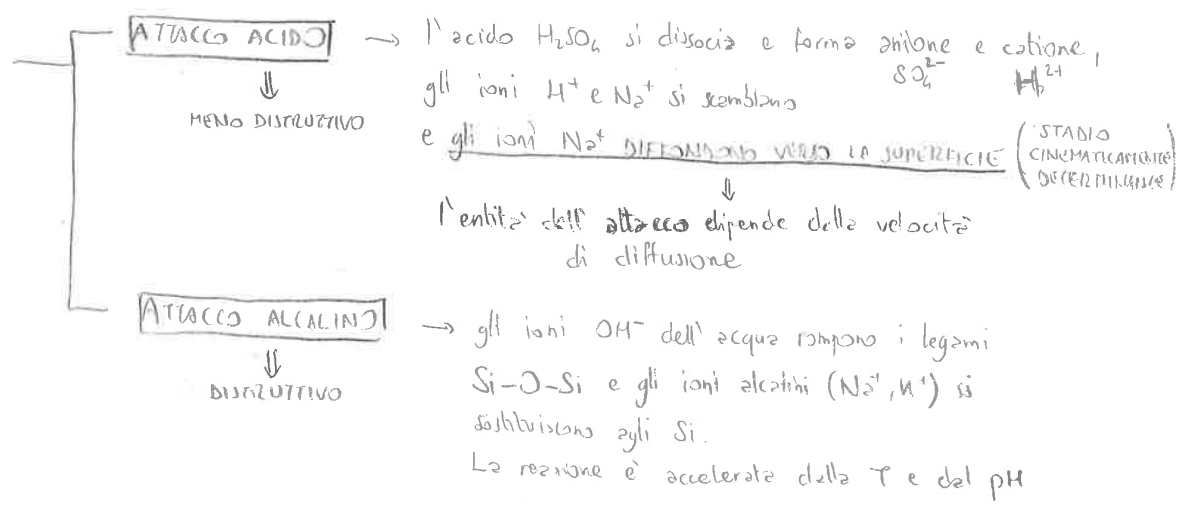
QUANTITÀ PIÙ
ALTA DI SI
RENDICE MEGLIO
ALLA CORROSIONE

DURABILITÀ E DEGRADO

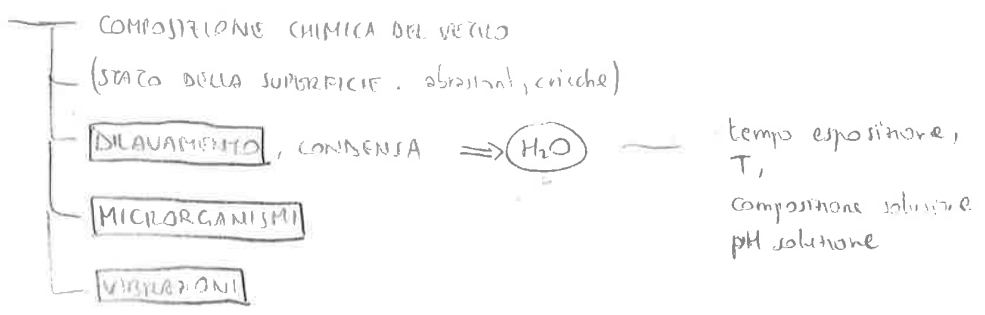
i SILICATI hanno ELEVATA INERZIA CHIMICA,
tuttavia i vetri possono reagire con soluzioni
acquose che alterano la struttura, ma nella
realtà non interagiscono con nessuna sostanza
acida o neutra a $T < 300^\circ\text{C}$ (a parte HF)

i SILICO-SODICI (Na) sono solubili
in acqua perché la VELOCITÀ DI DIFFUSIONE
degli Na^+ è elevata (può essere ridotta)
con CaO

MECCANISMI
DI ATTACCO



FATTORI DI
DEGRADO



DEGRADO DOVUTO A $\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2$

- ① per umidità, condensa, precipitazioni, l'acqua si deposita sul vetro e si dissocia in H^+ e OH^- ⇒ **IDROSSIDI**
- ② $\text{OH}^- + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}^+ + \text{CO}_3$ ⇒ **CARBONATI**
- ③ i carbonati diventano solfati depositati sul vetro ⇒ **SOLFATI**

CAUSE DI DEGRADO

DILAVAMENTO

se permangono gocce d'acqua sulla superficie del vetro, in quei punti si manifesta la corrosione

se la condensa è abbastanza pesante, i prodotti ALCALINI sono trasportati via dall'acqua

se i prodotti di corrosione sono portati via dal passaggio d'acqua, si forma un GEL DI SILICIO IDRATO detto **STRATO IDRATATO**,

STRATO IDRATATO

che è uno strato nero in Si che RITARDA LA VELOCITA' DI ATTACCO

↓
La spessore dello strato dipende dalla COMPOSIZIONE DEL VETRO e dalle CONDIZIONI AMBIENTALI

COMPOSIZIONE DEL VETRO

- vetro ricco in Si e Ca ⇒ più durevole
- vetro con composizione meno di Si ⇒ si corrode uniformemente, si forma CROSTA DIGESIO
- vetro povero in Si ma ricco in K ⇒ si corrode facilmente formando SINCENITE

↓
CORROSIONE AUMENTA

COLORE DEL VETRO

dipende dalla capacità di corrosione dei componenti del vetro

ALCUNI TIPI DI GRIGAGLIA trattenono l'umidità perché sono POROSE

VETRI

RICICLO

RENDIMENTO DEL RICICLO È ~ UNITARIO **96%**

il 30% del costo del prodotto dipende dal consumo di energia

↓
L'utilizzo di vetro riciclato permette di RIDURRE LA T. DI FUSIONE e RIDURRE LE EMISSIONI e RIDURRE I COSTI

vantaggi indiretti: emissioni da forni fusori ridotte rispetto alla materia prima

vantaggi diretti: minore consumo di materie prime e combustibili

CLASSIFICAZIONE in base a

ORIGINE

- SINTETICI (resine, plastiche, gomma)
- NATURALI (proteine, polisaccaridi, acidi nucleici, CELLULOSA)

COMPORTEMENTO TERMICO

MATERIE PLASTICHE

TERMOPLASTICI TP (AMORFI o SEMICRISTALLINI)

TERMOINDURIBILI TI (poco densi)



LINEARI o RAMIFICATI

NON RETICOLATI

FORTEMENTE RETICOLATI

Sono FLESSIBILI e RESISTENTI A TAGLI

Sono PIU' DURI e RESISTENTI dei TP

SE SCALDATI RAMMOLLISCONO (maggiore fluidità)

SE SCALDATI NON RAMMOLLISCONO

e se RAFFREDDATI riacquistano la proprietà (PROCESSO REVERSIBILE) ⇒ **RI-FORMAZIONE**

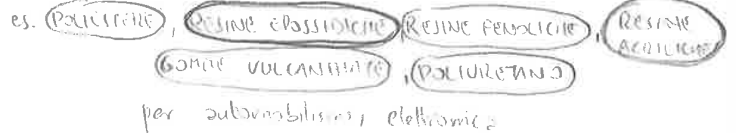
(legami covalenti incrociati molto forti) mantengono la forma e la viscosità

e occorrono T molto alte per distruggere i legami. Quando vengono formati il calore modifica la struttura in modo IRREVERSIBILE

si dividono in:

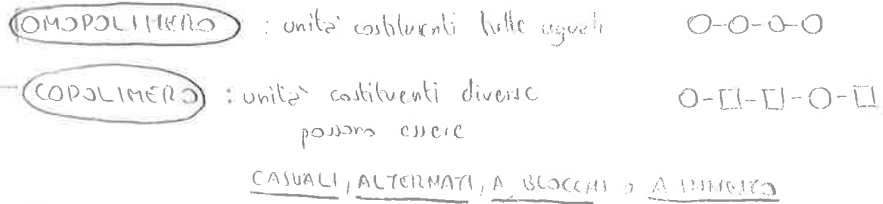


impiegs per tubi, imballaggi, impermeabilizzanti



STRUTTURA

grandi MACROMOLECOLE costituite di monomeri (1000 ÷ 10000)



Un polimero è identificato dalla sua COMPOSIZIONE CHIMICA e dalla sua

LUNGHEZZA ⇒ $\frac{\text{GRADO DI POLIMERIZZAZIONE } (n)}{\text{PESSO MOLECOLARE MEDIO } (PM)}$

$$\left[\begin{array}{cc} H & H \\ -C & -C- \\ | & | \\ H & R \end{array} \right]_n$$

e i suoi LEGAMI possono essere:

- FORTI ⇒ LEGAMI INTRAMOLECOLARI → covalenti, ionici
- DEBOLI ⇒ LEGAMI INTERMOLECOLARI → 2 idrogeno ipobri, Van der Waals