



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 345

DATA : 07/09/2012

A P P U N T I

STUDENTE : Ottina

MATERIA : Scienza e Tecnologia dei Materiali

Prof. Pavese

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.

SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI

Le proprietà del materiale sono legate dal:

- legame chimico;
- tipo di struttura.

Il materiale ha lo scopo di svolgere varie funzioni (termica, meccanica, ottica, magnetica, elettrica...) e bisogna scegliere il materiale più adatto.

Bisogna porci delle domande...

- Come funziona il materiale?
- A cosa serve?
- Come si cura?

... collegando gli usi e le finalità del materiale.
(FINESTRA: vetro - trasparente, il serramento ha la funzione di sostenere la struttura..)

La ceramica è BELLA, SOLIDA ed IGENICA; sono i 3 aspetti fondamentali per sanitari e piastrelle.

"La Scienza dei Materiali serve per capire i materiali e le loro prestazioni; riguarda anche le problematiche di base nel materiale."

I TIPI DI LEGAME

Le proprietà sono delle caratteristiche visibili e deducibili del materiale (elasticità, conducibilità, ...) ed essi vengono classificati in vario modo, in funzione a particolari proprietà:

- LEGAME CHIMICO
- STRUTTURA.

CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI

- METALLI
 - CERAMICI
 - POLIMERI
- } materiali più importanti
- COMPOSITO: materiale formato da più materiali che fornisce una caratteristica più significativa di quella dei singoli materiali;
 - LEGNO = LEGNINA + CELLULOSA → + stabilità
 - SEMICONDUCTORI: per l'elettronica;
 - BIOMATERIALI: protesi, impianti dentali;
 - SMART MATERIALS: fili ottici, deposizioni sulle lenti degli occhiali, simile ai rayban;
 - NANOMATERIALI: C/S
- ↳ DIVISIONE PER APPLICAZIONE

PROPRIETA' DEI MATERIALI

1) DENSITA'

E' il peso per unita' di volume, esprimibile in

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{g/cm}^3 \\ \text{kg/dm}^3 \\ \text{kg/m}^3 \end{array} \right.$$

$$1 \ell = 1 \text{ dm}^3 \quad 1 \text{ kg/dm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

L'alluminio ha $2,7 \text{ kg/dm}^3 = 2700 \text{ kg/m}^3$

Il Sistema Internazionale impone di non usare il litro "ℓ" ma il dm^3 , per non confondere la densita' con la concentrazione (kg/ℓ, K = minuscola)

Peso: ⊕ Metalli - Ceramiche - Polimeri e Compositi ⊖

Metalli leggeri: Magnesio, Alluminio, Titanio →

Metalli pesanti: Ferro, Acciaio, Mercurio, ... → ⊕

Il Magnesio e' un metallo leggero ma non e' duttile

2) RIGIDENZA

"Quanto e' difficile deformare il materiale"

⊕ Metalli e Ceramiche - Compositi - Polimeri ⊖

3) RESISTENZA

Se il legame e' forte, sono più rigidi e resistenti

⊕ Metalli - Compositi - Ceramiche - Polimeri ⊖

- 7 - Resistenti agli sbalzi termici
 - 8 - Soggetti a corrosione ed ossidazione (non tutti)
 - 9 - Facilmente lavorabili e preparati per fonderia
- Gli scanchi dei sanitari vengono fatti col piombo, oggi con un polimero (PVC) più resistente.

LEGHE

Combinazione di più elementi tra metallo e metallo, oppure metallo e non metallo.

Fe + C = Acciaio e Ghisa
 Al + Cu = Duraluminio

Cu + Zn = Ottone
 Cu + Sn = Bronzo

Le proprietà meccaniche di un metallo vengono incrementate se si fanno delle leghe, con un valore maggiore rispetto alla proprietà del metallo puro.

LEGHE METALLICO

Leghe non direzionale perde gli ioni positivi sono immersi in un mare di e⁻ e gli atomi si dispongono secondo la geometria in un modo ordinato.

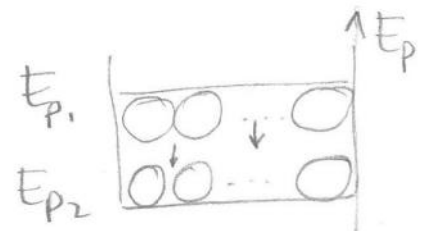
DISTANZA DI EQUILIBRIO

1 - ESEMPIO BIGLIE

Una molla finca tende a disporsi nella posizione con minore energia

$E_{p1} > E_{p2}$ energia potenziale

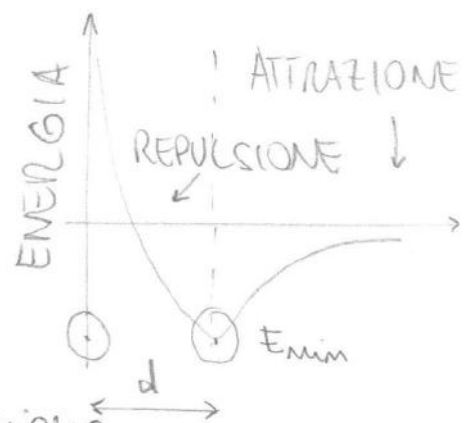
lo stato di minore verso il basso



2 - CURVE DI CONDON-MORSE

Se avviciniamo due atomi, questi si attraggono fino ad una certa distanza (distanza di equilibrio)

Se portiamo i due atomi ad essere più vicini si ha l'effetto di repulsione.



La distribuzione è tale da ogni ione positivo non circondato da soli ioni negativi, e viceversa.

Nel legame ionico NON a sono e⁻ liberi, perché sono tutti catturati dagli ioni negativi: non conducono bene l'elettricità e il calore, ed in genere sono trasparenti.

Il legame NON è direzionale perché non ha una disposizione per impacchettamento.

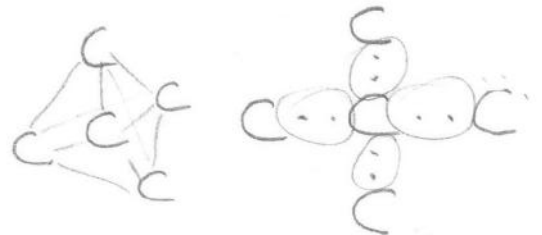
LEGAME COVALENTE



Legame DIREZIONALE perché gli ioni, per condurre gli e⁻ devono disporre in una certa posizione.

C DIAMANTE: sp^3

H_2O



Il legame covalente è direzionale ed avviene solo con un certo angolo (come per l' H_2O).

PROPRIETA' DEI CERAMICI

- 1- Fragili e difficilmente lavorabili
- 2- Rigidi
- 3- Elevata durezza
- 4- Isolanti elettrici (e termici), il diamante è però un conduttore
- 5- Basso dilatazione termica
- 6- Refrattari e resistenti ad alte temperature
- 7- Chimicamente inerti, anche in ambienti aggressivi
- 8- Ad esclusione del vetro, i materiali ceramici si producono per SINTERIZZAZIONE e non per fusione.

$$F_{\text{RISULTANTE}} = - \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi \epsilon_0 a^2} - \frac{M b}{a^{m+1}}$$

$$E_{\text{NETTA}} = + \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi \epsilon_0 a} + \frac{b}{a^m}$$

> RIASSUNTO CERAMICI

Il legame è energeticamente molto forte:

- alta rigidità
- Alta durezza
- Alta temperatura di fusione/reattività
- basso coefficiente termico

Materie composte da più atomi con legame direzionale

- fragilità

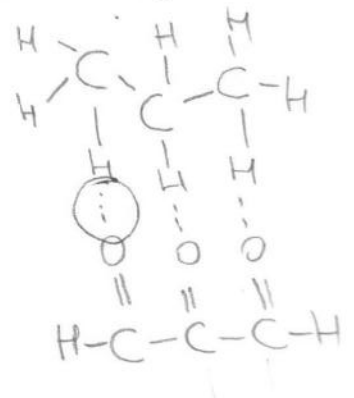
Elettroni NON liberi

- Non conduce calore (non tutti)
- Non conduce elettricità.

3) POLIMERI

I polimeri sono materiali caratterizzati dal legame covalente, che forma lunghe catene di atomi di carbonio e idrogeno (con anche qualche atomo di ossigeno, azoto e fluoro), dove le catene sono collegate tra loro da legami secondari.

Il legame secondario è di natura elettrostatica e non coinvolge gli e⁻.



In genere i polimeri si rompono perché si rompono i legami secondari tra le catene (legami a idrogeno, deboli); NON si rompono i legami covalenti fra gli atomi (legami forti).

benefici del carbonio:

- Riduzione del peso;
- Aumento di rigidità e resistenza a trazione;
- Aumento della durezza e resistenza ad usura;
- Aumento della tenacità di materiali ceramici.

Al: $\rho = 2,7 \text{ g/cm}^3$ $\sigma = 200 \text{ MPa}$ resistenza

Alluminio: $\rho = 1,8 \text{ g/cm}^3$ $\sigma = 700 \text{ MPa}$

Si deve pensare ad una resistenza specifica del materiale, quindi il materiale deve resistere.

Bisogna pensare alla leggerezza delle strutture ma anche alla loro resistenza.

CLS = Sabbia + Ghiaia + Cemento

PNEUMATICI: Rete + Gomma

COMPOSITO { NATURALE: legno
 { SINTETICO: Vetroresina.

LETTURE CRITICO E CURVE DI CONDON - MORSE

I sistemi evolvono verso stati con un contenuto più basso di energia; il sistema si muove per ottenere forza nulla.

Il minimo di energia coincide con lo stato di equilibrio delle forze tra gli atomi.

La temperatura è lo squilibrio del contenuto energetico del sistema ($E \approx kT$)

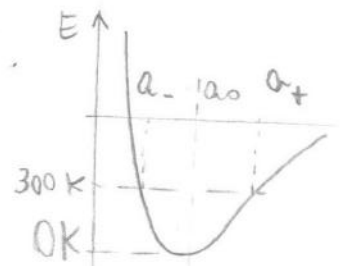
A 0K non ha il minimo d'energia.

Se l'atomo possiede energia termica può muoversi tra a^- e a^+ ; se i due atomi hanno energia termica, hanno energia potenziale e risultano delle forze attrattive.

Se gli atomi si avvicinano: forze repulsive
Se gli atomi si allontanano: forze attrattive

L'atomo ha energia sufficiente per oscillare attorno alla posizione d'equilibrio.

Dall'energia del legame chimico si spiegano vari comportamenti dei materiali.



ENERGIE DI LEGAME E DEFORMAZIONE

La resistenza meccanica, che i materiali oppongono se sono sottoposti ad azioni esterne fino all'istante prima di rompersi dipende dal tipo di legame

- LEGAME IONICO, COVALENTE, METALLICO = FORTE $\alpha \downarrow$ $E \uparrow$ $\sigma \uparrow$
- LEGAME SECONDARIO = DEBOLE $\alpha \uparrow$ $E \downarrow$ $\sigma \downarrow$

σ = RESISTENZA MECCANICA
 α = DILATAZIONE TERMICA

- RIGIDITÀ (MODULO DI YOUNG)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad [GPa]$$

È un indicazione di quanto il materiale resiste in grado di deformarsi e dipende dall'energia e dal tipo di legame

ϵ = deformabilità [-], %

σ = resistenza ($\sigma = E\epsilon$) [MPa = N/mm²]

Qui è il modo il materiale e più forte devo applicare

E basso: deformabile

E alto: rigido / indeformabile

CURVA DI LONDON-MORSE

La profondità della curva indica l'energia del legame

Deformando il materiale: $a_0 \rightarrow a_1$

Maggiore è l'energia di legame, maggiore è la profondità della curva e maggiore è la quantità di energia da fornire per deformare il materiale

$$\sigma = E\epsilon$$

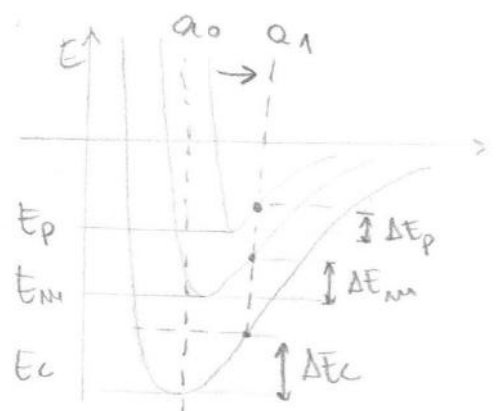
Un aumento di E devo applicare più forza.

Fornendo energia agli atomi:

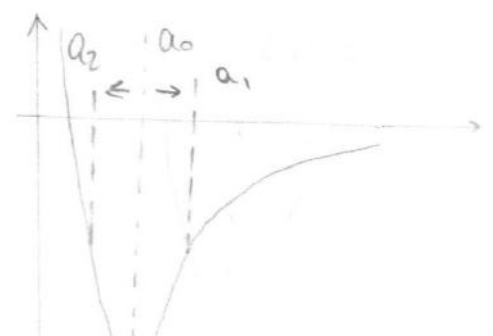
$a_0 \rightarrow a_1$: ATRAZIONE e TRAZIONE

$a_0 \rightarrow a_2$: REPULSIONE e COMPRESSIONE

Con la deformazione elastica sono le curve di London-Morse.



P = POLIMERO
 M = METALLO
 C = CERAMICO



Le fibre di carbonio, aumentano la temperatura, in conseguenza l'espansione termica e l'andamento perché tende ad aumentare le dimensioni dei materiali, provocando delle deformazioni.

Applicando a materiali duri lo stesso ΔE :

- l'energia di legame è alta (legame forte, come proferre) e dunque d'equilibrio basso
- legame debole: α alto = dilatazione termica.

STRUTTURA

I materiali sono deformabili (Alluminio e Piombo) perché hanno dei difetti.

CLASSIFICAZIONE MATERIALI

Il legame dipende da un tipo della struttura meccanica e la struttura da un ulteriore caratteristica delle strutture dei materiali.

I solidi possono essere classificati in funzione alle regole che governano i loro atomi o ioni sono disposti nello spazio gli uni rispetto agli altri.

STRUTTURA

- CRISTALLINA: struttura ordinata (quarzo, metalli, ceramica)
- AMORFA: struttura non regolare (vetro, polimeri) dove non hanno elementi ripetuti.

La struttura ordinata (cristallina) corrisponde ad un'energia più bassa; anche se non è facile disporre in una struttura ordinata e regolare (solo in condizioni particolari), quindi il materiale si dispone con struttura amorfa. Solo con dei piccoli luoghi in cui la struttura ordinata.

La struttura amorfa non vuol dire che manca il legame tra gli atomi e la loro distanza, bensì l'angolo di legame.

- L'ordine a corto raggio è mantenuto costante
- L'ordine a lungo raggio cambia, interessa l'intera struttura.

ricordo una struttura ordinata a lungo raggio e, siccome il materiale è composto da $n \cdot 10^{23}$ molecole, bisogna ricercare la CELLA UNITARIA che, ripetuta un numero di volte, descriva interamente la struttura cristallina.

Il quadrato e l'esagono sono le forme elementari più semplici che riempiono completamente il materiale. Gli atomi e ioni si organizzano per riempire tutto lo spazio ed avere l'energia più bassa possibile.

• CELLA ELEMENTARE

Ripetendoti in tutto lo spazio descrive il materiale.



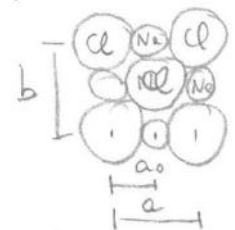
CELLE CRISTALLINE

la cella più semplice è il cubo o celle che analoghiamo al cubo
 a, b, c PARAMETRI DI CELLA } celle definite con 6 parametri.
 α, β, γ ANGOLI DI CELLA.

Questi parametri possono variare con la temperatura (espansione termica) o con l'applicazione di carichi (deformazione elastica)

a_0 : distanza tra due atomi, $a_0 \neq (a, b, c)$!

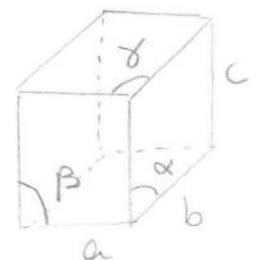
la distanza di legame NON è la dimensione della cella elementare.



Nella cella elementare vanno indicati tutti gli atomi, ricordando che la cella rappresenta tutte le molecole.

In funzione di $(a, b, c, \alpha, \beta, \gamma)$ posso rappresentare, con 7 configurazioni tutti i materiali

- 1- CUBICO: $a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
- 2- TETRAGONALE: $a=b \neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
- 3- ORTOROMBICO: $a \neq b \neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
- 4- ROMBOEDRICO: $a=b \neq c$, $\alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$
- 5- ESAGONALE: $a=b \neq c$, $\alpha=\gamma=90^\circ \neq \beta$



Il monocristallo è quel materiale dove una sola cella cristallina si replica n -volte nello spazio fino al completamento del cristallo, orientate nello stesso modo.
 Rubino: monocristallo formato solo da allumina (Al_2O_3)
 I monocristalli sono rari e poco usati, rispetto al resto dei materiali perché hanno un costo elevato.

• SOLIDO AMORFO

Potenziale di mantenere costante la sua proprietà lungo un periodo di tempo di lunga durata. (Vetro).

I materiali amorfi sono formati da tanti cristalli ($1-100\mu m$) vicini tra loro (es. porcellane).

• SOLIDI POLICRISTALLINI

GRANO: aggregato di molti cristalli, formato perché le molecole del liquido non si attaccano simultaneamente.

I materiali policristallini sono formati da più grani ed in ogni grano le celle cristalline sono orientate nello stesso modo.

Per produrre i monocristalli si può farlo naturalmente (cavare magmatico) o sinteticamente in laboratorio.

I DIFETTI NEI SOLIDI CRISTALLINI

I difetti danno particolari caratteristiche ai materiali come una maggiore resistenza (leghe metalliche), il colore (rubino, Zaffiro), la conducibilità elettrica (rame) ...

Per avere i materiali più bravi bisogna raffinarli più volte.

Più il metallo ha difetti e più il materiale diventa duro e non lavorabile: fenomeno di INCROSTAMENTO è quel fenomeno che aumenta il numero dei difetti.

Nei solidi reali abbiamo una piccola percentuale di impurezze che comunque significa avere $10^{22} = 10^{23}$ atomi di impurezza ed a volte possono essere sfruttati se si vogliono ottenere dei particolari effetti (come Silicio + Boro ...).

Argento + rame = lega con un alto rendimento meccanico.

SOLUZIONI SOLIDE

Avviene interamente con materiale solido quando nel reticolo del solvente sono presenti atomi di un altro elemento.

- SOLVENTE: componente presente in maggiore quantità;
- SOLUTO: componente presente in concentrazione minore.

Si ha soluzione solida quando:

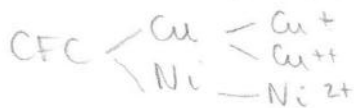
- Viene mantenuta la struttura cristallina;
- la composizione è omogenea, gli atomi sono dispersi uniformemente nel solido.

Se i due atomi sono molto diversi tra loro n'ha una maggiore energia del reticolo

- Atomo più grosso: Coper-nicio (Cu e Uranio)
- Atomo più piccolo: Trazione (Berillio).

Se n'ha molti atomi nel materiale, la struttura diventa instabile e n'forma un nuovo composto, con un'altra struttura cristallina.

Le soluzioni solide n'ha quando non n'ha una forte distorsione del reticolo del materiale.



RATE METALLICO
NUOVO COMPOSTO

Nella lega Rame-Berillio (Cu-Be), poiché il Berillio è molto piccolo, il composto non è molto solubile.

Gli atomi n'vengono nel solido con un ordine casuale; se l'ordine è ordinato n'ha un materiale nuovo.

- IMPUREZZE CASUALI: soluzione solida
- IMPUREZZE REGOLARI: nuovo materiale con una nuova struttura cristallina dove gli atomi hanno un rapporto fisso.

• SOLUZIONI SOLIDE SOSTITUZIONALI

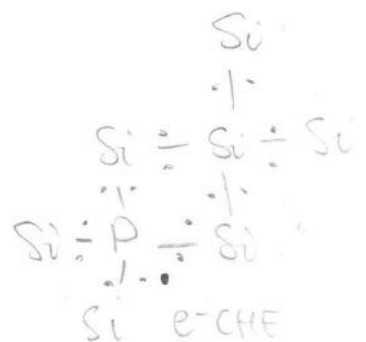
Gli atomi delle impurezze o di soluto rimpiazzano o sostituiscono gli atomi ospitanti.

Il limite di solubilità ha due elementi dipende da:

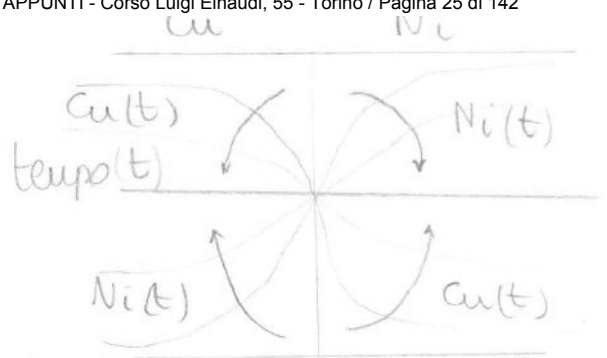
- DIMENSIONI ATOMICHE: atomi molto simili
- ELETTRONEGATIVITÀ:
- STRUTTURA CRISTALLINA dei due elementi puri;
- VALENZA DEGLI ELEMENTI

La presenza di impurezze sostituzionali provoca una maggiore conducibilità nei conduttori.

La struttura è stabile ed ha un e- libero che permette di condurre corrente.



Nel tempo n hanno una concentrazione diversa del materiale fuo alla diffusione perfetta, che crea un nuovo materiale con identiche concentrazioni.



Si ha diffusione solo con gli atomi interstiziali, anche senza vacanze.

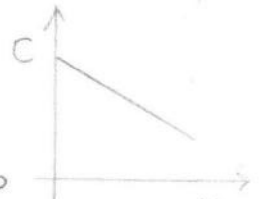
DIFFUSIONE < ATOMI SOSTITUZIONALI + VACANZA
SOLO ATOMI INTERSTIZIALI

PRIMA LEGGE DI FICK

Il gradiente di concentrazione causa uno spostamento di materia nell'unità di tempo.

$$J_x = -D \frac{dC}{dx} = -D \vec{\nabla} C$$

J_x = FLUSSO ATOMICO
QUANTITA' DI MATERIA CHE FLUISCE
NELL'UNITA' DI TEMPO ATTRAVERSO
L'UNITA' DI SUPERFICIE

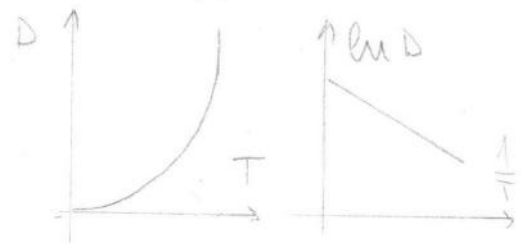


Gli atomi si muovono dalle concentrazioni maggiori verso la concentrazione minore

DIFFUSIVITA'

$$D = D_0 e^{-\frac{Q}{RT}} = D_0 e^{-\frac{E}{kT}} \quad [m^2/s]$$

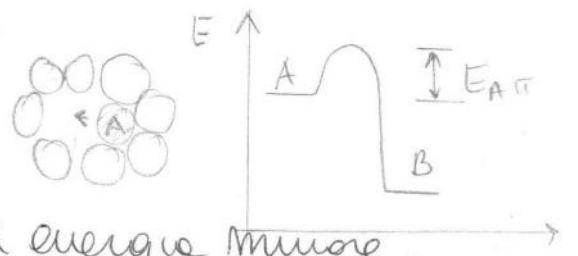
SINGOLO ATOMO MOLTI ATOMI



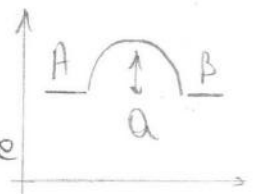
La LEGGE DI ARRHENIUS definisce il coefficiente di diffusione, molto importante per le reazioni chimiche

D rappresenta la facilità di movimento atomico in funzione all'agitazione termica.

$Q = E_{AT}$ = energia d'attivazione, indica quanta energia deve essere fornita al sistema per evolvere ad un altro stato ad energia minore.



Nella diffusione l'atomo riesce a saltare la vacanza solo se gli si fornisce energia. sufficiente, raggiungendo una determinata temperatura, che è funzione al materiale.



A Tambiente non si ha diffusione perché è in funzione alla temperatura di fusione del materiale

2) DIFETTI LINEARI (DISLOCAZIONI)

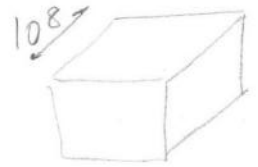
Le dislocazioni possono essere a spirale o a vite e causano la deformazione plastica, con la deformazione presente lungo una linea dove il cristallo non è perfetto.
La dislocazione è un difetto più energetico dello vacanze.

ESEMPIO

$1 \text{ cm}^3 \text{ Cu} \approx 99 \approx 0,1 \text{ mole} \approx 10^{23} \text{ atomi}$

Peso atomico Cu $\approx 60 \text{ g/mole}$

Nel cubetto di rame ci sono tante dislocazioni.



DISLOCAZIONI A SPIGOLLO

Difetto lineare dovuto alla presenza di un piano aggiuntivo di atomi i cui spigoli terminano dentro al cristallo.



L'ordine delle linee di dislocazione abbiamo l'ordine, vicino abbiamo il disordine e la deformazione è accentuata.

La dislocazione provoca una distorsione meccanica del metallo (aumentando l'energia) con gli atomi soggetti a compressione o trazione.

La dislocazione a spirale può essere determinata dal:

- Piano di scorrimento;
- vettore \vec{b}

CRISTALLO PERFETTO

Se ha lo scorrimento di un intero piano atomico rispetto all'altro, coinvolgendo un numero elevato di atomi.

La presenza di un cristallo perfetto dovrebbe essere circa 1000 ÷ 10000 volte più grande di quello osservato.

CRISTALLO REALE

La presenza della dislocazione provoca solo uno scorrimento di un piccolo numero di atomi rispetto agli altri.

3) DIFETTI DI SUPERFICIE

La superficie è un difetto perché gli atomi che ne fanno parte hanno un numero di coordinazione inferiore agli altri e sono più reattivi (fenomeno delle catene).

COORDINAZIONE: numero atomi vicini.

La superficie esterna ha meno atomi vicini quindi ha più energia.

PROPRIETA' DEI MATERIALI

PROPRIETA' MECCANICHE

Le proprietà meccaniche riguardano il comportamento di un materiale quando è soggetto ad uno sforzo esterno, tirandolo o comprimendolo e vedo se si deforma.

Palle di gomma: urto elastico

Palle di piombo: urto anelastico

"Il metallo non scalfisce la ceramica ma il contrario"

DUREZZA: Ceramico - Acciaio - Rame - Legno

I materiali che vengono usati nei cicli meccanici possono rompersi per fatica, anche a carichi minori di quelli di rottura. Legno e CLS col tempo si schiacciano, per scorrimento viscoso, e riduce le dimensioni dell'elemento.

TENSIONE

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [MPa]$$

L'applicazione di una forza ad una struttura crea uno stato di sollecitazione che determina una deformazione.

Tipi di sollecitazione: TRAZIONE, COMPRESSIONE E TAGLIO.

TIPICI DI DEFORMAZIONE

1- TRAZIONE O COMPRESSIONE

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad [-]$$

l_0 = lunghezza iniziale

l = lunghezza del campione in seguito allo sollecitazione

2- TAGLIO

$$\gamma = \frac{d}{b} = \tan \theta$$

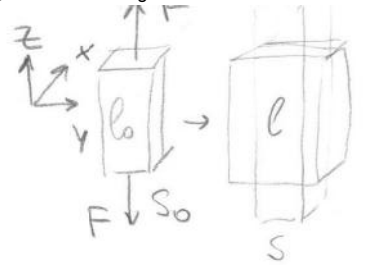
θ = angolo di taglio, se θ è piccolo $\tan \theta \approx \theta$

SOLLECITAZIONI

- Trazione uniaxiale: nei fermi
- Compressione uniaxiale: nei pilastri
- Trazione biassiale: la membrana espande il palloncino che è in trazione rispetto allo condizione d'equilibrio.
- Membrane (duroplastica): sommergibile

COEFFICIENTE DI POISSON

Se applico una forza lungo z , oltre ad avere una deformazione lungo z ho anche una riduzione di lunghezza.



$$\nu = - \frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = - \frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$$

$$\epsilon_z = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Ricavo $\epsilon_x = \epsilon_y = -\nu \epsilon_z$

Limite superiore : $\nu - \nu_0 = 0 \rightarrow \nu = 0,5$ (\approx gomma)
 $\nu - \nu_0 = \text{MAX} \rightarrow \nu = 0$

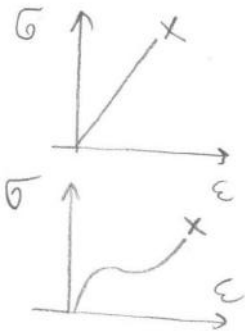
La gomma è il materiale con coefficiente di Poisson ($\nu \approx 0,5$) più alto, ed ha la deformazione più piccola possibile. I legami covalenti mostrano coefficiente di Poisson basso.

Se andiamo oltre l'elastico:

1- ROTTURA

Il materiale è fragile ed ha avuto solo comportamento elastico fino a rottura.

Il materiale fragile si rompe non per cedimento istantaneo di tutti i legami ma per la presenza di difetti.



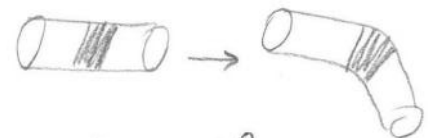
ELASTICITÀ

Il materiale ha un punto dove la deformazione è notevole con una piccola applicazione di forza.

DEFORMAZIONE PLASTICA

I metalli invece che rompersi si deformano in maniera permanente quando si supera il carico limite elastico (σ_y TENSIONE DI SNERVAMENTO).

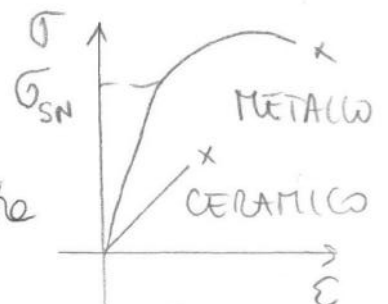
La deformazione plastica significa perdere la forma geometrica.



Si ha movimento degli atomi perché si sono rotti dei legami e perché si ha il moto delle dislocazioni, che cambiano la forma del cristallo.

Spontaneamente le file dei legami si spostano rigidamente le file degli atomi.

Il movimento delle dislocazioni richiede molta energia ma minore di quella necessaria per muovere rigidamente l'intera struttura.

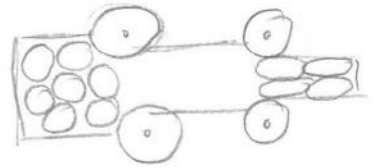


unipolari di grado viene mantenuta ma l'integrità meccanica, ma la coerenza, ciascun grano deve cambiare la propria forma.

I materiali policristallini sono più resistenti alla deformazione plastica perché hanno un carico di smarrimento maggiore.

• LAMINAZIONE

Per mantenere il volume unitario ($\Delta V = 0$) si muovono le dislocazioni con i grani che passano da una forma tonda ad allungata, per mezzo di dei rulli schiacciatori.

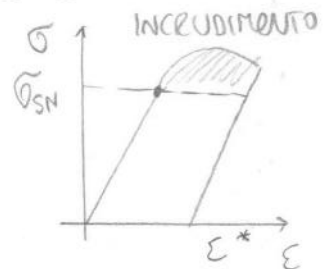


Per i metalli (materiale deformabile), si può colare in una forma più comoda e poi lavorarlo per la riduzione.

CFC sono più deformabili di CCC e FCC.

• INCRODIMENTO

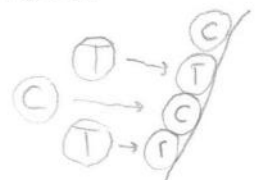
Applico una forza superiore al modulo elastico per mandarlo in campo plastico.



ϵ^* = DUTTILITA', massima deformazione che posso applicare ad un materiale prima di rottura.

DUTTILITA' 50% POSSO DEFORMARLO DEL 50% PRIMA DI ROTTURA

Quando una dislocazione si muove, si inducono altri atomi a diventare parte di una seconda generazione di dislocazioni.

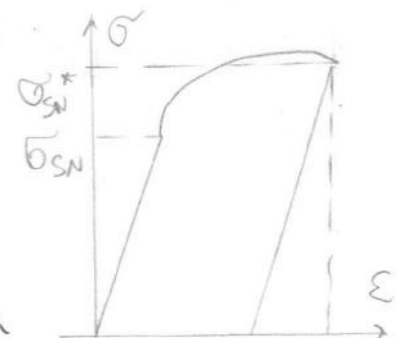


A bordo grano si formano tante zone di compressione e trazione e quando arriva la seconda dislocazione si accumula a bordo grano.

La prima dislocazione si muove facilmente mentre le successive avranno bisogno di più energia per muoversi verso il bordo di grano.

Per aumentare la resistenza dei materiali devo rendere difficile il movimento delle dislocazioni.

Se durante la deformazione plastica tolgo il carico, il materiale si rilassa seguendo un percorso simile.



Per applicare una nuova deformazione plastica devo applicare σ_{SN}^* , dove l'area è maggiore di quella della deformazione elastica. ϵ_i^* ϵ_i'

• RICOTTURA

Trattamento che permette di tornare alle condizioni iniziali del materiale, comportando:

1 - RECOVERY riduzione del numero delle dislocazioni, eseguito a temperature più basse

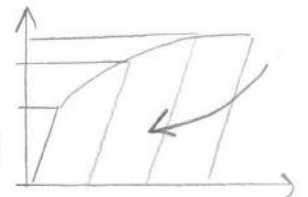
2 - RICRISTALLIZZAZIONE

Aumentando la temperatura si forma una nuova configurazione di grani con poche deformazioni.

Processo che richiede: ALTE TEMPERATURE e FORTE DIFFUSIONE. Dove c'è più tensione, gli atomi si organizzano in nuclei per formare una nuova struttura.

Se siamo ad alte temperature, i grani non tendono a crescere.

I grani non deformati hanno una bassa energia e ritornano alle condizioni iniziali: diminuisce la resistenza a trazione e aumenta la duttilità.



Se i materiali vengono lavorati a caldo (o contemporaneamente - annealing e ricottura, due effetti contrapposti), ed ho una maggiore deformabilità.

PROVE MECCANICHE

Prove fatte sui materiali per valutare le proprietà meccaniche.

1- RESISTENZA A TRAZIONE

Valuta la resistenza, rigidità e duttilità di un materiale.

2- RESISTENZA A COMPRESSIONE

Fatta sui materiali con scarse resistenze a trazione.

3- PROVA DI FLESSIONE

Fatta sul calcestruzzo o i materiali ceramici.

4- RESILIENZA

Prova ad urto per sapere il materiale e vedere quanta energia viene assorbita.

5- DUREZZA

Quantifica la durezza del materiale ad opporsi ad un carico permanente o ad un altro materiale.

6- SCORRIMENTO VISCOSO

Consideriamo i materiali a temperature elevate e misuriamo la deformazione subita dal materiale sotto l'azione di un carico statico di trazione superiore a rottura.

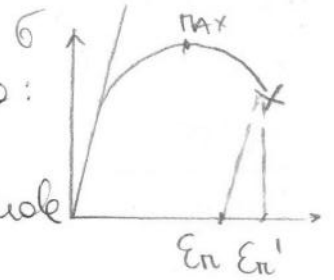
Ad una deformazione plastica del 0,2 %

Queste due curve parallele sono molto vicine.

lo sforzo massimo riportato dal materiale è il massimo valore della curva.

la deformazione dei legami provoca la rottura:

si ha un rilascio di energia elastica con un ritorno verso lo stato elastico (il materiale si allunga): $\epsilon_r \approx \epsilon_r'$, molto piccoli



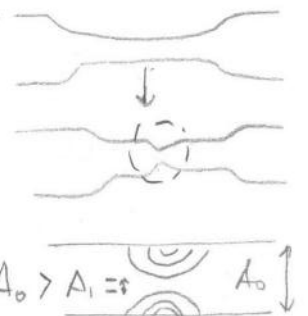
Il rumore della rottura significa che il materiale è tornato indietro in un breve periodo di tempo.

Quando raggiungiamo il massimo della curva siamo l'estremo perché dopo la rottura del provino si rischia di rompere lo strumento.

Minimiamo la deformazione manualmente accostando i due pezzi del provino.

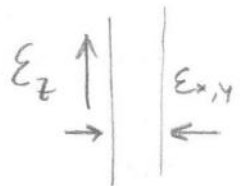
STRIZIONE

La strizione è il fenomeno di deformazione locale del materiale, quando si raggiunge il massimo della curva.



$$\sigma_{ING} = \frac{F}{A_0}, \quad \epsilon_{ING} = \frac{L - L_0}{L_0}; \quad \sigma_{REALE} = \frac{F}{A} > \sigma$$

A = sezione istantanea del materiale / provino



Ricordando il coefficiente di Poisson:

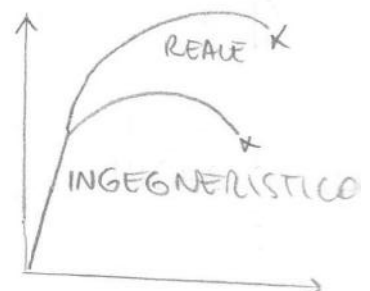
$$\nu = - \frac{\epsilon_x}{\epsilon_z}$$

Quando il materiale lungo z si deforma anche lungo x e riduce la sua sezione.

Quando progettiamo è importante sapere qual'è il carico massimo che posso applicare al materiale prima di avere smembramento o rottura, quando A_0 area iniziale.

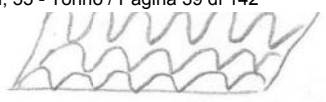
$$\% \text{ STRIZIONE} = \frac{A_0 - A_{FINALE}}{A_0} \cdot 100 \%$$

$$A \ll A_0, \quad \sigma_R \gg \sigma_{ING}, \quad F = \frac{\sigma_R}{A_0} = \frac{\sigma_{ING}}{A_0}$$



σ_{ING} è più basso perché consideriamo l'area fissa (A_0).

TERMOPLASTICO CRISTALLINO



Le catene sono ordinate e impaccate in
 le stene, sono materiali OPACHI e conosciamo la
 temperatura di FUSIONE.

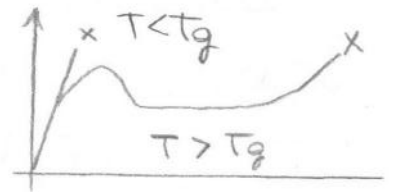
Poliethylene ad alta densità (HDPE), NYLON, PP, KEVLAR

TERMOPLASTICO AMORFO

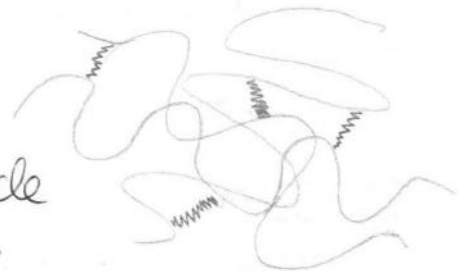
Le catene sono disordinate e non riescono MAI a ordinarsi.
 Sono materiali TRASPARENTI e conosciamo la
 temperatura di TRANSIZIONE VETROSA

Polycarbonato (PC), Poliethylene a bassa densità (LDPE),
 Polistirene (PS), PET...

- POLIMERI AMORFI : $T < T_g$
- POLIMERI AMORFI E CRISTALLINI : $T > T_g$



$T_{TEST} < T_g < T_{TEST}$: POLIMERO DEFORMABILE
 $T_g > T_{TEST}$: POLIMERO FRAGILE



ELASTOMERO

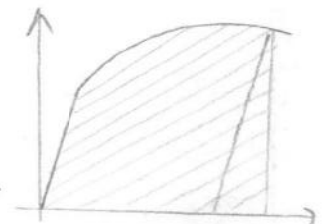
Materiale simile al polimero termoplastico che
 però subisce la deformazione elastica.

Le catene dell'elastomero sono tenute insieme da un legame
 primario (ogni tanto) che garantisce, al cenare della forza,
 di tornare alle condizioni iniziali (come una molla)
 → deformazioni grandissime.

I pneumatici delle macchine vengono VULCANIZZATI,
 mettendo dello zolfo che crea molti legami primari tra
 le catene (molto più rigido dell'elastico).

Nei polimeri, nel ferro e negli acciai dolci mi accorgo della
 transizione vetrosa.

L'area sotto la curva è l'energia elastica per
 unità di volume accumulata nel materiale
 che si disperde quando il materiale si rompe.



$$\sigma \cdot \epsilon = \frac{F \Delta L}{A_0 L_0} = \frac{F \Delta L}{V_0} = \frac{E}{V_0}$$

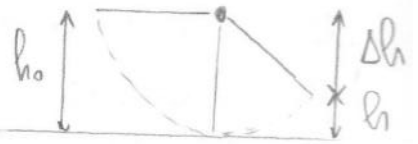
Un materiale duttile ha bisogno di molta energia per rompersi,
 l'energia si dissipa sotto forma di calore.

Miscelate

Non tutte le deformazioni elastiche il materiale accumula energia PV.

Nella prova a flessione a 4 punti ha una maggiore area dove si va a disporre la tenace, riesce a trovare i difetti ed evita di provocare la rottura.
 la prova a 3 punti non riesce intercetta il difetto.

RESILIENZA



La resilienza è la capacità di un materiale di resistere agli urti.

la prova si fa con un provino pre-utogliato (CRICCA) con il martello che colpisce in quel punto, lo spacca e riesce ad una quota inferiore. Noi vogliamo la perdita di energia potenziale del martello. (Δh)

L'energia di una prova Charpy è in funzione alla temperatura e condiziona molto le proprietà del materiale (più C è carbonio nell'acciaio e più è fragile).

la tenacità è l'energia complessiva che il materiale è in grado di assorbire prima di rompersi.

la resilienza è l'energia impulsiva che rompe il materiale (provino) ed è una prova tecnologica dove non diamo il valore al materiale, ma al campione (diverso dalle prove di tenacità).

Tenacità e resilienza sono grandezze comparabili e in funzione alla temperatura.

$$T = [J/m^3] \quad R = [J/m^2]$$

da loro ricavo il valore di energia assorbita:

il C nel reticolo del Fe è in posizione interstiziale

- ACCIAIO DOLCE : poco C
- ACCIAIO DURO : tanto C



ROTTURA FRAGILE (CERAMICI)

il materiale si rompe in modo fragile quando le dislocazioni non si possono muovere.

il difetto all'interno del provino immerca la cricca e si ha la rottura quasi metà del provino (la tenace si muove rapidamente).

la rottura fragile non assorbe energia, il difetto avanza velocemente e provoca subito la rottura.

la superficie di rottura è liscia

$\gamma =$ ENERGIA SUPERFICIALE, noi non devono perdere gli atomi sulla superficie fanno meno legami chimici rispetto agli atomi interni

γ voluta quanta energia ha in più la superficie rispetto agli atomi interni.

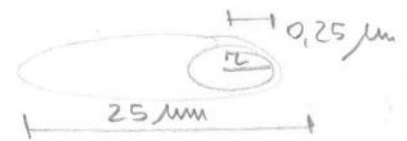
Quando lo spessore cresce, gli atomi interni diventano superficiali e cresce il valore dell'energia; e mi è difficile rompere i legami.

$\gamma_p =$ energia legata alla deformazione plastica

Il materiale duttile ha un σ_c maggiore rispetto a quello di un materiale fragile perde meno energia spera per la deformazione plastica.

$$r = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mm} = 0,25 \mu\text{m}$$

$$2a = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm} = 25 \mu\text{m}$$

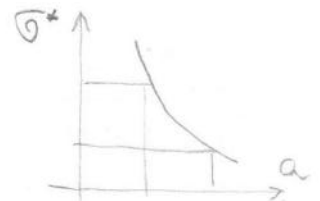


Esistono diversi metodi di avanzamento della cricca
APERTURA A TRAZIONE SEMPLICE: la cricca si apre il più velocemente possibile seguendo la direzione del taglio.

In funzione al modo di aprirsi della cricca avremo diversi valori di trazione e diversi valori di allungamento e rottura.

TENACITA' A FRATTURA

$$K_{Ic} = \sigma^* \sqrt{\pi a} = \sqrt{E G_c} \quad [\text{MPa} \cdot \text{m}^{\frac{1}{2}}]$$



$E =$ modulo elastico

$G_c =$ energia di tenacità dei materiali, difficile da misurare

$\sigma^* =$ parametro del materiale, in funzione di a , σ_{max}

K_{Ic} è una costante legata alle dimensioni del difetto: più è grande il difetto, più all'apice di esso si hanno amplificazioni degli sforzi.

K_{Ic} è costante per lo specifico materiale

$I =$ modo di propagazione I, apertura $c =$ critico

σ^* è la σ_{max} sopportabile dal materiale.

Un alto K_{Ic} per definire se un materiale è tenace o fragile

- $K_{Ic} = 1,3$ fragile

- $K_{Ic} > 30$ tenace

storicamente misuro in HB o BHN che rappresenta il rapporto tra il peso applicato e l'area dell'impronta lasciata

$$HB = \frac{P}{A} : \text{Durezza } [MPa] \cdot [GPa] \cdot [kg/mm^2]$$

Se confrontato 2 prove diverse, il materiale avrà un valore di durezza molto simile ma non si possono fare delle conversioni tra scale diverse perché hanno fatto delle prove diverse.

PROVA BRINELL: perforatore sferico

PROVA VICKERS: piramide di diamante

PROVA KNOOP: piramide allungate.

Se uso la piramide misuro le diagonali per ricavare l'impronta e faccio il valore medio $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$

HV 20 = 20 kg applicati.

Durante la prova il materiale non si danneggia.

Durante la prova il carico si concentra di più lungo i lati delle forze, non sulla superficie e questo può portare alla formazione di cricche.



PROVA ROCKWELL

Prova americana che usa un cono di diamante o una sfera d'acciaio, applicando un carico e poi un conico: ricavo la profondità di quanto è sceso il tester.

Le misure delle durezze non in funzione del tipo di materiale e le scale non sono lineari; non si possono fare le conversioni tra scale diverse né passare da durezza e resistenza in meccanica.

Il durezza non convertibili tra scale diverse solo per alcuni materiali (ACCIAI), in genere no!

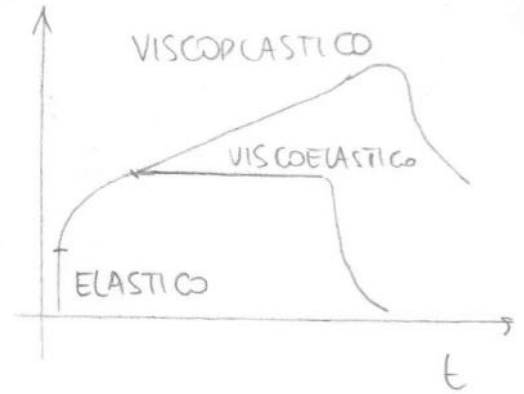
CREEP (SCORRIMENTO VISCOSO A CALDO)

Se applico un carico costante nel tempo anche la deformazione è costante nel tempo, fenomeno che avviene solo se siamo a temperature basse rispetto alle temperature di fluire.

in un sistema non conservativo - energia si dissipa
 bisogno di più tempo per tornare allo configurazione
 d'equilibrio perché non posso direttamente $A \rightarrow B$ perché
 devo ionquizzare le catene per arrivare in B.

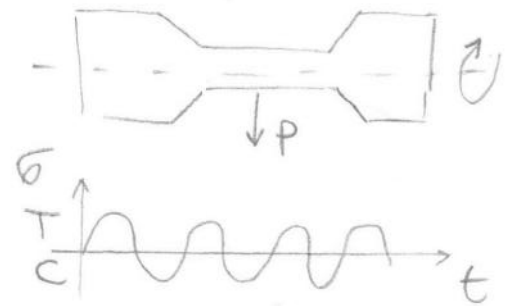
VISCOPLASTICITÀ

Il materiale si deforma nel tempo
 e se tolgo il carico, non ritorna nelle
 condizioni iniziali.



PROVA A FATICA

Applicando un carico, il sistema
 entra in flessione e ruota il provino.
 Il provino è soggetto ai carichi di
 trazione e compressione scambiati
 ed alternati nel tempo.



ESEMPIO

Autovibole : 20 h/mese , 2000 giri/minuto = 120'000 giri/h
 ↳ 2,4 Milioni di giri/mese.

Ruote : $\phi = 70 \text{ cm}$, circonferenza : 2 m
 $100'000 \text{ km} = 1 \cdot 10^8 \text{ m} \rightarrow 5 \cdot 10^7 \text{ giri}$

Alcuni materiali hanno un limite allo snervamento.

La prova a fatica è il valore della resistenza meccanica
 dopo un certo numero di cicli ; possono avere un minimo
 valore di resistenza meccanica in funzione al ciclo.

Entrao alcuni materiali che se lavorano sotto il loro
 limite di fatica possono durare un infinito di cicli.

PROPRIETA' CHIMICO-FISICHE

PROPRIETA' CHIMICHE

Interazione tra il materiale e l'ambiente

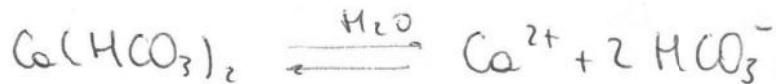
1) SOLUBILITA'

La solubilità di un soluto in un solvente, ad una certa temperatura, è la massima quantità di soluto che a quella temperatura si scioglie in una data quantità di solvente.

Discorso valido per ogni tipo di sale (anche per il cemento)

H₂O - Solvente

Sale = Soluto

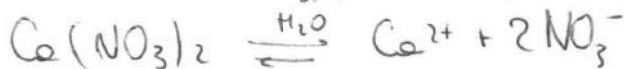


Mettiamo il sale in acqua fucide non si scioglie più.

Lo zucchero è molto solubile, il bicarbonato di calcio poco (stolattiti / stoloquiti).

La formazione degli ioni dipende dal PH

Nitrato di Calcio $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ in acqua



La presenza di ioni nella soluzione influenza la possibilità di dissociarsi degli altri ioni.

COSTANTE DI DISSOCIAZIONE



$$K_p = \frac{[A]^x \cdot [B]^y}{[A_x B_y]}$$

$$K_p = \frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{HCO}_3^-]^2}{[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]} \quad [\text{Concentrazioni}]$$

Accumando $[\text{Ca}^{2+}]$ diminuisce $[\text{HCO}_3^-]$, diminuirà meno idromido di calcio se ho già gli ioni di calcio in soluzione.

Il valore della solubilità può variare molto $0,14 \div 2800$

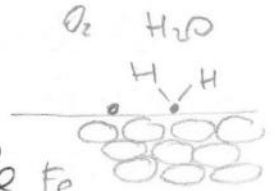
2) FLORESCENZE

Nelle pareti di mattoni vediamo delle incrostazioni bianche, l'infuaco "fiorire"; questo è in funzione all'umidità e ai sali in alta quantità che se cristallizzano portano a rottura il nostro muro.

Il Nitrato di Sodio, presente nel terreno, deriva dalla decomposizione dei materiali organici e dei fertilizzanti: c'è il rischio di risalita capillare dell'acqua nelle strutture che, evaporando, lascia nella parete dei sali.

Fenomeno di tipo chimico-fisico per cui l'umidità condensa sulle superfici che non sono porose (VETRO).

La superficie non ha necessariamente la stessa composizione dell'intero: si forma un leggero strato di ossido dove si legano le molecole d'acqua presenti in aria, con un legame ricoadesivo, debole, che abbassa l'energia superficiale (metalli).

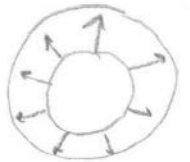


I misti evolvono perché sulla superficie si ha adsorbimento di molecole, che abbassano l'energia del sistema.

2) TENSIONE SUPERFICIALE

La tensione superficiale è una tensione meccanica che si sviluppa lungo la superficie di separazione tra un fluido e un solido / liquido / gas.

La tensione superficiale è il lavoro per aumentare la dimensione della superficie ed è una misura della quantità di energia superficiale.



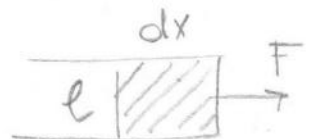
L'energia superficiale è maggiore dell'energia del cuore del materiale, è un'energia che forma omidi in superficie per ridurre l'energia complessiva del sistema.

$$\gamma = \frac{dF}{dL} = \frac{dW}{dA} \quad \left[\frac{N}{m} \right]$$

ESEMPI

1) Aumentando la superficie laterale, spendo energia sotto forma di lavoro.

$$dW = F dx \quad \left[\gamma = \frac{F}{2l} \right]$$



γ = lavoro/energia da fornire per aumentare la superficie

2) TENSIONE

Mix di 2 solventi immiscibili (acqua/aria)

la variazione di dimensione della sfera è in funzione alla variazione di dimensione interna.



Riducendo la superficie.. $S = 4\pi r^2$

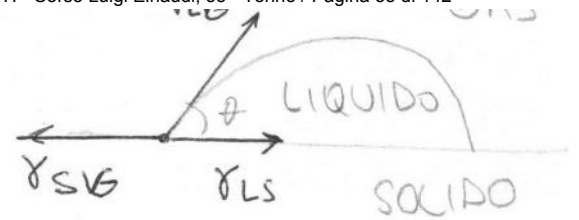
EQUAZIONE DI LAPLACE

$$\Delta W = \Delta P \Delta V = \Delta P \cdot 4\pi r^2 dr$$

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r}$$

$$\Delta W = \gamma dA = \Delta P \Delta V = \Delta P 4\pi r^2 dr$$

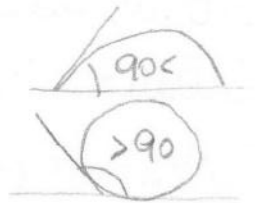
Ho 3 possibili superfici con interazioni diverse (solido, liquido e gas).



- θ basso, poca energia superficiale
- θ alto, tanta energia superficiale.

LEGGE DI YOUNG - DUPRE $\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cos\theta$

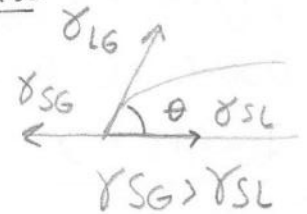
- $\theta < 90^\circ$ IDROFILO: amico dell'acqua
- $\theta > 90^\circ$ IDROFOBO: nemico dell'acqua



legge applicata per tutti i solventi: materiale IDROFILO e con porosità APERTA.

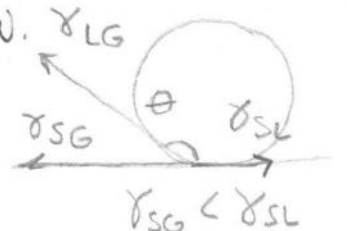
1° CASO $\gamma_{SG} > \gamma_{SL}$

Il solido preferisce avere il liquido invece del gas ed abbiamo minore energia nella superficie, la goccia penetra nei pori.



2° CASO $\gamma_{SG} < \gamma_{SL}$

Il solido preferisce avere il gas, il liquido NON riesce a penetrare e scende sopra i pori, anche se il solido è poroso, ma chimicamente NON ha interazione.



4) POROSITA'

La porosità è data dal rapporto tra il volume dei pori ed il volume totale del materiale.

$$\phi = \frac{V_{PORI}}{V_{TOT}}$$

[-]

- RESISTENZA MECCANICA
- DURABILITA'

10% porosità = 10% vuoti e 90% solido.

PORO CHIUSO

Poro inaccessibile dall'esterno, ottenuto per erupcio quando sinterizzato un materiale ceramico

PORO APERTO

Poro accessibile dall'esterno.

Nella porosità aperta un liquido può entrare nel solido solo se il liquido è bagnabile e i pori sono collegati all'esterno.

Consideriamo una colonna di fluido e la meniscatura ereditata

$$\frac{2\gamma \cos\theta}{r_c} = \rho g h$$

$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g r_c}$$

r_c = RAGGIO CAPILLARE

la meniscatura permette la risalita in un capillare di raggio r_c fino all'altezza h .

Più è piccolo il diametro del capillare e più in ha risalita; con pori grossi l'acqua non risale molto mentre con pori fini l'acqua risale tanto perché le molecole risentono della presenza dell'energia superficiale.

ESEMPIO

$$h_{MAX} = \frac{15 \cdot 10^{-6}}{r_c} \rightarrow r_c = 10 \mu m : h_{MAX} = 1,5 \mu m$$

$$\rightarrow r_c = 1 \mu m : h_{MAX} = 15 \mu m \leftarrow \text{DANNOSO!!!}$$

la porosità del materiale è pericolosissima perché nelle piccole dimensioni nascono anche movimenti che ostacolano il movimento delle particelle (per causa dell'aria/acqua) quindi si cerca di non fare i materiali con pori piccoli.

6) CALORE SPECIFICO

PROPRIETÀ TERMICHE

Il calore specifico di una sostanza è la quantità di calore necessaria per aumentare la temperatura di un'unità di massa di 1°C

$$c = \frac{Q}{m \Delta T} \quad \left[\frac{J}{K \cdot kg} \right] \quad m = \Delta$$

Il calore specifico è la quantità di energia / calore che un corpo è in grado di immagazzinare sotto forma di energia termica.

Se abbiamo un alto valore di calore specifico significa che bisogna fornire al corpo una gran quantità di calore e che ci sarà un lungo tempo di raffreddamento.

la massa assorbe calore che poi rilascia nel tempo.

7) CONDUZIONE TERMICA (CONDUCEBILITÀ TERMICA)

la conduzione termica è la misura del flusso di calore attraverso una parete dal lato caldo verso il lato freddo.

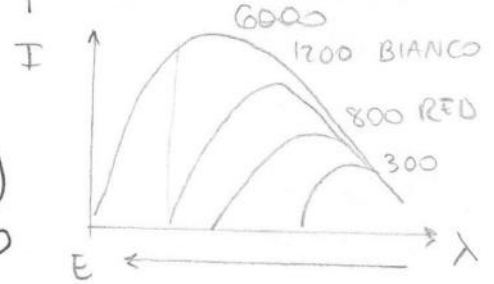
$$J = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad J > 0 \quad \frac{dT}{dx} < 0$$

$$\lambda = \left| \frac{J \cdot dx}{dT} \right| \quad \left[\frac{W}{K \cdot m} \right] \quad \text{CONDUCEBILITÀ TERMICA}$$

- I metalli hanno elettroni e foton
- I ceramici hanno foton
- I polimeri non emettono tanto.

IRRADIATION
CALORE PER
IRRAGGIAMENTO

Il filamento delle lampadine ed il sole emettono per irraggiamento.
Per la legge di Stefan - Boltzmann (T^4) più è alta la temperatura, più il corpo emette per irraggiamento.



Alimentandosi la temperatura aumenta l'energia emessa e diminuisce la lunghezza d'onda.

• CONDUCIBILITA' TERMICA

La conducibilità termica è una misura dell'attitudine di una sostanza a trasmettere calore, dipende dalla natura del materiale e non dallo suo forma.

• CAPACITA' TERMICA

La capacità termica di un corpo è definito dal rapporto fra il calore fornito e l'aumento di temperatura.

La capacità termica diminuisce con l'aumento dello spessore e del peso degli atomi: più è pesante un materiale e più la capacità termica manca e basta.

H₂O LIQUIDA : 4,186 J/g K

È grazie all'acqua che sulla Terra abbiamo la vita perché riduce la differenza di temperatura tra giorno e notte. La capacità termica per unità di volume è diversa dalla capacità termica per unità di massa.

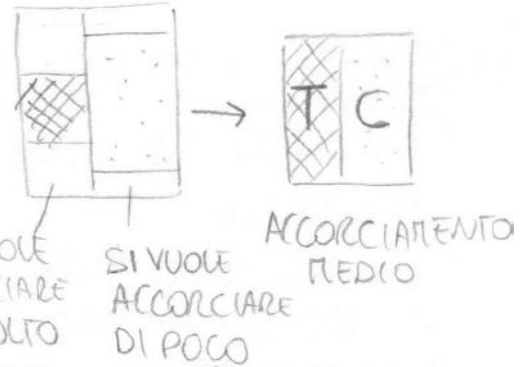
L'aria conduce per convezione (movimento) non per conduzione (aria ferma).

$\lambda = \text{CONDUCIBILITA' TERMICA} ; \left[\frac{W}{MK} \right] = \frac{KCal}{m^2ch} = \frac{4186 J}{m^2 K 3600s} \approx 1,16 \frac{W}{MK}$

Nelle case abbiamo il ponte termico per la presenza dell'acciaio nelle strutture (conduce 10 volte di meno del rame) e anche per la presenza delle tubazioni dell'acqua.

più ha dilatazione termica alta e si espande molto.
 • Più un metallo fonde a temperature alte (legami forti),
 meno si avrà minore espansione termica.

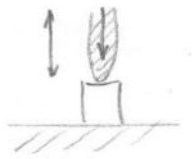
Nei solai, i ferri ed il calcestruzzo hanno un'espansione termica diversa che provoca delle tensioni interne.



Se i due materiali non sono sufficientemente ANCORATI, si ha una situazione intermedia perché un materiale vuole espandersi tanto e l'altro poco: nascono tensioni di trazione e compressione.

DILATOMETRO

Appoggiamo la punta dello strumento mercuriale con questo si espande ma registriamo la differenza di lunghezza



$$\alpha = \frac{\Delta L}{L} \frac{1}{\Delta T} = \frac{\partial L}{\partial T} \frac{1}{L}$$

TEMPERATURA DI FUSIONE

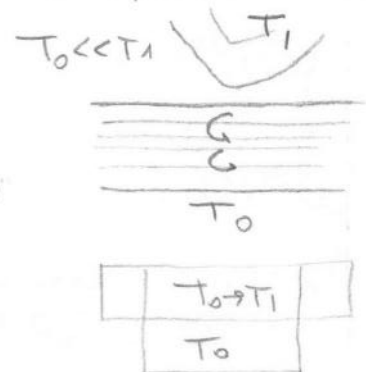
La temperatura di fusione dipende dalle forze di legame: più il legame è forte e più la temperatura di fusione è alta. Il vetro non fonde ma si ammorbidisce, e questo fatto dipende anche molto dalla sua composizione (il CaO è un agente di materiali).

$$R_T = \frac{\lambda \sigma_R (1 - \nu)}{\alpha - \epsilon}$$

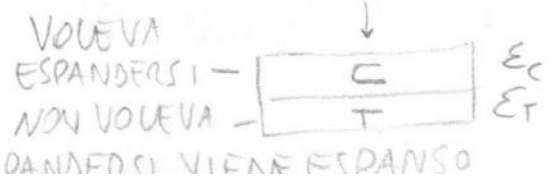
(c) RESISTENZA ALLO SHOCK TERMICO

È una proprietà composta, quando il materiale deve sopportare elevati sbalzi termici per un breve periodo di tempo.

Se colui del liquido caldo nel materiale ($T_1 \gg T_0$), il calore del liquido passa negli strati interni del materiale, riscaldandolo ed espandendolo.



R_T : più il materiale conduce calore, meno è resistente allo shock termico. Più il materiale si espande, più è resistente allo shock termico.



T = 20°C N₂ stabile

T = alta. N₂ + O₂ ⇌ NO_x (NO, NO₂, N₂O)

Le caldaie catalitiche producono meno NO_x perché bruciano il metano a temperature più basse.
A seconda del combustibile si possono produrre dei gas più o meno complicati.

PVC: $\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \right)_n$ produce Cl₂, HClO_x, HCl (DIOSSINA)

TEF: $\left(\text{CF}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CF}_2} \right)_n$ produce F₂

POTERE CALORIFICO

Il potere calorifico è la quantità d'energia che si può ricavare convertendo completamente l'unità di combustibile in gas di combustione.

PROVA DI INCOMBUSTIBILITÀ (NORMATIVA COMPLESSA)

Il campione va sottoposto per innalzamento o conversione e non volutamente (tenendo il forno a 750°C):

- AUMENTO DELLA TEMPERATURA
- DURATA DELLE FIAMME
- PERDITA DI MASSA

Se il risultato sta dentro dei parametri: CLASSE Ø



La dolomite, calcare incombustibile, perde massa.

LA FIAMMA

La fiamma è formata da gas di decomposizione o sublimazione che bruciano.

La cera nelle candele brucia quando viene rimulata per capillarità dello stoppino, brucia solo la frazione di cera gassosa, non quello liquido.



Reazione esotermica $\left[\text{C}_x\text{H}_y + \text{O}_2 \right] \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

← È LA FIAMMA!

Il carbonio brucia ma non sublima, quindi quando è in fase gassosa non produce la fiamma.

REI - TEMPERATURA a poco, come per sapere quanto
 minuti può rimanere la struttura senza bruciare.

CLASSI DI REAZIONE

Consideriamo l'aumento della Temperatura o il potere
 calorifico in funzione alla norma usata.

Propagazione del fuoco: nel fuoco esce dal materiale

COMPORTAMENTO MATERIALI

1- POLIMERI

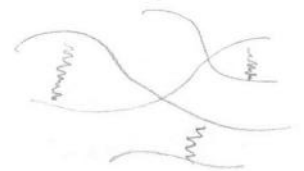
Il calore di combustione è la quantità di calore prodotta
 dal materiale durante la combustione.

Bisogna sempre valutare il ciclo vita dei materiali prima
 di bruciarlo per vedere qual'è il materiale più economicamente
 conveniente, tenendo conto del costo di produzione dei
 materiali (Polimeri, legno, Petrolio...) e valutare se bruciarlo
 o recuperarlo.

I polimeri vengono classificati in funzione del loro comportamento
 al fuoco.

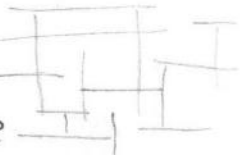
TERMOPLASTICO (legami secondari)

I polimeri termoplastici rammolliscono e
 fondono per effetto del calore, dando vita a
 gocciolamento; formano delle goccie per tensione superficiale
 dove le catene tendono a raccogliersi invece che essere distole.

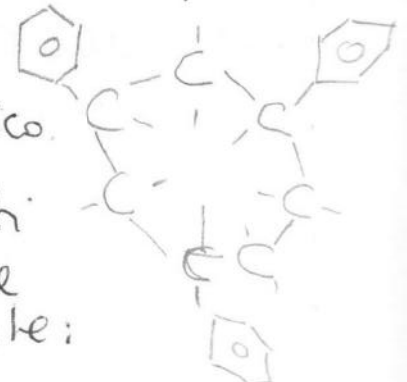


TERMOINDURENTE

I polimeri termoindurenti tendono a carbonizzarsi
 e prevenire l'ignizione perché le catene sono legate
 con legami secondari e sono agitate da legami primario.



RESINA POLIESTERE: le catene di carbonio
 sono legate tra loro da un anello benzeneico.



Il termoindurente è un polimero con tanti
 gruppi ma ha dei ponti, non può fondere
 perché non si hanno le catene separate:
 carbonizza e brucia.

LEGANTI AEREI E IDRAULICI

LEGANTE

Prodotto inorganico (deriva dai minerali) sotto forma di polvere fine (non coesiva) che mescolato con acqua genera un impasto plastico (lavorabile) in grado di perdere progressivamente la sua plasticità e di indurire (l'opera, rappresa e non-lavorabile) sviluppando proprietà meccaniche e di collante.

- PROPRIETÀ MECCANICHE: struttura

- COLLANTE: tra il cemento e l'aggregato (inerti; ghiaia, pietra...)

Il legante è più costoso di ghiaia, sabbia e pietra.

1 m³ = 300 Kg di cemento e 1300 Kg di inerti

LEGANTI AEREI: Serve l'aria per indurire

LEGANTI IDRAULICI: Induriscono in aria e sott'acqua

Il cemento indurito sopporta la forza dell'acqua già dopo un giorno (ha bene proprietà meccaniche) ma dopo un mese sviluppa le sue proprietà meccaniche anche sott'acqua.

La calce è aerea perché in acqua si scioglie, la calce costa di meno e va usata dove non c'è presenza d'acqua.

FASI

- PRESA: perdita di plasticità, bene proprietà meccaniche

- INDURIMENTO: alte proprietà meccaniche

Il cemento è indurito dopo 28 giorni.

PASTA: legante + H₂O

MALTA: legante + H₂O + Aggregato fine (sabbie < 4:5 μm)

CLS: legante + H₂O + Aggregato fine + Aggregato grossolano (ghiaie φ 5 cm).

LEGANTI AEREI

1) GESSO

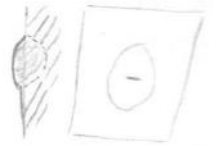
Materiali in varie forme (anche cristalli) molto morbidi

PIETRA DA GESSO (Solfato bivalente) CaSO₄ · 2 H₂O

Il gesso in acqua si idrata molto rapidamente: 15÷60 minuti, bisogna lavorarlo subito.

• REAZIONE ESPANSIVA

Aumento di 1÷1,5 di volume, il rigonfiamento può essere dannoso perché si possono formare delle crepe perché la superficie esterna diventa più grande e nascono delle fessure: il gesso si crepa.



• REAZIONE ESOTERMICA

La reazione sviluppa molto calore ed aumenta la temperatura la precipitazione di $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sviluppa molto calore e devo aggiungere acqua perché:

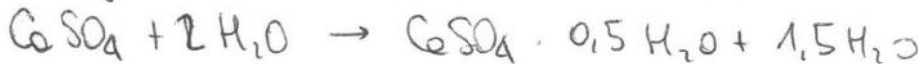
- devo migliorare la lavorabilità;
- tenere bassa la temperatura.

RAPPORTO ACQUA/LEGANTE

È un rapporto in peso

$$\frac{a}{\text{gesso}} \quad \frac{a}{\text{Cemento}}$$

$$\frac{a}{g} = 0,65 \rightarrow 650 \text{ g di acqua.}$$



Rapporto teorico: Anidrite 0,24, Emidrate 0,19

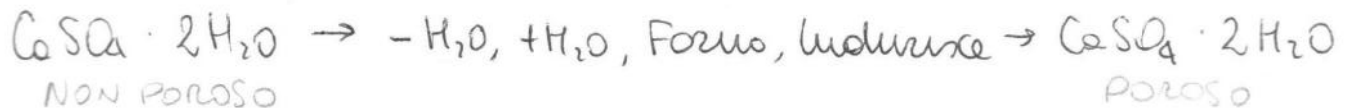
Rapporto reale: 30 ÷ 100% in peso d'acqua.

H₂O DI IDRATAZIONE

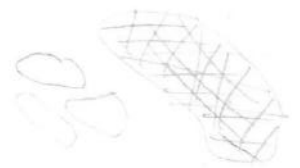
Serve a trasformare l'anidrite o l'emidrate in gesso

H₂O LIBERA

Rimane tra le parti di gesso ed evaporando lascia dei pori, che riducono le proprietà meccaniche.



Più il rapporto acqua/legante è alto, più si ha porosità dopo l'evaporazione e più si ha abbattimento delle proprietà meccaniche.



Il gesso reagisce a compressione 2÷7 MPa, a trazione 2÷3 MPa.

Il gesso budato è solubile, non bisogna metterlo a contatto con l'acqua dopo l'indurimento.

2- CARTONGESSO

Foglio di cartone + strato di gesso + foglio di cartone, fatto passare alternativamente a due rulli: il gesso si deforma e indurisce

Il cartongesso è pesante e viene usato come rivestimento dei muri perché è un buon isolante termico ed è anche bello esteticamente.

Il cartongesso si mette sempre con l'armatura metallica

2) CALCE AEREA

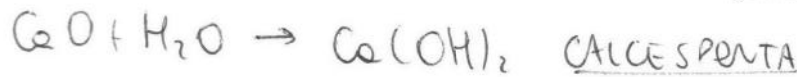


CALCE VIVA



+ CO₂

↓ + H₂O



Il calcare è una roccia come CaCO₃

La calce viva va spenta: ottenendo per decomposizione termica del CaCO₃, una sostanza corrosiva (calce spenta) ma meno corrosiva della calce viva.



La calce viva ha un pH ≈ 13÷14 bruciato/d'olio

La calce come di più perché deve arrivare fino a 900°C

! Reazione esotermica e espansiva, molto pericolosa!

Calce simile a quella del gesso ma la calce va spenta con una reazione di carbonatazione, aggiungendo CO₂.

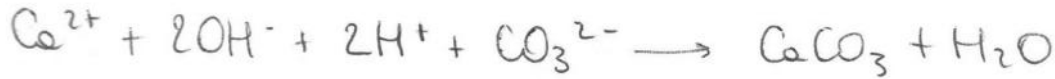
SPEGNIMENTO CALCE VIVA

- Con la quantità giusta d'acqua ho la calce idratata in polvere, che è comoda da trasportare
- Con una quantità di acqua maggiore ho il GRASSELLO (35/45 % di acqua in più) molto appiccicoso.

RESA IN GRASSELLO [m³/ton]

Aggiungendo acqua si ha espansione: la resa in granello è data dal rapporto tra il volume del granello ed il peso della calce che l'ha generato.

C'è equilibrio chimico tra H_2O e CO_2 in funzione di T.

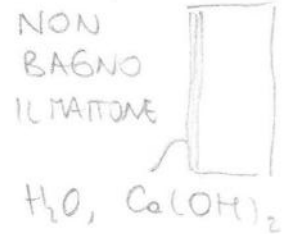


La reazione avviene in forma ionica e se l'acqua della calce evapora rapidamente, la calce non si presa.

La reazione avviene perché il carbonato di calcio è poco solubile e meschiando Ca^{2+} e CO_3^{2-} in acqua, precipitano: è necessario l'acqua!

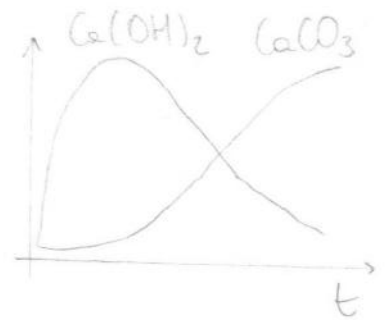
Quando si dà l'intonaco bagnato il mattone è saturo d'acqua i pori (rimucchiata per effetto di capillarità).

L'acqua dell'intonaco, se il mattone è asciutto, viene rimucchiata dentro il mattone: avviene di nuovo la reazione e l'intonaco sarà poco resistente, si sbrucia. Se il mattone è saturo d'acqua, l'acqua nell'intonaco fa avvenire la reazione.



FASE DI PRESA / INDURIMENTO

1. lavoro in eccesso d'acqua per avere l'imasto fluido.
2. Evaporare l'acqua in eccesso nell'imasto.
3. $Ca(OH)_2$ precipita e deve cristallizzare.



Dopo la precipitazione si ha solo $CaCO_3$ in alta concentrazione mentre il $Ca(OH)_2$ è quasi totalmente precipitato grazie all'acqua nell'intonaco abbiamo la reazione.

Partendo dall'esterno inizia la carbonatazione e (formazione di cristalli di $CaCO_3$) tra i granuli di sabbia o tra i materiali che la malta deve legare (indurimento)

Al termine si ha un corpo compatto ed insolubile in H_2O . La carbonatazione parte dall'esterno perché la CO_2 e $Ca(OH)_2$ presente nell'aria deve diffondere e reagire fino all'interno (la CO_2 si discioglie in acqua con un processo lento)



Malta = legante + Aggregato fine

Allo fine del processo la malta è INSOLUBILE

la "gobba" dell'utero può essere dovuta al $\text{Ca}(\text{OH})_2$ spento momentaneamente.

CALCE IDRAULICA

La calce reagisce con un'altra sostanza come la pozzolana (ossido di silicio) o il cocciopesto, ottenendo una sostanza simile al cemento.

La calce idraulica adesso è una polvere di cemento miscelata con sabbia o calce aerea (costano di meno perché vengono cotte a temperature inferiori).

La MALTA BASTARDA va usata anche sott'acqua.

AGGLOMERATI

I cementi che non hanno le caratteristiche richieste dal cemento (32,5 MPa dopo 28 giorni) viene usato nello molto invece che buttarlo via.

LEGANTE IDRAULICO

Il legante idraulico è un minerale inorganico finemente macinato che, mescolato con acqua, forma una pasta che si apprende ed indurisce a seguito di reazioni e processi di idratazione e che, una volta indurita, mantiene la sua resistenza e stabilità anche sott'acqua.

CEMENTO

Il legante idraulico che dopo 28 giorni di stagionatura sott'acqua ha una resistenza a compressione di 32,5 MPa.

Il cemento è finemente macinato e:

- il gesso non reagisce con acqua ma si idrata;
- la calce non reagisce con acqua;
- il cemento REAGISCE con acqua.

L'acqua nel cemento NON EVAPORA.

Dopo che il cemento ha fatto presa può indurire anche sott'acqua (l'acqua in eccesso non evapora).

Quando il cemento è indurito può anche lavorare sott'acqua.

aggiungo le rocce fratturate ed additivi = CLS.

Il CLS ha un tempo di presa dopo il quale non è più lavorabile, il CLS va gettato nei cancri.

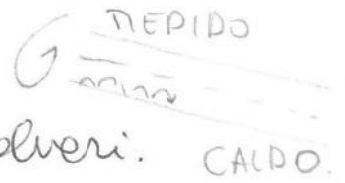
Sapendo che il CLS ha un tempo veloce di presa si può produrlo in cantiere o capiarlo dalle cave.

Perché serve il forno rotante?

Se porto le polveri ad alte temperature (800/1200°C) si ha la sinterizzazione, come nei mattoni.

Nel forno per il cemento (1400°C) può avvenire la sinterizzazione e se metto CaCO_3 , Argilla e sabbia silicea, esce un materiale duro e non lavorabile.

Metto il forno rotante e inclinato per evitare la sinterizzazione e mantenere le polveri sempre in movimento, così non si ha il legame tra le molecole e non avviene la sinterizzazione.



- La rotazione del forno serve per evitare la sinterizzazione.
- L'inclinazione del forno serve per far passare le polveri da basso ad alta temperatura incanalando i gas di combustione.

La temperatura dentro al forno non è UNIFORME, Calce, Sabbia e argilla sono soggetti a diversi fenomeni (nell'argilla l'acqua evapora e cristallizza).

Nel forno la fase liquida non riesce a bagnare le polveri.

Con diverse trasformazioni si forma il CLINKER che non è Argilla, calce e Sabbia.

Il clinker è rotto in frammenti, molto poroso e debolmente sinterizzato, cade su una griglia dove vengono RAFFREDDATI da un getto d'aria.

A seconda della velocità di raffreddamento del clinker si hanno diverse fasi cristalline.

- Raffreddamento lento: perdita delle caratteristiche del cemento.
- Raffreddamento rapido: garantisce le proprietà idrauliche del cemento.

Le palline di clinker vengono macinate.

CSH: Silicato di Calcio idrato, TOBERMORITE,

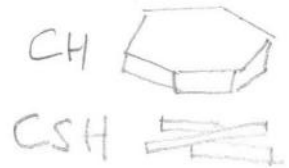
l'indurimento del CLS deriva dalle formazioni di CSH

CH: Idrossido di Calcio, Calcio idrato, PORTLANDITE

l'alcalinità dei cementi è dovuta alle presenza di CH.



pH alto, bianco 12 ÷ 14, molto alcalino

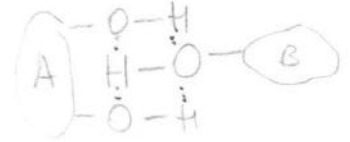


La struttura del CSH garantisce la resistenza del Calcestruzzo.

L'idratazione del C₂S, C₃S forma CH, CSH

Il cemento è un materiale condimensionati nanometriche e quando gli aghi del CSH si toccano danno una resistenza meccanica tramite alla crescita della struttura idrata.

CSH = X CaO Y SiO₂ Z H₂O, se è molto idrato

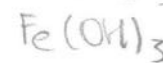
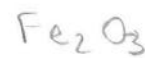


Questi aghi quando si espandono legano chimicamente e meccanicamente il materiale grazie a un legame secondario (legame a idrogeno).

Il mondo ago ha dimensioni di decine di microm.

- Seccare gli aghi di CSH sono piccoli, possono del legame con i granuli vicini e garantire la resistenza meccanica del materiale.

PORTLANDITE (CH)



O₂ H₂O

La portlandite ha una morfologia lappante, non fa legame chimici e non modifica le proprietà meccaniche del cemento. MA garantisce al ferro di non considerare pericoli da il pH bianco di CLS, e ferma l'ossidazione

OSSIDAZIONE

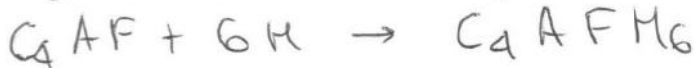
L'ossidazione del ferro può essere compatta o irregolare.

- Se lo strato di ossidazione è compatto, il ferro interno non è a contatto con l'aria e lo STRATO PASSIVANTE impedisce un'ulteriore corrosione



ALLUMINATO / PEROALLUMINATO DI CALCIO

Altri componenti del cemento



ALLUMINATO DI CALCIO
IDRATO

Il C_4AH_{13} (alluminato di calcio idrato) non dà resistenza meccanica MA la reazione è molto rapida.

RIMEDIO

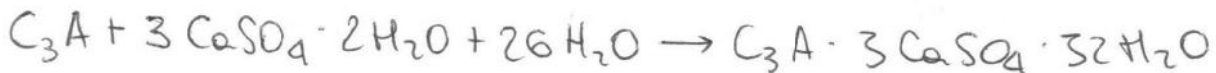
Per rallentare la presa e permettere ai miscelati di reagire, (ricordando che in questo fare la resistenza meccanica non è alta) aggiungo il gesso di clinker.

Il gesso cambia la chimica delle reazioni

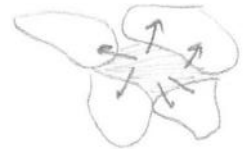


ETTRINGITE

Mettendo il gesso nel clinker abbiamo una reazione molto espansiva



Ricordando le florescenze: quando l'acqua cristallizza, genera uno sforzo che tende ad aprire il difetto e far avanzare la cricca.



L'espansione locale all'interno del poro genera una cricca e siccome questa reazione avviene nell'acqua, posso avere che:



- Se il gramo è isolato, non mi hanno problemi.
- Se il gramo è vicino ad altri grami, mi genera la cricca.

L'ettringite se si espande non dà problemi perché l'espansione avviene in una parte morbida che non si cricca.

L'acqua deve passare attraverso all'ettringite che, grazie alle sue forme di aghi, ostacola la reazione e permette di ritardare la presa di un paio d'ore.

L'ettringite ha la funzione di creare uno strato di aghi sulla superficie del C_3A e ritarda la reazione.

Una macinazione più fine garantisce allo reazione di avvenire più velocemente. (37,5 R → \$)

Si come la reazione avviene nella superficie, più il cemento è macinato e più si ha superficie: la reazione avviene più velocemente.

Se le dimensioni delle particelle diminuiscono, C₃S aumenta il rapporto $\frac{\text{Superficie}}{\text{Volume}} = \frac{S}{V} \approx \frac{1}{d}$

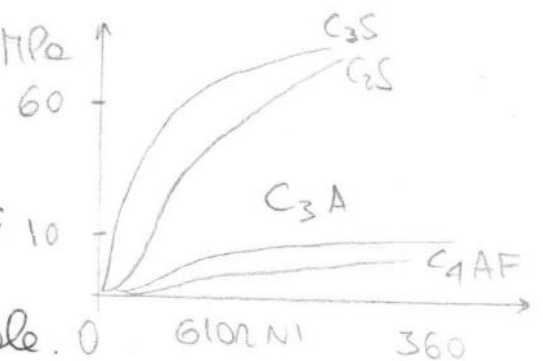
Invece che cambiare le reazioni chimiche e velocizzarle con dei catalizzatori, che costerebbero tanto mentre il cemento DEVE costare poco, si fa una macinazione aggiuntiva.

Sulla superficie del grano avrò gli aghi di ettringite e il grano è piccolo, l'acqua penetra di meno per arrivare al centro del grano, provocando la reazione più veloce



DIFETTO: rischiamo di velocizzare la reazione di presa, con difficoltà di getto in opera.

VELOCITA' DI SVILUPPO DELLA RESISTENZA MPa
 Guardiamo lo resistenza a compressione della miscela forte.
 Non bisogna mettere troppo C₃A, C₄AF perché garantiscono solo lo presa e non danno resistenza al materiale.



Un cemento che ha fatto solo presa garantisce di cominciare a presa, ma la vera resistenza si ha dopo circa 28 giorni per il C₃S, non per il C₂S.

RUOLO OSSIDI DI Fe e Al

Gli ossidi di alluminio e ferro reagiscono da fluidanti, essenziali per il cemento perché garantiscono la formazione di una fase liquida nell'ultima parte del forno rotante (T = 1350 ÷ 1450 °C).

In loro assenza aumenterebbero le temperature

Nei climi freddi uso un cemento rapido perché il calore d'idratazione permette di far avvenire la reazione in tempi normali, velocizza la reazione.



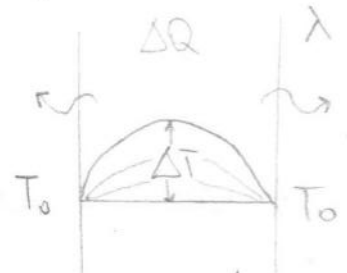
• GETTI IN CLIMI CALDI

Ad alte temperature c'è il rischio che la reazione d'idratazione avvenga per pochissimo tempo: ho bisogno di ritardare la presa usando degli additivi.

Il calore d'idratazione svolge un'azione negativa.

GRANDI PUNTI IN CEMENTO (DIGHE)

All'interno dei grandi muri di cemento cresce la temperatura interna e, con un forte ΔT si crea uno "shock termico" tra la parete ed il cuore del cemento con la conseguente espansione e rischio di fratture.



I grandi getti di cemento possono avere delle fessurazioni legate allo sviluppo di calore che non riesce ad uscire velocemente dal cemento.

L'idratazione del cemento garantisce la resistenza meccanica ma crea una porosità perché tra gli agli abbiamo acqua o vuoto.

• POROSITA'

Nel cemento abbiamo una porosità piccola perché gli agli sono piccoli ma in quantità elevata.

La resistenza meccanica del materiale è in funzione della grandezza del difetto, quindi i pori piccoli non influenzano le resistenze meccaniche. Il problema è che oltre alla porosità fine degli agli abbiamo anche i pori capillari (secondari 0,1 - 10 μm) importanti perché influenzano le proprietà meccaniche.

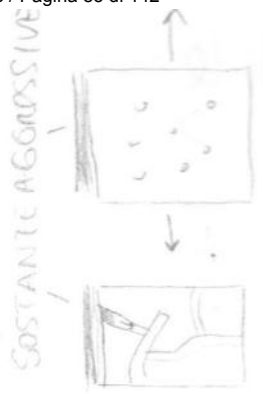
- Aumentando la porosità diminuisce la resistenza meccanica
- Aumentando la porosità aumenta la permeabilità ma diminuisce la durabilità.

Se la porosità è chiusa, le sostanze aggressive impiegano molto più tempo.

Se la porosità è aperta, le sostanze aggressive attaccano subito i pori interni e generano le cricche e fratture.

$\frac{a}{c}$ basso \rightarrow pochi giorni per avere i pori chiusi

$\frac{a}{c}$ alto \rightarrow impiego tanto tempo per avere i pori chiusi e rischio di criccare il materiale.



ACQUA NEL CEMENTO (DOPO L'IDRATAZIONE)

Abbiamo 3 diversi tipi di acqua dentro il cemento

1- ACQUA COMBINATA

Acqua che reagisce con le fasi, in quantità $\frac{a}{c}$, che viene chimicamente legata ai prodotti d'idratazione.



Quest'acqua non viene persa per emicamento ma si libera solo per degradazione chimica ad alta temperatura (incendio)

2- ACQUA CAPILLARE (FENOMENO DI RISALITA CAPILLARE)

Acqua in eccesso nei pori che può evaporare.

3- ACQUA ADSORBITA

Acqua finemente trattenuta sulla superficie dei solidi della pasta indurita con la quale crea un legame a idrogeno per abbassare l'energia superficiale

Quest'acqua non è trascurabile perché:

- la perdita di tale acqua è responsabile del ritiro della pasta indurita per emicamento;
- l'acqua può essere adsorbita dal CSH che ha una superficie di $10/100 \mu m$ (dimensione grande) e formerà circa il 28% del volume del CSH.

L'acqua adsorbita è importante perché non è l'acqua che entra nei pori né l'acqua capillare.

Il valore stechiometrico di $\frac{a}{c} = 0,23$ non basta:

- serve più acqua per l'adsorbimento;
- serve più acqua per renderlo lavorabile.

Quanta acqua devo mettere?

Considerando 100 kg di cemento (densità = $3,15 \frac{g}{cm^3}$)

$$H_2O = \frac{100}{3,15} = 31,75 \text{ l} \quad 1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ l}$$

Di questi 31,75 l, 23 l servono stechiometricamente per la reazione; quanta acqua adsorbita serve?

Siccome in 1 cm^3 di cemento abbiamo circa $2,14 \text{ cm}^3$ di prodotti di idratazione, l'acqua adsorbita:

$$H_{2O_{\text{ADS}}} = 0,28 \times 31,75 \times 2,14 = 19 \text{ litri}$$

$$H_{2O_{\text{MINIMA}}} = 23 + 19 = 42 \text{ litri}$$

Servono 42 litri acqua 100 kg di cemento

Quanti pori ci sono?

A metà della reazione ($\alpha = 0,5$) abbiamo 2,925 l di pori capillari e 21 l d'acqua che è diminuita

La reazione del cemento fa sì che abbiamo volumi diversi prima, dopo ed durante la reazione.

Volume iniziale: 73,75 l

Volume prodotti di idratazione = $31,75 \cdot 2,14 = 64,90 \text{ l}$

Abbiamo un ritiro del cemento di 5,85 l ($\approx 7,9\%$) del cemento totalmente idratato con la formazione di pori capillari.

2) OSSIDO DI SILICIO REATTIVO (SiO₂)

Frazione del biossido di silicio che risulta solubile dopo il trattamento con acido cloridrico (HCl) e con una soluzione in ebollizione di idrossido di potassio (KOH).

CEMENTO

Il cemento è un legante idraulico, materiale inorganico finemente macinato che, mescolato con acqua, forma una pasta che si presa e indurisce a seguito di reazioni e processi di idratazione e che, una volta indurita, mantiene la sua resistenza e stabilità anche sott'acqua.

La marcatura CE garantisce il rispetto delle norme.

• FUNZIONE CEMENTO

- Conservare la lavorabilità per un periodo di tempo sufficiente;
- Raggiungere livelli di resistenza meccanica prestabiliti;
- Fornire una stabilità di volume a lungo termine.

• VINCOLO COMPOSIZIONALE

CaO REATTIVO + SiO₂ REATTIVO ≥ 50% IN MASSA

COSTITUENTI

1) CLINKER DI CEMENTO PORTLAND

Il clinker di cemento portland si ottiene mediante interazione di una miscela di CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ e modeste quantità di altri composti.

Il clinker è un materiale idraulico

• VINCOLO COMPOSIZIONALE

SILICATI DI CALCIO C₂S e C₃S ≥ $\frac{2}{3}$ IN MASSA

$\frac{CaO}{SiO_2} \geq 2$

MgO ≤ 5% IN MASSA

Poco MgO per evitare i fenomeni espansivi di MgO in presenza di acqua.

4) CENERI VOLANTI

Le ceneri volanti sono ottenute dalle polveri provenienti dalle fornaci di scarico dei forni a carbone.
Altra cenere non può essere usata.

CENERE VOLANTE SILICEA

Composta da SiO_2 e Al_2O_3 in particelle sferiche che ha proprietà pozzolaniche.

$\text{CaO} < 10,0\%$ IN MASSA

CaO LIBERO $< 1\%$

SiO_2 REATTIVA $\geq 25\%$ IN MASSA

CENERE VOLANTE CALCCIA

Contiene CaO , SiO_2 , Al_2O_3 e da proprietà idrauliche e pozzolaniche

$\text{CaO} > 10\%$

5) CALCARE

• $\text{CaCO}_3 \geq 75\%$ tanto carbonato di calcio

• Anello $< 1,2 \text{ g}/100\text{g}$, l'anello è una polvere fine che riduce le proprietà pozzolaniche.

• Carbonato organico totale (TOC) limitato

6) FIDRI DI SILICE

Derivano dalla produzione di silicio e di leghe di ferro-silicio, composta da particelle molto fini.

SiO_2 ATOMO $\geq 85\%$ IN MASSA

7) SOLFATO DI CALCIO

Il solfato di calcio è aggiunto ad altri costituenti del cemento durante la sua produzione per regolare lo presa

controlla la velocità di idratazione degli alluminati e ferroalluminati con formazione di ETRINGITE PRIMARIA.

8) ADDITIVI

Quantità totale $< 1\%$ IN MASSA

Additivi organici $< 0,5\%$ IN MASSA

• QUALITÀ

Costanza di prestazione dei prodotti nel tempo, dipende dalle domi di resistenza e n° fanno dei controlli nello finente di macinazione

REQUISITI FISICI

1) TEMPO DI INIZIO PRESA

Il tempo si valuta il tempo di inizio e fine presa

Il tempo di inizio presa serve per definire la CONSISTENZA NORMALE, verificata con un test:

"La pasta ha consistenze normale quando lo sonda a contatto della superficie della pasta di cemento, sotto il carico di 300 g, la penetra a una profondità di 6 mm dal fondo."

Il tempo di inizio presa va usato per ricadurni alla finente di macinazione, correlabile alle resistenze meccaniche e brevi tempi di stagionatura.

Il tempo di inizio presa è importante per definire le tempistiche di messa in opera del cemento

2) TEMPO DI FINE PRESA

Non può essere usato ma è un controllo sostituito con quello fatto a 2 giorni dalla produzione e getto.

3) STABILITÀ

La stabilità è un controllo di riserva per verificare la presenza di CaO e SO_3 liberi che, se vanno a contatto con l'acqua, c'è il rischio di forte espansione

4) CALORE D'IDRATAZIONE

Nei cementi a basso calore d'idratazione, non deve superare 270 J/g a 7 giorni (o 41 h , norme diena) per evitare il rischio della formazione di creche (soprattutto nei grandi getti - diga -).

CALCESTRUZZO CLS

CLS = CEMENTO + ACQUA + AGGREGATI + ADDITIVI

Il legante (Cemento) agisce da collante che ricopre, avvolge e collega i singoli elementi lapidei.
L'aggregato può essere fine o grossolano.

1) CLS FRESCO

È un impasto plastico prodotto in cantiere o negli impianti di betonaggio con le seguenti caratteristiche:

- LAVORABILITÀ
- PRESSA IN OPERA PER POMPAGGIO O CADUTA
- FACILITÀ DI COSTIPAZIONE nelle canneforame
- STAGIONATURA

CLS INDURITO

Materiale da costruzione che sviluppa proprietà meccaniche e di durabilità.

2) ACQUA D'IMPASTO

L'acqua dell'impasto idrata il cemento e lo rende lavorabile. $\frac{a}{c}$ è fondamentale perché sviluppa delle proprietà meccaniche, di durabilità e di porosità del materiale.

Verifico la porosità col porometro a mercurio (Hg non bagnabile).

- Se aumento $\frac{a}{c}$ aumenta il volume dei pori e la loro dimensione.

L'acqua in eccesso che viene aggiunta in cantiere produce un CLS mediocre in termini di resistenza meccanica anche se è più fluido e più lavorabile.

Siccome l'acqua costa poco, bisogna stare attenti in cantiere non ne mettiamo in eccesso.

Bisogna sempre controllare il rapporto $\frac{a}{c}$ e la natura e composizione dell'acqua d'impasto.

Le acque potabili e naturali vengono utilizzate solo nei piccoli getti e nei CLS NON ARMATI (non per c.a. e c.a.p.).

Se uso l'acqua di mare posso recare danno alla struttura.

- Il CLS indurito non vuole sopportare i solfati.
- Il CLS da indurire può sopportare i solfati.

I cloruri nel c.a. e c.a.p. condanno l'armatura.

le acque naturali (pH < 6) non creano problemi mentre le acque aggressive corrodono i ferri.



Il pH scende quando uniamo acque acide che contengono la CO₂ che, reagendo con OH⁻, corrode i ferri.

5) SOSTANZE ORGANICHE

Le sostanze organiche danno problemi di adesione e presa vanno messe in piccole quantità perché rallentano la velocità di presa: usare acque PURE.

Bisogna evitare alte concentrazioni delle sostanze per NON avere reazioni chimiche.

3) AGGREGATO

L'aggregato è formato da ghiaie e sabbie e può essere:

- NATURALE diminuisce: ALLUVIONALE, con spiagge tonde perché è stato levigato o DI FRANTUMAZIONE se presenta spiagge vivi, dove è avvenuto lo frantumazione.
- ARTIFICIALE viene usato per alleggerire la struttura mettendo argille espause, scisti, perlite espause...

AGGREGATO FINE $\phi < 4/5 \text{ mm}$

AGGREGATO GROSSOLANO $\phi > 4/5 \text{ mm}$

Bisogna bararni sul raggio equivalente

$$V_{\text{sfera}} = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad r = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}$$

L'aggregato va separato in funzione alle sue dimensioni per definire correttamente i rapporti tra gli aggregati.

• FUNZIONI AGGREGATO (AGGREGATO \equiv INERTE)

- 1 - Aumenta la resistenza meccanica del CLS
- 2 - L'inerte non subisce trasformazioni ma può essere portato via solo se il CLS sotto l'aggregato va via. L'aggregato non si degrada
- 3 - Contrasta il ritiro da idratazione

$$V_{\text{cemento} + \text{H}_2\text{O}} > V_{\text{cemento idratato}}$$

Il cemento e solo tra gli aggregati che riducono la compatibilità di ritiro nel cemento.