



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 74

DATA : 24/03/2011

A P P U N T I

STUDENTE : Maltese

MATERIA : Scienza e Tecnologia dei Materiali
Prof. Montanaro

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 MATERIALIMontanaro

23/02/2010

①

Argomenti: documenti "Programma" → programma del corso

Esame: prova scritta 4 domande, 2h di tempo: 2 domande 5p. e 2 domande 10p.

1985 Nasce una tipologia di studio.

L'uomo deve imparare a progettare e costruire i materiali che gli servono.

Necessità dei materiali

Strutture soggette a compressione → non possono tenersi in piedi, il materiale non riesce a resistere

↓
In base alle proporzioni io riesco a far resistere la struttura.
proporzioni = codici di costruzione.Dopo la 2^a guerra mondiale nascono i "dottori dei materiali".

E' importante conoscere il materiale e prevederne il loro comportamento.

Passaggio dal microscopico al macroscopico di tipo MECCANICO e TERMICO e al Fuoco.

CALCESTRUZZO: 1^o materiale in assoluto il più presente nelle costruzioni.

calce + acqua. Molto pericoloso poiché subisce erosioni nel tempo a causa degli agenti atmosferici. Non è eterno ma ha dei limiti.

MATERIALE: qualsiasi "solido" in grado di svolgere una determinata funzione.

Il materiale deve fornire una funzione, un'azione.

Mondo molto ampio: 3 famiglie autonome e indipendenti.

← menutiche →

variabilità di caratteristiche

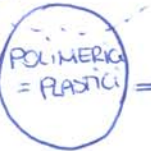
quindi è un continuo di caratteristiche.



sta a cavallo delle 3 famiglie

COMPOSITO

⇒ combinazione di 2 materiali ≠ che si accoppiano in modo sinergico. Migliora una funzione del materiale.



⇒ 3 famiglie al suo interno, molto lontane le une dalle altre.

METALLI due classi:

→ LEGHE FERROSE: Acciai e ghise base ferro + carbonio = Leghe Ferro-carbonio

→ LEGHE NON FERROSE: Al, Mg, Ti, Cu.

Proprietà dei metalli allo stato puro sono molto scarse tranne x alcuni casi tipo il RAME che è un buon conduttore di elettricità.

Proprietà meccaniche molto scarse → combino con altri materiali nati LEGHE

Le due classi divise per convenzione dal mercato a livello commerciale.

CERAMICA due classi:→ OSSIDICI: presenza di O combinato.CEMENTI, GESSO, CALCE, VETRO DI SILE, LATERIZI.→ NON OSSIDICI: no presenza di O combinato.GRAFITE, DIAMANTE, IDRURI, CARBURI.POLIMERI:→ TERMOPLASTICI: polietilene, polipropilene.→ TERMOINDURENTI: resine di vinile. Collanti strutturali. Applicazione di tipo strutturale.→ ELASTICHE: Gommoli, pneumatici delle auto.COMPOSITI: combinazione materiali distinti.Due parti → MATRICE: continuità tridimensionale dentro il composto.→ RINFORZO: migliorare una caratteristica della matrice.→ vetroresina: rinforzata con fibre ceramiche di vetro.

combinazione 2 fam. ≠

→ calcestruzzo: combinazione fam. =

Stabilità dei getti

materiale lapideo, materiale inerte + pasta di cemento.

SCIENZA E TECNOLOGIE DEI MATERIALI

23/02/2010 ①

Atomo di Bohr \rightarrow sfera rigida.

Nucleo e elettroni attorno ad esso in modo caotico.

Rapporto: pallone e campo da calcio.

Materie concentrate in spazi molto ristretti.

Distanze dei nuclei esiste, non compatte.

L'azione della mano che si appoggia sul tavolo \rightarrow reazione esterna: ENERGIA

LEGAME: dimostrazione di energia.

Nella materia c'è il vuoto. E' più vuota che piena ma resiste grazie ai legami.

TAVOLA PERIODICA: è un "catalogo", da cui posso prendere gli elementi per formare e costruire i materiali. Solo metallici, ceramica, polimerici.Per costruire: - **METALLI** = 1 elemento metallico + **alliganti**
[= BASE] [ELEMENTI IN LEGA]più possibilità di
designer nella costruzione
della lega.

es. leghe ferrose: commercialmente più importanti.

Fe - C

Fe - C / Cr / Ni \rightarrow acciaio inox.

Senza rapporti stechiometrici precisi.

- **CERAMICHE**: Metallo + Non metallo \rightarrow stechiometricamente precisi.
 Al_2O_3 Alluminio.**POLIMERI**: Gruppo limitato di elementi: [Carbonio] idrogeno, ossigeno, alogeni
più importanti
 $\sim \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} \sim$ LEGAMI \rightarrow solo macroproprietà

Proprietà fondamentali

FORTI e **DEBOLI**
riferiti all'energia di legametemperature di fusione
conduttività
dilatazione termica
resistività
durezza**FORTI** se ho legami chimici: Metallico - Covalente - Ionico.**DEBOLI** se ho legami elettrostatici, dipoli elettrici. Idrogeno - Interazioni di Van der Waals.Metalli / leghe \rightarrow legame metallicoCeramica \rightarrow legame covalente } prevale il legame covalente anche se si è in caso di
legame ionico } dubbioPolimeri \rightarrow interazioni di Van der Waals.LEGAME METALLICO

Ogni atomo mette in condivisione gli elettroni di valenza diventando uno ione, mentre gli elettroni si muovono liberamente creando una attrazione tra loro e gli ioni.

Proprietà: • elettroni liberi: non più legati all'atomo di origine
• elettrostatico: **ADIREZIONALE** \rightarrow uguale intensità di attrazione in ogni direzione
• energeticamente forte.LEGAME COVALENTE

Condivisione degli elettroni.

1 elettrone di valenza messo in comune.

Proprietà: • elettroni non liberi

• direzione definita: **DIREZIONALE**• energeticamente molto forte. \rightarrow max qd legame è covalente al 100%
ad esempio tra stessi elementi.

SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI

4/03/2010 ①

[Curve di CONDON MORSE sul libro e sulle dispense]

http://didattica.polito.it/pls/portal30/docs/FOLDER/AREA_DOCENTE/SITO_VIRTLAB/INDEX.HTM
Consideriamo n atomi → struttura 3D dei solidi. Due aspetti ≠ tra di loro per caratteristiche.

Disposizione atomi → ordinato e ripetitivo in 3 direzioni spaziali.
casuale non ripetitivo

Es.
Ceramici: SiO_2 silice → disposizione regolare
↓
stesse proprietà fisiche.

silice - Ossigeno → disposizione casuale.

Solido AMORFO o VETRO.

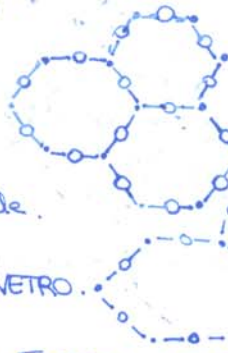


fig A.
CRISTALLO = CRISTALLINO.

AMORFO
Struttura irregolare.

Silice a temperatura ambiente ⇒ QUARZO: Struttura geometrica esagono.

Amorfo: Vetro di silice → vetri solidi calcici oppure vetri da finestre: CaO e Na_2O
abbassano temperatura di lavorazione → basso costo.

SOLIDI CRISTALLINI

Appartengono i metalli allo stato solido. Struttura cubica semplice ripetitiva ⇒ CELLA ELEMENTARE
E' difficile ottenere un metallo amorfo ma deve essere raffreddato in $t = 10^6$ C/s.

Per Ceramica

Trao strutture cristalline con silice.

Polimeri

La maggior parte sono solidi amorfi

Es. le penne bic → strutture "spaghetti light". Catene polimeriche fanno un groviglio come un piatto di spaghetti.

Polietilene, ha un alto grado di cristallizzazione

LD PE: Polietilene a bassa densità. Low-Density (spaghetti attesi nel piatto) → AMORFO

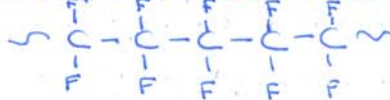
HD PE: Polietilene ad alta densità. High-Density (spaghetti nel pacchetto, scatolo) → CRISTALLINO

$$\text{Densità } \rho = \frac{m}{V}$$

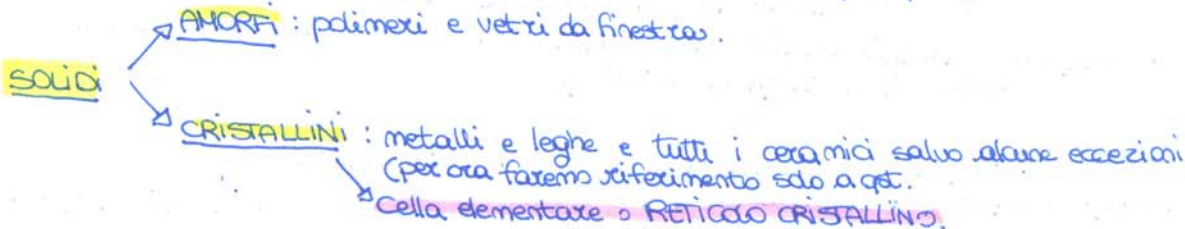
Passaggio tra le due materie: → i vuoti
→ meno massa nel piatto a = volume AMORFO meno denso.
→ più massa a = volume CRISTALLINO → più denso.

Altro polimero: TEFLON (=materiale anti adesione).

↳ PTFE composizionale ⇒ politetrafluoro etilene



Schema



Riferimento comportamento materiali in laboratorio sul sito.

Le strutture cristalline. Diverse forme: 14 tipi impacchettamento materie: → più comuni: CUBICO

CUBICO SEMPLICE



INTERSTIZI = vuoti / cavità

Esistono zone = PIANI dove ci sono gli atomi e il resto è vuoto

ESAGONALE

DIFETTI DI LINEA → dislocazioni, duttilità.

4/03/2010 ②

DIFETTI DI SUPERFICIE → bordi di grano
poli cristallini

DIFETTI DI VOLUME → porosità, influenzano per → proprietà meccaniche.
canali d'accesso per aggressivi ambientali.
Acqua e sue soluzioni

Scienza e tecnologia dei materiali

9/03/2010 ①

- DIFETTI PUNTUALI:**
- lacuna o vacanza: assenza di un atomo
 - interstiziale: atomo posizionato dove non dovrebbe.
- ↳ può essere alto interstiziale o solo interstiziale.
Natura più semplice nei metalli, più complessa nei ceramici.

Difetto di Frenkel: di tipo interstiziale.

// Shocky: accoppio lacune di metallico e non metallico → elettroliticità

Utili per le leghe o le soluzioni solide

Tra i solidi ho effetti di soluzione

Atomi estranei prendono posto alla base → **LEGA SOSTITUZIONALE**

Al metallo base viene aggiunto in soluzione il metallo estraneo

LEGHE INTERSTIZIALI

Elemento che si aggiunge entra a livello atomico nella struttura e ne occupa gli interstizi.

Ad esempio: Acciaio inox: Fe-C + (Cr/Ni) → sostituiscono il Fe.
entano x sostituzione e per interstiziale.

Livello di sostituzione: varia a seconda dei materiali. Co e Ni si combinano completamente 100% miscibili.

A seconda se i materiali sono simili per caratteristiche tra loro.

Acqua e dio non miscibili oppure solo parzialmente.

Negli interstizi sono atomi più piccoli come C, N, H.

non si riesce mai a riempire completamente gli interstizi perché sono molto piccoli e ma l'atomo è troppo disturbato che non accetta altri atomi estranei

Nell'intorno della vacanza si creano delle lunghezze di legame leggermente maggiore che è simile allo stress di trazione, prodotto dall'assenza di materia.

- DIFFUSIONE allo stato solido: atomi all'interno dei solidi si muovono.

Atomi in vibrazione dovuta alla temperatura e all'energia cinetica.

Temperatura di lavorazione delle ceramiche è molto alta.

↓
densifico dei compatti di polvere: polvere ceramica compattata fino a che non diventi un solido cristallino senza aumentare troppo la temperatura.

↓
Legge importante che riguarda la diffusione per fenomeni di trasporto

Tutto deve essere proporzionale al costo e al lavoro che il materiale deve compiere.

1° LEGGE di FICK: $J_x = -D \frac{dc}{dx}$

J_x = flusso di materia.

D = coeff. di EFFUSIONE o DIFFUSIVITA'.

dx = gradiente di concentrazione
disomogeneo x mantenere l'equilibrio
Produce il moto della materia x annullare il disequilibrio. E' negativo sempre

Flusso di materia lungo una specifica direzione

Flusso: quantità di materia che fluisce in un At su una superficie unitaria.

D rappresentabile dall'equazione di Arrhenius.

$$D = D_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

- DIFETTI DI LINEA MONODIMENSIONALI:

Prende in considerazione 1 fila intera di atomi

Dislocazione a spigolo → è la parte del solido in difetto.

Dislocazione all'interno del cristallino → ne crea una perturbazione

Deformazione necessaria ma non soff. ad avere deformazione plastica.

in una fila di atomi ce ne sono 3 molto più vicini di quelli che dovrebbe essere.

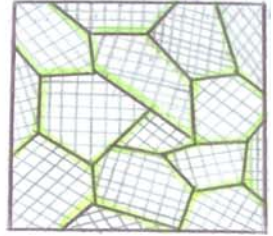
due tipi di stress nel reticolo: sopra a compressione sotto a trazione

Scienze e tecnologie dei materiali

11/03/2010 ①

BORDI DI GRANO:

- zone difettuali → no dimensioni enormi
atomi non si collocano in zone perfette del cristallino
- casuale singolo atomo è chiamato "grano di cristallo"
assumono posizioni intermedie che permettono la transizione delle zone.
- Si possono vedere al microscopio



Rappresentano un impedimento al moto delle dislocazioni degli atomi. → il passaggio attraverso qui è difficile.
Solido monocristallino è molto più duttile di un policristallo.
I grani possono essere grandi o piccoli. Quelli più grandi rendono il materiale più duttile perché incontrano meno ostacoli.

DEFETTI VOLUMICI o TRIDIMENSIONALI

Difetto dell'intero volume

- Vuoto, manca la materia.
- zone amorphe
- inclusioni: porzioni di volume estranee al materiale all'interno della materia.
- Problematiche locali che compromettono anche le caratteristiche meccaniche del materiale.

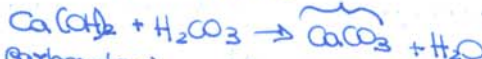
Le proprietà dei materiali

CHIMICHE: • Solubilità

- importanti per manufatti con leganti aerei e idraulici.
- Caratteristica molto variabile.
- Es. gesso è un legante aereo, è estremamente solubile all'acqua.
- Non può essere usato per gli esterni. [carbonato di sodio idrato $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$]
- Dilavamento → solubilizzazione da parte di tutti i tipi di acque che entrano a contatto col materiale.

Es. Portlandite → legante idraulico

[idrossido di calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$]



→ molto poco solubile. Può dare vita al bicarbonato di calcio e da fenomeno del dilavamento.

Carbonatazione del calcestruzzo → degradamento del calcestruzzo.

Caratteristica che è funzione della temperatura. Con andamenti variabili da sale a sale. Aumenta all'aumentare della temperatura.

Dilavamento

EFFLORESCENZE: l'acqua può evaporare x equilibrio tra la temperatura dell'edificio e quella terrestre.
Due tipi di evaporazione: **SUBFLUORESCENZA** e **EFFLORESCENZA**.

SUBFLUORESCENZA: [Dipendono da viscosità, pori e dissoluzioni della soluzione]

Evaporazione acqua → formazione sali sulle superfici oppure sotto la superficie.

acqua circola nel manufatto e ne scioglie i sali che prima erano solidi all'interno del manufatto.

EFFLORESCENZA

- degrado manufatto
- no buono estetico.

SUBFLUORESCENZA

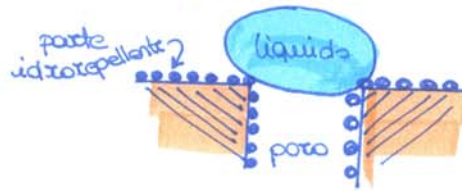
- degrado interno
- può produrre degrado più grave → sali sciolgono la zona subcorticale.
- formano valori di pressione confrontabili al livello di resistenza del manufatto.

• pH: calcestruzzo estremamente basico [12,5 ÷ 13]
Troppa ingenti quantità di portlandite che sono basiche.
Se scende al di sotto di 9 → degrado del manufatto.

Settim

11/03/2020

Mattone → idrofobo. Tutto sta nel trattamento della composizione del mattone.



Tipi di porosità:

Non affligge i materiali metallici.

→ Più presenti nei ceramici.

2 Tipi:

→ CHIUSA: vuoti e cavità con geometrie irregolari, isolati tra loro e non comunicanti con l'esterno. Fa durare di più il manufatto.

→ APERTA: vuoti interconnessi tra loro e comunicanti con l'esterno. Durata minore.

Entrambe incidono negativamente sulle proprietà meccaniche.

$$\text{Porosità \%} = \frac{V_{\text{pore}}}{V_{\text{tot}}} \cdot 100$$

SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI

18/03/2010 ①

Porosità → chiusa = isolata, pori non interconnessi tra loro e con l'esterno.
 → aperta = interconnessioni tra loro e fuori.

- Entrambe influenzano negativamente sulle proprietà meccaniche del materiale.
- Per qst riguarda la durabilità ha effetto positivo

1% di porosità: riduzione resistenza meccanica del 5%

per quella chiusa:
 dura di più perché gli agenti aggressivi non penetrano all'interno del materiale

più dannosa è quella aperta
 xke penetrano all'interno del materiale

Porosità [%]

ρ = densità

Calcolata:
$$\text{Porosità (\%)} = \frac{V_{\text{pori}}}{V_{\text{tot}}} \cdot 100 = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}$$

Granito e marmo poco porosi xh più compatti.

Ci confronteremo sempre con la porosità dei materiali

porosità aperta → capillare → più pericolosa per la penetrazione dell'acqua.

porosimetri: strumento a mercurio che misura la taglia e % dei pori, anche distribuzione della taglia dei pori.
porografi: disposizione e taglia dei pori all'interno del materiale.

→ confronto tra due mattoni: antichi: pori compressi nei micron.

Eq di Washburn: $\frac{P}{r} = \text{cost}$

Se $P \downarrow$, raggio dei pori grande

Se $P \uparrow$, raggio dei pori piccolo

nuovi: al di sotto del micron.

Si riesce a compattare meglio però si forma molta porosità capillare.

RISALITA CAPILLARE

Acqua contrasta la pressione esterna e immettendo un tubo vuoto, l'acqua risale fino a raggiungere la condizione di equilibrio.

Dovuta all'eq. di Laplace. → trasformazione da energia più alta a quella più bassa.

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r_m} = P_c$$

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r_c} \cos\theta = P_c$$

r_c = raggio del capillare

r_m = raggio del menisco dell'acqua

θ = angolo di contatto.

Relazione tra le molecole di acqua che bagnano il tubo

Pressione dell'acqua per risalire il materiale.

Pressione capillare.

Condizione di equilibrio:

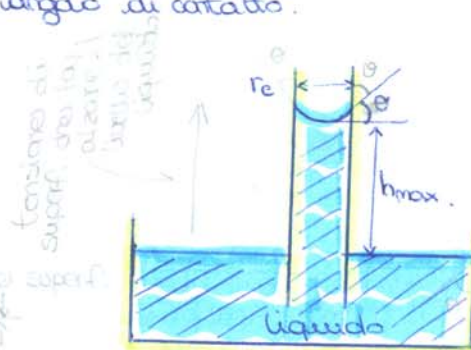
Pressione capillare:

$$P_c = \Delta P = \frac{2\gamma}{r_c} \cos\theta$$

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

$$h_{\text{max}} = \frac{2\gamma}{\rho g r_c} \cos\theta$$

che si raggiunge in condizione di equilibrio all'altezza h
 $p_{\text{idrostatica}} \equiv p_{\text{capillare di risalita}}$



ρ = densità liquido
 r_c = porosità raggio
 g = costante di gravità
 h = altezza del liquido.

h è funzione del raggio r di porosità

ad esempio per H_2O

$$h_{\text{max}} = 15 \cdot 10^{-6} / r_c$$

$$r_c = 4 \mu m \rightarrow h_{\text{max}} 15 m$$

$$r_c = 10 \mu m \rightarrow h_{\text{max}} 1,5 m$$

comportamento dei ceramici molto prossimo a quello dell'acqua.

Per un sistema isolato

Acqua all'interno delle fondamenta può risalire anche di diversi metri all'interno della struttura.

Questa è un'esperienza ideale poiché il tubo è completamente isolato. Nella realtà

bisogna tener conto della condizione atmosferica

con cui entra in contatto. L'acqua può evaporare oppure comunque il materiale può essere permeabile e quindi assorbire una certa quantità d'acqua.

Ad esempio il castello del Valentino prima della ristrutturazione aveva qst problema poiché a diretto contatto col fiume Po.

Altro esempio è la città di Venezia → rivestire la struttura in pietra che è molto poco

Nelle zone di spigolo ce n'è di più perché ci sono 2 superfici di evaporazione.

porosa, è sbagliato perché non c'è scambio dell'acqua tra la parte alta e bassa. Trasferiscono l'umidità fino a piani alti che significa l'intonaco e lo fa staccare.

Intonaco a contatto con l'acqua dura pochissimo.

SCIENZA e TECNOLOGIA dei MATERIALI

23/03/2010 ①

Comportamento a fuoco dei materiali

Combustibile + comburenti → Prodotto di combustione. [INCENDIO]



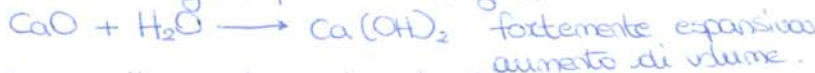
Due tipi di materiali:

- COMBUSTIBILI [legni e materie plastiche] partecipano alla reazione.
- INCOMBUSTIBILI [ceramiche] non partecipanti alla reazione.

Degrado del manufatto: → modificano composizione chimica: decomposizione termica.



liberano ingenti quantità di gas.



Anche x il cemento avviene la stessa cosa.
Fa perdere le proprietà leganti del cemento.

Aumentano dimensioni a causa dell'aumento della temperatura [acciai e laterizi]

Dilatazioni maggiori rispetto a quelle previste dal progettista sono pericolose perché possono causare il distacco.

Accoppiamento tra due materiali diversi che giocano insieme per la composizione del manufatto e ne determinano una maggiore durata.

Calcestruzzo e metallo → due materiali diversi ma che insieme sono molto efficaci.

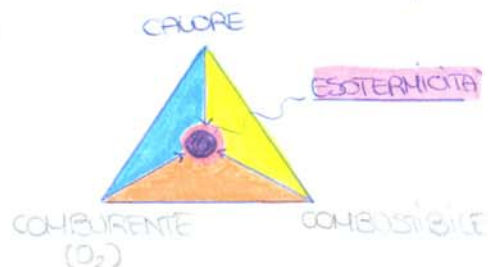
Sofferenza del materiale all'incendio: fenomeno di Creep (aumento viscoso di altezza) in particolare per i metalli.

Fenomeno più grave in assoluto per degrado dei metalli e di tutti i materiali.

La combustione

Il triangolo di combustione.

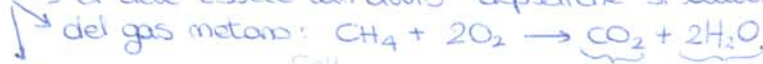
Combustibili e comburenti presenti insieme ma se non c'è l'innesto non si sviluppa l'incendio, devo raggiungere temperatura di ignizione o accensione.



Aumento locale di temperatura attorno a fonti di calore con vicino miscela di combustibili e comburenti:

AUTOCOMBUSTIONE

Combustione → ci deve essere un avvio dopodiché si automantiene dall'esotermia stessa.

Gas nocivi: C_2H_2 [CO, HCN, Benzene, Acetone]

reazioni parziali e non complete.

Pericolosi in fase d'incendio per la salute degli uomini.

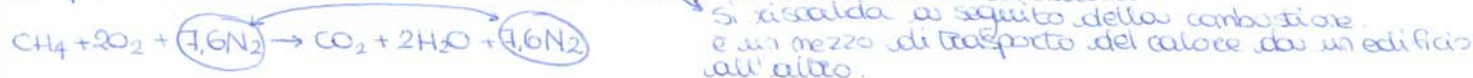
Intossicano il sangue e portano alla morte.



prodotti di una combustione completa:

fenomeno di OX-RED porta a vedere una trasformazione completa dei reagenti.

O presente nella miscela d'aria con l'N → è un diluente nel comburente.

CONDUZIONE - CONVEZIONE - IRRAGGIAMENTO

coinvolge i gas caldi.

combustione emette radiazione che trasporta calore.

COMBUSTIONE COMPLETA

Ci informo qnt calore il combustibile produce e qnt "ricca" brucia la quantità che brucia.

Metto a confronto più combustibile portandoli allo stesso livello di combustione

- tutto C mda CO_2
- tutto H mda H_2O

completata stabilizza energia finale

3^a prova:

23/03/2010 ②



e si rifanno le valutazioni precedenti

6,2 $\frac{W}{cm^2}$

I risultati delle prove ci permettono di classificare la pericolosità
Suddivisi per classi crescenti → nascono dalla valutazione di ogni singolo materiale a seguito delle prove condotte.

Norme Europee → approvano test unico EBT di combustione per valutare il grado di pericolosità dei materiali in seguito all'incendio.

Materiali: **LEGNI** - **MATERIE PLASTICHE**

LEGNI: combustibili. Riduzione produzione dell'incendio per legni spessi.
→ strato carbonioso in superficie [CHAR]: ritarda propagazione della fiamma.

MATERIE PLASTICHE: combustione degrada il materiale liberando gas.
Degrado termico del polimero.



2 categorie:
→ termoplastici → fenomeni incandescenti e gocciolamento
→ termindurenti
comportamento simile al legno

Parametro I.L.O. = indice limite di Ossigeno.

materie plastiche
completamente combustibili
autoestinguenti

25/03/2010

Indice limite di Ossigeno

Tasso limite di Ossigeno (in miscela ARIA sintetica 21% volume O_2 - 79% volume N_2)
al di sotto dei quali la combustione NON si propaga nel materiale.

I.L.O. $\leq 0,21 \Rightarrow$ combustibile o infiammabile.

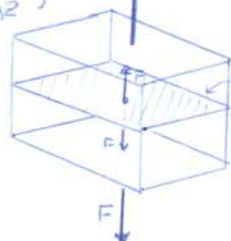
I.L.O. $> 0,21 \Rightarrow$ autoestinguente.

[vedi slide]

PROPRIETA' MECCANICHE dei materiali

Azione esterna - Reazione del materiale.

STRESS
SFORZO
SOLLECITAZIONE } σ
Trazione uniaxiale.



superficie portante del materiale
E' variabile in funzione della geometria e del tipo di materiale

Ad esempio lo sforzo del parquet sotto l'azione della camminata tra una ragazza con tacco a spillo e un uomo con calzatura normale.
considero l'area coinvolta durante la camminata.

60 kg donna

120 kg uomo

2 kg/cm²
compressione

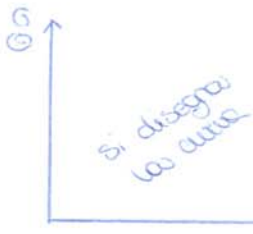
0,6 kg/cm²
compressione

piu' sup. coinvolta → meno stress subito
indipendentemente dal peso
del singolo.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

25/03/2010 ②

per convenzione e per comodità
uso qst rapp grafico ricordando
che trax è \oplus
compres \ominus



LEGGE di ELASTICITA' LINEARE \Rightarrow [legge di Hooke] (600-700 d.C.)

Ritorno 100 anni dopo da Yang.

Hooke si accorse che esiste una relazione tra l'azione e la deformazione ovvero che piccole deformazioni sono direttamente proporzionali all'azione subita dal materiale.

\rightarrow solo deformazioni elastiche **REVERSIBILI**

\rightarrow Yang: $\sigma = E \cdot \epsilon$

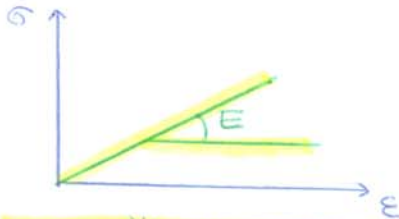
E = costante di proporzionalità
modulo elastico o modulo di Yang.

da maggior parte dei materiali segue qst legge.

\rightarrow No i materiali elastici NON lineari elastomeri, gomme.

\rightarrow fenomeni visco-elastici (tempo applicazione stress)
soprattutto se continuo e costante.

Dipende da caratteristiche di tipo atomico.



$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \left[\frac{N/m}{cm} \right] \rightarrow \left[\frac{Pa}{cm/cm} \right] = N/m = Pa$$

quantifica la **RIGIDITA'** in campo elastico.

2 considerazioni

- $E = \frac{\sigma}{\epsilon} \rightarrow$ macroscopico = MECCANICO

anche a livello atomico: $R_0 = f(E_0)$ RIGIDITA' di legame

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{R_0}{a_0}$$

Testato sul diamante il cui $E = 1000$ GPa

ma la struttura atomica molto semplice quindi si è riusciti a calcolare E.

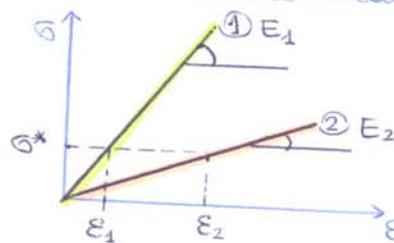
2 materiali

1° mat: $E = E_1$

2° mat: $E = E_2$

$E_1 > E_2$
1° mat è più rigido.

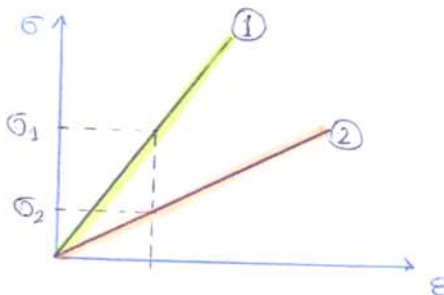
legge di Hooke



1° materiale
2° materiale

a pari σ :
 $E_1 < E_2$
 \downarrow
più rigido

a pari ϵ :
 $\sigma_1 > \sigma_2$



Curve $E-\sigma$ di ogni materiale



acciaio
legno
alluminio

porosa materiale
il suo $E < E_{materiale\ denso}$

metalli \rightarrow materiali completamente densi
con allungamento aumento E.

ceramici \rightarrow leggeri porosi.
dev trovare un modo per
rappresentare un materiale ad 1
completamente denso

$$E \propto E_{td\ denso} \cdot e^{-b\rho_{pori}}$$

DINAMICHE: applico sollecitazione improvvisa e alto profilo energetico che spezza il materiale istantaneamente [carico impulsivo]

30/03/2010 ②

Ducto o resilienza

A FATICA: quantifica la causa principale di rottura sui metalli.

Materiale sottoposto a carico - scarico o inversione del segno di sollecitazione, fluttuante nel tempo, vede ridursi le sue prestazioni nel tempo fino a che perviene a rottura. Sollecitazione ciclica

Prove Statiche

[NORMATIVA: EN UNI, ISO, ASTM ...]

- Trazione uniaassiale
- Compressione uniaassiale
- Flessione → scomponibile in trazione e compressione
- Durezza

And le utilizzo?

- **Trazione**: applico a metalli e polimerici e tutti gli che hanno comportamento elastoplastico per mat fragili molto scadente, non si fanno mai lavorare in trazione ma a compressione [ceramiche, ghise, gomme]

Teoria di Griffith

- **Compressione** per mat fragili [vedi sopra]

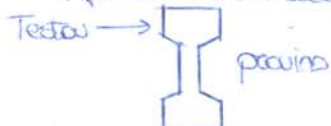
- **Flessione**: se mat fragili, applico stress combinato tra le prime due per testare la resistenza. traz pura peggiore e risp male } le combino per una sollecitazione intermedia. comp pura migliore risp

→ **Trazione**: solo mat duttili, leghe metalliche e termoplastici

Eseguito su macchine di prova.

Provinci sono porzioni di materiale a forma di ossa di cane e seguono le normative. Sezione rettangolare o circolare.

Tipi diversi a seconda del materiale: acciaio, lega alluminio, polietilene.



moce dove vengono attaccate le teste dei provini

Le zone da afferrare devono essere le parti più resistenti del provino perché non si devono rompere semi la prova è da rifare. Se si danneggiano o si rompono la prova non è valida.

$\frac{d\epsilon}{dt} = \dot{\epsilon} = \text{cost.}$ → [velocità di deformazione costante]

per costruire la curva delle deformazioni.

ESTENSIMETRO: sensore che penetra di rilevare le piccole def. di tipo elastico e viene agganciato al provino.

$$F \Rightarrow \sigma = \frac{F}{A}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

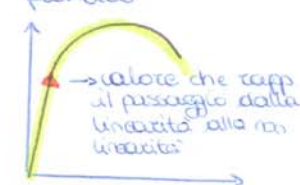
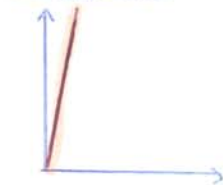
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

3 tipologie di curve ϵ vs σ per vari comportamenti dei materiali.

— elastico

— elasto-plastico

— elastico non lineare



ELASTOMERI non seguono la legge di Hooke.

Analizziamo il comportamento **ELASTO-PLASTICO**

7 info di base:

prove condotte sui 3 provini

studio della curva.

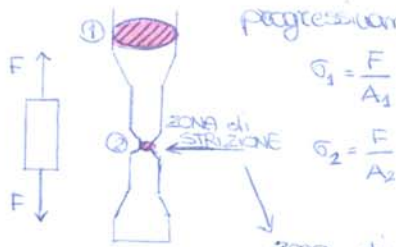
Duttilità metalli ≠ duttilità termoplastici → no distorsioni interne.

la curva inizia con una retta.

poi diventa una curva → def. elastica che si aggiunge la trasformazione reversibile. def. elastica molto più contenuta, la linea è quasi con l'asse delle ordinate.
anomalia della curva: momento dello snervamento tipico degli acciai.

⑥ zone di disomogeneità regolate nel provino.

8/04/2010 ①



progressivamente diminuisce sforzo applicato

F diminuisce perché ho una modifica e la velocità scende assieme alla forza.

Il punto ⑥ non può essere identificabile sulla curva ma posso definirlo: $\sigma_R = \text{strizione a rottura}$

$$\left[\frac{\Delta A}{A_0} = \frac{A_0 - A_s}{A_0} \right]$$

riduzione di sezione.

A_s sezione minima che provino realizza a momento di rottura nella zona di strizione.

zona di max instabilità punto in cui il provino si spezza

Esprimibile come valore %



energia elastica viene in parte restituita ma per rompere il provino ho bisogno di tutta l'energia.

Nel complesso i 7 punti ci danno tutti i parametri meccanici del provino.

① \Rightarrow **RIGIDITA'**

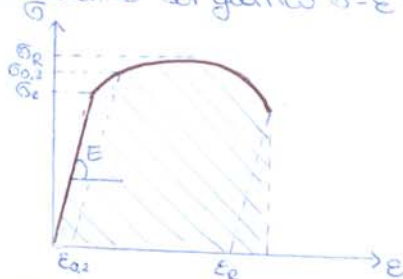
②, ③, ④ \Rightarrow **RESISTENZA** materiale sia in campo elastico sia globale.

⑤, ⑥ \Rightarrow **DUTTILITA'** quantificano deformabilità plastica del materiale

⑦ \Rightarrow **TENACITA'**

Si disegni la curva di sforzo-def. σ - ϵ ricavabile dalla conduzione di prova a trazione materiale metallico duttile definendo tutti i parametri meccanici direttamente o indirettamente ricavabili dalla conduzione della prova.

Si indichino sul grafico σ - ϵ tutti i parametri individuabili



Domanda d'esame

CURVE di SFORZO VERO - def. VERA

$$\sigma \Rightarrow \frac{F}{A_0} \text{ iniziale}$$

meno utilizzate

Fanno assunzioni semplificative a qll di prima

$$\epsilon \Rightarrow \frac{\Delta l}{l_0} \text{ iniziale}$$

In ogni momento aggiornati $l_0 = A_0$.

TENACITA'

Prova di Resilienza o d'urto

Necessità per rompere e anche deformare plast e elasticamente. In base all'area posso sapere qnt e tenace il materiale

Tenacità \Rightarrow **affidabilità** : difficilmente si rompe in poco tempo. Non è vero che però sono i più resistenti

SCIENZA e TECNOLOGIA del MATERIALE

13/04/2020 ①

TRAZIONE materiali duttili

COMPRESSIONE materiali fragili

Selezione e accoppiamento di materiali diversi in base alle loro risp meccaniche
mezzi sotto stress → Teoria di Griffith

FLESSIONE: sollecitazione intermedia ↔ trazione
↔ compressione

→ su mat fragili e duttili

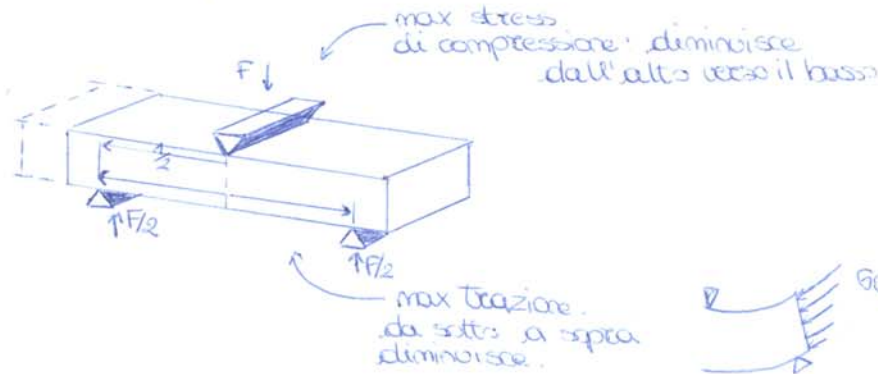
utilizzata su componenti metallici soprattutto su saldature e giuntori

modalità di carico → 3 punti: più comune

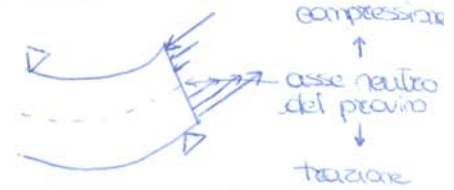
→ 4 punti: più raffinata, su mat. composti rinforzati con fibre.

Modalità 3 punti:

Gradualità di stress della prova meccanica



σ_{TOTALE}



sull'asse neutro la somma dei due contributi è nulla $\sigma_{TN} = 0$
 $\sigma_c \equiv \sigma_t$

[Pag 189 Sclerometri]

SCLEROMETRIA: prova di DUREZZA

Su mat. edilizie. Controlla lo stato delle proprietà durante la vita in esercizio
prova statica NON distruttiva. PROVE NDE
Prende solo la parte superficiale.



Prova indipendente dalla resistenza a rottura del materiale ma è proporzionale.

Resistenza materiale alla penetrazione, incisione, scalfittura della sup.

Se si tratta di mat. differenti diventa una prova generale

Sclerometri: strumenti portatili grandi spm delle matite.

Sup. deve essere liscia e pulita.

Avvicino e carico compressivo a tempo sul penetrometro provoca un'impronta sulla sup che rimane.

Otengo la durezza con rapporto forza su sup

Carico omogeneo e costante nel tempo.

Durezza: $[H] = f \frac{P}{\text{Supf. di impronta indentatore}}$

hardness.

HV : Vickers

HK : Knoop

HB : Brinell

HR : Rockwell

prove note.

differenti tecniche

di strumento e

di fabbricazione.

HV

HK

HB

HR

per ceramiche edilizie.

Indentatore a piramide

Indentatore a forma sferica di acciaio o

carburo di tungsteno.

Vale per tutti gli altimetri.

Indentatore unico in diamante

Indicatore piramidale in

diamante, tempestivamente

per HK

per HB

per HR

per HV

Edo con leggere:

Prova a trazione del mat. polimerico: PAUETTIVENE

Curva meccanica molto diversa da quella d'acciaio

Comportam. duttilità acciaio ≠ comport. duttilità polim.

xK?

3 sottoclassi → Termoplastici → duttili.

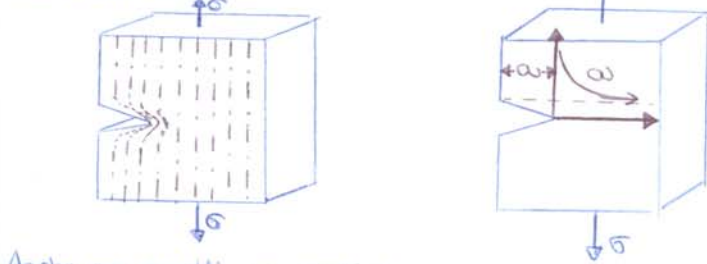
① → Termindurenti → fragili: seguono legge di Hooke fino a rottura

Elastomerici: → elastico non-lineare fino a rottura. No rel. lineare

SCIENZA e TECNOLOGIA dei MATERIALI

15/04/2010 ①

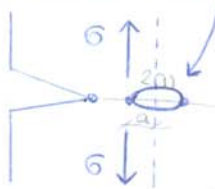
Teoria di Griffith.



Anche con oggetti con all'interno porosità.

SENZA CONCENTR. MOLTIPLICAZIONE DELLA σ APPLICATA

$$\sigma_y \gg \sigma$$



$$\sigma_y = \sigma (1 + 2\sqrt{\frac{a}{r}}) = \sigma (1 + K)$$

Dimensioni e angolo di curvatura del difetto sono importanti

Qual è il valore di sollecitazione massimo che si registra al vertice di un difetto interno avente un raggio di $2,5 \cdot 10^{-4}$ mm e lunghezza di difetto $2,5 \cdot 10^{-2}$ mm, quando si applica una $\sigma_t = 170$ MPa

$$\sigma_y = \sigma (1 + 2\sqrt{\frac{a}{r}}) = 170 (1 + K) = 2574 \text{ MPa}$$

$$2a = 2,5 \cdot 10^{-2}$$

L'oggetto si rompe sotto 170 MPa ma i suoi difetti fanno sì che localmente σ_y si moltiplica e vince la resistenza solo con 2574 MPa

σ_c = sollecitazione CRITICA



σ applicata all'oggetto che a causa della presenza di un difetto microscopico di taglia $= a$ fa sì che σ_y = resistenza a rottura del materiale. Agisce esternamente all'oggetto

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{2\gamma E}{\pi a}} \quad \text{x mat FRAGILI}$$

$\sigma_y \equiv \sigma_R$
[?] \rightarrow xk il lavoro è doppio dal momento che ora il mat. si spezza in 2 zone sup.

2γ = energia necessaria per creare 2 superfici e formare 2 sup.

3 oggetti con stesso materiale



γ = tensione sup lavoro che si spende per creare una nuova sup. unitaria

tra i 3 qd che cambia è a :
 $a_1 > a_2 > a_3$ quindi meno energie per rompere
 $a_2 < a_3 < a_1$. Risposte meccaniche sono differenti.

Per mat FRAGILI perché non tiene conto dello trasf. reversibile ma solo qd irreversibile dei materiali

OROWAN - IRWIN introducono la def. plastica estendendo ai tutti anche per mat. duttili

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{2(\gamma + \gamma_p)E}{\pi a}}$$

γ_p = energia necessaria per deformazione plastica

mat fragili 2γ
mat duttili $2(\gamma + \gamma_p)$ } lavoro che devo fornire per spezzare mat \Rightarrow TENACITA' [G_c]

diventa un parametro unico.

Validità generale per mat fragili e duttili:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{G_c E}{\pi a}}$$

- Parametri che dipendono dalla natura del mat. indipendente dagli oggetti: $G_c E$

- Dipendenti dai singoli componenti: σ_c, a

$$\Rightarrow \sigma_c \sqrt{\pi a} = \sqrt{G_c E}$$

componenti
 $a \uparrow \sigma_c \downarrow$
 $a \downarrow \sigma_c \uparrow$

materiale
caratteristiche meccaniche proprie del materiale
[K_c] = FATTORE CRITICO di CONCENTRAZIONE della SOLLECITAZIONE oppure

Quindi posso riscrivere l'uguaglianza:

$$K_c = \sigma_c \sqrt{\pi a}$$

G_c = toughness

K_c = Fracture toughness

Unità di misura

$$K_c = \text{MPa} \sqrt{\text{m}}$$

TENACITA' A FRATTURA
 f' (tenacità, rigidità)

SCIENZA e TECNOLOGIA dei MATERIALI

20/04/2010 ①

Compressione contiene dimensione del difetto → effetto benefico per il materiale.

↓
aumento della resistenza → rende più tenace il materiale ovviamente con modi diversi a seconda del materiale. Per i ceramici e d.b.m.s.

VISCOELASTICITA' + VISCOPLASTICITA'

Effetto del tempo sulla sollecitazione

Attraverso legge di Hooke ϵ^* posso vedere la def. elastica

ϵ^* costante mib σ^* costante ; $\sigma^* \rightarrow 0 \text{ mib } \epsilon^* \rightarrow 0$

Materiali con percorso formativo differente:

def. non si ferma, ma continua fino a completamente la def. ha bisogno di un certo lasso di tempo per tornare a riposo con il classico ritorno elastico.

Def. dello stesso valore di qd era aumentato con la σ^* .

Al tempo t_1 il materiale ha ancora def. Recupera lo ϵ^* da t_1 a t' per tornare a riposo.

Nel complesso cmq la def. è tutta ELASTICA e quindi reversibile poiché il materiale recupera tutto.

Può però essere scomposta in due porzioni di deformazione:

$$\epsilon_{tot} = \epsilon_{el} + \epsilon_{vel}$$

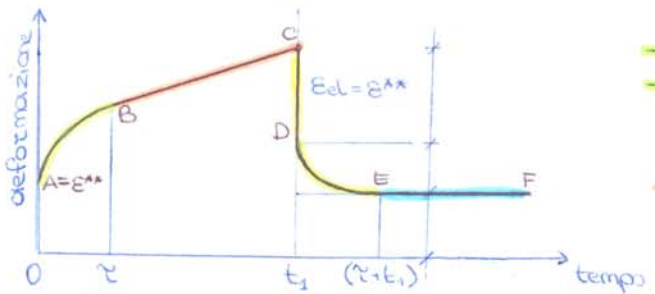
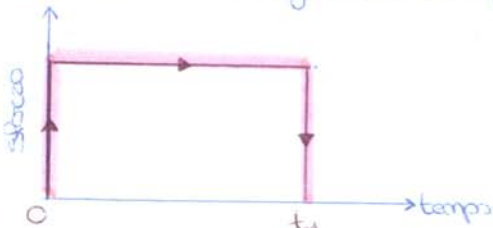
ϵ^*

def. viscoelastica

Per quanto riguarda la def. viscoplastica:

- comportamento che riguarda la maggior parte dei materiali

Se $\sigma^{**} < \sigma_e$ (ma più prossimo al limite elastico del materiale)



- tratto AB → si ha deformazione
 - tratto DE → def. viene recuperata } ⇒ def. viscoelastica recuperabile in un certo lasso di tempo.

- tratto BC → def. irreversibile che ha cmq richiesto del tempo per manifestarsi
 ⇒ def. viscoplastica.

$$\epsilon_{tot} = \epsilon_{el} + \epsilon_{vel} + \epsilon_{v.pl} \rightarrow f(\sigma^{**}/\text{tempo})$$

ϵ^{**}

AB-DE rev.

BC non rev.

Nei legni è più probabile, anzi sono caratteristici di qst def. dopo un lasso di tempo sufficientemente lungo a seguito della fornitura dell'energia dovuta alla sollecitazione costante.

La curva descrive anche il comportamento sotto carico del calcestruzzo.

CALCESTRUZZO comune ⇒ composito ceramico-ceramico = inerti + pasta di cemento

els: $\epsilon_{vpl} \rightarrow$ fluage a tamb.

lavorazione a t ambiente.

interfaccia tra le due componenti. Meno resistente.

Possono avvenire piccoli ma significativi scontramenti reciproci tra i due materiali.

Partono prima a def. reversibili viscoplastiche, dopo diventano def. irreversibili di tipo viscoplastico.

SCORRIMENTO VISCOSO o CREEP

Fenomeno che avviene ad alta temperatura:

- Metalli: $T_{creep} \approx 0,3 \div 0,5 T_f$ temperature di fusione.

- Ceramici: $T_{creep} > 0,6 T_f$

$$\sigma^* < \sigma_{el} ; \epsilon^* = \frac{\sigma^*}{E}$$



sforzo
 tempo
 crescente.

Proprietà meccaniche dei materiali influenzate dalla temperatura.

Comportamento meccanico è funzione della temperatura.

- t ambiente: andamento costante
 - t = 0,3 ÷ 0,5

3 fasi differenti
 I def elastica e accvilinea
 II v def = cost.
 III crescita esponenziale in funz. di t fino a rottura.

27/04/2010 ①

Domanda d'esame:- Descrivere la produzione e la composizione chimica del gesso.3) reazione esotermica: Emidrato + H₂O → Gesso e sviluppo di calore.

Problematica:

dosaggio acqua nell'impasto

→ rapporto acqua / legante: mix design da cui dipendono moltissime prestazioni del gesso. L'acqua è un reattivo necessario e non vale anche nei cementi.

l'acqua partecipa come reagente per gesso e cemento

$$a/g = \text{acqua} / \text{gesso}$$

come veicolo di reazione per la calce.

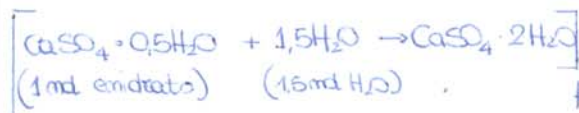
$$a/c = \text{acqua} / \text{cemento}$$

Condiziona le prestazioni meccaniche del materiale per

durabilità

solfato di calcio totalmente anidro, resistenza al degrado ambientale

= senza acqua

teorico: 20 ÷ 25% (0,2 ÷ 0,25) peso H₂Oreale: 30 ÷ 100% (0,3 ÷ 1) peso H₂OH₂O idratazioneH₂O libera

poi

evaporazione

Dovuto all'effetto lavorabilità + esotermia che porta all'aggiunta anche eccessiva di acqua.

[contrastata l'esotermia e migliora la lavorabilità]

H₂O → reazione chimica: scioglie il gesso
 → evapora per esotermia
 → resta nel manufatto



POROSITÀ

UNI 8377 $\sigma_f = 1,5 - 3 \text{ MPa}$
 $\sigma_c = 2,5 - 7 \text{ MPa}$ } Prop. meccaniche

Migliora per prestazioni ma perde in lavorabilità

Bassa resistenza

compressione
flessioneEmidr + H₂O → reaz. espansiva

Può essere messo in opera così che non si contraggono
 Ottimo per elementi di fissaggio

IMPIEGHI MED. DEL GESSO NELLE COSTRUZIONI

- INTONACI → scagliola
 - BLOCCHI
 - LASTRE DI CARTONE
- } elementi prefabbricati

Intonaco → stesi a mano e lisciati
 → proiezione e lisciature

Viene applicato direttamente sulla sup. in muratura con uno spruzzo automatico.

Non va bene su sup. troppo ampie perché apprende subito e non lo si riesce a lavorare. Lo fissa sul mattone con la spallatura e lo liscia.

Ottima resistenza al incendio perché ne ritarda la propagazione dovuto all'idratazione:
 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} \quad T = 180^\circ \div 200^\circ\text{C}$

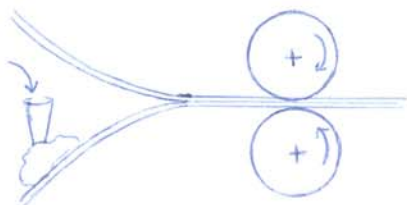
Blocchi → Peni
 → alveolari

3 blocchi $\approx 1 \text{ m}^3$

- spessore variabile: 4 - 15 cm
- bordi sagomati
- ottenuti per collaggio in stampo



Lastre di CARTON-GESSO:
 pasta di gesso colata tra due fogli di cartone → laminazione



- spessore: 9,5 ÷ 25 mm
- larghezza: 60 - 120 cm
- lunghezza: 200 ÷ 320 cm
- 8 - 12 Kg/m²

22/04/2010 ②

Calce idraulica

- calce + sabbia silicea = malta aerea
- calce + pozzolana + calcin pesto } malta idraulica

ai tempi dei Romani.

Oggi:

- cemento Portland "Tagliato" con sabbia fine $\sigma_c \approx 3 \text{ MPa}$
- o
- calce aerea = Malte bastarde

AGGLOMERANTI cementizicementi mal cotti diluiti con inerti $\rightarrow \sigma_c$ molto basse

24/04/2010 ①

CEMENTI• Cemento Portland

Prodotto dalla cottura di una miscela di calcare e argilla a circa 1500°C .
In Italia 1872 parte la produzione industriale

Fa presto e indurisce solo con l'esposizione all'acqua in tempi molto brevi \rightarrow Problematice per la lavorazione.

Aggredito da acque debolmente acide. \rightarrow degrado ambientale

Servono per produrre i calcestruzzi.

E' importante conoscere la chimica dei cementi.

Con alcune aggiunte minerali posso produrre altri materiali

Polvere miscelata + H_2O \rightarrow PASTA in rapporto 3:1

Con un regolatore di pressione aumenta il tempo di rapprendimento.

Cementi $\left\{ \begin{array}{l} \text{PORTLAND} \\ \text{POZZOLANICO} \\ \text{ALTO FORNO} \end{array} \right\}$ migliore resistenza e prop. meccaniche.

Produzione cemento Portland

Calcare e argille [allumina silicati]

Forno tubolare essenziale \rightarrow cuocere

rotazione per la miscelazione. CLINKER \rightarrow inorganico ceramico.

Fase di macinazione dopo il forno

Clinker \rightarrow polvere inorganica fine.

\rightarrow con l' H_2O perderebbe la lavorabilità

Miscela: Clinker + gesso = Cemento Portland

Cementi: leganti idraulici che dopo 28 gg sott'acqua raggiunge la stagionatura sviluppando una resistenza di compressione di $32,5 \text{ MPa}$.

Silicato tricalcico $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

Silicato bicalcico $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

Alluminato tricalcico $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$

Ferroalluminato tetracalcico $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$

Composti chimici che compongono i cementi.

Di tutta la normativa, i parti più importanti in assoluto sono:

- singoli cementi e i loro additivi che ne modificano le prop. meccaniche.
- requisiti meccanici, fisici, chimici indispensabili per un cemento
- criteri di conformità.

29/04/2010 ①

Introduzione

1970-1980: tipologie di cemento messe a punto a seconda del mat. che si aveva a disposizione
 2000 : sono usati cementi tradizionali e collaudati.

Riferimenti normativi

196/1 → metodi di prova a resistenza meccanica che il cemento deve subire.

CEMENTO

Def: è un legante inorganico idraulico che mescolato con l'acqua apprende e indurisce sviluppando le sue prop. meccaniche che rimangono valide anche se esposto di continuo all'azione dell'acqua.

CEM = sigla. Cementi commercializzabili in Europa.
 Sottostanno alla normativa.

Ai cementi portland posso mescolare vari additivi come ad esempio l'ASCIUGA che può avere doppia funzionalità:

- 1) fondente
- 2) apporta costituenti chimici alla formazione del cemento

attraverso due processi:

- macinazione
- omogeneizzazione

Costituenti principali

a) CLINKER di CEMENTO PORTLAND

Vincolo compositore: produzione non casuale ma guidata.
 Resistenza meccanica dovuta dall'idratazione di silicati.

b) LOPPE GRANULATE D'ALTOFORNO

Aggiunte mirate di materiale inorganico al cemento Portland.
 Materiale di scarto ottenuto dalla produzione di un altro materiale.
 Deriva dalla produzione della ghisa (= ferro, carbonio):

→ introduco il materiale in forni alti circa 40 m (la cui temperatura alla base raggiunge circa i 2000°C).

Vengono così a formarsi dei materiali impuri ricchi di silice e calcio il tutto sottoforma liquida in cui sopra si formano le scorie poiché meno dense della ghisa che si deposita sotto. Subito dopo prelevando la sottolivella ottenendo ghisa che rimetterò in circolo, e scorie (=loppe) che mescolate al cemento mi danno più prestazioni meccaniche.

Attenzione! la loppe affinché abbia il risultato sperato deve avere un carattere amorfo ovvero deve farla raffreddare il più velocemente possibile.

La loppe è definito anche come materiale LATENTE ⇒ esplica prop. meccaniche solo in alcune det. condizioni.

Vincolo compositore: $\frac{2}{3}$ in massa di loppe fumante.

Composizione media loppe ad altoforno

- CaO → 30-50% in peso
- SiO_2 → 28-35% in peso
- MgO → 1-18% in peso
- Fe_2O_3 → 1-18% in peso

c) POZZOLANA

⇒ sabbia vulcanica contenente silice amorfa o silice alluminata

Può essere prodotta industrialmente oppure trovarsi naturalmente.

Non indurisce a contatto con l'acqua ma solo se mescolata finemente con acqua e reagendo con $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

È detta anche silice reattiva (= amorfa).

4/05/2010 ①

Faccio penetrare l'ago fino a quando mancano 4mm dal fondo e inizio a cronometrare (=tempo d'inizio) e mi fermo qui.
 Prima invece si continuava fino a quando non si fermava a 0,5 mm dalla sup. (=tempo di fine).
 Quando ho invece la miscela cemento + acqua, la sonda che penetra all'interno del materiale è chiamata di Taitmayer (diametro 1 cm). Penetra fino a 6 mm dal fondo (= malta di pasta normale).
 Dopo poi uso l'ago di Vicat.

→ Espansione del cemento dovuta alla presenza dei CaO e HgO liberi, non combinati nelle fasi \Rightarrow grosso problema compositivo.

Requisiti chimici

1) PERDITA AL FUOCO \neq comportamento a fuoco

→ Verifico quanta massa Δm perde il materiale per trattamento a fuoco a 900°C .
 Mette in evidenza se ci sono state delle feci tipo la tagliatura del cemento con carbonato di calcio oppure argilla.

Verifico anche lo stoccaggio del cemento \rightarrow se il cemento è stato tagliato in ambiente umido e ha iniziato l'idratazione.

→ Taglio il cemento con sabbia o base di silice.

2) TRATTAMENTO DI SOLUBILIZZAZIONE

a) acido cloridrico

b) carbonato di sodio

\Rightarrow il cemento deve essere tutto sciolto.
 Se ne rimane una percentuale maggiore di quella prevista significa che il cemento è stato tagliato con silice.

3) SOLFATI

→ Ne verifico la presenza del cemento.

Se lo taglio con troppo gesso si manifesta il fenomeno della falsa presa.

4) CLORURI

→ Devono dosarli bene nel cemento poiché molto aggressivi e pericolosi nelle armature del calcestruzzo.
 Sono i promotori assidui della corrosione.

5) POZZOLANITA'

→ Valuto quantitativo di idrossido di calcio attraverso un'operazione accelerata della durata di 3 gg.

Soluzione acquosa sovrasaturata di idrossido di calcio dentro la quale a immergo la pozzolana che reagendo con essa sviluppa le sue prop. meccaniche.
 Ha la potenzialità di generare fasi leganti idrauliche della pozzolana.

Normativa

Importanti sono:

- 9.1.2. \rightarrow controllo statistico della qualità

- 9.1.15 \rightarrow RISCHI $\left\{ \begin{array}{l} \text{del produttore: 5\% della produzione buona non qualificata C.E.M.} \\ \text{del consumatore: 5\% della produzione venduta come C.E.M. ma non lo è} \end{array} \right.$

- 9.1.16 \rightarrow critero di conformità

- 9.2 \rightarrow critero di conformità

• Controllo statistico

Condurre un tot. numero di prove a scadenza temporale prevista dalla normativa.

• Spostamenti max accettati dalla normativa \rightarrow vedi Tabella pag 16.

IDRATAZIONE



$\text{C}_3\text{H}_5 \rightarrow$ Silicato di calcio idrato
 = TOBERMORITE cristalli ad aghi
 forma aciculare

$\text{CH} \rightarrow$ Portlandite: responsabile delle prop. meccaniche.
 forma esagonale.

C_2S più lenta della C_3S

Si producono entrambe per non avere diminuzione di velocità nello sviluppo delle prop. meccaniche.
 C_3S copre i primi mesi per l'idratazione rispetto al C_2S che ci mette più tempo.

Più veloci ancora sono gli alluminati tricalcici.

6/05/2010 ①

Argomenti d'esameTUTTO SUL LIBRO

- Cap 1 tutto Ripasso di chimica
 Cap 2 tutto
 cap 3 tutto. Su nome meta pag 86
 cap 4. 43-44-45 + dispense
 cap 5. dispense. Fino pag 54 compreso. no 55-56
 cap 6. lettura formazione inquinanti atmosfera. 6.2.1-6.2.4 inquinanti gassosi
 Subfiorescenza / efflorescenza 140-141
 cap 7. 7.3 completo. Tappe degrado calcestruzzo. 7.6 corrosione armature d'acciaio.
 cap 8. NO [pag 8.3.5 sclerometri solo]
 cap 13. Calcestruzzo durato. Fattori Normative europee.
 Mix design + dispense. Tutto da fare.

Perché si confezionano cementi + alluminati se qst ultimi sono solo dannosi nella gestione del getto e manufatto?

→ Perché ci permettono di cuocere i cementi a temperatura minore e di portarci costi minori e minor costo di gestione dei forni.

- Problemi degli illuminati:
- 1) presa troppo rapida
 - 2) valore di idratazione

= quantità calore a seguito della reazione tra cemento e acqua.

	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ F
dopo 3gg	58	12	212	69
dopo 30gg	117	54	279	90
n KJ/Kg	~500	~260	~800	~420

Cemento
380-500 KJ/Kg

E' importante anche la temperatura ambiente
 - più è alta la temperatura → cinetica alta
 - più è bassa la temperatura → cinetica bassa

Per una corretta messa in opera ho bisogno di un lasso di tempo necessario per formare e trasportare il getto (ho bisogno di una cinetica bassa) però al momento della messa in opera deve avvenire una cinetica alta.

Come fare getto nelle stagioni

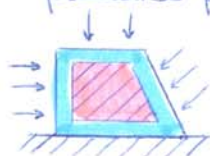
▶ Estate T=33°C

→ chiedo alla centrale di betonaggio un cemento con meno alluminati.
 Diminuisco il quantitativo di C₃A. lo diminuisco.

▶ Inverno: T=3°C, notte può ghiacciare l'acqua.

→ ho bisogno di cementi portland con maggiore quantità di alluminati.
 Devo superare almeno la prima notte.

Per getti di grandi dimensioni:
 problemi per calore di idratazione.



— T_{sup} molto minore
 — T_{interna} più alta

valori di α differenti. Posso avere fessurazione.
 Devo affidarmi a cementi miscelati. No C₃A

Quanta ACQUA metto nella pasta di cemento?

C + H₂O ?

- 1 cm³ cemento anidro → 2,14 cm³ prodotto idrato.

- H₂O chimicamente necessaria: 23 l H₂O / 100 Kg di cemento

↳ rapporto a/c = 0,23

] a livello stechiometrico
NON BASTA!

Per avere permeabilità zero:

6/05/2010 ①

rapporto $\frac{a}{c}$	Temps
0,4	3gg
0,45	7gg
0,5	2 settimane
0,6	6 mesi
0,7	1 anno
>0,7	mai

I cementi di miscela

→ Ho un ritardo temporale nella formazione delle prop. meccaniche della Portlandite.

Al termine ho CSH primario + CSH secondario \rightarrow maggiore quantità di aghi = maggiore resistenza a rottura

Si formano anche porosità e avendo maggiori aghi portano alla formazione di pori del gelo tubercolatici e si riducono le porosità capillari.

CALCESTRUZZO

► E' un materiale composito:

Cemento + H₂O + AGGREGATI + Additivi → PASTA di CEMENTO } = COLLANTE IDRAULICO
fini o grossolani
= inerti
fresca non indurita.

→ Importante: sia per l'acqua che per gli aggregati bisogna specificare il tipo, la quantità, granulometria (x aggregati) ecc...

- Ruolo dell'acqua d'impianto

- reagente delle aggiunte klincker + aggregati.
- lavorabilità del calcestruzzo \longrightarrow attitudine alla messa in opera.
- bisogna fare attenzione a non abbondare.

► Requisiti necessari

- qualsiasi acqua potabile → elimina tutte sostanze nocive.
 - acque naturali dolci o salate
 - acque industriali
- } soggette a controlli specifici.

Dove essere qualificata prima di essere utilizzata.

- Solidi in sospensione: materiale fine che viaggia col flusso dell'acqua.
 - Se messi nella pasta si formano in superficie creando un'interfaccia debolissima.
 - Trasferimento energia da pasta ad aggregato.
- Sollecitazioni di taglio in superficie trasferiscono lo stress all'aggregato.
- Limiti cambiano al secondo del calcitrare.

I limiti cambiano al secondo del calcolo.

Inquinanti	cls	Clss aerato	Clssa precompresso
Solide in sospensione	5000	2000	2000
Cloruri	20000	1000 - 500 (*)	5000
Solfati	2000	2000	2000
Acidita' pH	> 4	> 4,5	> 4,5

limits in mg/l

- ⑥ dipendono dal tasso di armamento.

- acqua ossigenata è più pericolosa per i clorati che per i solfati perché promuove la corrosione dell'armatura.

- evito i fenomeni di falsa presa e presa rapida

- l'acqua sdeubizza subito la CO_2 abbassandone il pH.

- La Portlandite diventa più pericolosa nel calcestruzzo armato (fortemente basico \rightarrow preserva le armature). Se aggiungo dell'acqua troppo acida, questa mi abbassa la basicità delle armature rendendole più deboli alla corrosione.

⑥ ricerca di argilla o sostanze molto fini sulla ssp. che con la plasticità aderiscono tra di loro e aggregato.

13/05/2010 ①

→ decantazione

→ equivalente in sabbia: ad esempio $\frac{h_s}{h_t} \cdot 100 = \frac{h_s}{h_s + h_a} \cdot 100$

con h_s = altezza sabbia pulita

h_t = " zona torbida

h_a = " " argilla

75-80

⑦ Valutazione sostanze organiche

rallentano le cinetiche di idratazione.

Prendo un quantitativo noto di aggregato e lo batto nell'idrossido di sodio 3% e lo lascio sedimentare fino a che non prende un colore e lo confronto con una scala CROMATICA con cui stabilisco se l'aggregato è buono oppure da scartare.

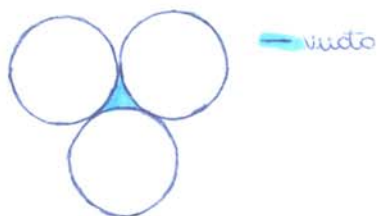
Problematica distribuzione granulometrica

Massima densità con minimo apporto di pasta di cemento.

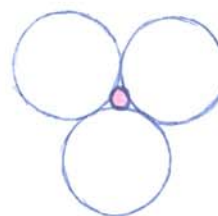
Bisogna scegliere la taglia e la quantità di taglia per lasciare meno spazio vuoto possibile.

No distribuzione monodimensionale

Si distrib. bidimensionale



— aggregato



Devo minimizzare quantitativo sostanze organiche

Specifico attraverso la curva granulometrica

Fuller e Thomson

$$p_t = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

con D = diametro max dell'aggregato definito dalla curva di Fuller.

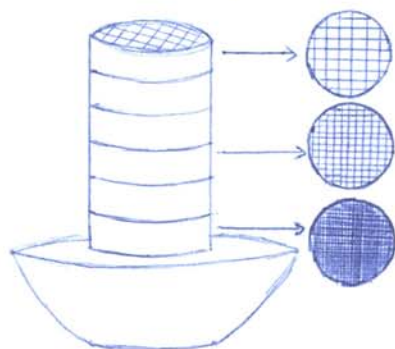
p_t = % aggregato

valore cumulativo

setaccio la cui apertura è definita da " d "

Setacci normalizzati

Diffidano dalla " d " del diametro delle aperture dentro al setaccio
I setacci sono impilati



Ne costruisco la curva granulometrica e la confronto con quella di Fuller.

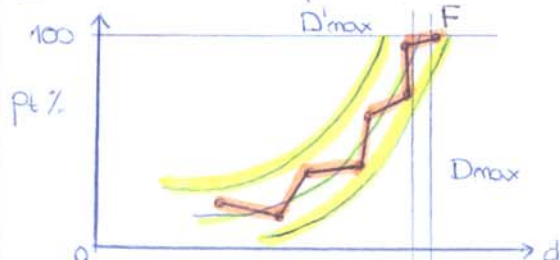
Curva ottimale teorica

% per aperture " d "

Max occupazione volume possibile se % = massa

Fuso granulometrico → Intervallo di accettabilità

Due curve una sopra e una sotto quella di Fuller



al di fuori non è accettabile

Diametro max $D < 25\%$ sezione minima del getto

< distanza tra i ferri $d_f < d_s - 5 \text{ cm}$

Non deve superare del 30% lo spessore del apparecchio.

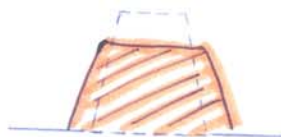
Definisce l'abbassamento dell'altezza del cono \rightarrow Slump
 qualificava la lavorabilità del calcestruzzo
 Misurato in cm.

18/05/2020 ①



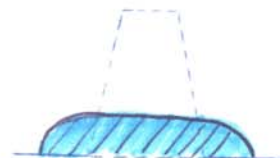
Diversi tipi di slump:

VERO



COLASSO

accettabili solo se in presenza di additivi fluidificanti o superfl.
 Bollicine: abbiamo messo troppa acqua nell'imposto.

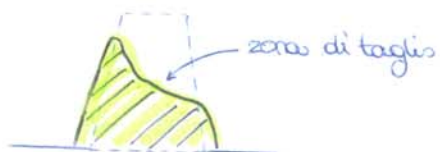


CEDIMENTO di TAGLIO

calcestruzzo cattivo.
 Non è stato impostato bene.

Segregazione del getto

Disomogeneità distribuzione aggregato \rightarrow vesperi o nidi di ghiaia



Calcestruzzo testato appena messo in opera per misurare la lavorabilità.
 Agitando l'imposto la lavorabilità diminuisce rispetto ad un imposto fermo.

Parametri che giocano sulla lavorabilità:

a) rapporto $\frac{a}{c} = \frac{\text{aggregato}}{\text{cemento}}$

l'acqua è molto importante poiché ha un basso valore di viscosità

$$\eta_{H_2O, 20^\circ C} = 1 \text{ mPas} = 1 \text{ cP}$$

aggregato/cemento è anche importante grazie al Bolomey.

Normativa europea per lo slump: 9358

5 classi di consistenza definite da S+ (numero 1-5).

Definito in funzione all'abbassamento.

Classi di consistenza	Slump mm
S1 = consistenza umida	10 - 40
S2 = plastico	50 - 90
S3 = semifluido	100 - 150
S4 = fluido	160 - 200
S5 = superfluido	> 210

Vedi tabella sul libro 9.4

Tabella \rightarrow ruolo lavorabilità composizionali del calcestruzzo

3 parametri:

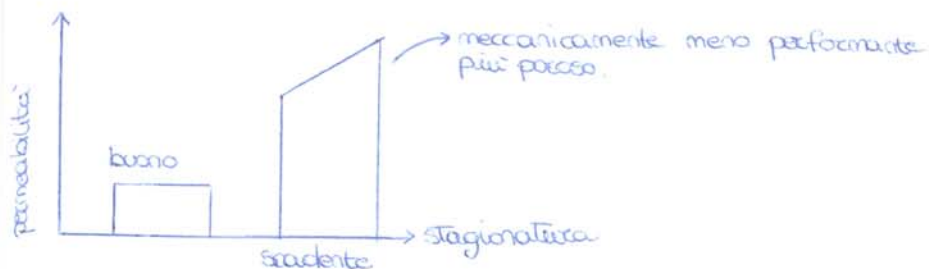
quantità di acqua

tondeggiane: agg. se spigoli vivi o rotondi.

diámetro max dell'aggregato

la quantità d'acqua diminuisce con l'aumentare del diámetro dell'aggregato.

20/05/2020 ①

Permeabilità

— Importante: influenza rapporto q/c sulla resistenza meccanica.
Buone considerazioni sul livello tecnologico ed economico.

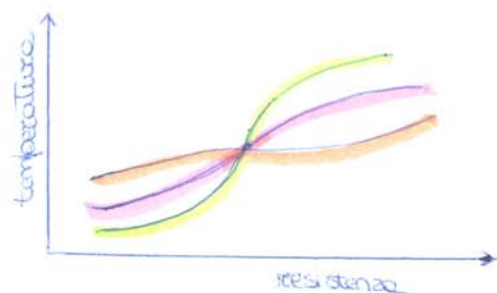
GETTO FRESCO

→ Ritiro $\left\{ \begin{array}{l} \text{plastico: avviene durante la stagionatura} \\ \text{essiccamento: segue la stagionatura fino all'indurimento.} \end{array} \right.$

Per il calcestruzzo il ritiro è più contenuto.

Dosaggio del cemento influisce sul ritiro del calcestruzzo.
[Calcestruzzo fresco più ritiro più calcestruzzo indurito]

Ruolo dell'aggregato è buono solo se quest'ultimo prima della messa in opera viene dosato e accuratamente selezionato.



Resistenze in compressione dello stesso tipo di calcestruzzo ma a temperature diverse.

— 5°C: ha un lento sviluppo prop. meccaniche → più performante

— 20°C: intermedio

— 60°C: ha una crescita rapida → struttura meno compatta ma più porosa

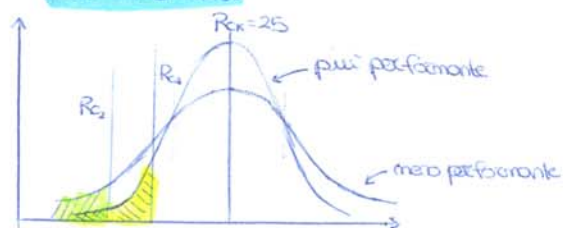
Tabella: dosaggio del cemento per ottenere resistenza
 $R_{ck} = 25 \text{ MPa}$

Classe di resistenza	Dosaggio kg/m^3
32,5	350
42,5	300
52,5	250

Resistenza caratteristica

→ prendo tanti provini composti dallo stesso tipo di calcestruzzo e li misuro a resistenza in compressione e li porto fino a rottura.
Se dichiaro che la resistenza media è 28 MPa, secondo la normativa c'è il 50% di provini che non hanno risposto a questa compressione.

$$R_{ck} = f(R_{m28})$$



Tiene conto del criterio di accettabilità della normativa.

$$R_{ck} = R_m - k_s \quad \text{con } k_s = 1,64 \text{ funzione del num. di provini}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (R_i - R_m)^2}{n-1}} \quad \text{scarto quadratico medio.}$$

Statistica influenzata dalla dimensione del getto

Il degrado lo posso avere su calcestruzzo: il CaCl_2 aggredisce il legante che lo fessura e lo danneggia. Avviene intorno ai 15°C . L' NaCl non ha alcun effetto degradante sul calcestruzzo.

armature: provocano la degradazione corrosiva. Il cloruro fa perdere la passivazione dell'armatura che la protegge dagli acidi, rendendola vulnerabile. Sia NaCl che CaCl_2 .

Acqua di mare:

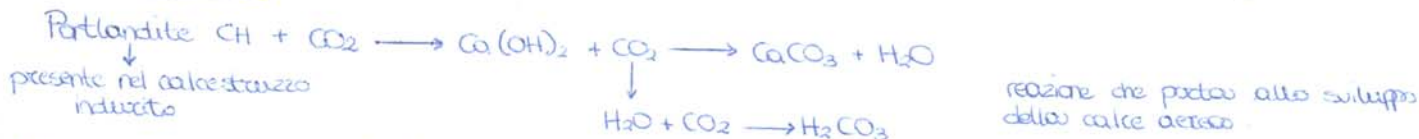
- contiene disciolti molti ioni tra i quali il magnesio.
- è un aggressivo a tutto tondo per gli oggetti in calcestruzzo. Se si è sul bagnasciuga è molto pericoloso, più pericoloso se tutta l'armatura è direttamente immersa nel mare. Può avvenire anche ad alcuni Km di distanze dal mare dove le particelle vengono trasportate dal vento.
- Il magnesio reagisce con CHS → libera silice amorfa e forma la brucite (= idrossido di magnesio).

Degrado con anidride carbonica → CARBONATAZIONE del CALCESTRUZZO

Posso averlo sotto forma di due effetti:

- azione CO_2 in aria
- azione CO_2 in acqua pura: richiede zone precise più in montagna.

★ CO_2 in atmosfera



È una reazione di salificazione.

In questa reazione chi soffre maggiormente è l'armatura poiché viene attaccata dall'acido che abbassa il pH esponendola più facilmente alla corrosione.

Se calcestruzzo non è armato la corrosione non avviene e il degrado è meno visibile.

La presenza più o meno intensa della CO_2 varia a seconda della zona.

Reazione della CO_2 simile alla carbonatazione.

→ CO_2 si scioglie nell'umidità del manufatto nei pori capillari migrando dalla superficie al cuore in funzione del tempo.



velocità di carbonatazione v :

$$v = \frac{ds}{dt} = \left(\frac{k}{n} \right) \cdot t^{\frac{(1-n)}{n}}$$

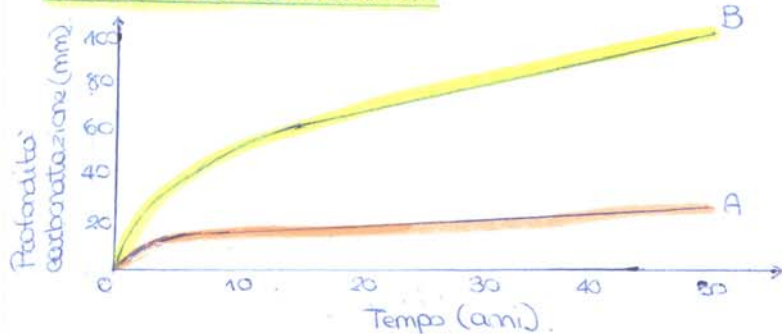
ma tenendo conto che, nella maggior parte dei casi, la porosità dei calcestruzzi si situa tra il 20 e 30%, si è calcolato che $n=2$ quindi l'eq. diventa

$$S = k \cdot \sqrt{t} \quad \text{con } S = \text{spessore}$$

Spessore variato in funzione del tempo e dipende dalla qualità del calcestruzzo.

Fenomeno più degradante su un calcestruzzo di pessima qualità e in funzione anche del rapporto A/C , al tipo di calcestruzzo.

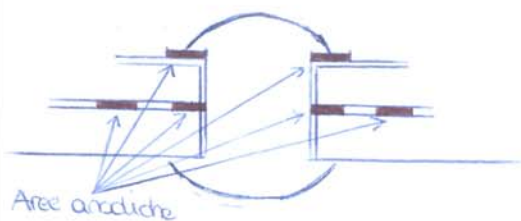
Profondità di carbonatazione



A = basso rapporto A/C , alto dosaggio cemento.

B = alto rapporto A/C , basso dosaggio cemento.

Fenomeno avviene sulle armature

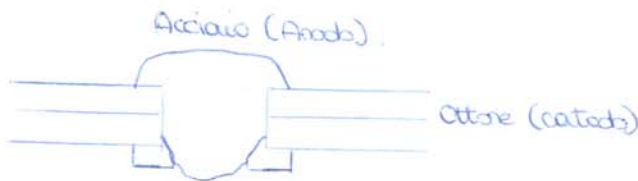


Degrado più spinto se faccio delle costruzioni galvaniche di ottone con armature in acciaio

Vita di servizio di strutture:

- Edifici comuni → 60 anni
- Costruzioni prestigiose → 150 anni
- Ponti rilevanti → 120-150 anni
- Attracchi marittimi → 30-50 anni

25/05/2010 ①



Prevenzione della corrosione per tutta la vita di progetto

- corretto progettazione strutturale e costruttiva
- corretto scelta mix-design dei materiali
- copriferro di spessore conforme ad condizioni ambientali

→ Conseguenze: - riduzione sezione ferri \rightarrow \downarrow resistenza a trazione, fatica, proprietà di deformazione
- fessurazione \rightarrow periodo di disassorbimento dell'armatura, \uparrow velocità corrosiva, distacco calcestruzzo

Protezione aggiuntiva

- Inibitori di corrosione → in impasto
- Trattamenti superficiali → pitture, membrane, trattamenti
- Rivestimento armature con resine → applicazione elettrolitica, polvere polimerica a 240°C su ferro sabbiato
→ adesione calcestruzzo-ferro ridotta del 10-20% adatte al sostentamento carichi strutturali
- Zincatura armature → per cementi a pH < 13
→ per cementi di miscela con basso tenore di portlandite CH

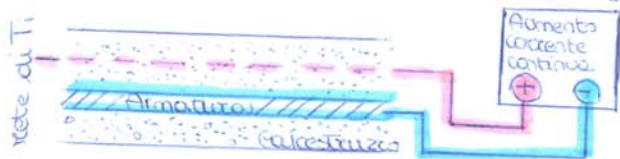


La corrosione attacca la lamina di Zn e non l'acciaio

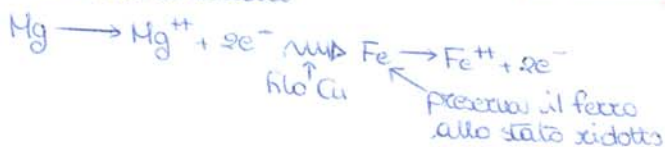
Se avviene un'interazione in ogni caso lo O_2 attaccherà preferenzialmente lo Zn anche se l'acciaio è in contatto con l'aria

• Acciai inox → costo elevato

• Protezioni catodiche \rightarrow protezione per correnti impresse
→ adatte per gli ambienti aggressivi



Simile all'anodo sacrificale usato per tubazioni l'acciaio interrotto



★ CO₂ in acqua pura

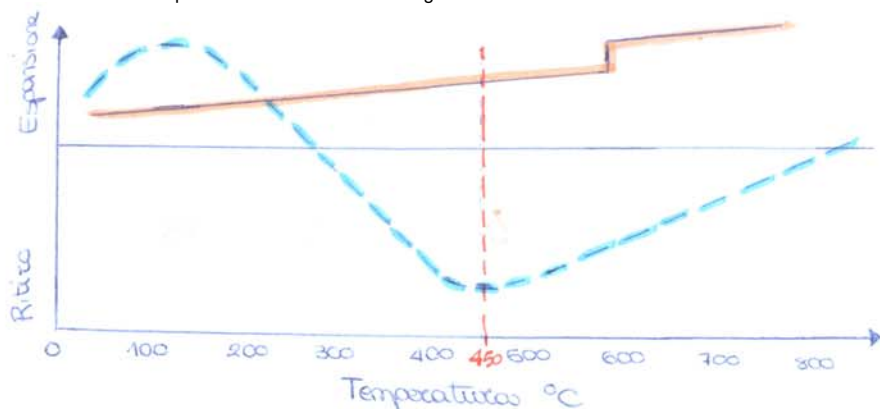
L'acqua è un solvente con capacità di scioglimento impressionante. Essendo molto pura (ad esempio dovuta allo scioglimento dei ghiacciai) scioglie parecchi sali divenendo un aggressivo molto forte. Durante lo scioglimento avvengono le seguenti reazioni:

- 1) $H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3(aq)$
- 2) $H_2CO_3(aq) + CH \rightarrow CaCO_3$ (che ha una bassa solubilità)
- 3) $CaCO_3(s) + H_2CO_3(aq) \rightarrow Ca(HCO_3)_2$ bicarbonato di calcio. Molto solubile.

In genere è scattato: $CaCO_3(s) + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2$ \rightarrow reazione di degrado \rightarrow solubilità di due ordini di grandezza

Si solubilizza in acqua e poi viene assorbita dalla struttura \rightarrow DILAVAMENTO

27/05/2010 ①



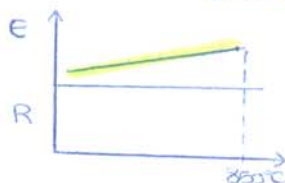
— aggregato siliceo

- - - pasta di cemento

1) Pasta di cemento indurita:

costituita da fasi idrate
ma decomposizione termicaa) espandeb) ritiro: degrado fasi idrate → nuove fasi, ho perdita di ogni elemento che costituisce tutte le prop. meccaniche.c) riprende espansione lineare
ma non più come legante idraulico

2) Aggregati

a) calcare: il carbonato di calcio non subisce grandi variazioni ma si espande fino agli 850°C circa. Otengo $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}_{\text{vap}}$ b) silice: silice cristallina fonde a 1750°C. Durante l'aumento di temperatura ho una trasformazione allotropica. A noi però interessa la trasformazione: quarzo α ↔ quarzo β a 550°C. Si ha un cambiamento della struttura cristallina. Il quarzo β è meno denso dell'α. Durante la trasformazione si ha il passaggio istantaneamente provocando una forte espansione improvvisa con azione altamente disgregante.

[Suppo del calcestruzzo: aumento di pressione del vapore acqueo nei pori pieni d'acqua → provoca il distacco del copriferro]

3) Armatura:

a) scorrimento viscoso, creep → deformazione irreversibile fino a rottura

b) differenze dilatazione termica α: → aumento significativamente la temperatura tra armatura e calcestruzzo. Assolutamente dissonanti che ne provocano il distacco.

COME REALIZZARE UN CALCESTRUZZO DUREVOLE

► Importanti

- UNI 9858
- EN 206
- EUROCODE N2

ci danno una serie di disposizioni da seguire e che devono essere rispettate dal progettista per non essere perseguibile civilmente e penalmente.

Tabella di riferimento da seguire per poter progettare un buon calcestruzzo durevole.

Ogni tappa del processo produttivo è importante per realizzare il cls in modo conforme

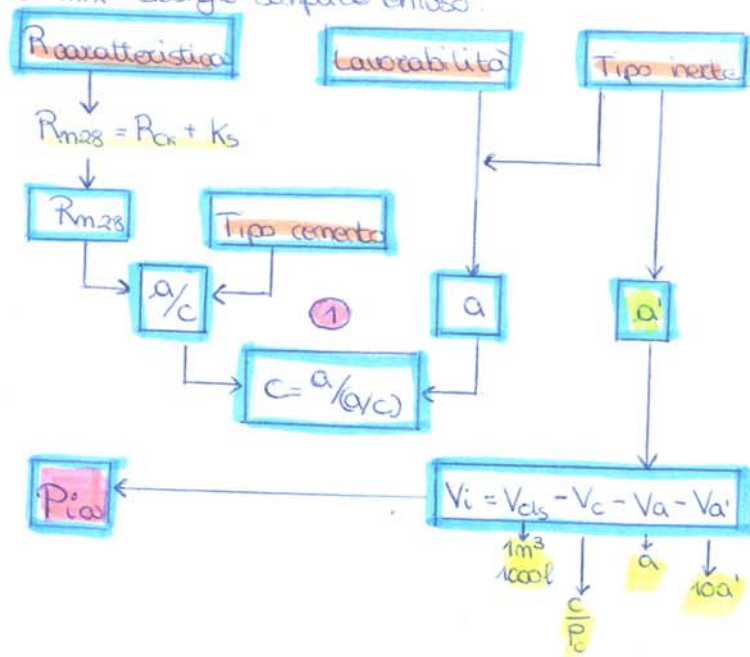
- 1- progettazione
- 2- messa in opera
- 3- stagionatura

1) Progettazione: non adeguato dosaggio di cemento: 250 - 300 kg·m³ di cls

H₂O commisurato a reali quantità di cui necessita il cls.per costi: tendenza a ↓ dosaggio
↓ compattezza, ↑ porosità
↓ resistenza meccanica.quanta H₂O in %: importante x fasi leganti
↓ dissolubilità
↓ resistenza mec.
MA un eccesso, xR forma vuoti capillari.

se entrambi i requisiti allora è **solubile** se non lo trova allora è detto **insolubile**.

Per il mix - design semplice chiuso.



— parametri prefissati dal progettista.

[Lavorabilità e tipo d'inerte sono direttamente collegati tra loro]

$$a' = \frac{V_{aria} (\%) }{V_{calcestruzzo}} \Rightarrow \text{aria intrappolata}$$

% aria è correlata al diametro max dell'aggregato.

V_i = Volume inerte in $1m^3$ di calcestruzzo.

P_c = densità cemento = $3,15 \text{ Kg/l}$.

a = dosaggio in acqua $\equiv 1 \text{ Kg} = 1 \text{ l}$.

$V_{a'}$ = volumi di vuoti $\Rightarrow a' = \frac{V_{a'}}{V_{cls}} \cdot 100$

Il dosaggio dell'inerte avviene in massa.
 $P_{ia} \approx 2,7 \text{ Kg/l}$.

$$i = 2,7 V_i = 2,7 (1000 - \frac{c}{3,15} - a - 10a').$$

Domande d'esame:

- definisci anche con riferimento alle norme europee, i cem d'altofora e cosa s'intende x idraulicità latente. Ricordi limiti compressionali che li caratterizz. nella normativa spiegandone i motivi di qst limiti.
- elenchi tipi di cemento e la loro designazione secondo normativa UNI EN 197/1. elenchi le classi di cemento individuate secondo i requisiti meccanici e discute appropriatamente qst requisiti sottolineando anche l'importanza in una produzione di qualità.
- o -
- illustri dettagliatamente fenomeni di degrado del cls nel caso della CO_2 distinguendo il degrado indotto dalla CO_2 gassosa oppure in acque molto pure.
- illustri conseguenze fenomeni di degrado e descrivi giustificando le precauzioni che debbono essere adottate x prevenzione di qst tipo di degrado anche con riferimento alle normative vigenti.
- descrivi il procedimento di produzione del legante gesso a partire dalle materie 1°.
- definisci quale categoria di leganti appartiene e descrivi la reazione x presa e indurimento di qst legante.
- illustri fenomeni termici e fisici che si manifestano a seguito dell'impasto con acqua spiegandone le conseguenze a livello di rapporto legante acqua. Modalità di messa in opera e/o proprietà finali del legante.
- elenchi principali impieghi in edilizia e caract. chimico-fisico-meccaniche più signif.

Formule per Scienze e Tecnologie dei Materiali

• Curve di Cordon-Robert:

$$E_{\text{risultante}} = \int_{-\infty}^{\infty} F_{\text{risult.}} \, dx = \int_{-\infty}^{\infty} F_A \, dx + \int_{-\infty}^{\infty} F_R \, dx = E_A + E_R$$

• 1^a legge di Fick:

$$J_x = -D \frac{dc}{dx}$$

J_x = flusso di materia

D = coeff. di EFFUSIONE o DIFFUSIONE

dx = gradiente di concentrazione disomogenea per mantenere l'equilibrio

• Tensione superficiale:

$$F \cdot dx = 2\gamma l \, dx \Rightarrow \gamma = \frac{F}{2l} = \left[\frac{N}{m} \right]$$

• Equazione di Laplace:

$$\Delta P \cdot dV = \gamma \cdot dA$$

$$\Delta P \cdot 4\pi r^2 \cdot dr = \gamma 8\pi r \, dr = 0$$

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

• Legge di Young-Dupré (per raggiungimento dell'equilibrio)

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{GL} \cos \theta$$

S = solido

G = gas

L = liquido

$$\text{Porosità (\%)} = \frac{V_{\text{poro}}}{V_{\text{tot}}} \cdot 100$$

• Pressione capillare:

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r_m} = P_c$$

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r_c} \cos \theta = P_c$$

$$r_c = r_m \cos \theta$$

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

$$h_{\text{max}} = \frac{2\gamma}{\rho g r_c} \cos \theta$$

• Conduttività:

$$J_x = -\lambda \frac{dT}{dx}$$

con $\frac{dT}{dx}$ gradiente termico

$$J_x = \frac{dQ}{dT} = \frac{1}{A}$$

$$\lambda = -\frac{1}{A} \frac{dQ}{dT} \quad \text{ma Legge di FOURIER}$$

• Dilatazione:

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \Delta T$$

con α = coeff. espansione termica lineare.

ESEMPIO COMPITO D'ESAME

- Domanda A:

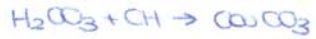
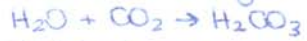
- ① definisci anche con riferimento alla normativa europea i cementi d'alto forno e cosa s'intende per idraulicità latente. Ricorda i limiti composizionali che li caratterizzano nella normativa spiegandone i motivi.
- ② elenchi i tipi di cemento e la loro designazione secondo la normativa UNI EN 197/1. Elenchi le classi di cemento individuate secondo i requisiti meccanici e discuti appropriatamente questi requisiti sottolineando anche l'importanza di una produzione di qualità.
- ③ Il cemento d'alto forno si ottiene macinando clinker di Portland con gesso e con il 36-95% di loppa granulata d'alto forno (CEM III/A, III/B, III/C); quest'ultimo è un materiale idraulico latente, cioè un materiale che presenta proprietà idrauliche se attivato opportunamente: è un sottoprodotto dell'industria metallurgica che si ottiene liquido alla base degli altiforni e che viene raffreddato rapidamente al fine di conservare la struttura vetrosa: infatti, deve contenere, per Norma, almeno due terzi in massa di loppa vetrosa e deve essere costituita da almeno $\frac{2}{3}$ in massa della somma di CaO , MgO e SiO_2 . Il rapporto in massa $(\text{MgO} + \text{CaO})/\text{SiO}_2$ non deve essere > 1 . La loppa allo stato vetroso reagisce lentamente con l'acqua, ma assai più rapidamente con l'idrossido di calcio: pertanto è utilizzato in combinazione con il clinker di cemento Portland, la sua idraulicità è stimolata e tale reazione produce anch'essa CSH secondario.
- ④ Nella norma UNI EN 197/1 il cemento viene definito come un legante idraulico, cioè un materiale inorganico finemente macinato che mescolato con acqua, forma una pasta che rapprende e indurisce al seguito di reazioni e processi di idratazione e che, una volta indurita, mantiene la sua resistenza e la sua stabilità in acqua. Il cemento conforme alla norma europea viene identificato con la sigla CEM e, opportunamente dosato e miscelato con aggregato e acqua, deve essere in grado di produrre una malta o un calcestruzzo capace di conservare la lavorabilità per un periodo di tempo sufficiente per raggiungere, dopo determinati periodi, livelli di resistenza meccanica prestabiliti anche possedendo una stabilità di volume a lungo termine. La norma suddivide i cementi comuni in 5 classi differenti:
 - CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V alcuni dei quali vengono suddivisi ulteriormente in sottoclassi designate dalle lettere in ordine alfabetico.

- Domanda B:

- ① Illustra dettagliatamente i fenomeni di degrado del cls ad opera della CO_2 distinguendo il degrado indotto dalla CO_2 gassosa oppure in acque molto pure. Illustra le conseguenze dei fenomeni di degrado e descrivili giustificando le precauzioni che debbono essere attuate per prevenzioni di questo tipo di degrado anche con riferimento alla normativa vigente. Tra i vari fenomeni di degrado, quello per opera della CO_2 è molto importante. Questo tipo di degrado può avvenire in due effetti diversi: CO_2 in atmosfera e CO_2 in acqua pura, ovviamente in base alla zona in cui mi trovo. Per quanto riguarda la CO_2 in atmosfera, nel cls, la portlandite reagisce con la CO_2 per dare vita alla calce aerea. In questa reazione chi soffre maggiormente è l'armatura poiché viene attaccata dall'acido che ne abbassa il pH esponendola più facilmente alla corrosione. Ovviamente se il calcestruzzo non è armato, questo soffre di meno e il degrado è meno visibile. Questo fenomeno è simile alla carbonatazione perché la CO_2 si scioglie nell'umidità del manufatto nei pori capillari migrando dalla superficie al cuore. La velocità della reazione varia in funzione del tempo e allo spessore del materiale. Questo fenomeno è più degradante su un calcestruzzo di pessima qualità. Un altro fattore che influenza la velocità di carbonatazione è l'umidità relativa: infatti se questa è $< 35-40\%$ oppure $> 90\%$ la CO_2 non riesce a penetrarvi o comunque a distribuirsi. Se invece $50\% < \text{U.R.} < 90\%$ ho un'altissima pericolosità di penetrazione e diffusione della CO_2 nel manufatto. Inoltre la carbonatazione interessa inizialmente il copriferro provocando il distacco e successivamente attacca l'armatura promuovendo la formazione della ruggine. Invece il fenomeno della CO_2 in acqua pura è anche molto pericoloso. Questo tipo di acqua è un solvente che è in grado di sciogliere la CO_2 e parecchi sali.

divenendo un aggressivo molto forte.

Durante lo scioglimento avvengono le reazioni:



Questo si scioglie in acqua e poi viene asportato dalla struttura e questo fenomeno prende il nome di dilavamento.

Per evitare di incorrere a questi spiacevoli inconvenienti e poter progettare un buon calcestruzzo durevole devo attenermi strettamente alle norme UNI 9456, EN 206, EUROCODE N2.

ESEMPIO COMPITO D'ESAME

Domanda a):

- 1) - Definire fenomeno della dilatazione termica e scrivere la semplice relazione che permette di calcolare il coeff. di dilatazione termica.
- 2) - Usando le rispettive curve di Condon-Morse spieghi il diverso comportamento delle varie classi dei materiali rispetto alla dilatazione termica.

RISPOSTA:

Alcuni materiali quando c'è un aumento di temperatura, subiscono una dilatazione, più o meno importante, a seconda del materiale preso in questione. In ogni caso, la dilatazione rimane un fenomeno piuttosto pericoloso per strutture importanti come edifici pubblici, e proprio per questo motivo, si devono seguire le norme UNI apposite.

L'equazione per calcolare il coeff. di dilatazione termica è: $\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \Delta T$

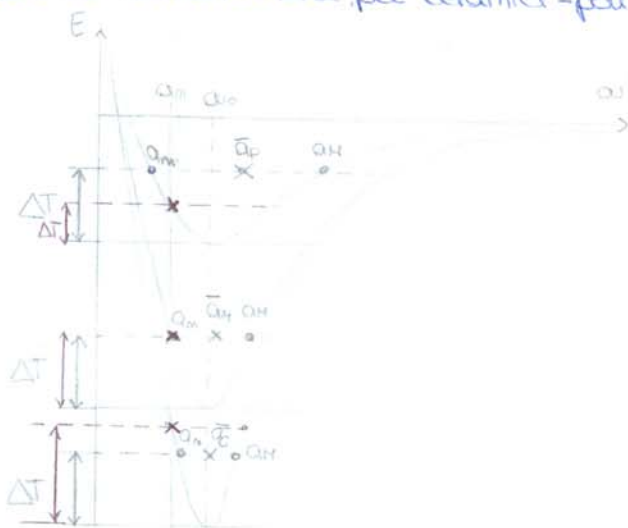
dove: ΔL è l'espansione della lunghezza

L_0 è la lunghezza iniziale

α è coeff. dilatazione termica

ΔT intervallo di tempo in cui avviene il fenomeno.

Curve di Condon-Morse per ceramici - polimeri - metalli.



al parità di ΔT :

- la ceramica si dilata di meno
Seguono i metalli e infine i polimeri

- invece al parità di α_m :

ho bisogno di maggiore ΔT per i ceramici
per poterli dilatare, ΔT medio per i metalli
e molto basso per i polimeri.

Domanda b):

- 1) - Descrivere modalità di conduzione di una prova a compressione e flessione
- 2) - Giustificare quale delle due prove è perché viene considerata giustamente, meccanicamente più severa per un materiale fragile.

Dal momento che un materiale fragile è molto scarso se subisce una trazione, lo si cerca di far lavorare a compressione poiché risponde decisamente molto meglio.

Dunque, per testare la sua resistenza, faccio la prova a compressione e flessione. La prova a compressione consiste nel prendere un certo numero di provini (cilindrici o cubici le cui altezze, spessori e circonferenze sono dettate dalle norme UNI), ovviamente dello stesso materiale, e li si posizionano tra 2 lastre che li schiacciano. La prova per essere considerata valida, deve far sì che il provino non subisca rigonfiamenti e/o inflessioni, se no viene considerata nulla. La resistenza a compressione di quel materiale è data dalla media di tutti i provini testati considerati non nulli.

La prova a flessione invece è un misto tra trazione e compressione.

Può essere a 3 punti di carico (più comune) o a 4 punti di carico (più raffinata).

Per quella a 3 punti di carico: prendo un provino di forma parallelepipedo e lo poggio su due "punte" che fanno alle estremità in basso, mentre in alto al centro punto la 3^a punta. Le prime due punte spingono verso l'alto, la terza verso il basso.

Il provino subisce un'inflessione curvandosi e provoca lo stiramento e la contrazione delle fibre interne del provino. In alto subisce la compressione, in basso la trazione. La somma dei due contributi ovviamente deve essere nulla.

La prova a compressione è più severa di quella a flessione poiché quest'ultima è un misto di due prove quindi non è percepibile quale sia realmente la resistenza meccanica di quel

Domanda d'esame 2:

Si disegni la curva di sforzo-deformazione σ - ϵ ricavabile dalla conduzione di prova a trazione materiale metallico duttile definendo tutti i parametri meccanici direttamente o indirettamente ricavabili. Si indichino sul grafico σ - ϵ tutti i parametri individuati.

RISPOSTA



- ① Coefficiente angolare del tratto rettilineo della curva E: rigidità materiale.
- ② limite elastico σ_E : sollecitazione limite al di sopra del quale il materiale subisce deformazione irreversibile.
- ②' limite di snervamento σ_s : transizione e presenta una forte discontinuità tipica degli acciai. Detto dal fatto che la velocità di def. è costante perché comandata dalla macchina. Può essere inferiore e superiore. Dopo le dislocazioni si muovono tutte insieme e quindi deformazioni più rapide (nella realtà) la macchina invece deve rappresentare nel modo più reale possibile quindi riduce lo stress per farla recuperare velocità e dopo far risalire la sollecitazione.
- ③ limite elastico convenzionale $\sigma_{0.2}$: sforzo che riduce def. permanente irreversibile dello 0,2%.
- ④ resistenza a rottura σ_R o resistenza a trazione σ_T : sollecitazione max in cui il provino em. è destinato a rompersi. Non coincide con la rottura fisica del provino.
- ⑤ deformazione a rottura ϵ_R : quantifica deformazione plastica. Allungamento percentuale a rottura.
- ⑥ strazione: zona di disomogeneità regolarsi nel provino. progressivamente diminuisce sforzo applicato.
- ⑦ area sotto la curva meccanica: energia immagazzinata per pervenire a rottura.