



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1450A -

ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: Antoniotti

MATERIA: Tecnologia dei Materiali Metallici. Prof.Scavino

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.**

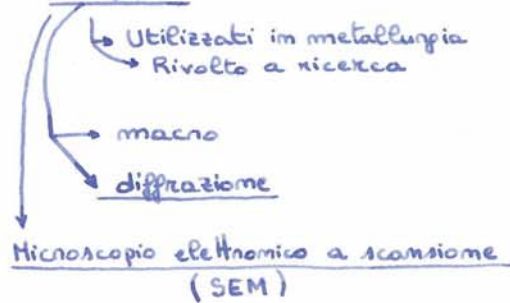
Laboratorio

- Preparazione dei campioni per l'osservazione metallografica
- Osservazione metallografica (uso del microscopio)

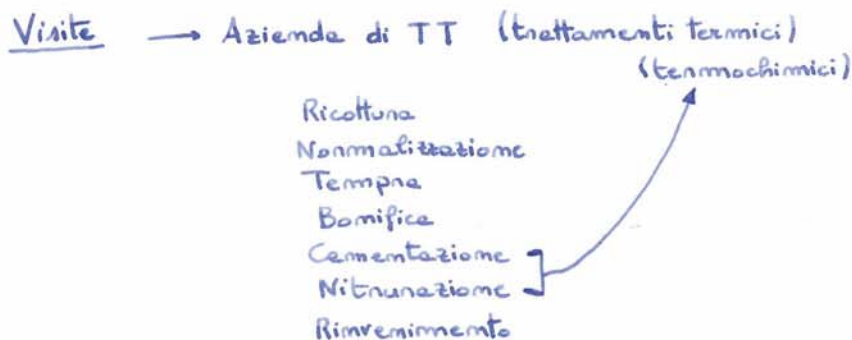
+ Prova di Trazione



Raggi X



Uso del quantometro / spettrometro di massa





Cina — Ha controllo del carbone fine

↳ Il più problematico da approvvigionare

Produzione di acciaio



- Val di Susa (S. Digone)
 - Settimo
 - Quindiciotto
 - Brescia
 - Etc...
- "MONTAGNA"

- (Come Taranto)
- MARE
- Genova → chiusi
 - Piemonte → chiusi
 - Magli
 - Montefalcone
 - Taranto

Elektrika

Manegaglia Riva, Lucchini

Approvvigionamento elettrico

↳ Per sfruttare corsi d'acqua

- Auto produzione energia elettrica (CENTRALI ELETTRICHE) (IDRO)

Affinché produzione sia concorrenziale servono costi accessibili

- Confrontarsi con il mondo

Logistica (Gestione pratica) di stabilimento

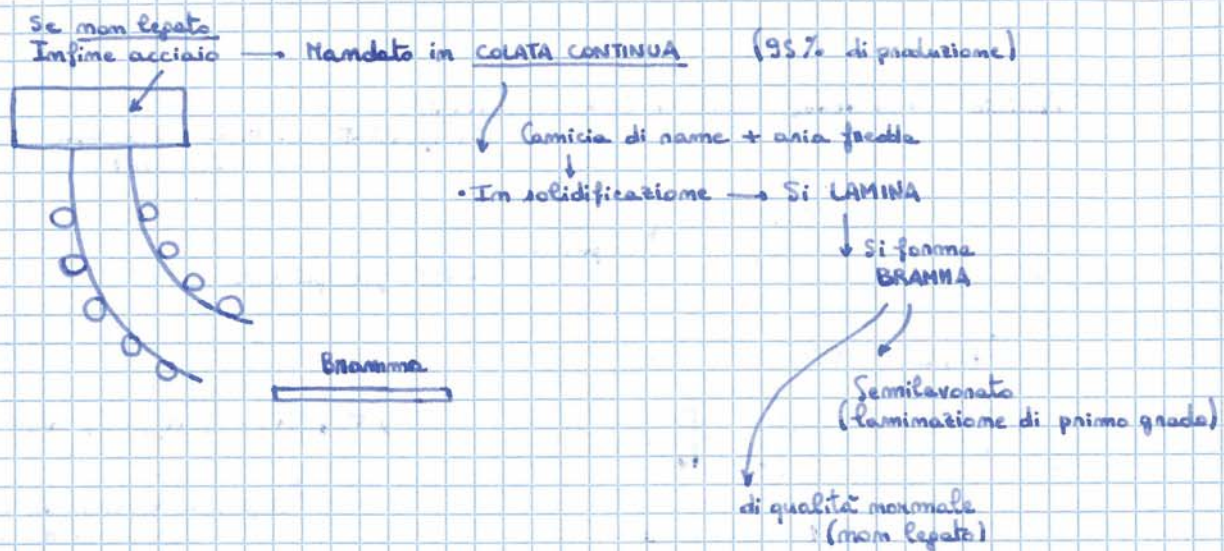
↳ Impone che approvvigionamenti e uscite

↳ Arrivano via mare

10/20 mila tonnellate al giorno (Quantità enormi)

Ma in Italia costa di più energia elettrica (Francia: -30%)

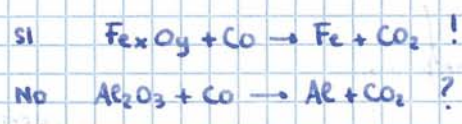
Per questo si è pensato a centrali nucleari



Acciaieria elettrica
↳ Dopo averlo fuso
↳ Si possono appiumpere leganti



- Punto di partenza di siderurgia
↓ OSSIDO
MeO



Me * O Siderurgia deve rompere legame

Bauxite → Al_2O_3 → Molto costoso rompere legame

Fe_2O_3 → Poco costoso

Vale Anche TiP_2 → Molto costoso per

↓ Alluminio costa di più anche se sulla terra ce n'è di più

Programma di base

PROPRIETÀ DEI MATERIALI METALLICI

① Specificità di essi nei confronti di altri materiali

Rivolte a
impegnia

NON METALLI

Impegnia meccanica

↳ Gran parte sono metalli

Hanno proprietà specifiche

Maggior parte dipendono da

↳ composizione chimica

↳ Trattamenti termici

Parte generale più accademica

② DIFETTI → Importantissimi per mat. metallici

↳ MECCANISMI DI RAFFORZAMENTO — Diversi obiettivi

③ FASI METALLICHE

↳ DIAGRAMMA DI STATO Fe-C

Acciai

Ghise

• PERITETICO → Solidificazione — Tecniche di colata

④ • EUTETICO → GHISE (di primaria importanza)

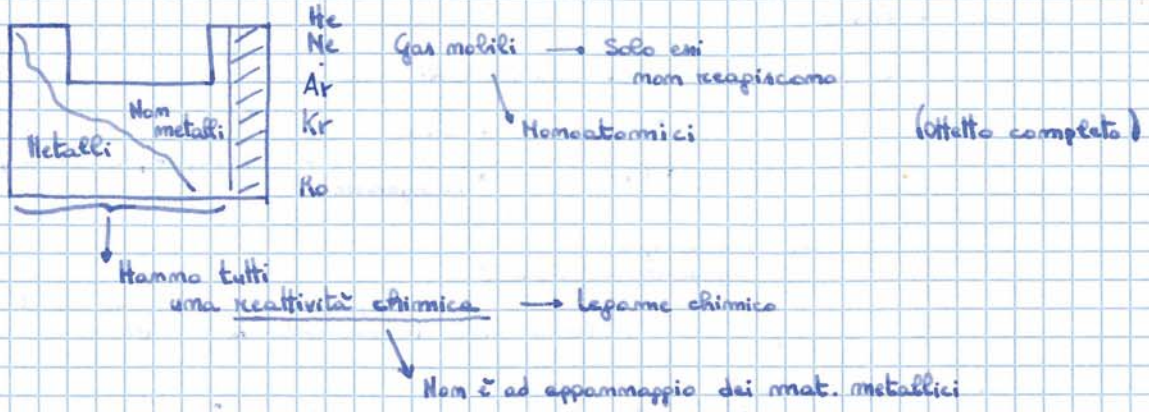
• EUTETTOIDE → TRATTAMENTI TERMICI

↳ Operazione che si effettua scaldando materiale a una certa T e poi raffreddandolo con diverse modalità

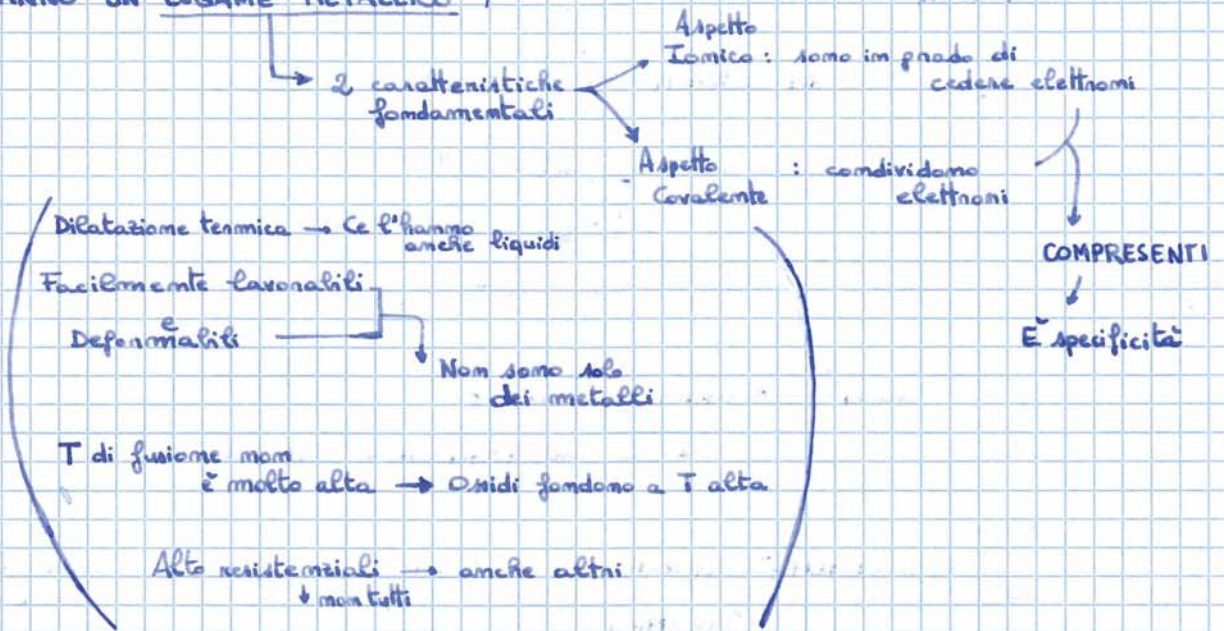
↳ Funzionano solo su alcuni acciai

↳ Influenzano caratteristiche moltissimo

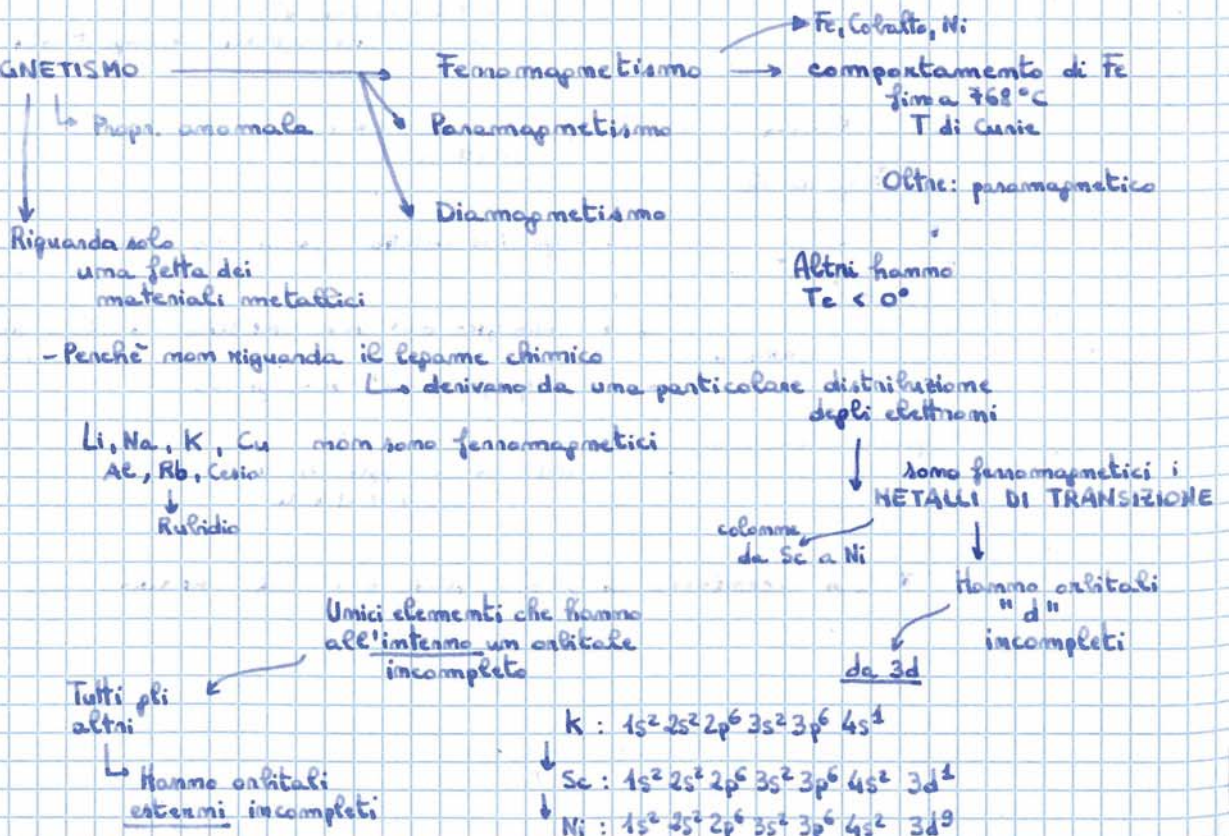
- Nomenclatura degli acciai



3 - HANNO UN LEGAME METALLICO



4 - MAGNETISMO



6 - COMPORTAMENTO PLASTICO (deformabilità plastica)

- Gli unici ad avere
- La più importante proprietà

Possono essere utilizzati dove gli altri non possono essere utilizzati

Di solito : CARICO → ROTTURA

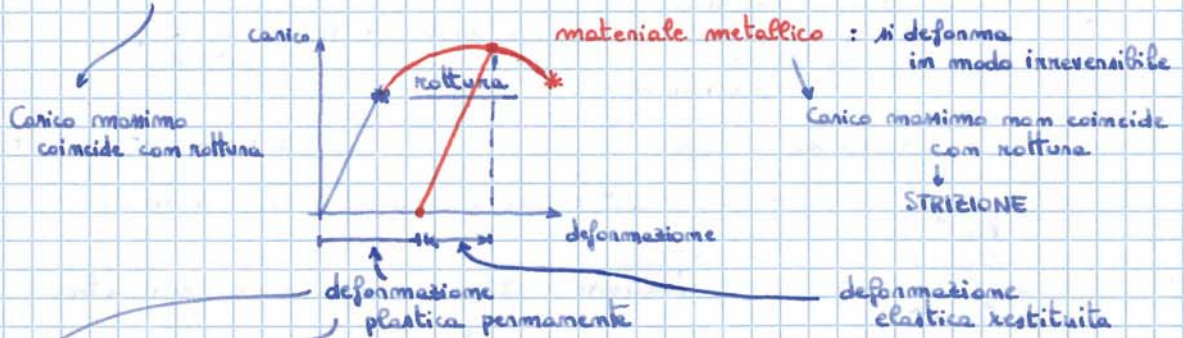
Metalli : CARICO → DEFORMAZIONE PLASTICA → ROTTURA



Tutti i materiali
 ↓
 Deformazione elastica

- Carico : deformazione prop. al carico (costante di prop. E modulo elastico)
- Dopo carico : ritorna a posto

Maggiore parte → Aumentando carico → ROTTURA
 (Tutti i non metallici)



Per lavorarlo in tutto il tratto
 ↓
 Per deformato devo aumentare carico
 ↓
 Si lavora più in sicurezza

Strizione: deformazione localizzata
 ↓
 Carico diminuisce
 ↓
 Sezione resistente diminuisce



Im officina (Condizioni reali)

Quasi mai si rispetta condizioni di equilibrio

(DDS ci indica tendenza)

Per il tempo → finito / discreto

Possono formarsi altre fasi

Condizioni di equilibrio → Fe_3C Cementite

Ma legame sarebbe covalente

Anche

Fe_2N

soluzione solida, E'

1

Fase che presenta un campo di esistenza spalmato su un intervallo di composizione

Fe_4N

Composto, γ'

Esiste non per un campo di esistenza ma per una composizione ben definita

Austenite: soluzione solida di C in Fe (CC)

da 0 → 2%

Al_2Cu

Composto intermetallico

Metallo + metalloide

Es: cementite → solo al 6,67% di C

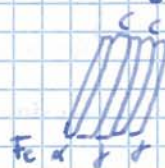
Sempre presente con soluzione solida del ferro

Ad esempio miscela di ferrite Fe_α e cementite Fe_3C

PERLITE → MISCELA

Fase con altre fasi metalliche

Comportamento metallico



Placchette sovrapposte

Si comporta come un metallo

Riflette luce

Nitrurazione → Trattamento termochimico

Si arricchisce superficialmente di azoto (N)

fase E' , fase γ' (10/nm)



Azoto in soluzione solida in ferro →

Materiale ha comunque comportamento metallico

Ferrite → Soluzione solida di C in Fe
↓
di solito 0,02% → Ferro quasi puro

Struttura
↳ Dopo trattamento termico
↳ Cambia completamente STRUTTURA (Composizione rimane identica)
↓
Cambiano proprietà di materiale metallico

GHISA: Ferrolega

↳ Materiale con comp. metallico

↳ Tenore di carbonio: supera il 2%

(Negli acciai meno del 2%)

GROSSA DIFFERENZA

Si formano lamelle di GRAFITE (100% C)

(C puro)

(C in cementite) + PERLITE

(C in soluzione) + FERRITE

Negli acciai il Carbonio non si mai libera

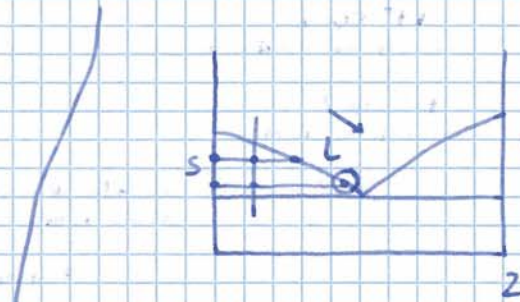
↓ Nella ghisa può esserlo

Non è una fase metallica di per sé

↳ Ma nelle ghise fa sì che l'insieme sia chiamato legha (ha caratteristiche metalliche)

Per ottenere Cu PURO

- Prima operazione con : FUSIONE A ZONE

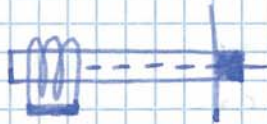


Liquido raffreddando si arricchisce di 2^a fase

Con solenoidale scaldo

↳ si forma del liquido che si riempie di seconde fasi

↳ Muove spirale verso il fondo (liquido trascina seconde fasi)
 ↓ E poi toglie il fondo (pieno di 2^e fasi)
 ↓ impunità



2° processo:

- ELETTOCHIMICA

↳ In bagno elettrolitico → avviene elettrolisi
 ↓ Rame puro si deposita su (anodo/catodo)

Con processi

Costi diventano alle stelle → Rame di tipo elettrico molto costoso

Per scopi di conducibilità elettrica si può usare anche

- Au ORO
- Pt PLATINO
- (Ag) ARGENTO

Ma platino e oro hanno una elevata massa volumica

Di solito → Oro con rame → Per caratteristiche MECCANICHE

↓ Altrimenti non ci sarebbero → Si romperebbero subito

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

Geometria

RESISTIVITA': caract. specifica del materiale

dipende anche dalla purezza

dipende da → composizione

difetti → impunità

del reticolo → Solitamente mancanza di atomi



Sono VORAGINI

Mancano presupposti energetici per presenza di elettroni

Elettroni → Si muovono in spazi energeticamente concessi

Base energetica

Optimo è ad un livello di energia concreto

Dove ci sono VACANZE → non possono passare elettroni

inibisce passaggio di elettroni

Aumenta la resistività

Diminuisce conducibilità

VACANZE: difetti di equilibrio

↳ Sistema tende a minimo di energia

↳ Si può dimostrare che

- Esiste un numero di vacanze che T per T fa sì che il sistema sia ad un minimo di energia

A seconda di numero di vacanze varia l'energia del sistema

Numero di vacanze dipende da T

(di attivaz.)
Q: energia mecca. per formare una mole di vacanze

$$\frac{N_v}{N_{atomi}} = e^{-\frac{Q}{RT}}$$

CONDUCIBILITÀ TERMICA

Mat. metallici → Buoni conduttori
 Scambiatori di calore (Termosifoni) sono in mat. metallici

Quali?

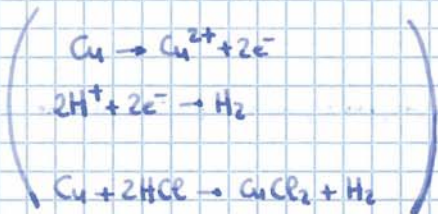
Bisogna analizzare fluido → Per corrosione

Soffermansì su resistenza a corrosione (ad umido)

→ SUPERLEGHE (Puro Ni, Cobalto)
 → ACCIAI INOSSIDABILI

No materiali austenitici (con Fe)

↳ Corrode



NON AVVIENE → Cu segue H → scimmiai avviene l'opposto
 corrosione da acido cloridrico termodinamicamente impossibile

- Ciò non avviene se ha un ambiente RIDUCENTE
 ↳ HCl corrode Cu

Rame si può usare → Ma se c'è acido OSSIDANTE (Nitrico, Solforico)

↳ Rame viene attaccato

Altri materiali

Ad esempio GHISE (Silicio) 2,5 - 3,5 femone % solite

Ma se n'è con molto silicio

↳ Fonte inenzia chimica

- Ci sono anche fenomeni OSSIDATIVI

↳ Ferro si ossida

Per sintetizzare porri ad esempio

Wustite FeO

Magnetite Fe₃O₄

Ematite Fe₂O₃

} Name volumiche differenti

↳ diventano porosi

Ci sono tecniche in cui si crea strato in condiz. controllate di Fe₃O₄ compatto

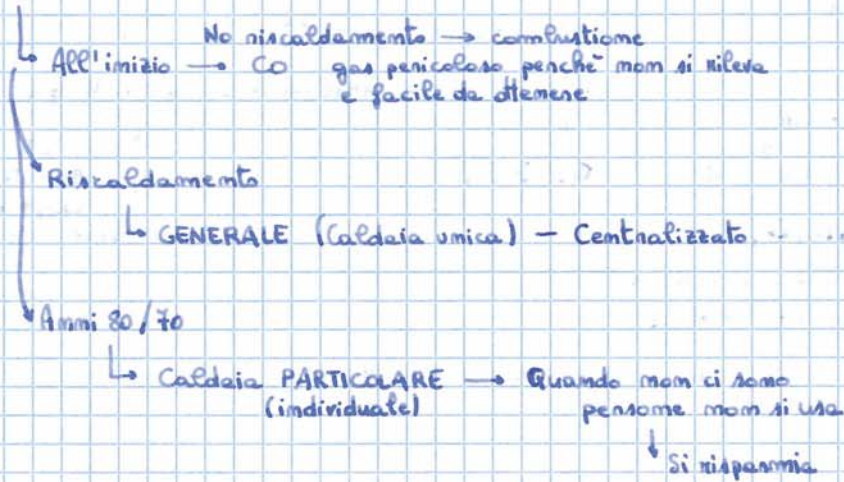
↳ protegge materiali

↳ 1 ora di vapore acqua a 300° (o N₂O)

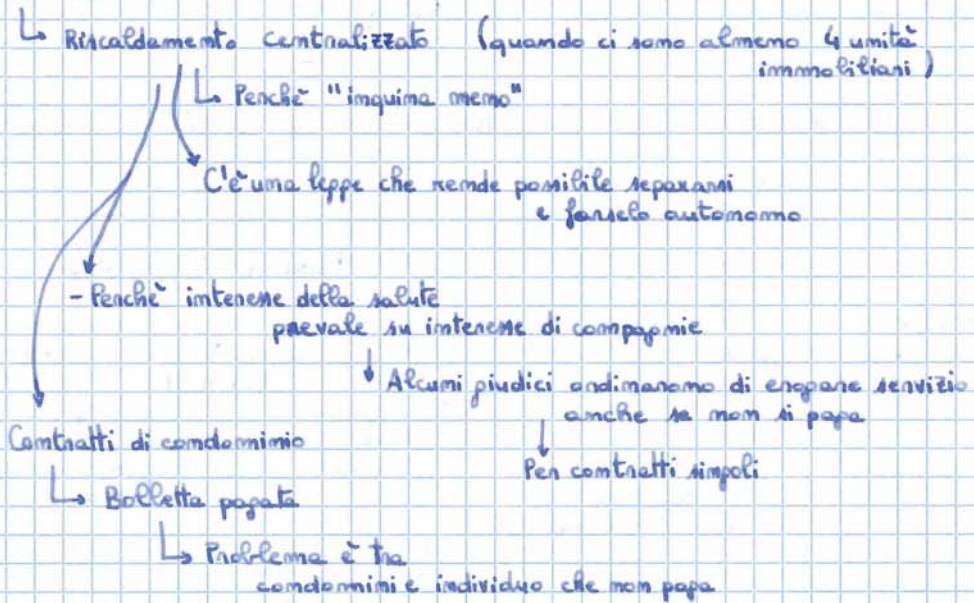
fenomeni ossidativi possono proseguire in profondità

ACCIAIO → Costa meno
↓
Piu' simile ad alluminio
come funzionalità

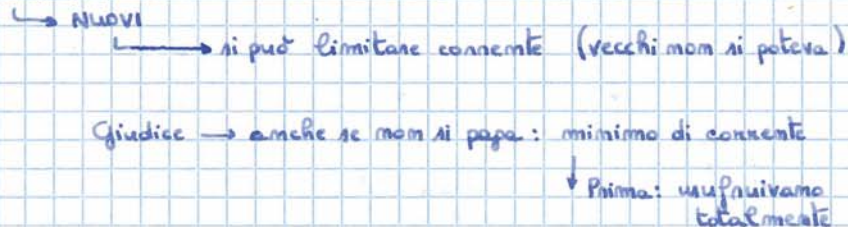
Politica del riscaldamento

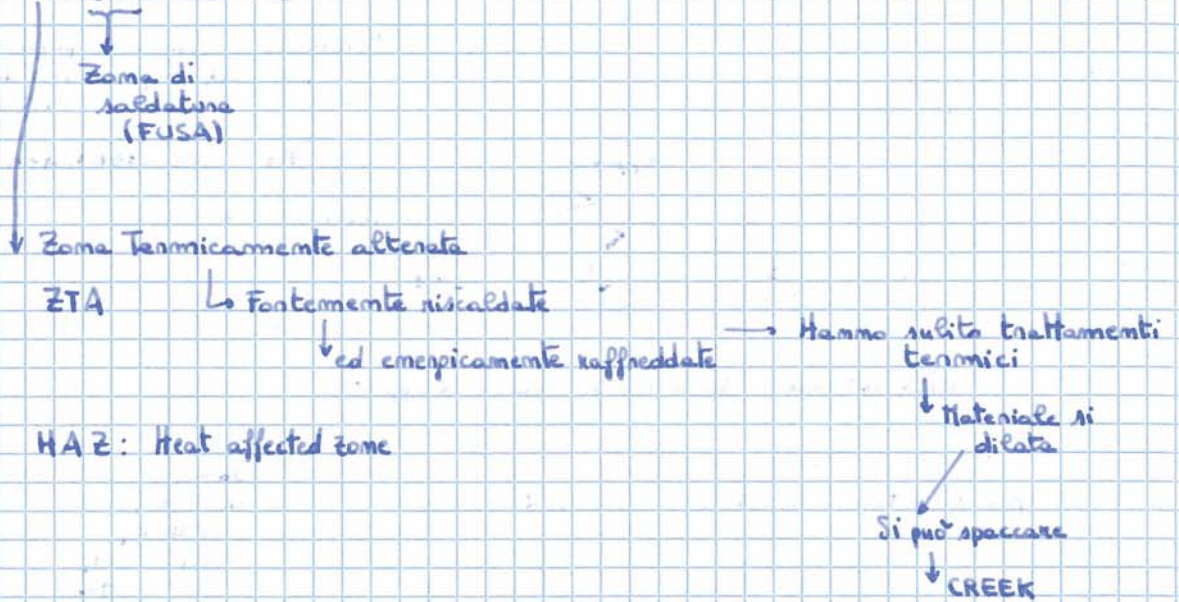


Da 10 anni



Anche contatori



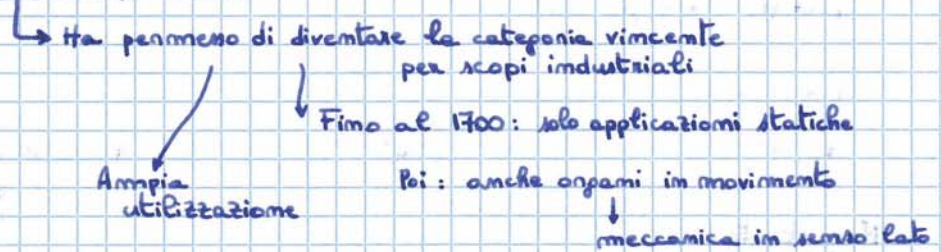


HAZ: Heat affected zone



CARATTERISTICA PRINCIPALE dei mat. metallici

Deformabilità plastica



Materiale associato a CARICO

Si DEFORMA

Tutti i materiali: CARICO → DEFORMAZIONE (Proporzionalità diretta)

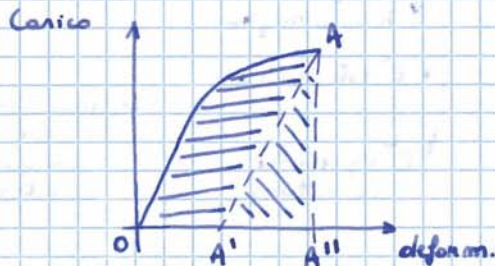
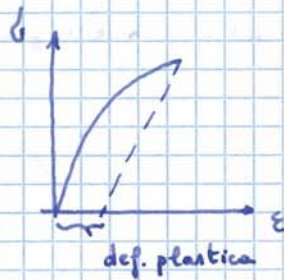
Processo reversibile → Tollo carico
↓
Si annulla deformat.

COMPORTAMENTO ELASTICO

CAMPO PLASTICO
 Per proseguire in deformazione devo aumentare carico

↓ Se tolgo carico

↳ rimane deformazione plastica permanente



Energia meccanica per portare materiale ad A

Componente elastica A'A''

AA' è // a tratto elastico (AA'A'' energia elastica)

Componente plastica permanentemente OA'

Area OAA' energia per la def. plastica

Caratteristiche per avere comp. PLASTICO:

- Legame metallico

- Materiale dev' essere di tipo CRISTALLINO

↓
 Severe regolarità geometrica

↓
 disposizione di atomi è diversa

↳ si oppone a vetroso

↓
 Atomi sono disposti in modo casuale (liquidi condensati)

↳ Disposti secondo geometrie ben precise e ripetibili nello spazio

Deformaz. plastica delle plastiche sono fili che si posizionano ordinatamente

↓
 Macromolecole

Esistono anche i vetri metallici

↓
 Solidificati velocemente e a caso

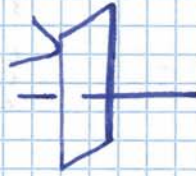
↓
 Comportamento dei vetri

È diversa da deformazione di metalli

Rutherford

↳ particelle al sparate contro lamina d'oro ↳ più facile da lamminare

↳ maggior parte passava attraverso



↳ Materia concentrata in pochissimi punti

↳ E ha carica positiva

↳ Cariche negative stanno fuori

↳ Non vanno in centro

↳ Ruotano (come i pianeti) con orbite ellittiche

↳ Ma hanno una carica elettrica

↳ Generando campo elettromagnetico perde energia

↳ Prima o poi deve cadere

Teoria di Rutherford è sbagliata

↳ Sostituito

Teoria di Bohr - Sommerfeld

↳ utilizza teoria di Planck → Scienziato SCANDALOSO

↳ Adatta a modello atomico

↳ Molto avversato

↳ Principio rivoluzionario e innovativo

↳ "La matassa non fa salti" era errato

↳ Emissione continue di pacchetti finiti di energia (discreti)

↳ Quantizzazione



Livelli ad energia costante

↳ Ogni elettrone ha un livello energetico a lui concesso

↳ Finché è in quel livello → Energia non varia

↳ Se varia energia → deve variare livello

↳ Che hanno ognuno diversi tipi di orbite

↳ Con diversi ORBITALI

↳ Con spettri di emissione li hanno scoperti

↳ radiazioni di elettroni che cambiano livello

Se conosciamo posizione di elettrone adesso

↳ MECCANICA: dice che saprà dove si trova tra 1000000 di anni (conoscendo legge del moto)

Problema: Velocità di elettrone circa v della luce (c)

$$3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Atomi $A = 10^{-10} \text{ m}$

com precisione $< 10^{-10} \text{ m}$

v oltre a 10^8 m/s

(Ma dal punto di vista pratico
↓
va bene modello di Bohr-Sommerfeld)

↳ Misurazione impossibile

↳ Errore infinitamente maggiore di misura presa

Modello probabilistico

Eq. (Schrödinger)

↓
posiz. più probabile in cui si potrebbero trovare e^-

Dal punto di vista energetico

- Categoria di GAS NOBILI

↳ Non reagiscono

↳ Sono gas monoatomici He, Ar

↳ Non creano composti



Perché
Sono in configurazione energetica che ha raggiunto il minimo rispetto al mondo esterno

Tutti gli altri

↳ Non hanno ancora raggiunto il minimo in rapporto al mondo esterno

Reazione chimica → Veicolo per raggiungere il minimo energetico

↓
Alla fine: tutti atomi raggiungono config. stabile (quella dei gas nobili)

IONICO

- Si acquistano e^- (vicini a complet.)
- Si cedono e^- (lontani da complet.)

↳ Lontani da completamente (METALLI)

Tutti gli orbitali completi

COVALENTE

- Si condividono e^-

Radiazioni ad un certo punto vengono assorbite

Se mettiamo un mezzo IMPRESSIONABILE

(Lasta fotografica / rivelatore Geyger)

Dove c'è stato assorbimento → pellicola bianca

Se c'è filtrazione / fermata → lasta impressionata → Nera

Radiografia

↳ Si basa su potere assorbente dei vari materiali

- Anche per mat. metallici

Problema - Limitazioni

- 1 Dimensioni del difetto
- 2 Ordine di penetrazione
 - ↳ Si possono indagare anomalie o difetti superficiali / o dietro pareti sottili
- 3 Disposizione di difetto rispetto ai raggi
 - ↳ Orientamento → dev'essere parallelo ai raggi

Analisi Raggi X - radiopena

↳ Non è molto comune → serve abilitazione

↳ Apparecchiature costose
↳ Serve personale qualificato

↳ Controlli e visite

Raggi γ → Sarebbero migliori

↳ Usata poco → Hanno elevato potere penetrante

Ma più pericolosi

↳ A differenza da raggi X

↳ Continuano ad essere prodotti

↳ Perché non si può interrompere decadimento radioattivo

ROENTGENOGRAFIA

↳ Permette di vedere difetti sub-superficiali

Tecnica alternativa

↓ LIQUIDI PENETRANTI

- Si mette liquido che si adagia su superficie
- Si lava superficie → rimosso
- Si mette secondo liquido → che reagisce con il primo

Se ci sono cricche → Primo liquido rimane dopo lavaggio
↓
Secondo cambia colore reagendo

Problemi:

- Solo difetti SUPERFICIALI
- Pulizia dell'oggetto → Si deve pulire bene
- Si deve avere una certa esperienza
 - ↳ Spalmare in un certo modo
 - Rimuovere lasciando liq. in cavità ma senza falsi positivi → residui di primo liquido su superficie (dove non ci sono cricche)

Vantaggi

- Molto economico
- Poco pericoloso
- Si può fare operazione in loco (2 bombole e 1 straccio)

Svantaggi

- Molti falsi positivi

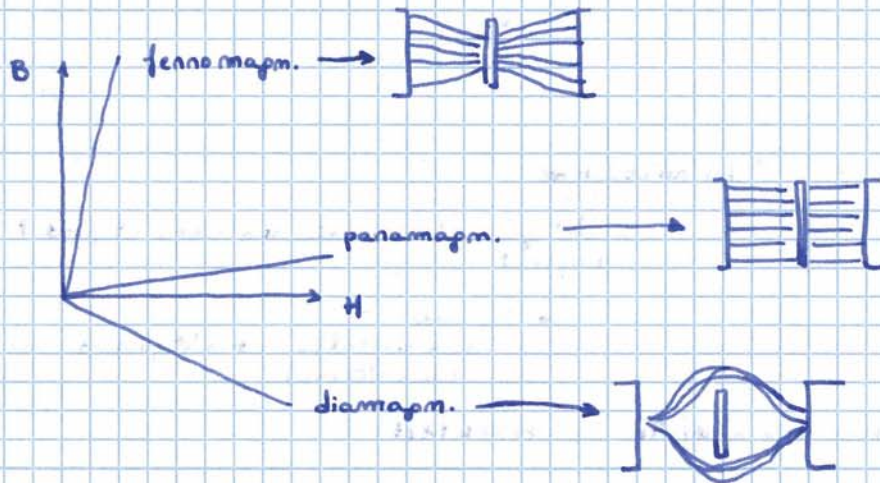
Altro metodo:

METODI MAGNETICI

Campo magnetico nel vuoto ha un certo valore (H)

↓
Se interpongo un mezzo varia (B)

- DIAMAGNETISMO
- PARAMAGNETISMO
- FERROMAGNETISMO



Solo Metalli → di Transizione

→ Hanno orbitali INTERNI incompleti

↓
Non intervengono in formazione di legame

Fe 26



↓
Some disaccoppiati

→ Ferromagnetismo

• Se c'è un difetto

↳ Perturbazione di campo MAGNETICO

Metodi complessi → Mappa dell'apilata (più costosi)

Per controllo → Potenzie inferiori

- Se c'è difetto → Non passa consente

↓
Riesco a vedere presenza di difetti

- Sono tutti metodi di INDAGINE NON DISTRUTTIVI

↓ Anche se metodo più efficace: CONTROLLO VISIVO
(o con una lente)
di ingrandimento
x20 / x30

↓
Se ne notano molti

PND (Prove non distruttive)

Valutare integrità e presenza di difetti
permettendo RIUTILIZZO

Im fase di accettazione

↳ Componente — può avere malfunzionamento

Per decidere quale prova:

1. Tipologia di discontinuità attesa

- Forma
- Posizione
- Orientamento

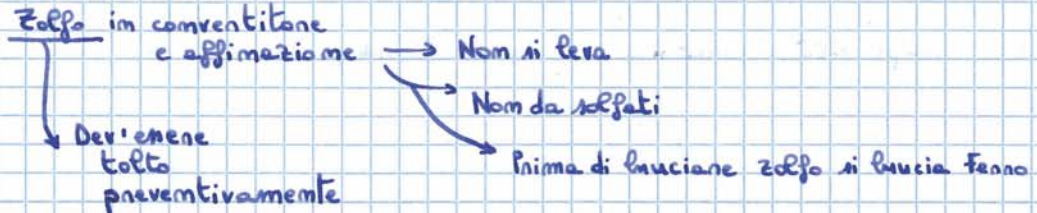
Non c'è unico sistema → Sistemi graduati in base a difetto

2. Limiti del metodo → Analisi superficiale ad es.
ingombro attrezzatura, ecc.

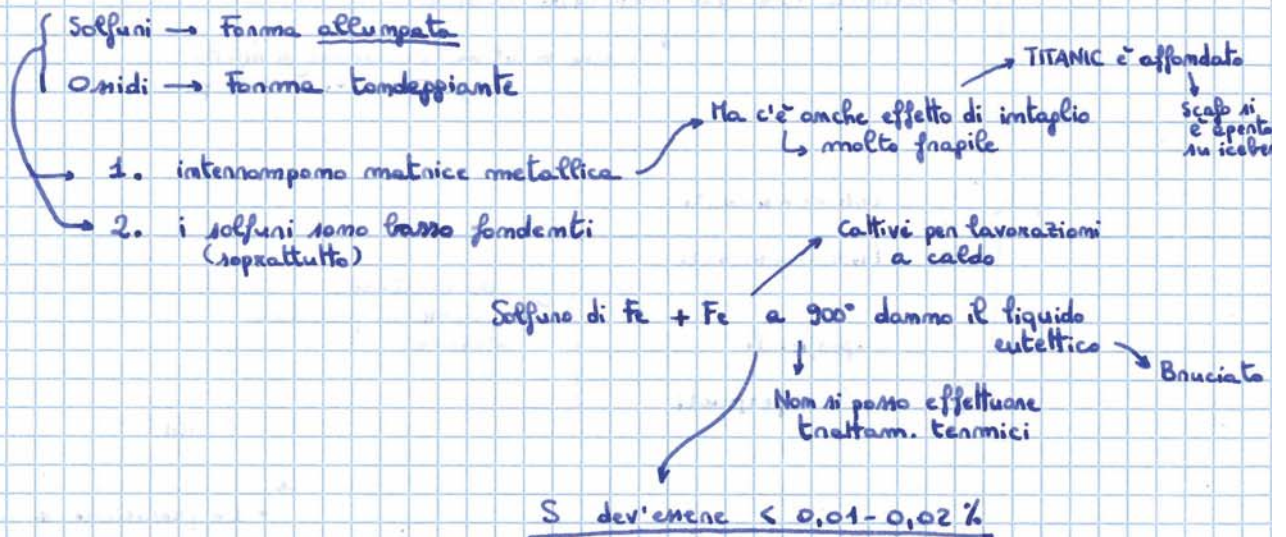
3. Condizioni operative → Se non posso mettere
lente dietro → no radiografia

4. Materiale del particolare da controllare → Non penetrabile

- Composiz. chimica → Se pezzo non è ferromagnetico
↳ no analisi magnetica
- Caratteristiche meccaniche
- Trattamenti termici
- Rivestimenti superficiali

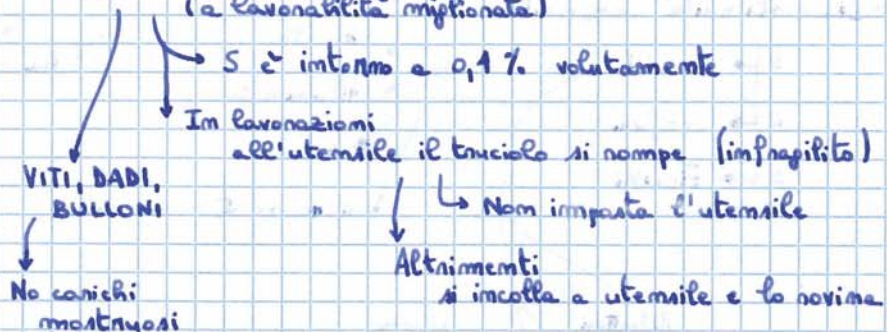


- Prima di convertire
 Si può togliere zolfo da ghisa mettendo del sodio



- Acciai automatici

(a lavorabilità migliorata)

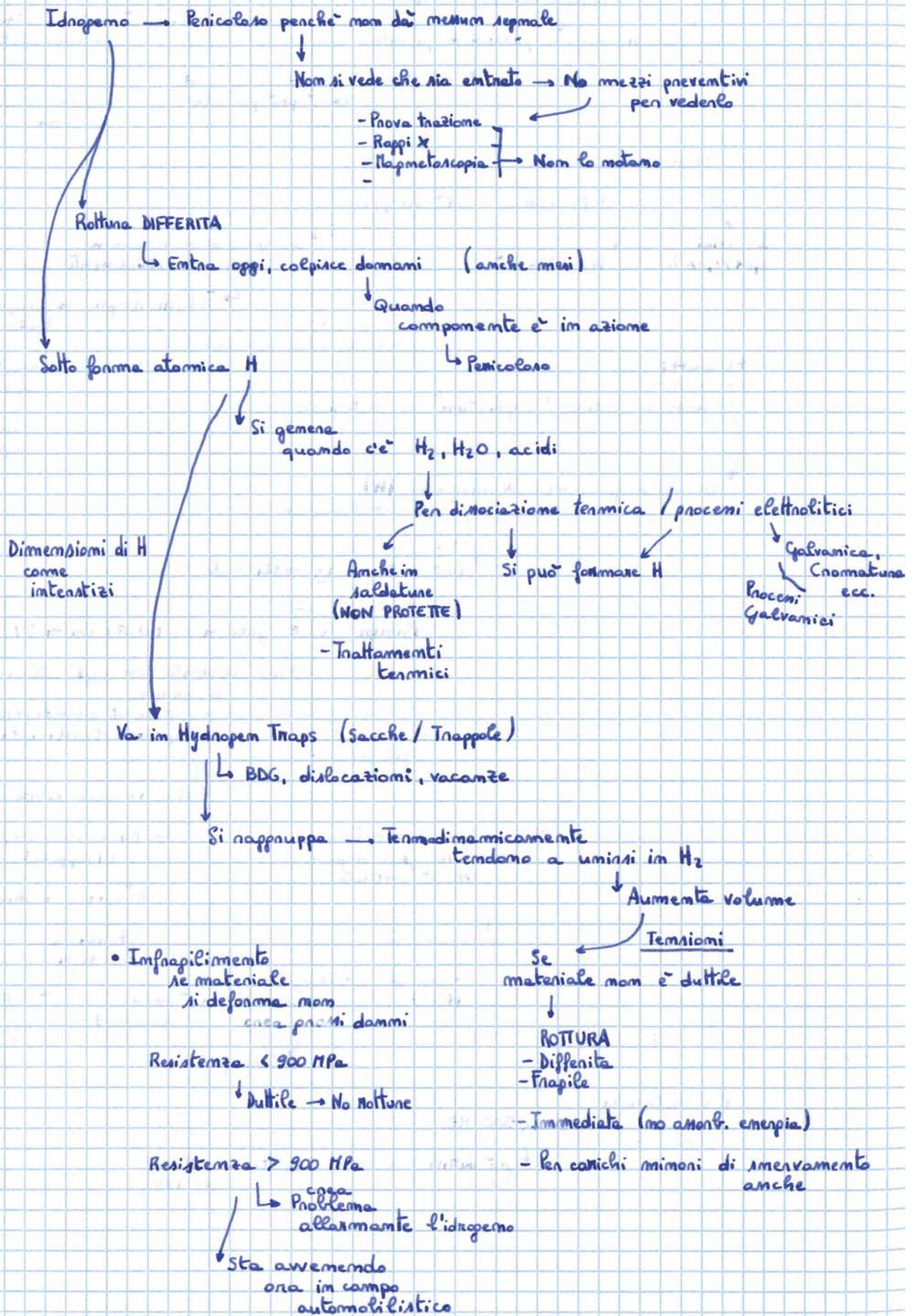


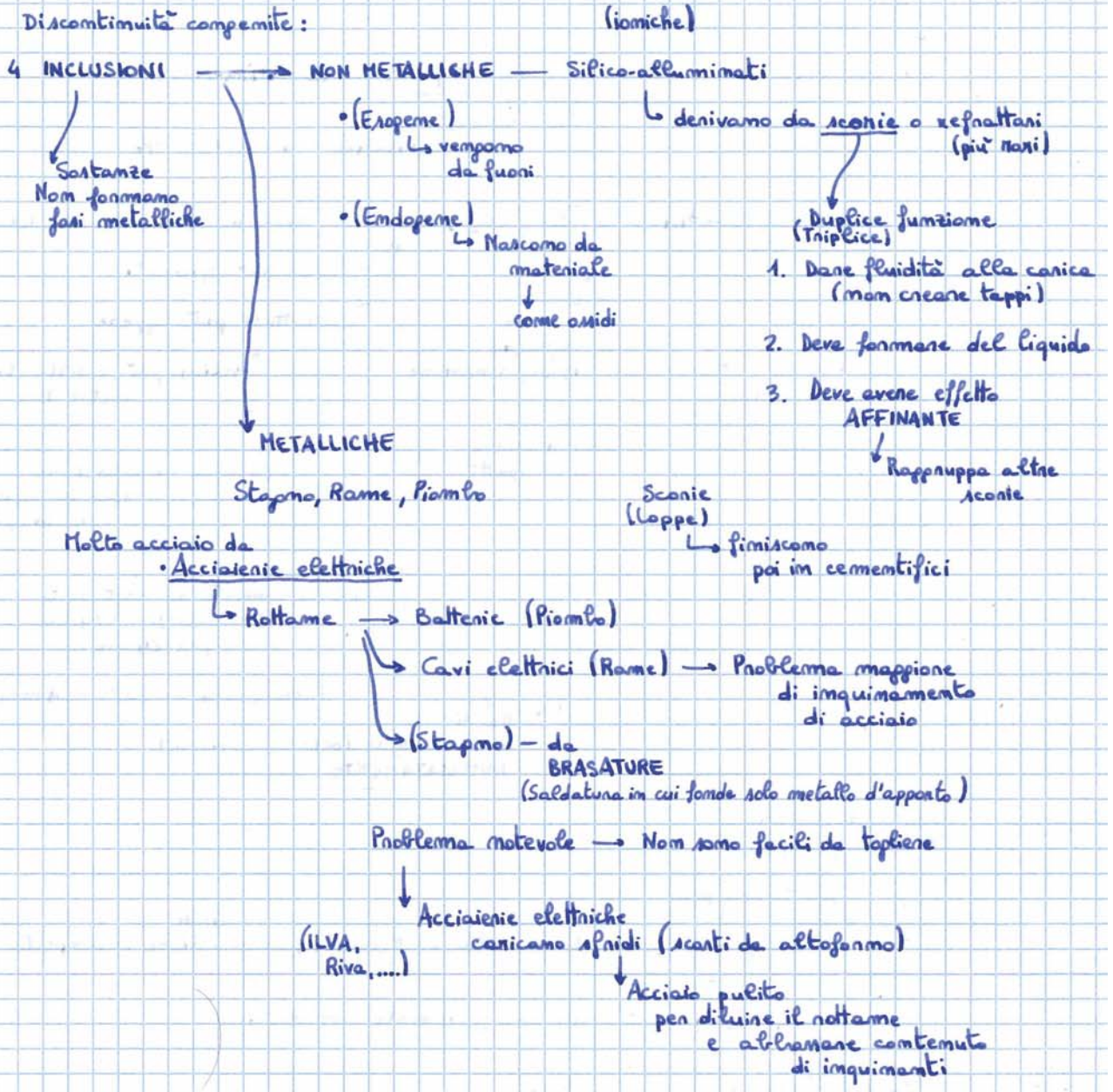
più affine a zolfo di ferro

Insieme a zolfo si mette manganese 1,5-2%

↳ Si creano più facilmente solfuri di manganese eutettico fonde a 1200-1250°

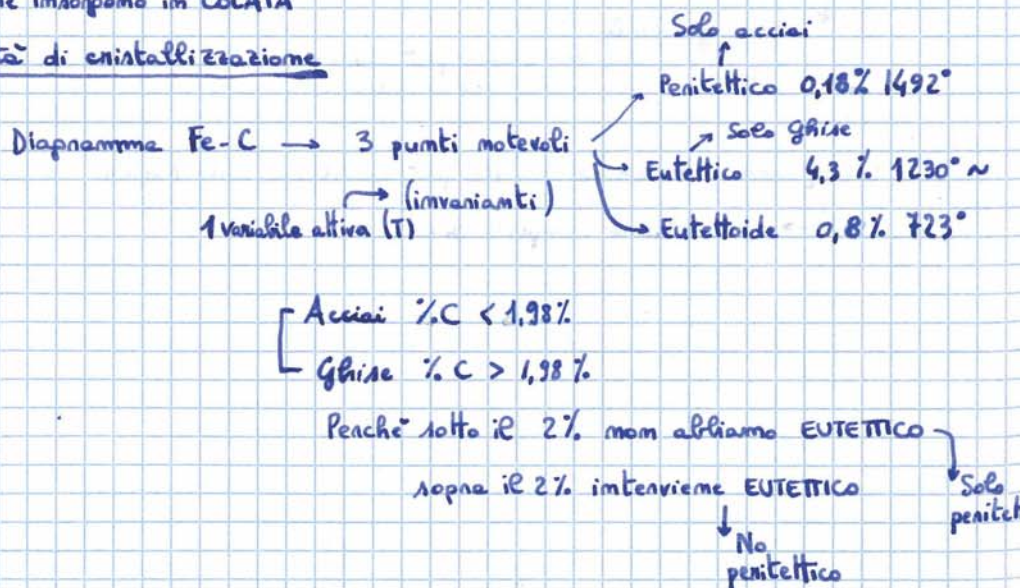
↳ Si autolubrifica



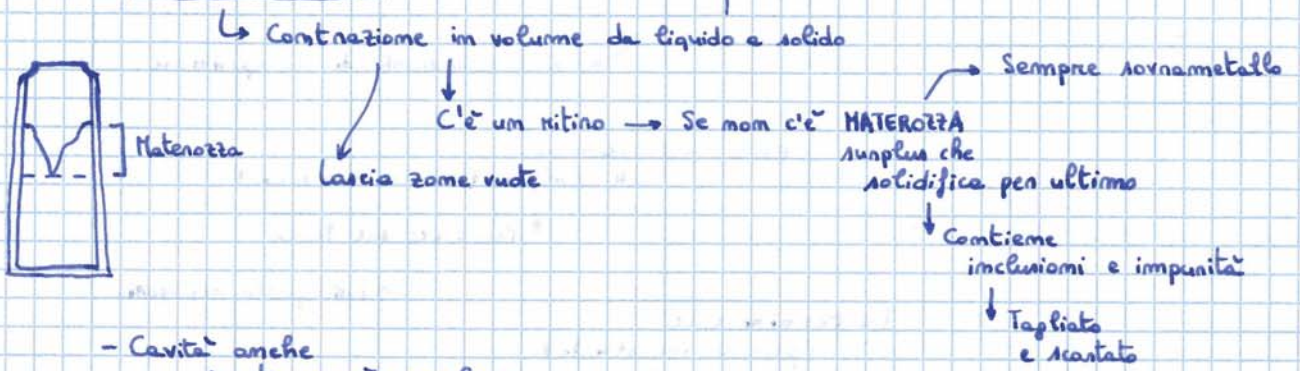


Discontinuità che insorgono in COLATA

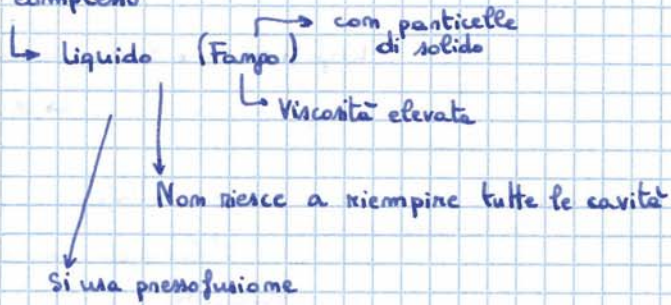
• Discontinuità di cristallizzazione



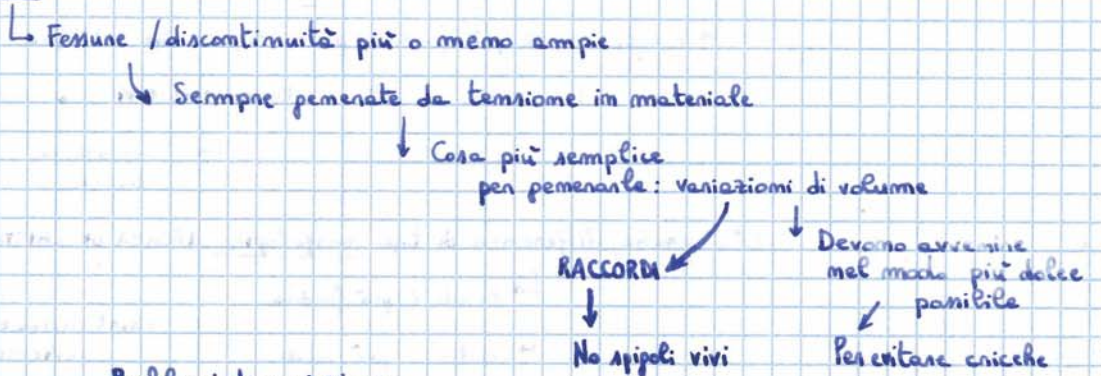
- Cavità da ritiro



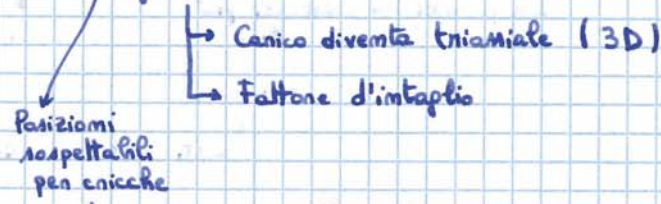
- Cavità anche se stampo è completo



- Cricche



Problemi di variazione geometrica



↳ Ma deve intervenire anche gradiente di tensioni

Com raffreddamento / riscaldamento o cambiamento di fase

Nel caso ideale non accade ↳ equilibrio

Nel caso reale scaldando

diverse T ↳ Esterno: più caldo ↳ Interno: meno

DILATAZIONE diversa

↳ Esterno si espande mentre interno no ↳ Interno è in trazione

↳ Esterno si contrae mentre interno non è ancora contratto ↳ Compressione

Discontinuità da lavorazioni a caldo (Forgiatura)

- Si possono avere da forgiatura
 - STRAPPI → Materiale anziché fluire si spacca / taglia
 - RIEGATURE
 - ↳ Materiale anziché fluire (deformarsi plasticam.) si ripiega su se stesso
 - (In stampo ad es.)

Discontinuità da trattamento termico → Non corretta esecuz. di trattamento o problemi di geometrie del pezzo

- Dovuta a differenza di T tra esterno e interno
 - ↳ Sono di tipo superficiale
 - ↳ differenza anche di fase ci può essere

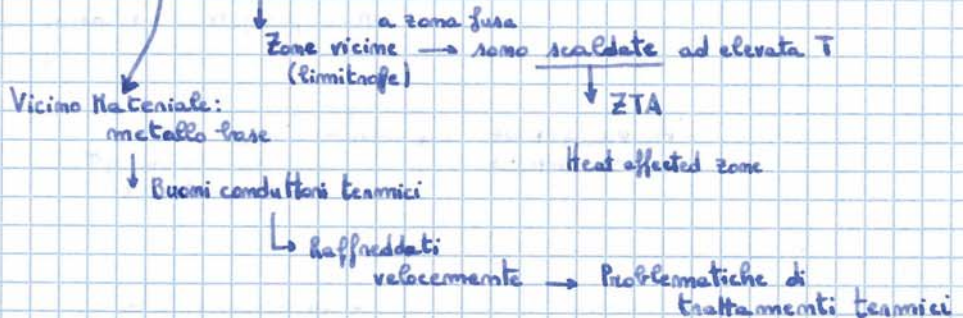
MANUFATTI PIÙ LAVORATI

Discontinuità di saldatura

- ↳ Unione di 2 componenti metallici
 - ↳ con COSOLIDIFICAZIONE → continuità meccanica
 - ↳ Portati a fusione
 - ↳ Contemporaneamente

Discontinuità in

- Zona fusa → Zona in cui si è arrivata a fusione + solidific.
- Zona termicamente alterata



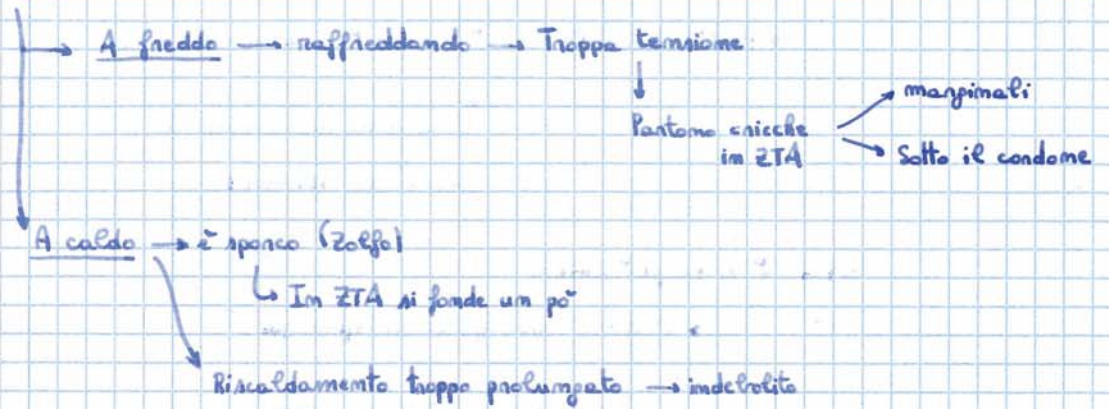
In zona fusa → Sono problematiche dei getti

TENSIONAMENTO del materiale → risc./raff. differenziato tra cuore e su + trasf. di fase diversi

↳ In saldatura c'è espansione

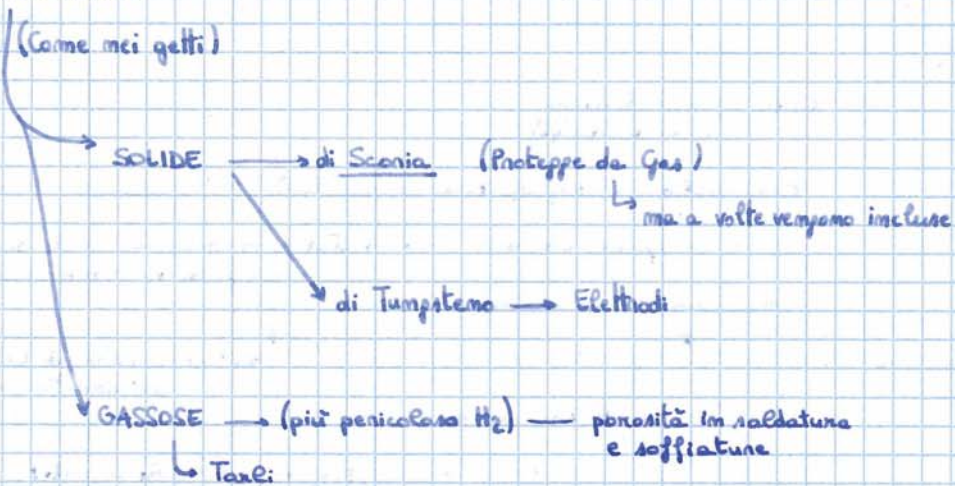
Perché avviene su una zona VITCOLATA

3. CRICCHE



- Strappi lamellari

4. INCLUSIONI



5. Eccesso di sovrametallo -> può creare danni in uso

Condome d'ampolo troppo convesso -> Crea appiglio per asportarlo

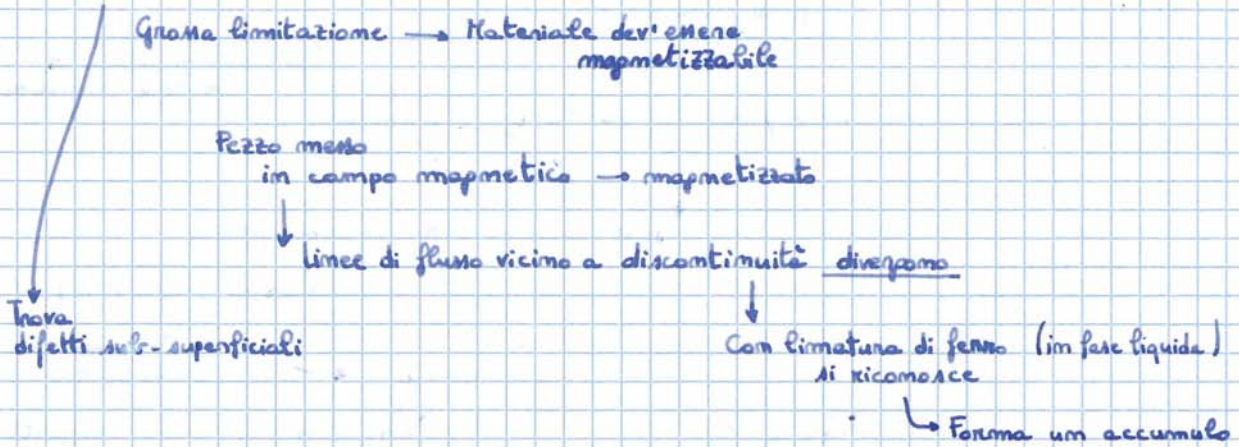
Incisioni marginali -> costituiscono ^{costituiscono} ^{innesco a rottura}

+ Inneplanità superficiali
Slivellamento dei lenti
Colpi d'arco

↓ Sforzi moltiplicati
↓ In zona fortemente stressata (ZTA)

Esempi: - spugnosità da nitrico
(con raggi X) → Porosità

MAGNETOSCOPIA



Ci sono alcuni ferri (acciai)

↳ che non sono elettromagnetici

↓

Orbitali incompleti e' una condizione necessaria ma non sufficiente

CCC → Ferro e' ferromagnetico fino a 768°C (T di Curie)

Acciai ferritici

martensitici

Non di equilibrio a CCC

CFC → No ferromagnetico

↓

Soluzione solida in cui Fe e' CFC

AUSTENITE

↓

Acciai austenitici → Paramagnetici

Magnetoscopia → Solo su ferromagnetici

↓

Si devono distinguere

- ferritici
- austenitici

Quasi totalità di acciai austenitici

↓

INOSSIDABILI

↓

Superficie non si ossida

←

già E^+ OSSIDATA

Per resistere a CORROSIONE

- Isolato metallo base
- Deve anche essere predisposto a resistere il metallo base

Corrosione ELETTROCHIMICA (UMIDA)

↓ Quando ci sono 2 fasi → creiamo una pila di corrosione

↓ All'interno di materiale si deve evitare di avere 2 fasi

Acciai MONOFASICI

Inamidabili

→ Acciai ad alta tenore di Cromo (Almeno 13% di Cromo)

↓ Nemico mappione CARBONIO

↓ Ha elevata affinità con il cromo → reagisce

↓ Carburi di cromo

↓ Pericolosi per corrosione

↓ Creano 2^a fase

↓ Pila di corrosione

↓ Dove precipita

- In some circostanze matrice è impoverita di cromo

↓ Pila di corrosione dove matrice è meno resistente (doppio effetto)

Cr si lega a C

Serve Basso tenore di Carbonio (0,01%, 0,02%)

Se non si riesce

↓ si usano ACCIAI STABILIZZATI

(Appiuntiti Titanio / Vanadio / Niobio)

↓ Stabilizzanti

↓ Hanno affinità con C maggiore di quella con il Cr

↳ Si formano carburi di Ti / Va / Nb

↓ Almeno Matrice è ancora resistente

(non si impoverisce di Cr)

↓ Anche se si crea seconda fase

MONOFASICI

→ Ferritici

→ Austenitici

→ Martensitici

Vantaggi → Hanno meglio in tutto

Svantaggi → Costano di più

Non resistono molto a stress corrosion

Si creano crateri in superficie (PITTING)

Bassa resistenza a fatica

↓ Come tutti austenitici

↓ Grande problema

Acciai austenitici → non ferromagnetici

↓ Utili in ambito militare

↳ Sottomarini e navi → per evitare Bombe / missili magnetici

Scopo: acciaio inox austenitico (non ferromagn.)

↳ Motore → Fatica sottoposto a

↓ Non si possono usare austenitici perché hanno bassa resist. a fatica

↓ Ferritici con schermo elettronico

Acciai DUPLEX

↓ Per resistenza a stress corrosion

Acciai in cui volutamente composiz. chimica è tale che si formi sia austenite che ferrite:

50% anche di ferrite

Acciai austeno-ferritici (BIFASICI)

Resist. a corrosione per tempo

Ma resistono molto bene a stress corrosion

↓ Ambiente aggressivo

+ rispetto a tensioni (fatica)

LIQUIDI PENETRANTI (P.T)

- Materiale immerso in liquido Penetrante
 - Spray
 - Pennello
 - Immersione
- Pulita superficie
 - ↓ Anche asciugata superf.
 - FASE IMPORTANTISSIMA → Rimuovere bene l'eccesso ma senza rimuoverlo da cricche
- DEVELOPER per evidenziazione difetti (rilevatore)
 - Spray / immersione (fluorescente / secco)
 - ↳ Con lampada di Wood (ultravioletto)
- Glioma limite:
 - Difetti solo superficiali
 - Materiale dev'essere non poroso
 - ↓ Non su materiali sinterizzati
- Sono 2 bombette normalmente
 - ↳ A livello industriale → grasse vasche

• Necessaria PULIZIA PRELIMINARE

↳ Per evitare FALSI POSITIVI

- Vantaggi
- Costa pochissimo - buona redditività
 - Si può fare anche in loco → semplicità di esecuzione
 - Su ogni materiale (purché non poroso)

- Svantaggi
- solo zone accessibili
 - Solo superficiali
 - Nel caso di asportazione di liquido penetrante in eccesso con lavaggio in acqua
 - ↳ Necessita trattamento delle acque reflue

ULTRASUONI (U.T.)

Ecoprofia del materiale

Suoni: Onde elastiche → necessitano mezzo

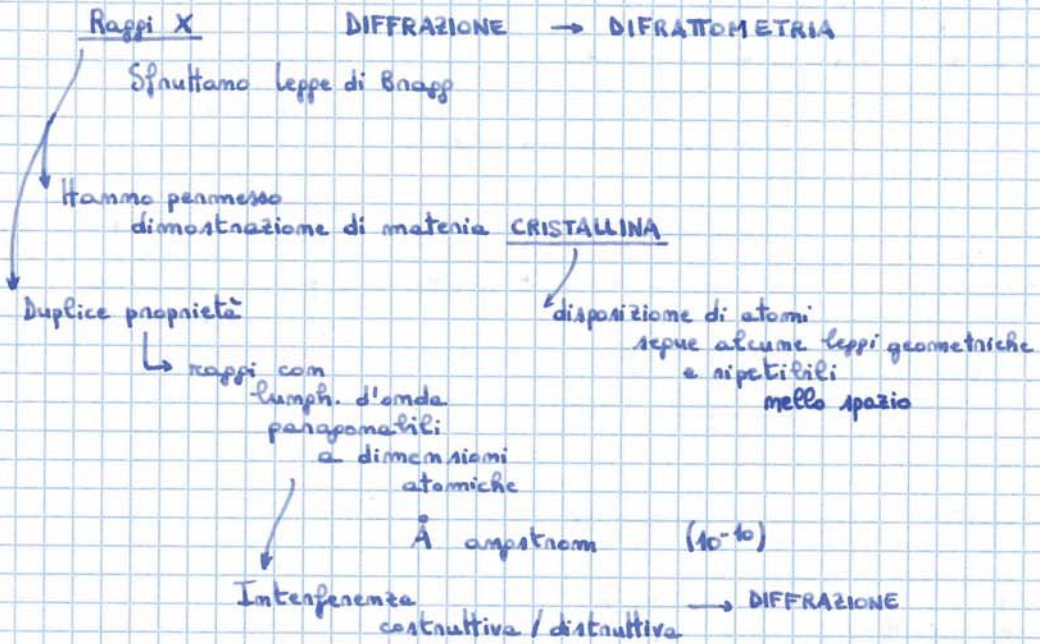
frequenza: 16-20 kHz
alta

Se incontra ostacolo → RINBALZA

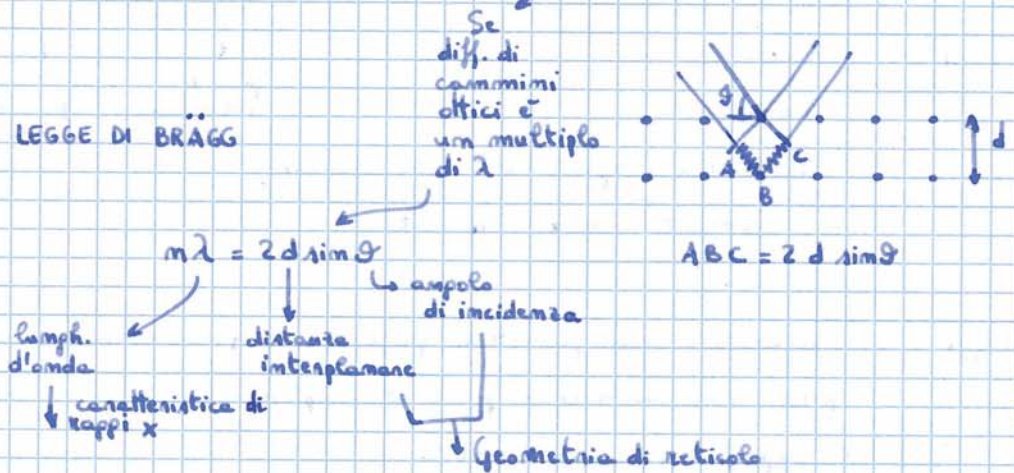
- ↓ riflessione davanti a ostacolo alla sua propagazione
- ↓ crea eco

• Se ci sono difetti c'è un eco diverso
↓
(cricche)

roentgenografia



LEGGI DI BRÄGG



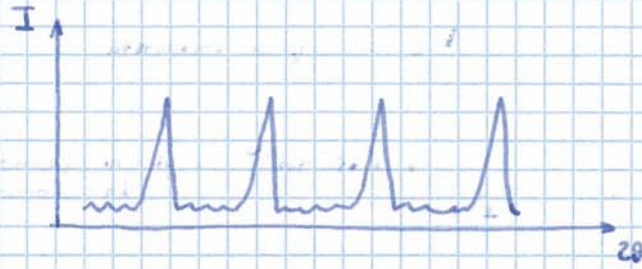
• Prova scientifica di cristallinità dei materiali

↳ Legge di Bragg funziona solo con reticolo cristallino

INFORMAZIONI OTTENIBILI

- Fase

↓
Ma
Non composizione



Se aumenta d
↓
 ϑ diminuisce

$$m\lambda = 2d \sin\vartheta$$

↓
 $d \sin\vartheta = \text{costante}$

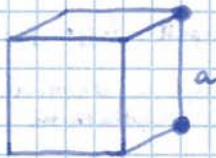
Eventuali picchi di piani con lunghe distanze

↳ Si trovano a ϑ basse

Primi picchi: piani molto spaziosi

↳ Mi dicono come analizzare picchi

Caso più semplice:
rist. cubico



$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

↳ spigolo del cubo
↳ indici di MILLER
↳ ora lo fa calcolatore

Primo picco:
Piano con indici più bassi

(1,0,0)

↳ mi ricavo valore di a

Secondo picco

dist. interplanare più piccola → (1,1,0)

↳ mi calcolo a → dev'essere la stessa di prima

Terzo picco:

↳ Piano ancora più avvicinato

identifico STRUTTURA CRISTALLINA e posso dire che MATERIALE è

Analisi quantitativa

Com curve di tenatura

↓ Analisi su miscele note che poi confronti

- Si possono analizzare anche

Quantità di C

Quantità di N

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

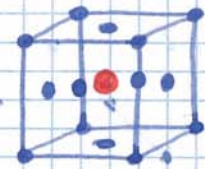
Se aumenta d

↓ Ad esempio Soluzione solida con N e C

si può formare fase reale ma non di equilibrio

Giocando sul fattore tempo soprattutto industrialmente

↓ MARTENSITE



FCC

Centro di cella è vuoto

↳ Ci va a finire C (Al max 2%)

In presenza di carbonio

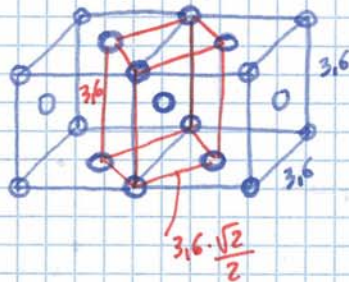
Non può esistere FCC (termodinamicam.)

Termodinamicamente scendendo al max sotto 723°

↓ Tende a trasformarsi in CCC

↳ meno energia

↓ Trasformazione richiede piccolissimi spostamenti



Al centro c'è struttura cubica elementare a CORPO CENTRATO (Non cubica)

Le celle possono variare di volume non solo per presenza di altri elementi

↓ Anche per deformazioni dovute a stress interni

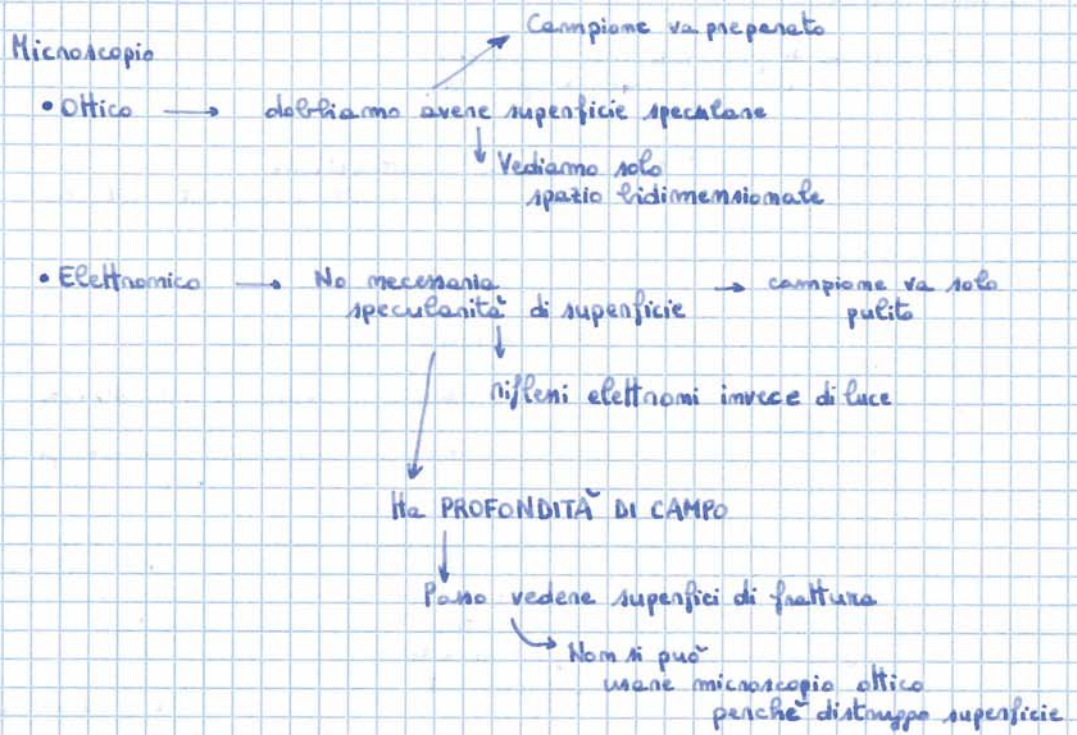
↓ Tensioni → con gradienti di T ad esempio
↓ Trattamenti termici e simili

↓ Misurando deformazioni di cella
↓ Possiamo risalire allo stato tensionale residuo

Misuriamo come varia dimensione di cella in funzione di diversi "parametri" geometrici → E' diversa
↳ Con raggi X (legge di Bragg)

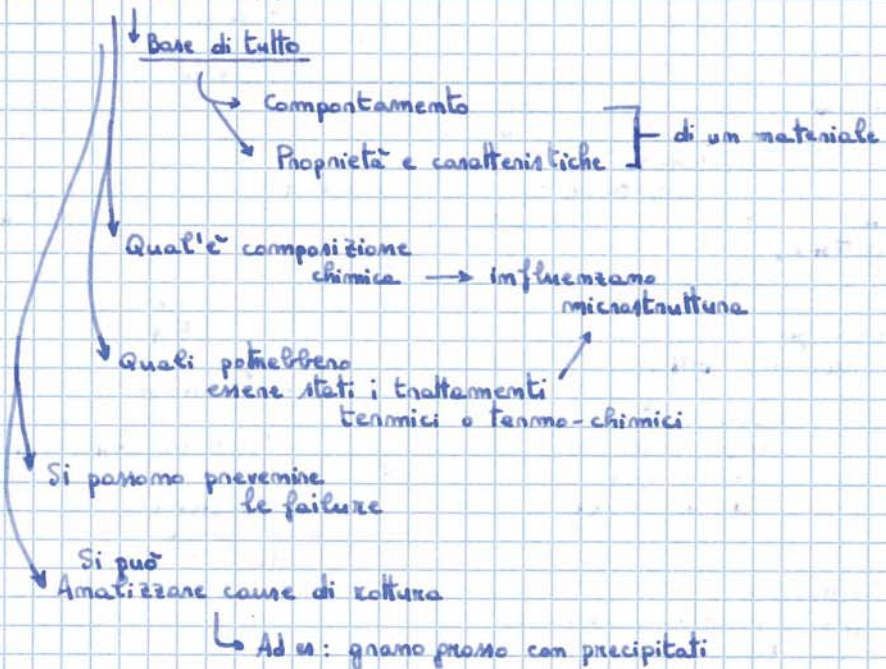
↳ Significa che ci sono deformaz.
↓ Con teoria dell'elasticità risaliamo a tensioni residue

Variano a seconda di direzione



MICROSCOPIO OTTICO

↳ Vede MICROSTRUTTURA



Sampling

Cosa più difficile

Derivare rappresentativo → se non lo è si perde tempo

- A volte serve tagliare in più punti

Buonsenso / esperienza / conoscenza

Più è grande manufatto

tra i vari punti
Più ci sono differenze

anche disomogeneità di composizione

Anche geometriche

Più difficile

disomogeneità di cristallo

effetti di segregazione

↳ Variamo cinematiche di raffreddamento

• Direzioni

Rappres. parte dei manufatti: deformazione plastica

(laminate, estrusione, ...)

Più in una direzione che in un'altra

Coil di carri anticorati

↳ LAMINATI → Attraverso cilindri che schiacciano e allungano

Direz. parallela (longitudinali)

Variamo proprietà

Direz. perpendicolare a laminazione (trasverso)

Ad esempio risultati differenti in trazione

Perché: • Direzionalità di cristalli

• Seconda fase → creano discontinuità di matrice metallica

Es: solfuri si allungano in direz. di laminazione

Campione in direz. di laminazione

→ Sezione resistente (in direz. perpendicolare)

↓ Vedo solfuri sezionati

↓ Pochi discontinuità di forma abbastanza compatte

↓ disipio ridotto

Imbutitura: deformazione a freddo

↓
 Fontemente steso

LAMIERA — in senso longitud. : 10 m

- larghezza : 1000 - 1800 mm

- spessore : ~ 1 mm

Imbutendo il materiale → lamiera sprofonda

↓
 punzone che scende

↓
 Si allunga in una direzione

↓
 Si deve accorciare nelle altre

↓
 Noi vogliamo che si restringa solo ma non si ammorti

↓
 Già sono sottili

Coefficiente di ANISOTROPIA

$\frac{\text{def. in larghezza}}{\text{def. in spessore}}$

↓
 Dev'essere molto maggiore

↓
 Ci sono metodi per favorirlo

↓
 imitare piani di restringimento di spessore

Marca

↓
 Se diminuisce ancora

- Sezione resistente

- Rigidità

- Stone chipping → Samolimi spanati

↓
 potrebbero perforare lamiera

↓
 fenomeni corrosivi

SEZIONAMENTO

- Non deve arrecare danni

- Non deve cambiare canti in tavola

Alcuni materiali → possono evolvere sotto azione meccanica

↓
 Non deve violentarsi

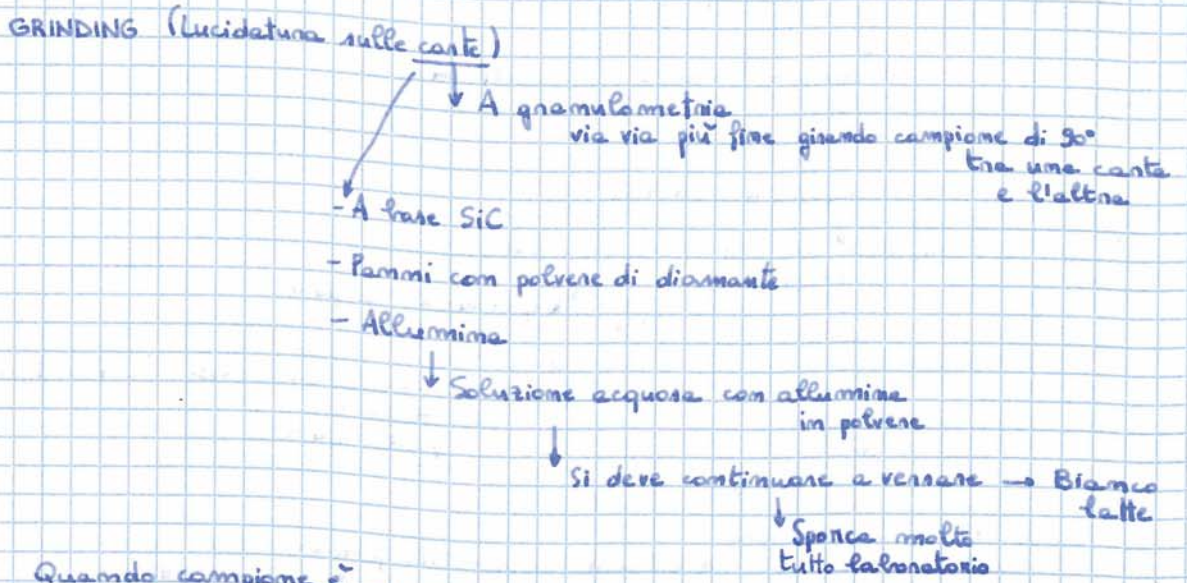
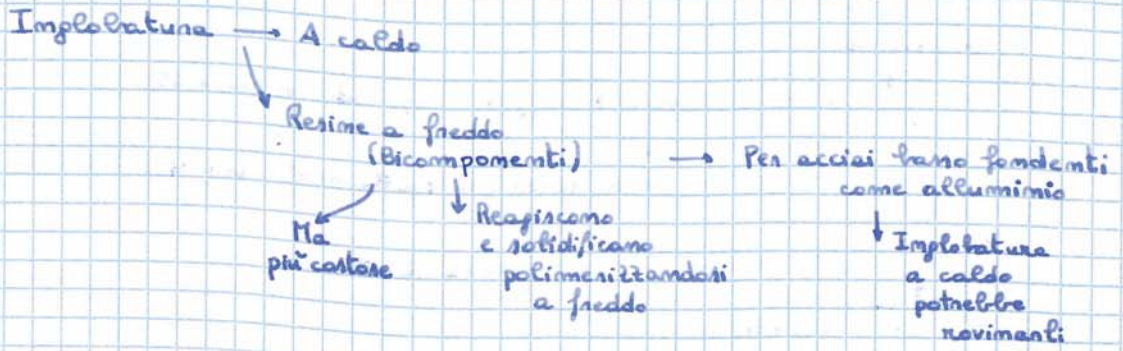
↓
 Non deve provocare cambiam. di stato

traumi meccanici

(metastabile) austenite

↓
 Può diventare martensite

- Non deve cambiare struttura con trattamenti termici



Quando campione è perfettamente lucido

MICROSCOPIO OTTICO (metallografico)

↳ A riflessione (modelli base sono a trasmissione)

Specchietto sostituito con CAMPIONE
↓ riflette

Cosa si vede?

- Se campione fase perfetta solo circ. bianca

↓ se ha fasi che non riflettono → fasi non metalliche → si vedono scure

NON si vedono i bordi di grano

↳ ES: GRAFITE nella fase

↳ inclusioni → ossidi
→ solfuri

↳ CRICCHE - discontinuità

↳ Riflettono in modo diverso / non riflettono

Impolatura → A caldo

Resine a freddo (Bicomponenti)

Ma più costose

Reagiscono e solidificano polimerizzandosi a freddo

→ Per acciai fanno fondenti come alluminio

↓ Impolatura a caldo potrebbe rovinarli

GRINDING (lucidatura sulle carte)

↓ A granulometria via via più fine girando campione di 90° tra una carta e l'altra

- A base SiC

- Panni con polvere di diamante

- Allumina

↓ Soluzione acquosa con allumina in polvere

↓ Si deve continuare a versare → Bianco latte

↓ Spugna molto tutto laboratorio

Quando campione è perfettamente lucido

MICROSCOPIO OTTICO (metallografico)

↳ A riflessione

(modelli base sono a trasmissione)

Specchietto sostituito con CAMPIONE

↓ riflette

Cosa si vede?

- Se campione fase perfetta solo circ. bianca

↓ Se ha

fasi che non riflettono → si vedono scure

→ fasi non metalliche

NON si vedono i fondi di grano

Es: GRAFITE nella fase

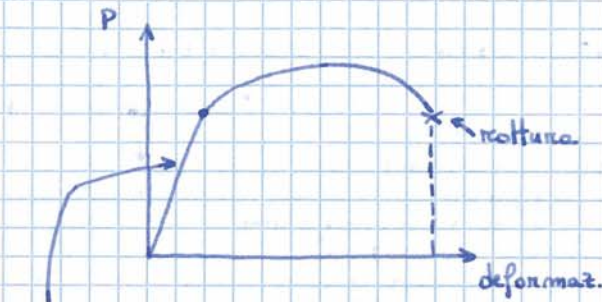
↳ inclusioni → ossidi
→ solfuri

↳ CRICCHE - discontinuità

↳ Riflettono in modo diverso / non riflettono

Organi meccanici — carico dinamico

↓
in mat. metallici



Prop. diretta
↓
ferromemoria
reversibile

CAMPO ELASTICO

↳ Tolta P scompare def

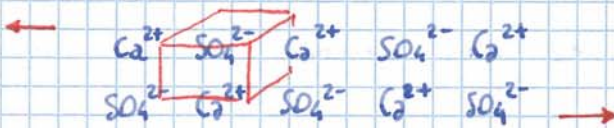
In
CAMPO PLASTICO

↳ Deformazioni rimangono irreversibili

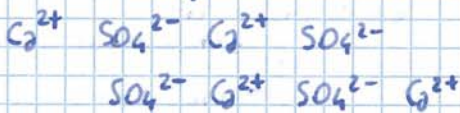
↳ Togliendo carico
si recupera solo def. elastica — Rimane parte di
def. plastica permanente

GESSO

Solfato di calcio



Sforzo di taglio



Ioni con stessa
carica si
avvicinano

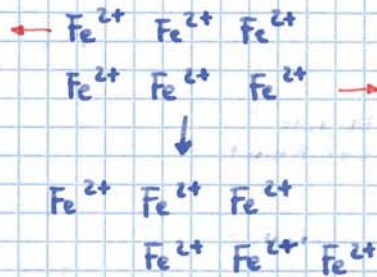
Si rompe

↓
FRAGILE

Mat. metallici

↳ Def → prevede spostamento
di piani reticolari
in modo permanente

↳ Possibile grazie a legame
metallico



↓
Analogo a prima

↳ Legame permette spostam.
reciproco
di piani

Si può adottare un'altra tecnica

↳ Tecnica del tappeto

↓
Creo un'onda che scorre attraverso il tappeto

↓
Alla fine si sposta di una lunghezza d'onda (o semi)



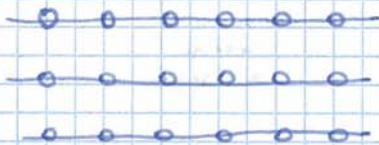
↓
Si fa molta meno fatica

Meccanismo simile in mat. metallici

↓
Valori misurati di τ

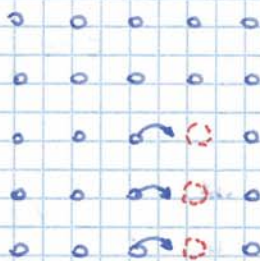
100, 200, 500, 1000 MPa

↓
DISLOCAZIONI



Im cristallo perfetto

↓
Unico modo: traslare rapidamente un piano sull'altro



Com dislocazione → è l'onda
↓
meccanismo di onda

Atomi vicini vanno in disloc.

↓
filenamo loro posto

↓
disloc. si sposta

Continua
fino a fine
di cristallo

↳ Si sposta piano di una distanza reticolare

ma non sempre

VEETTORE DI BURGERS

↓
vettore spostamento di dislocat.

= a

disloc. reticolari

≠ a

dislocazioni non di reticolo

im acciai inamidabili

Amche distanze differenti

↳ dissociate o di Sorey

Bisogna vedere se sui piani a 45°

↓ Ci sono sistemi di scorrimento

Movim. di dislocaz.

↳ Atomi contigui vanno a finire in dislocazione

↓
Tante più atomi sono vicini

↳ Più facilmente si muoveranno disloc. → Spazio minimo da percorrere

Solo dislocazioni con energia più bassa si possono muovere

\vec{b} vettore di Burgers

$$E \propto b^2$$

identifica disloc.

↓ dice in che verso si muove, con che entità, direzione

↓ Praticamente si parte da un punto

↳ Circuito non riesce a chiudersi se c'è una dislocaz.

↓ devo appiungere una quantità: Vettore di Burgers

Sia in dislocazioni a spirale che a vite

$$E = \frac{Gb^2}{4\pi(1-\nu)} \ln \frac{r}{r_0} \quad \rightarrow \quad E = \frac{Gb^2}{4\pi} \ln \frac{r}{r_0}$$

b deve essere minore possibile

↓ in piani con maggiore compattezza

in CFC sono i piani che passano per spigoli in diagonale (111)

direzioni [110] → diagonali di faccia

3 direzioni [110] per ogni piano



TOT: 12 sistemi di scorrimento

Ci sono 4 piani (111)

↳ facendo variare i vertici

↳ uniformem. distribuiti nello spazio

In FIAT si accensano
che
Per i più comuni ACCIAI
non esistono valori esatti reali dei moduli ELASTICI

E pomenico 210 GPa

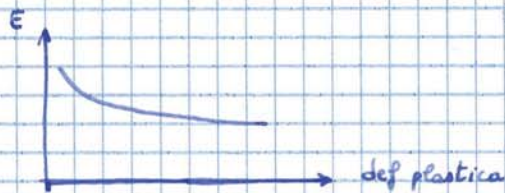
Ma modulo elastico

rimane costante in deformazione? (In queste condizioni)

OB // A''A // C''C?

VARIA in deformazione plastica

↳ DIMINUISCE



Comunque
mai lo ipotizziamo costante

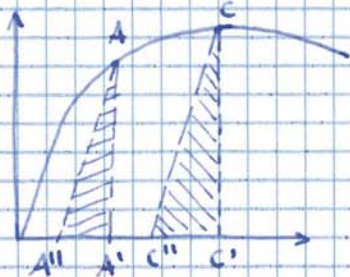
All' aumentare di def PLASTICA → Aumenta la componente elastica

$$C''C' > A''A'$$

Per proseguire def plastica

↓ devo aumentare def. elastica

↓ MATERIALI ELASTOPLASTICI



↑ maggiore è ritorno elastico

↓ impo per progettare una stampa

$$C''C' > A''A'$$

Se non ci fosse
componente elastica

↓ Non potrei usare materiali, stampare

$$\epsilon_{r \text{ REALE}} = \frac{l_1 - l_0}{l_0} + \frac{l_2 - l_1}{l_1} + \frac{l_3 - l_2}{l_2} + \dots + \frac{l_{m+1} - l_m}{l_m}$$

$$\epsilon_r = \sum \frac{\Delta l}{l}$$

$$\epsilon_r = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0}$$

$$A \cdot l = A_0 \cdot l_0$$

$$\frac{l}{l_0} = \epsilon + 1$$

$$\epsilon_{\text{REALE}} = \ln(\epsilon + 1)$$

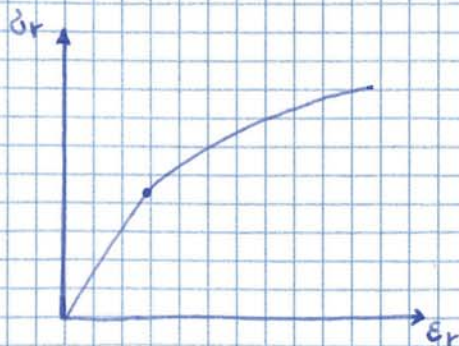
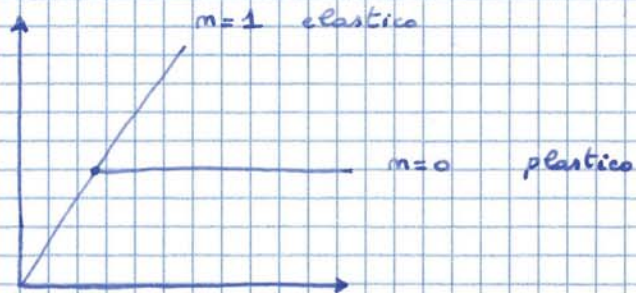
$$\sigma_{\text{reale}} = k \epsilon^m$$

costante

deformazioni sono piccole
 $m=1$ in campo elastico
 \downarrow
 $\sigma = E \cdot \epsilon$

$m=0$ in campo plastico

m : COEFFICIENTE DI INCRUDIMENTO



Qui diminuisce anche A
 $\hookrightarrow \sigma$ continua a crescere

Prima c'è una strizione

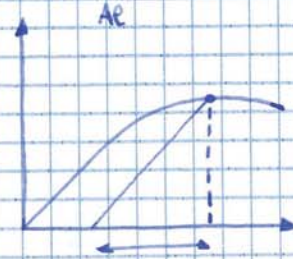
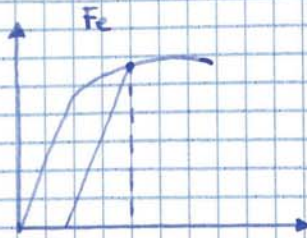
SEZIONE DIMINUISCE

Anche carico diminuisce

σ minores perché A_0 è costante

Caso reale

Fe 210 GPa
Al 71 GPa

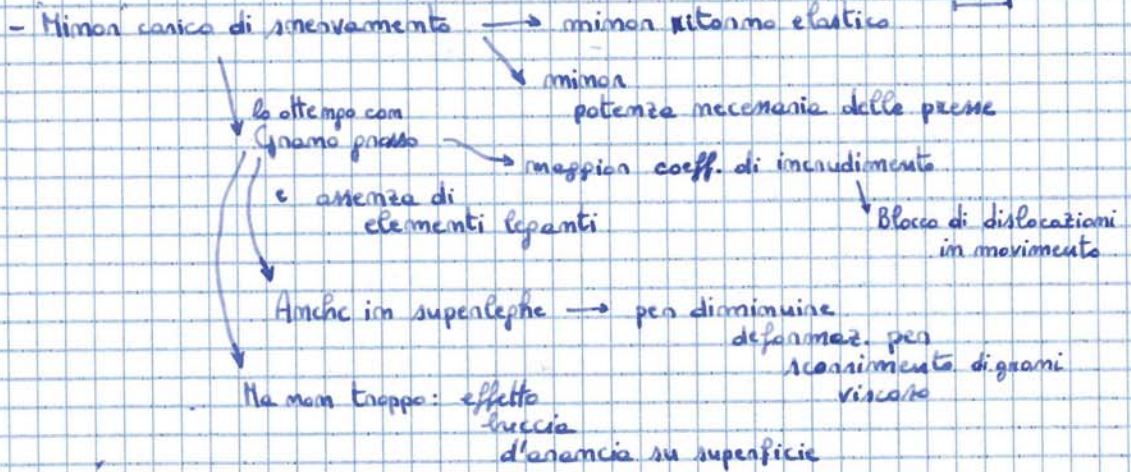


Ritorno elastico maggiore

Si STAMPA PEGGIO

Materiale da profondo - stampaggio:

Caratteristiche:



- Elevato coefficiente di anisotropia

E spessore
E larghezza

E in larghezza deve essere maggiore

Non deve anisotroparsi → E in spessore → 0

In fase di fabbricazione con NITRURIO DI ALLUMINIO

Al si lega a O₂ e va in acciaio

In calmapia Al rimane in (0,03-0,04) va in soluzione

Laminazione ad alta T per non farlo precipitare

Ma deve precipitare solo in ricottura

In ricottura precipita AlN

per togliere inclusions di laminazione

poi avvolgere coll a bassa T

finisce a fondo grano

e favorisce crescita in direz. di def. di larghezza

Blocca sviluppo di grani (grani) in direzione di deformat. in senso di spessore

Bisogna vedere dove C può andare a finire

Entra in modo INTERSTIZIALE

Solute entra in solvente nelle vacanze lasciate

C seato elemento

Più piccola di Fe

INTRUSIVO

Nei buchi lasciati liberi

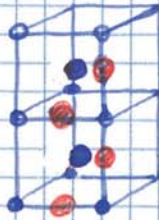
SOSTITUZIONE

Solute entra al posto di solvente

Si può fare se dimensioni \approx uguali

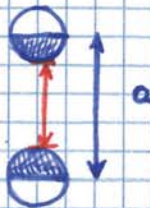
Non distanze sella / reticolo

Distanze reticolo



spazio = a

Bisogna coprire mezzo atomo da ogni parte



In direzione di maggior impaccamento (1,1,1)

CCC

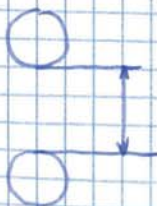


Atomi sono tangenti



2 mezzi atomi e 1 atomo intero

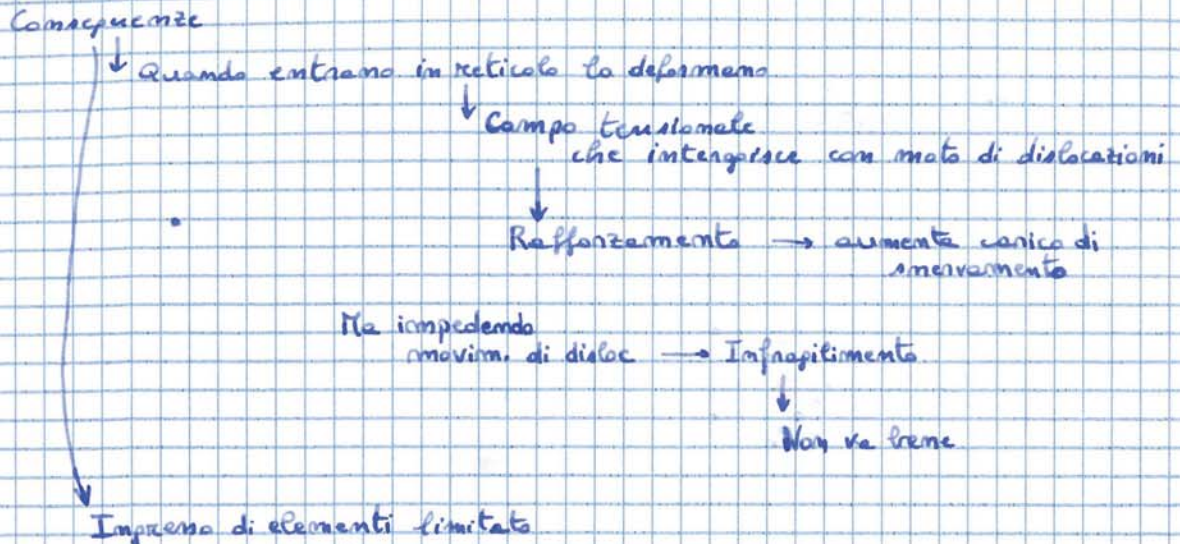
2 mezzi atomi $\rightarrow a\sqrt{3}/2$



effettivo spazio e disposizione

$$a - \frac{a\sqrt{3}}{2}$$

Raggio $\rightarrow r = \frac{1}{2} \left(a - \frac{a\sqrt{3}}{2} \right)$



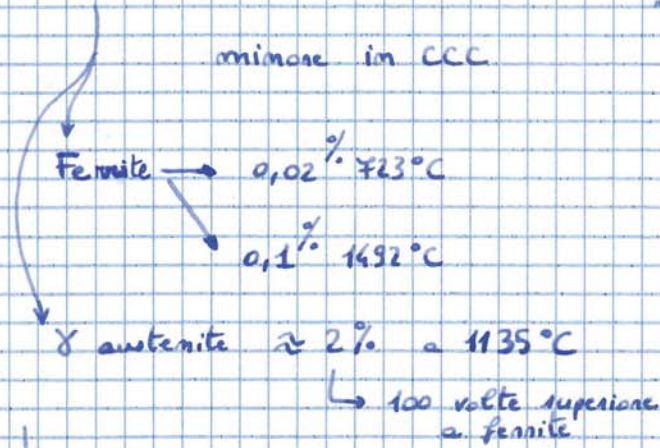
↳ Bassa SOLUBILITÀ

↳ Perché per entrare devono deformare reticolo

- SOLUBILITÀ massima in CFC → Ha spazio disponibile maggiore

↳ Tensioni minori

minore in CCC

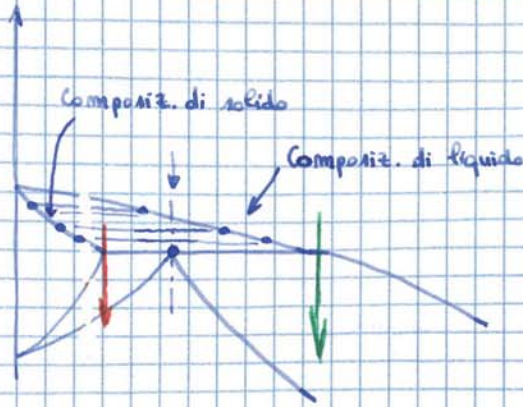


Passando da cfc a ccc

↳ Devesi usare C → Con diffusione

↳ Ci può essere ISTERESI (Ritardi)

↓ Trattamenti termici



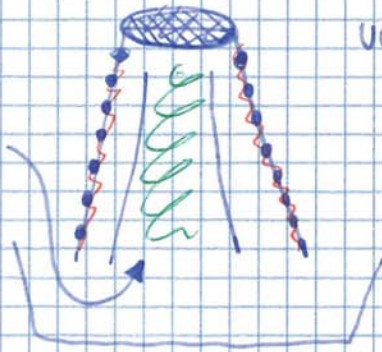
Condizioni di EQUILIBRIO

- ↓ principio di minima energia
- ↓ tutto tempo necessario per arrivare a minimo di energia

Legge di raffreddamento

- ↳ Solido + liquido → Forma solido con composiz. iniziale

Ma in raffreddam. REALE
COLATA IN LINGOTTIERA



Ultima parte a solidificare → piena di impurità
↓ si taglia via

In realtà

- ↳ Non gli diamo tempo di reagire
- A esterno ha meno C → solido con composiz. di solido Fe₃
- A interno composizione diversa

SEGREGAZIONE

- ↳ Ultimo liquido che solidifica → più C e più impurità
- ↳ liquido non ha peritettico → solidifica con composizione di liquido

Dovuto a gradienti di T

- ↳ Cristalli piccoli e fini sul fondo
- ↳ T bassa → molti germi di nucleazione
- ↳ Spinta a solidificazione



Verso interno più caldo

- ↳ Gradiente di T crea direzione di solidificazione
- ↳ verso il centro

Struttura a patinata