



centroappunti.it

CORSO LUIGI EINAUDI, 55/B - TORINO

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 2488A

ANNO: 2020

A P P U N T I

STUDENTE: Volpini Leonardo

MATERIA: Sistemi di Produzione - Prof. Mastrogiacomo

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

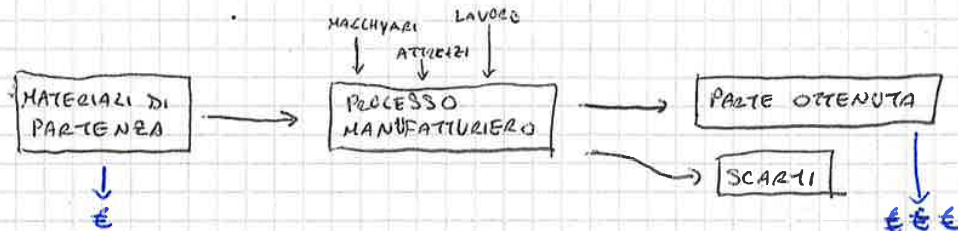
Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica 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.**

IL CORSO SISTEMI DI PRODUZIONE SI CHIAMA ANCHE TECNOLOGIA MECCANICA.

PROCESSO PRODUTTIVO

Definizione: IL PROCESSO PRODUTTIVO INDUSTRIALE È L'INSIEME DELLE ATTIVITÀ TECNOLOGICHE E ORGANIZZATIVE NECESSARIE PER TRASFORMARE MATERIALI IN PRODOTTI O BENI ECONOMICI



LA PARTE OTTENUTA HA UN VALORE MAGGIORE, GRAZIE AL LAVORO SVOLTO SUI MATERIALI DI PARTENZA NEL PROCESSO MANUFATTURIERO (SI GENERA UTILE)

GLI ASPETTI PRINCIPALI CHE CARATTERIZZANO QUESTO PROCESSO SONO 3:

- ASPETTO STRUTTURALE → RIGUARDA I COMPONENTI STATICI DEL SISTEMA PRODUTTIVO
- TRASFORMAZIONE (DEI MATERIALI FINO AI PRODOTTI FINITI)
- ASPETTO PROCEDURALE (PARTE ORGANIZZATIVA)

PRODUZIONE

• PRODUZIONE SU COMMESSA:

PRODUZIONE DI BENI RICHIESTI SPECIFICAMENTE DAL CLIENTE
(SETTORE LUSUOSI TIPO AERONAUTICO)

• PRODUZIONE A MAGAZZINO:

PRODUZIONE DI BENI SULLA BASE DI ANALISI DI MERCATO E PREVISIONI DI VENDITA
(SETTORE TIPO ELETTRONICA DI CONSUMO, TIPO DI SPEDIZIONE MOLTO BREVE)

• PRODUZIONE ASSEMBLY TO ORDER: (IBRIDO TRA LE ALTRE DUE)

L'ASSEMBLAGGIO FINALE DEL PRODOTTO AVVIENE ALLA RICEZIONE DELL'ORDINE DEL CLIENTE (COMPONENTI GIÀ PREPARATI, ASSEMBLAGGIO SU COMMESSA)

- 5) PRODUCTION PLANNING:
MIGLIORE GESTIONE POSSIBILE DELLE RISORSE
- 6) ATTIVITÀ DI PROCESSO:
ATTIVITÀ DI FABBRICAZIONE, DI MONTAGGIO E DI PREPARAZIONE DEL PRODOTTO
- 7) CONTROLLO DELLA PRODUZIONE:
RIDURRE AL MINIMO GLI SCARTI, MANUTENZIONE NEGLI IMPIANTI
- 8) DISTRIBUZIONE DEL PRODOTTO
- 9) ASSISTENZA CLIENTI (RIPORTA IN ALCUNI CASI AL PUNTO 1 E 2)
- 10) ALLA FINE DELLA VITA DEL PRODOTTO C'È IL RICICLAGGIO DEI MATERIALI

FABBRICA AUTOMATICA

L' AUTOMAZIONE INTEGRA OPERAZIONI PRODUTTIVE PER MIGLIORARE QUALITÀ E UNIFORMITÀ DI PRODUZIONE. INOLTRE AGEVOLA IL CONTROLLO E LA PROGRAMMAZIONE DELLA PRODUZIONE.

L' AUTOMAZIONE RIDUCE ANCHE I POSSIBILI ERRORI UMANI E RIDUCE ANCHE L' EVENTUALITÀ DI INFORTUNI DEGLI UMANI

L' AUTOMAZIONE PERMETTE ANCHE UNA DISPOSIZIONE PIÙ EFFICIENTE DEGLI IMPIANTI

• AUTOMAZIONE RIGIDA:

- ADATTA PER GRANDI VOLUMI DI PRODUZIONE
- ELEVATI INVESTIMENTI NEGLI IMPIANTI

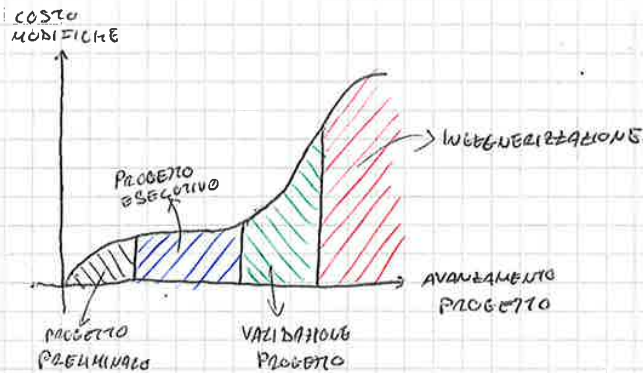
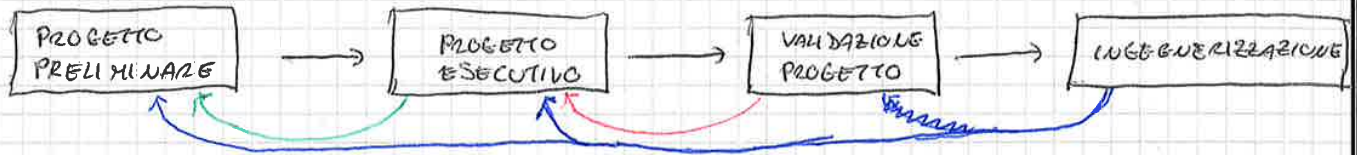
• AUTOMAZIONE FLESSIBILE (O PROGRAMMABILE)

- POSSIBILITÀ DI CAMBIARE IL PROGRAMMA DELLE MACCHINE PER FARE VARI PRODOTTI
- USATA PER PRODURRE GEOMETRIE COMPLESSE.

IL C.I.M. (COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING) È L' OBIETTIVO FINALE PER COMPLETARE IL PROCESSO DI FABBRICA AUTOMATICA, UNA INTEGRAZIONE TRAMITE COMPUTER DI TUTTI GLI ASPETTI CONNESSI ALLA PRODUZIONE

FEEDBACK NELLA PROGETTAZIONE DEL PRODOTTO

LE PRIME FASI DEL CICLO DI VITA DEL PRODOTTO CONTENGONO ALTRE 4 FASI:



RAPPRESENTAZIONE GRAFICA

I DISEGNI SI POSSONO CLASSIFICARE IN DIVERSE CATEGORIE:

- **DISEGNI DI CONCEPIMENTO:**

SI DIVIDONO IN SCHIZZI (O SCHEMI) E DISEGNI DI AVANPROGETTO. IN GENERE SONO DISEGNI NON QUOTATI (NON RIPORTANO DATI DIMENSIONALI)

- **DISEGNI DI DEFINIZIONE:**

CONSEGUONO I DISEGNI DI CONCEPIMENTO MA HANNO ALCUNE QUOTE FUNZIONALI E ALCUNE PRESCRIZIONI FUNZIONALI (TIPO IL GRADO DI RUGOSITÀ)

- **DISEGNI DI CATALOGO:**

DISEGNI DESTINATI AGLI UTENTI FINALI DEL PRODOTTO FINITO E SONO DI ACCOMPAGNAMENTO ALLE NOTIZIE DI FUNZIONAMENTO (MANUALE D'USO)

- **DISEGNI DI FABBRICAZIONE:**

VENGONO REDATTI A PARTIRE DAI DISEGNI DI DEFINIZIONE, RIPORTANO TUTTO CIÒ CHE È NECESSARIO PER LA FABBRICAZIONE E IL CONTROLLO DI CIASCUN ELEMENTO. SI DISTINGUONO IN DIVERSE CATEGORIE:

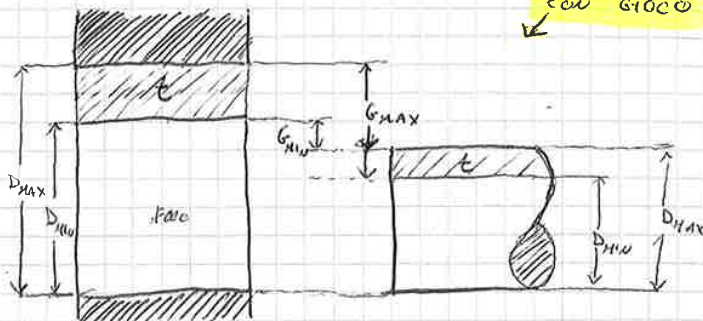
- DISEGNI DEL GREGGIO (AGGIUNTA DEI SOPRAMETALLI) (AGGIUNTA DEI RACCESI)
- DISEGNI DEL MOBILIO (MODELLO IN LEGNO DEL PEZZO)
- DISEGNI DI LAVORAZIONE
- DISEGNI DI ATTREZZATURE, CALIBRI E UTENSILI SPECIALI

- ACCOPPIAMENTO TRA UN ALBERO E UN FORO (CON GIOCO, CIOÈ RIMANE SPAZIO TRA I DUE PEZZI)

$$D_{MIN} \text{ DEL FORO} > D_{MAX} \text{ ALBERO}$$

↓
C'È GIOCO

$$G_{MAX} = \text{GIOCO MASSIMO} \quad G_{MIN} = \text{GIOCO MINIMO}$$



OSS: SE $D_{MIN} \text{ ALBERO} > D_{MAX} \text{ FORO}$ SI HA UN ACCOPPIAMENTO CON INTERFERENZA

S_{MIN} = INTERFERENZA MINIMA

S_{MAX} = INTERFERENZA MASSIMA

ACCOPPIAMENTO CON GIOCO SI DICE ANCHE ACCOPPIAMENTO MOBILE

ACCOPPIAMENTO CON INTERFERENZA SI DICE ANCHE ACCOPPIAMENTO STABILE

NEL CASO IN CUI A PRIORI NON SI RIESCE A DEFINIRE SE L' ACCOPPIAMENTO È MOBILE O STABILE SI HA UN ACCOPPIAMENTO INCERTO

IL SISTEMA ISO PREVEDE 19 QUALITÀ DI TOLLERANZE FONDAMENTALI (PER DIMENSIONI DA 1 A 500 mm) E LE CHIAMA: IT 0,1, IT 0, IT 1, IT 2, ..., IT 17

QUALITÀ DI TOLLERANZA	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
TOLLERANZA IT	7i	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1000i	1600i

NON SA PERE

• LE QUALITÀ IT 0,1, IT 0, ..., IT 4 PER GLI ALBERI, FINO A IT 5 PER I FORI

- STRUMENTI E APPARECCHIATURA DI CONTROLLO

- MACCHINE AD ALTA E AD ALTISSIMA PRECISIONE

• LE QUALITÀ IT 5 PER GLI ALBERI, DA IT 6 A IT 11 PER I FORI;

- COSTRUZIONI MECCANICHE COMUNI

• LE QUALITÀ DA IT 12 A IT 17:

- LAVORAZIONI GROSSOLANE

- ELEMENTI NON DESTINATI AD ACCOPPIAMENTO

$i \rightarrow$ UNITÀ DI TOLLERANZA $\rightarrow i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D \mu\text{m}$ (NON DA SAPERE)

D = DIMENSIONE NOMINALE IN MM

• **FORO BASE:**

- PER TUTTI I FORI SI USA **H** COME POSIZIONE DEL CAMPO DI TOLLERANZA
- LA POSIZIONE DEL CAMPO DI TOLLERANZA PER GLI ALBERI PUÒ VARIARE DA **0 A 2C** (A SECONDA DELL' ACCOPPIAMENTO)

• **ALBERO BASE:**

- PER TUTTI GLI ALBERI SI USA **h** COME POSIZIONE DEL CAMPO DI TOLLERANZA
- LA POSIZIONE DEL CAMPO DI TOLLERANZA PER I FORI VARIA DA **A A 2C** (A SECONDA DELL' ACCOPPIAMENTO)

COLLEGAMENTO QUANDO C'È INTERFERENZA

PER FARE QUESTO ACCOPPIAMENTO SI USANO 3 METODI:

- APPLICAZIONE DI UNA FORZA MECCANICA TRAMITE UNA PRESSA QUANDO I VALORI DELL' INTERFERENZA (J_{max}) SONO PICCOLI
- RISCALDANDO IL FORO O RAFFREDDANDO L'ALBERO (O ENTRAMBI) PER VALORI DI J_{max} PIÙ SOSTENUTI

SAPPO TECNICO NECESSARIO: $\Delta\theta = k \cdot \frac{J_{max}}{B \cdot D}$ (DILATAZIONE TECNICA)

B → COEFF. DI DILATAZ. TECNICA LINEARE

k → FATTORE ADIMENSIONALE

D → DIMENS. NOMINALE

J_{max} → INTERFERENZA

↳ TIVAMENTE 2

PER ALBERO SI INTENDE LA LUNGHERZA DI UN TRATTO PIENO ANCHE SE NON CILINDRICO

PER FORO SI INTENDE LA LUNGHERZA DI UN TRATTO CAVO ANCHE SE NON CILINDRICO

~~Definizione~~

LA **RUGOSITÀ** DERIVA DA IRREGOLARITÀ MICROGEOMETRICHE DI AMPIEZZA MOLTO PICCOLA, CARATTERIZZATA DAL PARAMETRO P_r . DERIVANO SOPRATTUTTO DAL MOTO DI ALIMENTAZIONE (MOTO DELL'UTENSILE VERSO IL PEZZO). INDICATA ANCHE CON H_r

LE **ONDULAZIONI** SONO IRREGOLARITÀ MICROGEOMETRICHE DI AMPIEZZA E PASSO LEGGERMENTE SUPERIORI ALLA RUGOSITÀ. CARATTERIZZATE DAI PARAMETRI P_o e H_o . DERIVANO SOPRATTUTTO DA VIBRAZIONI DEL SISTEMA IN OGGETTO.

~~Definizione~~ **oss:** P sta per PASSO. H sta per AMPIEZZA.

QUESTI TIPI DI IRREGOLARITÀ SONO VISIBILI DAL RAPPORTO PASSO/AMPIEZZA:

- **RUGOSITÀ** $\rightarrow 0 < P_r/H_r \leq 50$
- **ONDULAZIONE** $\rightarrow 50 < P_o/H_o \leq 1000$
- **ERRORI DI FORMA** $\rightarrow P_f/H_f > 1000$

LO STRUMENTO USATO PER GLI ERRORI MICROGEOMETRICI È IL **RUGOSIMETRO**.


IL **RUGOSIMETRO** È COMPOSTO DA UNO STILO ALL'ESTREMITÀ DEL QUALE È MONTATO UN PALPATORE. LO STILO HA SIA UN MOVIMENTO VERTICALE CHE UNO ORIZZONTALE. IL PALPATORE È IN GRADO FINO A UN CERTO PUNTO DI SEGUIRE LA SUPERFICIE CHE DEVE ESSERE MISURATA (DA QUI SI NOTA DIFFERENZA SUP. REALE E SUP. MISURATA).

IL PALPATORE DARÀ IN OUTPUT UN "PROFilo MISURATO"

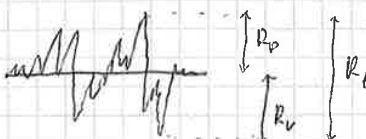
FACENDO LA MEDIA INTEGRALE DEL PROFilo SI OTTIENE LA "LINEA MEDIA" (O SUPERFICIE NOMINALE). LA SI OTTIENE CON UN METODO DI APPROSSIMAZIONE (TIPO IL METODO DEI MINIMI QUADRATI).

OGNI PUNTO AVrà UN'ORDINATA y_i CHE INDICA IL SUO SCOSTAMENTO DALLA LINEA MEDIA.

CI SONO 3 DEFINIZIONI DELLA RUGOSITÀ (3 PARAMETRI):

1) $R_a \rightarrow \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i|$  (MEDIA ASSOLUTA)

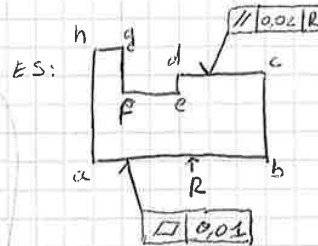
2) $R_q \rightarrow \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2}$ (MEDIA GEOMETRICA)

3) $R_t (R_p, R_v)$ $R_t = |R_p| + |R_v|$ 

oss: R_a RUGOSITÀ MEDIA ARITMETICA. R_q RUGOSITÀ MEDIA QUADRATICA. R_t RUGOSITÀ MASSIMA

TOLLERANZE GEOMETRICHE DI FORMA E POSIZIONE (Vedi ALL'ESAME)

TOLLERANZE GEOMETRICHE	DESIGNAZIONE	SIMBOLO
DI FORMA	RETILINEITÀ	—
	PLANARITÀ	□
	CIRCOLARITÀ	○
	CILINDRICITÀ	∅
DI POSIZIONE	INCLINAZIONE	∟
	PARALLELISMO	//
	NORMALITÀ	⊥
	CONCENTRICITÀ E COASSIALITÀ	⊙
	SIMMETRIA	≡



- SU R È PRESCRITTA UNA TOLLERANZA DI PLANARITÀ DI 0,01 mm
- SULLA SUPERFICIE cD È PRESCRITTA UNA TOLLERANZA DI PARALLELISMO RISPETTO ALLA SUPERFICIE R DI 0,02 mm

PRINCIPIO DI INDIPENDENZA (UNI ISO 8015):

CIASCUNA PRESCRIZIONE DIMENSIONALE (TOLLERANZE) O GEOMETRICA SPECIFICATA SU UN DISEGNO DEVE ESSERE RISPETTATA IN SE STESSA (IN MODO INDIPENDENTE), SALVO NON SIA SPECIFICATA UNA RELAZIONE PARTICOLARE. PERTANTO IN MANCANZA DI INDICAZIONI SPECIFICHE, LA TOLLERANZA GEOMETRICA SI APPLICA SENZA TENER CONTO DELLA DIMENSIONE DELL'ELEMENTO, E LE DUE PRESCRIZIONI SONO TRATTATE COME PRESCRIZIONI TRA LORO INDIPENDENTI

IL CONCETTO DI **INVILUPPO** SI INDICA CON **(E)**

↳ LA FORMA DEL MIO OGGETTO DOV'È ESSERE CONTENUTA NEL CILINDRO IDEALE AVENTE DIAMETRO CORRISPONDENTE AL VALORE DELLO SCOSTAMENTO SUPERIORE

IL PRINCIPIO DI **MASSIMO MATERIALE**: (INDICATO CON **(M)**)

SE LE DIMENSIONI REALI DI UN COMPONENTE SONO ^{INFERIORI A QUELLE DI} ~~MINOR~~ MASSIMO MATERIALE, CIOÈ ~~SE~~ IL DIAMETRO CORRISPONDENTE ALLO SCOSTAMENTO SUPERIORE (PER UN ALBERO) O INFERIORE (PER UN FORO), LE TOLLERANZE GEOMETRICHE POSSONO ESSERE AUMENTATE PUR CONTINUANDO A GARANTIRE L'ALLOPPIAMENTO.

QUESTO PRINCIPIO È NATO PER DIMINUIRE I COSTI DI FABBRICAZIONE

D A NON SONO PER

MATERIEALI

IN LINEA GENERALE I MATERIALI USATI POSSONO ESSERE SUDDIVISI IN:

- 1) MATERIALI METALLICI
- 2) MATERIALI POLIMERICI (PLASTICHE)
- 3) MATERIALI DI NATURA INORGANICA (CERAMICHE)

1) **MATERIALI METALLICI SONO CARATTERIZZATI DA UNA STRUTTURA A RETICOLO**,^{CRISTALLINO} GLI ATOMI SONO LEGATI TRA LORO DA UNA FORZA DI LEGAME: CHIAMATO LEGAME METALLICO.

IL **LEGAME METALLICO** PREVEDE CHE UNO O PIÙ ELETTRONI SIANO CONDIVISI TRA ATOMI VICINI CREANDO UN NUMERO ELEVATO DI IONI POSITIVI IMMERSI IN UNA ~~NUOVA~~ NUVOLA DI CARICHE NEGATIVE.

LA COESIONE È STABILITA DALLE FORZE DI ATRAZIONE TRA LA ~~NUOVA~~ NUVOLA ELETTRONICA E GLI IONI. SE GLI IONI SI ALLONTANANO TRA LORO, LA NUVOLA ELETTRONICA TENDE A FISSARLI IN EQUILIBRIO STABILE, SECONDO DISTANZE BEN DEFINITE.

IL **RETICOLO CRISTALLINO** È COMPOSTO DA UN ELEVATO NUMERO DI IONI METALLICI DISTRIBUITI NELLO SPAZIO A FORMARE QUESTO RETICOLO.

LA PIÙ PICCOLA PORZIONE DI VOLUME, CHE RIPETUTA, RIEMPIE COMPLETAMENTE IL RETICOLO, È DENOMINATA **CELLA UNITARIA** O **ELEMENTARE**

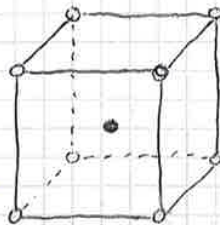
LE 3 FAMIGLIE DI CELLE ELEMENTARI PIÙ DIFFUSE SONO:

- CUBICA A CORPO CENTRATO (CCC)
- CUBICA A FACCE CENTRATE (CFC)
- STRUTTURA CRISTALLINA ESAGONALE COMPATTA

CUBICA A CORPO CENTRATO (CCC):

È TIPICA DI ALCUNI METALLI COME:

- FERRO- α (FINO A 770°C)
- VANADIO (V)
- MOLIBDENO (Mo)
- TUNGSTENO (W)
- CROMO (Cr)



OSS: È PIÙ COMPATTA DELLE ALTRE CELLE

OSS: HA 48 DIREZIONI DI SCORRIMENTO DIVERSE

LE DIMENSIONI DEI GRANI CRISTALLINI INCIDONO SULLE PROPRIETÀ MECCANICHE DEI METALLI (ESEMPLO: A MAGGIORI DIMENSIONI DEL GRANO CORRISPONDE UNA PIÙ FACILE DEFORMAZIONE)

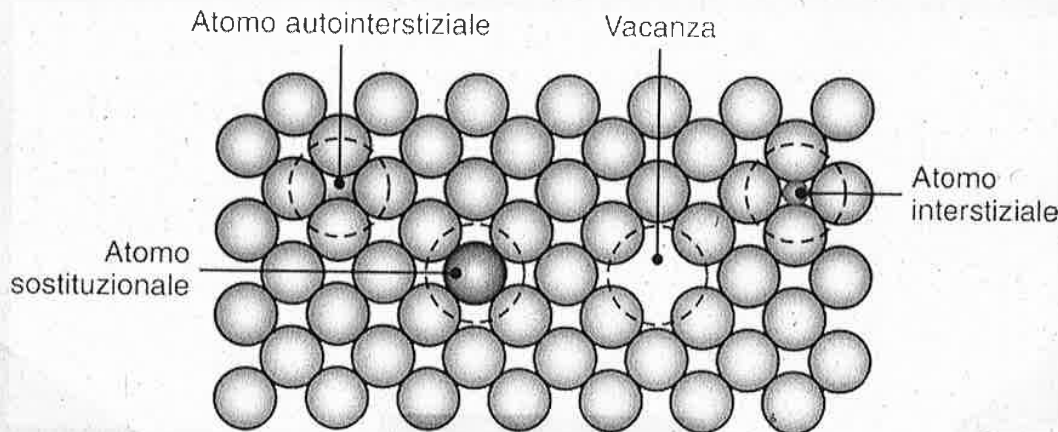
IL FENOMENO DI FORMAZIONE DEL GRANO CRISTALLINO È DETTO: NUCLEAZIONE

IMPERFEZIONI (DIFETTI) NEI CRISTALLI

ESISTONO 4 TIPI DI DIFETTI:

- DIFETTI DI PUNTO
- DIFETTI DI LINEA
- DIFETTI DI SUPERFICIE
- DIFETTI DI VOLUME

Difetti di punto: vacanze



DIFETTI DI PUNTO COINVOLGONO LA PRESENZA O L'ASSENZA DI UN SOLO ATOMO.

VACANZA: MANCANZA DI UN ATOMO NEL RETICOLO CRISTALLINO, CIÒ ATRIBUISCE AL MATERIALE UNA MAGGIORE DUTTILITÀ (SCORRIMENTO PIÙ FACILE)

ATOMO INTERSTIZIALE: UN ATOMO DI DIVERSO TIPO SI INSERISCE ALL'INTERNO DELLE MAGLIE NEL RETICOLO CRISTALLINO. CIÒ FRENA LO SCORRIMENTO METALLICO

ATOMO AUTOINTERSTIZIALE: UN ATOMO DELLO STESSO TIPO SI INCASTRA IN UNA POSIZIONE NON CANONICA. CIÒ FRENA LO SCORRIMENTO METALLICO

ATOMO SOSTITUZIONALE: UN ATOMO DI DIVERSO TIPO VA A PRENDERE LA POSIZIONE CHE DOVREBBE ESSERE OCCUPATA DA UN ATOMO DELLO STESSO TIPO

LA DEFORMAZIONE AVVIENE SOTTO L'EFFETTO DI FORZE DI TAGLIO LUNGO I PIANI DI SCORRIMENTO

SCORRIMENTO PLASTICO:



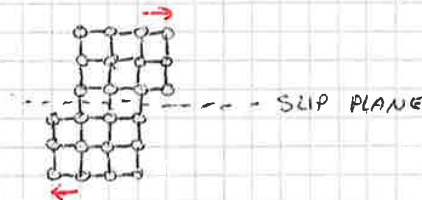
PER L'AZIONE DI QUESTE FORZE SI HA QUINDI LO SCORRIMENTO DI UN PIANO ATOMICO SU UN ALTRO E SI FORMANO QUINDI NUOVI LEGAMI CHE GARANTISCONO UNO STATO DI EQUILIBRIO IN UNA NUOVA POSIZIONE

DEFORMAZIONE ELASTICA:



DOPO L'AZIONE DELLA FORZA IL RETICOLO TORNA NEL SUO STATO INIZIALE
 REVERSIBILE

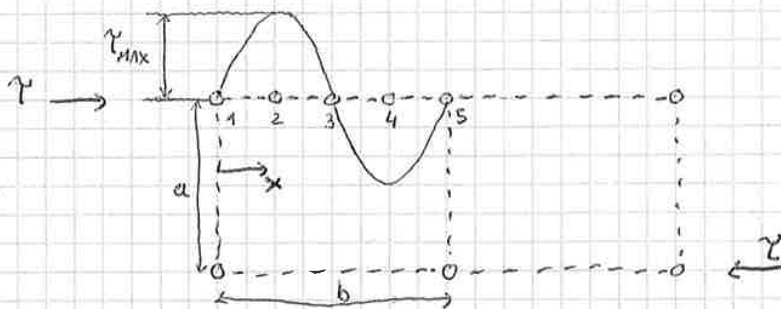
DEFORMAZIONE PLASTICA:



DOPO UN CERTO VALORE DI FORZA LA DEFORM. ELASTICA DIVENTA PLASTICA, UNA VOLTA TOLTA L'AZIONE DELLE FORZE IL MATERIALE HA UN RITORNO VERSO LA SUA CONFIGURAZIONE INIZIALE MA NON ARRIVA A RIFARLA UGUALE
 IRREVERSIBILE

OSS: QUANDO NON SI HANNO FORZE APPLICATE, GLI ATOMI DEL CRISTALLO SONO IN EQUILIBRIO

GRAFICO DELL' ANDAMENTO DELLA FORZA DI TAGLIO:



τ_{max} = MASSIMA TENSIONE DI TAGLIO TEORICA

τ_{max} È LA TENSIONE NECESSARIA PER AVERE UNA DEFORMAZIONE IRREVERSIBILE IN UN CRISTALLO PERFETTO

OGNI ATOMO DELLA FILA SUPERIORE È ATTIRATO DALL' ATOMO PIÙ VICINO DELLA FILA INFERIORE

LEGA BIFASICA (O MULTIFASICA): LA MAGGIOR PARTE DELLE LEGHE CONSISTONO DI DUE O PIÙ FASI SOLIDE. IN UN SISTEMA A DUE FASI SOLIDE, OGNI FASE È PARTE OMOGENEA DELLA MASSA TOTALE E POSSIENE CARATTERISTICHE PROPRIE.

COMPOSTO INTERMETALLICO: SOLUZIONE SOLIDA DI DUE METALLI AVENTI CARATTERISTICHE VICINE A QUELLE DI UN COMPOSTO CHIMICO MA CHE SPESSE NON RISPETTA LA REGOLA ORDINARIA DELLE VALENZE.

GLI ACCIAI

LA LEGA PIÙ UTILIZZATA È QUELLA TRA FERRO E CARBONIO (ACCIAIO) SE IN UN DETERMINATO RANGE DI PERCENTUALE DI CARBONIO

UNA DELLE LEGHE PIÙ UTILIZZATE È L'**AUSTENITE**: SOLUZIONE SOLIDA INTERSTIZIALE DI CARBONIO NEL FERRO γ . QUI IL FERRO γ PUÒ ASSORBIRE AL MASSIMO 2,11% DI CARBONIO. TRA 1394 E 912°C IL FERRO SUBISCE UNA TRASFORMAZIONE AISIOTROPICA DA STRUTTURA CUBICA A CORDO CENTRATO (BCC) A FCC DIVENTANDO ~~ACCIAIO~~ FERRO- γ O AUSTENITE.

L'AUSTENITE È DUTILE ED HA OTTIME PROPRIETÀ DI FORMABILITÀ

LA **FERRITE** (ALFA) È UNA SOLUZIONE SOLIDA DI FERRO BCC E HA UN MASSIMO DI SOLUBILITÀ DI 0,02% DI CARBONIO A 727°C. LA FERRITE È MENO DENSA DELL'AUSTENITE

LA **CEMENTITE** (CARBUO DI FERRO) È UN COMPOSTO INTERMETALLICO MOLTO DURO E FRAGILE; INFLUENZA IN MODO SIGNIFICATIVO LE PROPRIETÀ DELL'ACCIAIO. PERCENTUALE DI CARBONIO DEL 6,67%

L'**ACCIAIO** È UNA LEGA DI FERRO CONTENENTE CARBONIO IN PERCENTUALE NON SUPERIORE AL 2,11%. OLTRE TALE PERCENTUALE LA LEGA PRENDE IL NOME DI **GHISA** FINO AL 6,67% DI C.

OLTRE AL CARBONIO POSSONO ESSERE PRESENTI DEGLI ULTERIORI ELEMENTI ALLIGANTI (ACCIAI LEGATI, NICKEL, (HCC), CROMO, MOLIBDENO (BCC) ECC.)

IL CARBONIO SI PRESENTE USUALMENTE SOTTO FORMA DI CEMENTITE

LE PARTICELLE DI CEMENTITE PRESENTI NELLA MICROSTRUTTURA DELL'ACCIAIO, IN DETERMINATE CONDIZIONI, BLOCCANO GLI SCORRIMENTI DELLE DISLOCAZIONI, CONFERENDO ALL'ACCIAIO CARATTERISTICHE MECCANICHE MIGLIORI DEL FERRO PURO

GLI ACCIAI SONO LEGHE SENPRE PLASTICHE A CALDO, CIÒ È **EUCALDABILI**, A DIFFERENZA DELLE GHISE

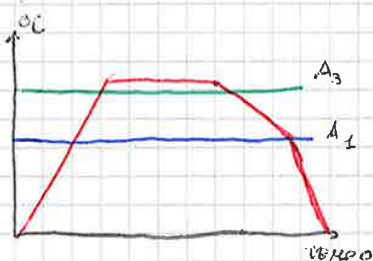
OSS: QUASI TUTTI I TRATTAMENTI TERMICI AVVENGONO TRA LE TEMPERATURE A_1 e A_3

1) LA RICOTTURA:

LA RICOTTURA CONSISTE IN UN CICLO TERMICO COMPOSTO DA UN RISCALDAMENTO FINO AD A_3 , UN'ADEGUATA PERMANENZA A QUESTA TEMPERATURA E SUCCESSIVAMENTE UN RAFFREDDAMENTO LENTO IN ARIA O IN FORNO FINO A RAGGIUNGERE LA TEMPERATURA AMBIENTE.

CON QUESTI PASSAGGI SI OTTIENE LA LEGA BIPHASICA PERLITE

I RISULTATI SONO UNA DIMINUIZIONE DELLA RESISTENZA, CON UN CONSEGUENTE AUMENTO DELLA LAVORABILITÀ DEL MATERIALE



ESEMPIO DI RICETTA DI RICOTTURA:

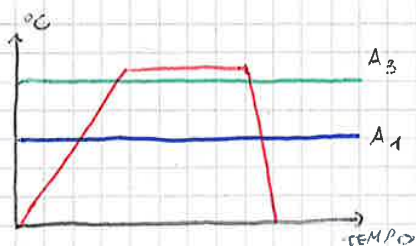
- RISCALDAMENTO FINO A $A_3 + 25-50^\circ\text{C}$
- BASTA IN TALE CONDIZIONE PER 1 ORE PER OGNI MM DI SPESSORE
- RAFFREDDAMENTO LENTO IN FORNO ($50-100^\circ\text{C/h}$) FINO ALLA FORMAZIONE STABILE DI FERRITE, PERLITE O CARBURI; DOPO SI PUÒ RAFFREDDARE IL PEZZO PIÙ VELOCEMENTE IN ARIA

UNO SVANTAGGIO DELLA RICOTTURA È IL LUNGO TEMPO DI TRATTAMENTO

2) LA TEMPERA:

LA TEMPERA CONSISTE IN UN RISCALDAMENTO TERMICO A TEMPERATURA ELEVATA ($800-900^\circ\text{C}$) E POI UN RAFFREDDAMENTO VELOCE IN ACQUA O3 OLIO.

COSÌ SI OTTIENE UN ACCIAIO CON ELEVATE CARATTERISTICHE DI DUREZZA E DI RESISTENZA MECCANICA, MA ACCOMPAGNATE DA FRAGILITÀ A CAUSA DELLA STRUTTURA METASTABILE MARTENSITICA



NON AVENDO IL TEMPO PER DIFFONDERE, IL CARBONIO RIMANE INTRAPPOLATO ALL'INTERNO DELLA CELLA GAMMA, CHE SI TRASFORMA IN CELLA ALFA A TEMPERATURA AMBIENTE: CIÒ PORTA AD AVERE UNA STRUTTURA METASTABILE: LA MARTENSITE (MATERIALE NON STABILE A TEMPERATURA AMBIENTE)

IL BRUSCO RAFFREDDAMENTO CAUSA DISLOCAZIONI O DEFORMAZIONI NEL MATERIALE.

LA MARTENSITE È UNA FORMA ALLOTROPICA METASTABILE DELL'ACCIAIO CHE PRESENTA ATOMI INTERSTIZIALI DI C NEL RETICOLO DI FERRO α . NON SUSSISTE IN EQUILIBRIO, SI OTTIENE DA CONGELAMENTO STRUTTURALE DELL'AUSTENITE. COSÌ SI ORIGINA UN RETICOLO TETRAGONALE A CALDO CENTRATO PIUTTOSTO TENSIONATO

1) I TRATTAMENTI SUPERFICIALI CAMBIANO SOLO LE PROPRIETÀ DELLA SUPERFICIE DEL PEZZO. I PRINCIPALI SONO:

- PER ADOZIONE DELLO STRATO SUPERFICIALE (MECCANICO, O TRAMITE SOLVENTI)
- PER CONVERSIONE DELLA SUPERFICIE (OSSIDAZIONE, CROMATURA, ANODIZZAZIONE, ...)
- TERMICI (CEMENTAZIONE, NITRURAZIONE)
- PER DEPOSIZIONE (MECCANICA O ELETTROCHIMICA)

2) I TRATTAMENTI DI CONVERSIONE DELLA SUPERFICIE HANNO LO SCOPO DI AUMENTARE LA RESISTENZA ALLA CORROSIONE.

L' OSSIDAZIONE AVVIENE CON MEZZI CHIMICI O MEDIANTE RISCALDAMENTO AD ELEVATA TEMPERATURA DELLA SUPERFICIE DEL PEZZO

L' ANODIZZAZIONE DELL' ALLUMINIO È UN PROCESSO ELETTROCHIMICO:

- OSSIDAZIONE CONTROLLATA DELLA SUPERFICIE DEL PEZZO PER IMMERSIONE IN SOLUZIONE ACQUOSA
- COLLEGAMENTO DI UN GENERATORE DI TENSIONE ALL'ANODO

3) I TRATTAMENTI TERMICI SUPERFICIALI COMPRENDONO TRATTAMENTI DI TEMpra SUPERFICIALE E TRATTAMENTI DI DIFFUSIONE DI UN ELEMENTO NELLA SUPERFICIE

I TRATTAMENTI DI DIFFUSIONE SONO:

- ABBONIA DI CARBONIO ALL' ACCIAIO ALLO STATO AUSTENITICO (CARBOCEMENTAZIONE)
- ABBONIA DI AZOTO A 500°C (NITRURAZIONE) PER FORMARE DEI NITRATI CON GLI ELEMENTI LEGANTI PRESENTI NELL' ACCIAIO

MATERIE POLIMERICHE (PLASTICHE)

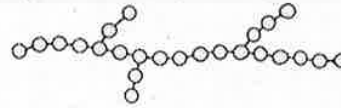
GLI ELEMENTI POLIMERICI SONO TIPICAMENTE CARATTERIZZATI DA:

- ELEVATO RAPPORTO RESISTENZA/MASSA (LEGGERI MA CON BUONA RESISTENZA A DEFORMAZIONE)
- BASSO COSTO
- BASSA CONDUCEVITÀ ELETTRICA (BUONI ISOLANTI)
- RESISTENTI AGLI AGENTI CHIMICI
- ELEVATO COEFFICIENTE DI DILATAZIONE TERMICA
- ELEVATA VERSATILITÀ DI IMPIEGO
- FACILITÀ DI LAVORAZIONE

Struttura polimerica

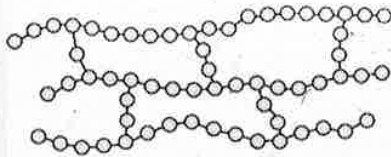


(a) Lineare

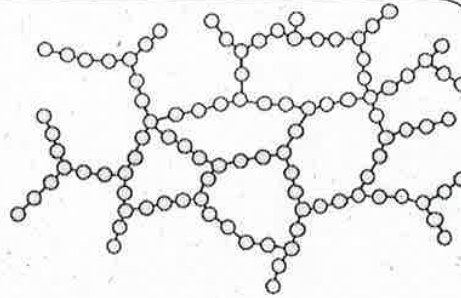


(b) Ramificata

Polimeri Termoindurenti



(c) Reticolata



(d) A rete

- b) RAMIFICAZIONI HANNO LA CARATTERISTICA DI INTERFERIRE CON IL MOTO RELATIVO DELLE CATENE POLIMERICHE QUANDO IL MATERIALE VIENE SOLLECITATO. QUINDI AUMENTANO LA RESISTENZA ALLA DEFORMAZIONE E ALLA ROTTURA
- c) CONFERISCE DUREZZA, RESISTENZA, FRAGILITÀ, RIGIDEZZA E MAGGIORE STABILITÀ DIMENSIONALE

POLIMERI TERMOPLASTICI:

- OTTENUTI PER SOMMINISTRAZIONE DI CALORE
- SI POSSONO MODELLARE PIÙ VOLTE (SONO SOGGETTI A INVECCHIAMENTO TERMICO)

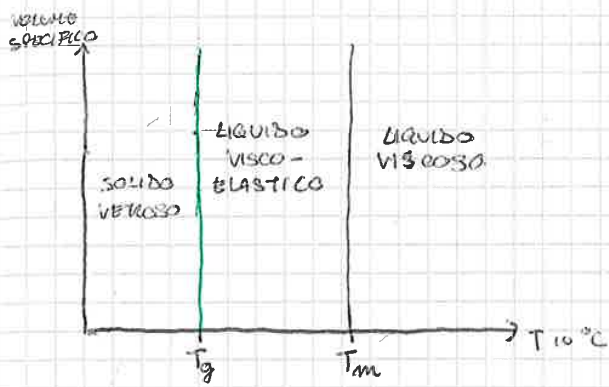
POLIMERI TERMOINDURENTI:

- I LEGAMI TRA LE CATENE SONO FORTI (COVALENTI)
- OTTENUTI PER PROCESSO DI RETICOLAZIONE (AD ALTE TEMPERATURE)
- IL MATERIALE BASE È ALLO STATO LIQUIDO
- NON SI PUÒ RIMODELLARE IL MATERIALE

ELASTOMERI (GOMME):

- COMPORTAMENTO ELASTICO DEI MODELLI
- ESEMPI: SILICONI, GOMME ...

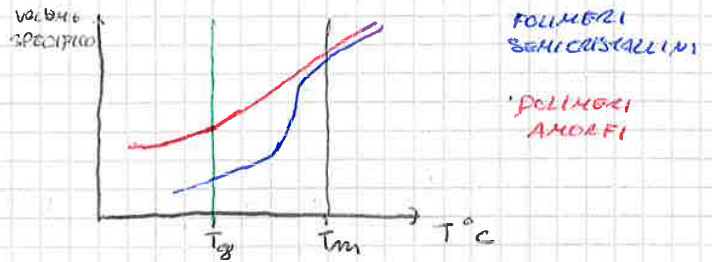
PROCESSO DI SOLIDIFICAZIONE:



T_g = TEMPERATURA DI TRANSIZIONE VETROSA

T_m = TEMPERATURA DI FUSIONE

SOLIDO VETROSO \Rightarrow DURI E FRAGILI



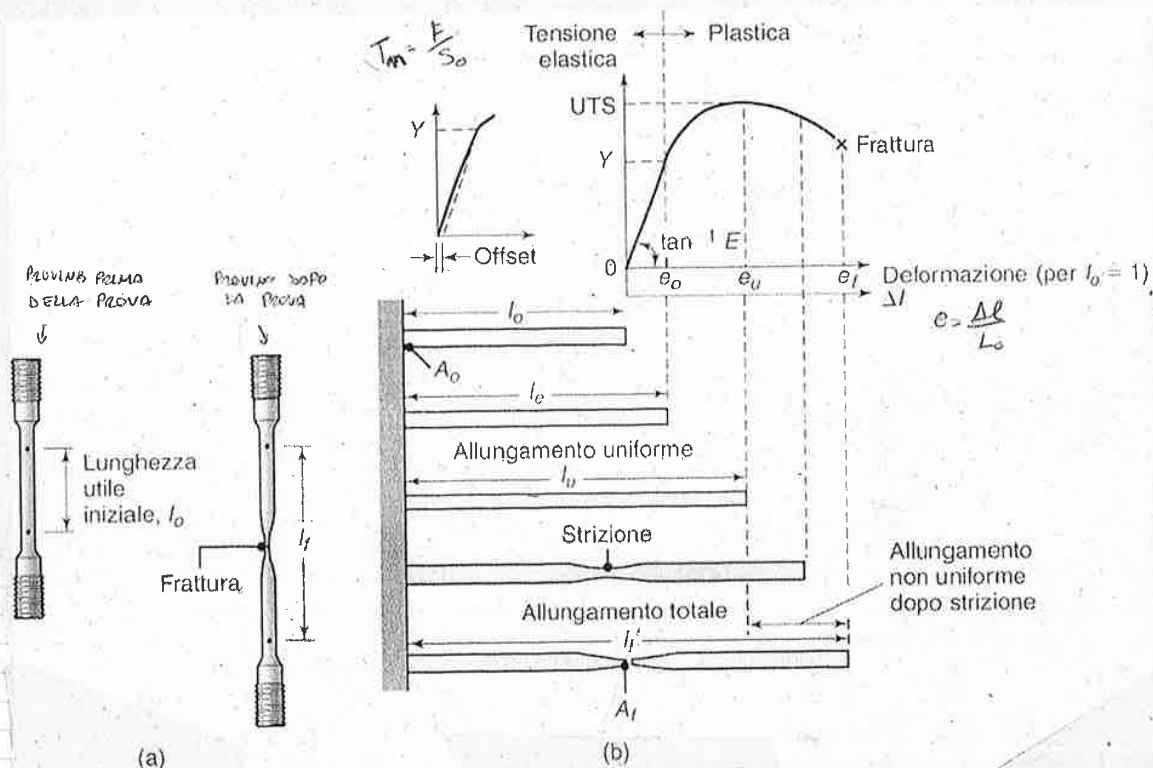
CARATTERISTICHE FISICO-CHIMICHE GENERALI DEI MATERIALI POLIMERICI:

- BASSA DENSITÀ ($< 1 \text{ Kg/m}^3$)
- BUONA RESISTENZA A TRAZIONE ($R_M < 70 \text{ MPa}$)
- BUONA RESISTENZA ALL'URTO ($21 \div 750 \text{ J/m}$)
- CAPACITÀ DI ISOLAMENTO ELETTRICO ($15 \div 70 \text{ V/m}$)
- BASSA T MASSIMA ($50 \div 150^{\circ}\text{C}$) (ECCETTO IL TEFLOON $\Rightarrow 290^{\circ}\text{C}$)



- TERMOPLASTICO
- TRASPARENTE, BIANCO, TRASLUCIDO
- PRODOTTO IN FOGLI O FILI SOTTILI
- PUNTO DI FUSIONE TRA 110 E 137°C
- FRAGILE A -75°C
- DUE TIPI: HDPE (STRUTTURA A CATENA LINEARE) O LDPE (STRUTTURA A CATENA RAMIFICATA)
- BASSO COSTO
- BUONA TENACITÀ
- BUON ISOLAMENTO TERMICO
- RESILIENZA MECCANICA SUFFICIENTEMENTE ELEVATA
- SCARSAMENTE SOLUBILE
- BUONA ELASTICITÀ (AMPIO CAMPO DI TEMPERATURE)
- BUONA RESISTENZA AGLI AGENTI CHIMICI
- BASSA PERMEABILITÀ ALL'ACQUA, ALL'OSSIGENO E ALLA CO_2
- DEGRADAZIONE DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE PER LUNGA ESPOSIZIONE A OSSIGENO E LUCE

La dinamica della prova



12

SE IL PROVINO VENISSE LEVATO DURANTE LA PRIMA PARTE DELLA PROVA (QUANDO È ANCORA IN ALLUNGAMENTO ELASTICO l_0) TORNEREBBE AL SUO STATO DI PARTENZA l_0 . DOPO DIVENTA IRREVERSIBILE (TORNEREBBE INDIETRO MA NON IN MANIERA SUFFICIENTE PER TORNARE A l_0)

SUPERATA L' UTS E LA FASE DI ALLUNGAMENTO UNIFORME SI INIZIA AD AVERE LA STRIZIONE NEL COLLO DI STRIZIONE, FINO A ROMPERSI.

OSS: AD OGNI ISTANTE DELLA PROVA CORRISPONDE UNA LUNGHEZZA E UNA SEZIONE SPECIFICA DEL PROVINO ($l_0, S_0, l_u, S_u, \dots$)

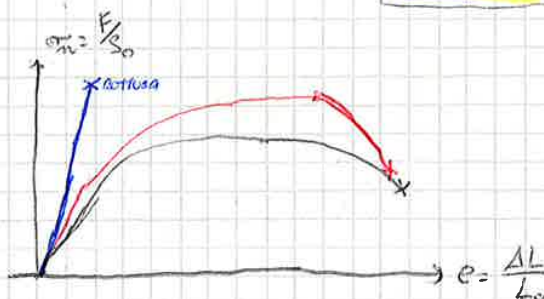
TENSIONE INGEGNERISTICA o NOMINALE:

$$\sigma_m = \frac{F}{S_0}$$

DEFORMAZIONE INGEGNERISTICA o NOMINALE:

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

OUTPUT PROVA DI TRAZIONE:
GRAFICO TENSIONE-DEFORMAZIONE



• **DUTTILITÀ**: ALLUNGAMENTO MASSIMO o MASSIMA RIDUZIONE DI SEZIONE (AMMISSIBILE)

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100$$

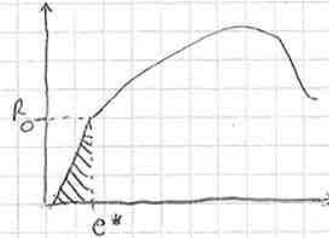
$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100$$

• **MODULO DI RESILIENZA**: ENERGIA ASSORBITA PER UNITÀ DI VOLUME PER DEFORMAR. ELASTICA

↳ INTEGRALE DELLA CURVA NELLA PARTE DI DEFORMAZIONE ELASTICA. CUNTERO L'AREA FINO A R_e

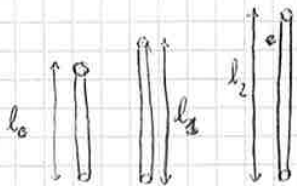
$$AREA = \frac{e^* \cdot R_e}{2} \quad e^* = \frac{\sigma_m}{E} = \frac{R_e}{E}$$

$$AREA = \frac{P_e^2}{2E}$$



OSS: AL VARIARE DELLA TEMPERATURA LO STESSO MATERIALE PRESENTA ANDAMENTI DIVERSI

PARADOSSO TENSIONI-DEFORMAZIONI INGEGNERISTICHE:



$$e_{tot} ? \quad e_{tot} = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_2 - l_0}{l_0}$$

$$e_{tot} = e_1 + e_2 ? \quad NO! \quad e_1 + e_2 = \frac{l_1 - l_0}{l_0} + \frac{l_2 - l_1}{l_2} \neq e_{tot}$$

TENSIONI E DEFORMAZIONI REALI

TENSIONE REALE:

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

S DIPENDE DALL' ISOLATE DELLA PROVA

DEFORMAZIONE REALE, INFINITESIMA:

$$d\varepsilon = \frac{dL}{L}$$

↳ **DEFORMAZIONE REALE**: $\varepsilon = \int_{l_0}^L d\varepsilon = \ln\left(\frac{L}{L_0}\right)$

OSS: COSÌ SUPERIAMO IL PARADOSSO DELLE TENSIONI-DEFORMAZIONI INGEGNERISTICHE, DIVIDERE UNA PROVA IN PIÙ PROVE NON DÀ LO STESSO RISULTATO PER LE TENS-DEFORM. INGEGNERISTICHE MA LO DÀ PER QUELLE REALI

LA CONDIZIONE DI INSTABILITÀ

In un primo momento la deformazione plastica causa deformazioni uniformi in tutto il provino. Dopo tutte le deformazioni vengono localizzate nel collo di strizione.

Dopo l'inizio della strizione la forza resistente non aumenta e spesso diminuisce al procedere della prova.

L'incrudimento del materiale non compensa più la riduzione di sezione quindi la forza resistente diminuisce.

Diminuisce la sezione resistente nel collo di strizione ma aumenta l'incrudimento del materiale (all'inizio l'incrudimento vince; quando tutte le deformazioni si collocano nel collo di strizione l'incrudimento perde)

PUNTO IN CUI INIZIA LA STRIZIONE → PUNTO DI INSTABILITÀ → FORZA MASSIMA (che poi inizia a diminuire)

Si ha ~~instabilità~~ instabilità quando $F = \sigma \cdot S$ raggiunge il suo valore massimo

↳ si annulla la derivata

$$F_{max} = \frac{dF}{d\epsilon} = 0 \quad \frac{dF}{d\epsilon} = \frac{d\sigma}{d\epsilon} \cdot S + \sigma \cdot \frac{dS}{d\epsilon} = 0 \quad \rightarrow dF = S d\sigma + \sigma dS = 0$$

$$d\epsilon = \frac{dL}{L} = -\frac{dS}{S} \quad d\sigma + \frac{\sigma}{S} dS = 0 \quad d\sigma - \sigma d\epsilon = 0 \quad d\epsilon = \frac{d\sigma}{\sigma} \quad \sigma = \frac{d\sigma}{d\epsilon} \quad \sigma_{max} (?)$$

⇒ $E = n$ (in determinate condizioni: quando si applica il modello di Hollomon)

ESEMPIO

$$D_0 = 8 \text{ mm} \quad L_0 = 50 \text{ mm} \quad D_{strizione} = 4,8 \text{ mm}$$

$$S_0 = \pi r^2 = \frac{\pi}{4} D_0^2 = 50,27 \text{ mm}^2 \quad L_0 S_0 = LS$$

$$\frac{L_{str}}{L_0} = \frac{S_0}{S_{str}} \quad S_{str} = \frac{L_0 \cdot S_0}{L_{str}} = \frac{50 \cdot 50,27}{8,6} = 290,8 \text{ mm}^2$$

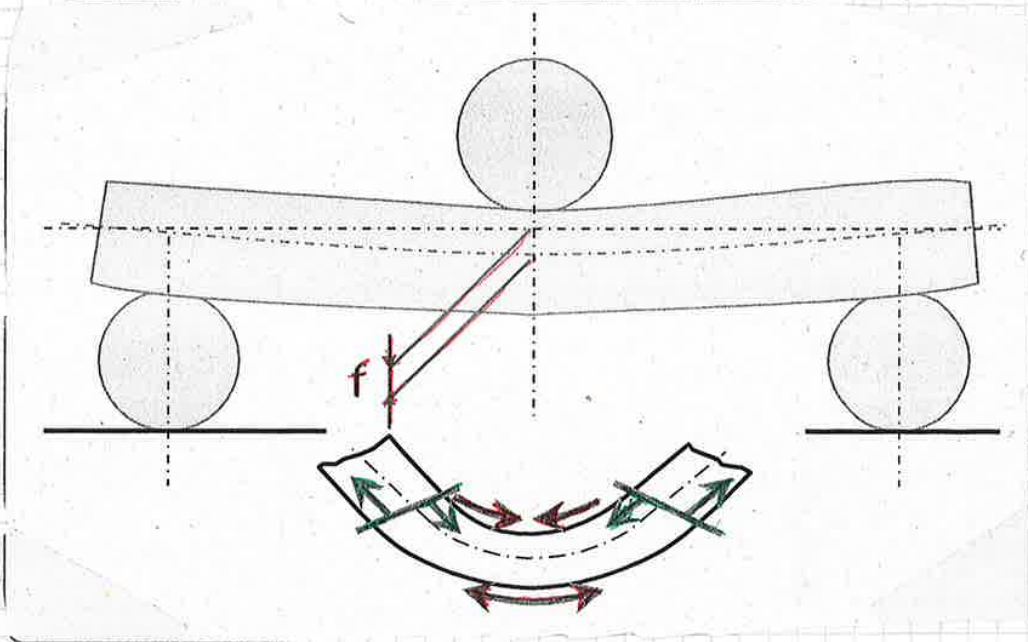
$$\epsilon_{str} = \ln\left(\frac{L_{str}}{L_0}\right) = \ln\left(\frac{50,27}{8,6}\right) = 1,72 = 17,2\%$$

$$\sigma_n = \frac{F}{S_0} = \frac{46}{50,27} = 91,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \sigma_n (1 + \epsilon) = 91,5 (1 + 0,172) = 107,2 \text{ MPa}$$

ALLUNGAMENTO [mm]	FORZA [kN]
0	16
0,2	25
0,3	30
2	36
4	42
6	45
8,6	46
9,8	35

oss: analogamente posso trovare i dati per ogni riga della tabella



METROLOGIA INDUSTRIALE

LA MISURA PUÒ ESSERE DEFINITA COME UN'ENTITÀ MATEMATICA COSTATA DA TRE ELEMENTI:

- VALORE (spesso indicato con V)
- INCERTEZZA (con U)
- UNITÀ DI MISURA

MISURAZIONE: AZIONE CHE PRODUCE UNA MISURA

MISURANDO: GRANDINEA MISURATA (ES: LUNGHEZZA)

OGGETTO MISURATO: OGGETTO SOTTOPOSTO A MISURAZIONE (ES: TAVOLO)

OGNI MISURA PUÒ ESSERE EFFETTA DA:

- INCERTEZZA DI MISURA
- UNO O PIÙ EVENTUALI ERRORI DI MISURA

CARATTERISTICHE STRUMENTI DI MISURA

CARATTERISTICA DI FUNZIONAMENTO: FUNZIONE CHE LEGA GLI INPUT DELLO STRUMENTO DI MISURA AGLI OUTPUT

INGRESSO (E) → STRUMENTO DI MISURA → USCITA (U)

$$U = f(E)$$

MISURE DI DUREZZA

- LA PROVA DI DUREZZA È UNA PROVA NON DISTRUTTIVA E QUINDI PUÒ ESSERE ESEGUITA SU PEZZI GIÀ MONTATI
- PROVE RAPIDE E CON MEZZI SEMPLICI
- SONO PROVE FACILMENTE AUTOMATIZZABILI
- IL RISULTATO È UN INDICATORE DI DUREZZA INTESO COME INDICE DI CONFRONTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE, DEI PROCESSI TERMICI E TECNOLOGICI (NON ESISTE UNA SCALA DI DUREZZA). È POSSIBILE FARE CONFRONTI TRA MATERIALI

LE PROVE DI DUREZZA CONSENTONO DI RISALIRE A MOLTE CARATTERISTICHE DEL MATERIALE:

- RESISTENZA A TRAZIONE
- TENACITÀ
- INCRUDIMENTO DEL MATERIALE
- EFFETTO DI TRATTAMENTI TERMICI
- LAVORABILITÀ ALLE MACCHINE UTENSILI
- RESISTENZA ALL' ABRASIONE

OSS: LA PROVA DI DUREZZA NON CONSENTE DI ESPRIMERE UN GIUDIZIO ESAUSTIVO SULLO STATO DEL MATERIALE ESAMINATO

OSS: I VALORI DI DUREZZA MISURATI DIPENDONO DALLE CONDIZIONI DI PROVA

DEFINIZIONE DELLA DUREZZA DI UN MATERIALE:

- 1) PUNTO DI VISTA FISICO: RESISTENZA ALLA DEFORMAZIONE ELASTO-PLASTICO DEL MATERIALE
- 2) PUNTO DI VISTA MINERALOGICO: RESISTENZA ALLA SCALFITURA (SCALA MOHS)
- 3) PUNTO DI VISTA METALLURGICO: RESISTENZA SUPERFICIALE, CHE IL MATERIALE OPONE ALLA PENETRAZIONE DI UN CORPO

LA DUREZZA È UNA GRANDEZZA STRUMENTALE, OVERO I SUOI VALORI SONO ESPRESSI COME PUNTI DI SCALE CONVENZIONALI INTERPOLANTI.
L'UNITÀ DI MISURA È UN TERMINE CONVENZIONALE (NON ESISTE UN "CAMPIONE NATURALE" DI DUREZZA).

OSS: IL RAPPORTO TRA DUE GRANDezze DELLA STESSA SPECIE NON HA SIGNIFICATO

ESISTONO DUE MACROCATEGORIE DI PROVE DI DUREZZA:

1) PROVE DI MACRODUREZZA:

- L'IMPRONTA IMPRESSA DAL PENETRATORE INTERESSA UN NOTEVOLE VOLUME DI MATERIALE
- I CARICHI APPLICATI DAL PENETRATORE SONO COMPRESI TRA 10 N E 50 KN
- ESEMPI: PROVE DI BRINELL, VICKERS, ROCKWELL...

$$HB = \frac{P}{S}$$

P → CARICO

S → SUPERFICIE

$$HB \approx 3 \cdot R_e$$

↑

LA PROVA DI DUREZZA EQUIVALE AD UNA PROVA DI COMPRESSIONE LOCALIZZATA

DIFETTO DI QUESTA PROVA: RISULTATO DIPENDE DAL CARICO UTILIZZATO NEL TEST

PROVA DI VICKERS (DUREZZA)

SI FA PENETRARE NEL MATERIALE IN ESAME UNA PUNTA DI DIAMANTE A FORMA PIRAMIDALE A BASE QUADRATA SOTTOAGENDO IL PENETRATORE AD UN CARICO PRESTABILITO.

RISOLVE IL DIFETTO DELLA PROVA BRINELL, RISULTATO NON VARIA A SECONDA DEL CARICO.

IL CARICO DI PROVA È FUNZIONE DEL MATERIALE E DELLE DIMENSIONI DEL PEZZO.

ANCHE IN QUESTA PROVA SI PREFERISCONO I K_{GF} AI N

$$HV = \frac{P}{S} \approx 1,854 \cdot \frac{P}{d^2}$$

d → DIAGONALE DEL QUADRATO

È UNA PROVA ADATTA A MISURE DI MICRODUREZZA A CAUSA DELL'IMPRONTA DI PICCOLE DIMENSIONI

OSS: LA FORMA ^{DEL PENETRATORE} ~~PIRAMIDALE~~ QUADRATA RENDE MENO INCERTA LA MISURA DELL'IMPRONTA

PROVA DI ROCKWELL (DUREZZA)

L'INDICAZIONE DELLA DUREZZA È SOLO FUNZIONE DELLA PENETRAZIONE DELLA PUNTA DEL MATERIALE.

SI MISURA DIRETTAMENTE LA PROFONDITÀ DELL'IMPRONTA OTTENUTA.

IL PENETRATORE VIENE PRENTO SULLA SUPERFICIE CON DUE FORZE DI ENTITÀ DIFFERENTE, LA DIFFERENZA DI PROFONDITÀ OTTENUTA RAPPRESENTA LA MISURA DELLA DUREZZA.

ESISTONO DIVERSE SCALE ROCKWELL CHE SI DISTINGUONO PER ALCUNI ELEMENTI:

- GRADO DI SCALA DI DUREZZE COPERTO
- DIMENSIONI DEL PENETRATORE
- PENETRATORE A CONO O A SFERA

LA PROVA SI ESEGUE IN DUE TEMPI: PRECARICO E CARICO

LA MISURA È LEGATA ALL'INCREMENTO (e) DELLA PROFONDITÀ DELL'IMPRONTA

ANCHE IN QUESTA PROVA SI PREFERISCONO I K_{GF} RISPETTO AI N

ESEMPIO: PENETRATORE È UN CONO DI DIAMANTE CON ANGOLO DI APERTURA PARI A 120° E RAGGIO DI RACCORDO $0,2 \text{ mm}$; $HRC = 100 - 500 \cdot e$

PENETRATORE È SFERA DI METALLO DORO DEL DIAMETRO DI $1/16"$ (1,574 mm); $HRB = 130 - 500 \cdot e$

PROVA: LIQUIDI PENETRANTI (PT)

QUESTA PROVA SERVE PER UN' ANALISI DELLA SUPERFICIE DEL MATERIALE.

I DIFETTI VENGONO MESSI IN RISALTO DA LIQUIDI PENETRANTI SPECIALI (DI SOLITO DI COLORE ROSSO) A BASSA VISCOSITÀ E TENSIONE SUPERFICIALE CHE PENETRANO PER CAPILLARITÀ NELLE DISCONTINUITÀ.

PRIMA IL PEZZO VIENE PULITO DALLE VALLI SFORZIE, POI SI APPLICA IL LIQUIDO E LO SI LASCIA ENTRARE. L'ECESSO DI LIQUIDO VIENE POI RIMOSSO. POI SI APPLICA UN AGENTE SVILUPPATORE (DI SOLITO UNA POLVERE BIANCA) CHE PERMETTE AL LIQUIDO ENTRATO NELLE DISCONTINUITÀ DI RITORNARE IN SUPERFICIE E COSÌ SI PUÒ OSSERVARE IL CONTRASTO DEL LIQUIDO CON L'AGENTE SVILUPPATORE.

DUE TIPOLOGIE DI LIQUIDI PENETRANTI:

- LIQUIDI A CONTRASTO DI COLORE: OSSERVAZIONE MEDIANTE LUCE VISIBILE, EVIDENZIANO CRACCHE LARGHE FINO A $0,1 \mu\text{m}$
- LIQUIDI FLUORESCENTI: OSSERVAZIONE CON RADIAZIONE ULTRAVIOLETTA, EVIDENZIANO CRACCHE LARGHE FINO A $0,01 \mu\text{m}$. DANDO MIGLIORI RISULTATI SU SUPERFICI RETTIFICATE

QUESTA È UNA PROVA CON BASSO COSTO E SEMPLICE DA ESEGUIRE. SPESSE VIENE USATA NEI CONTROLLI DI ACCETTAZIONE.

LIMITI:

- NON RILEVA DIFETTI SOTTO PELLE O CHIUSI IN SUPERFICIE
- NON APPLICABILE SU SUPERFICI RUGOSE O POROSE
- ESAME LIMITATO A ZONE FACILMENTE ACCESSIBILI

PROVA: MAGNETOSCOPIA (MT)

CONSISTE NELLO SPARGERE LA SUPERFICIE DI UN PEZZO CON PARTICELLE FERROMAGNETICHE, SPESSE ALL'INTERNO DI UNA SOLUZIONE, CHE POI VENGONO ATTRATTE DA UN CAMPO MAGNETICO. NEI DIFETTI SI CREANO DEVIAZIONI DELLE LINEE DI FLUSSO MAGNETICO CREANDO UN ADDENSAMENTO DELLE PARTICELLE FERROMAGNETICHE IN PROSSIMITÀ DEL DIFETTO.

QUESTA PROVA È MOLTO SENSIBILE FINO A UNA PROFONDITÀ DI $4/5 \text{ mm}$ E RILEVA DIFETTI SUPERFICIALI O APPENA SOTTO LA PELLE

UN ENOSSE LIMITE È CHE SI PUÒ APPLICARE SOLO A MATERIALI FERROMAGNETICI ^{CHE}

I DIFETTI VENGONO RILEVATI PIÙ FACILMENTE SE \perp ALLE LINEE DI CAMPO MAGNETICO.

COMPORTAMENTO ELASTICO DEI MATERIALI

DEFORMAZIONE TOTALE: $\epsilon^{TOT} = \epsilon^{EL} + \epsilon^{PL}$ (ELASTICA + PLASTICA)

SI RICORDANO LE LEGGI COSTITUTIVE DI HOOKE (HOOKE) $(\sigma = C \cdot \epsilon^m)$ E LINEARE $(\sigma = \gamma + k \cdot \epsilon)$

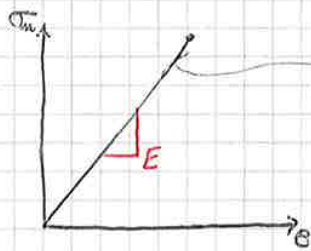
COMPORTAMENTO ELASTICO \rightarrow DEFORMAZIONE REVERSIBILE DEL MATERIALE.
IN QUESTO REGIME ESISTE UNA PROPORZIONE COSTANTE TRA TENSIONE E DEFORMAZIONE.

IL COEFFICIENTE DI PROPORZIONALITÀ È IL MODULO DI YOUNG (E)

LEGGE DI HOOKE: $e = \frac{\sigma_n}{E}$ (RICERCA ANDAMENTO DI UNA MOLLA $\vec{F} = -K \Delta \vec{x}$)

$$\vec{F} = -K \Delta \vec{x} \quad \frac{\vec{F}}{S_0} = -\frac{K \Delta x}{S_0} \quad \sigma_n = -\frac{K}{S_0} \Delta x \quad \sigma_n = -\frac{K L_0}{S_0 L_0} \Delta x$$

$$\sigma_n = -\frac{K L_0}{S_0} \cdot e \quad E = -\frac{K L_0}{S_0} \Rightarrow \sigma_n = E \cdot e$$



MODELLO IDEALE DELLA CARATTERISTICA DI UN MATERIALE NELLA ZONA ELASTICA

\leftarrow ANDAMENTO LEGGE DI HOOKE

$G \rightarrow$ MODULO DI ELASTICITÀ TRASVERSALE

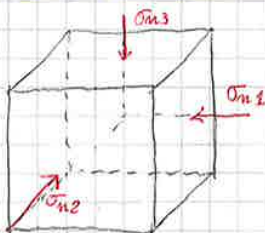
$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad \left(\begin{array}{l} \tau = \text{FORZA DI TAGLIO} \\ \gamma = \text{INFORMAZIONE DI TAGLIO} \end{array} \right)$$

$\nu \rightarrow$ COEFFICIENTE DI POISSON

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (\text{NON RICORDARE})$$

ANALISI TRIASSIALE DELLE TENSIONI: (VALIDO ANCHE PER TENSIONI REALI)

$\left(\begin{array}{l} \sigma_1 \text{ MAX TENSIONE} \\ \sigma_3 \text{ MIN TENSIONE} \end{array} \right)$



TENSIONI NEGATIVE SE DI COMPRESSIONE.
TENSIONI POSITIVE SE DI TRAZIONE.

$$\sigma_{n1} > \sigma_{n2} > \sigma_{n3}$$

$$\sigma_{mm} = \frac{\sigma_{n1} + \sigma_{n2} + \sigma_{n3}}{3} \quad (\text{TENSIONE MEDIA})$$

PROVA DI TRAZIONE UNIASSIALE: $\sigma_{n1} = \sigma_n \quad \sigma_{n2} = \sigma_{n3} = 0$

LEGGE DI HOOKE
PER TENSIONI TRIASSIALI
(SEMPRE ELASTICO)

$$\begin{cases} \epsilon_1 = \frac{1}{E} [\sigma_{n1} - \nu (\sigma_{n2} + \sigma_{n3})] \\ \epsilon_2 = \frac{1}{E} [\sigma_{n2} - \nu (\sigma_{n1} + \sigma_{n3})] \\ \epsilon_3 = \frac{1}{E} [\sigma_{n3} - \nu (\sigma_{n2} + \sigma_{n1})] \end{cases}$$

QSS: CONSERVAZIONE DEL VOLUME
EQUIVALE AD $\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$, INDETTI
NON VALE SEMPRE IN REGIME ELASTICO

TENSIONE EQUIVALENTE:
$$\sigma_{EQ} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}$$

↳ IL SUO VALORE DEVE COINCIDERE CON IL LIMITE DI SUELVAMENTO (Y)

DEFORMAZIONE EQUIVALENTE:
$$\epsilon_{EQ} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_1 - \epsilon_3)^2}$$

↳ MOLTIPLICATA PER σ_{EQ} DA IL LAVORO DI DEFORMAZIONE

STUDIO DELLE TENSIONI

1) TENSIONE PIANA:

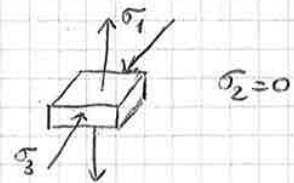
• CRITERIO TRUSSCA: $\sigma_1 - \sigma_3 = Y$

• CRITERIO VON MISES: $(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2Y^2$

$\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + \sigma_3^2 + \sigma_1^2 - 2\sigma_3\sigma_1 = 2Y^2 \rightarrow Y^2 = \sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_3$

$\sigma_2 = 0 \rightarrow \sigma_{EQ} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + \sigma_3^2 + \sigma_1^2 - 2\sigma_1\sigma_3} \rightarrow \sigma_{EQ} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_3}$

⇒ SE $\sigma_{EQ} = Y$ ALLORA MATERIALI DEFORMA PLASTICAMENTE (CRITERIO VON MISES)



Relazione tra $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$

2) TENSIONE ASSIALE SIMMETRICA:

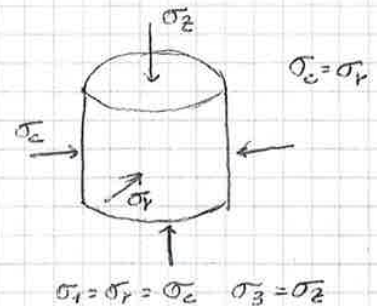
(DUE DELLE TRE TENSIONI SONO UGUALI TRA LORO)

• CRITERIO TRUSSCA: $\sigma_1 - \sigma_3 = Y$

• CRITERIO VON MISES: $(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2Y^2$

$\sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\sigma_2\sigma_3 + \sigma_3^2 + \sigma_1^2 - 2\sigma_1\sigma_3 = 2Y^2$

$2\sigma_3^2 + 2\sigma_1^2 - 4\sigma_1\sigma_3 = 2Y^2 \quad (\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 2Y^2 \quad Y = \sigma_1 - \sigma_3$



OSS: IN QUESTO CASO I DUE CRITERI COINCIDONO TRA DI LORO

$\sigma_1 = \sigma_2 \Rightarrow \sigma_{EQ} = \sigma_1 - \sigma_3 \Rightarrow$ SE $\sigma_{EQ} = Y$ SI HA DEFORMAZ. PLASTICA

$\epsilon_1 = \epsilon_2$ (perché $\sigma_1 = \sigma_2$) e PER PCV $\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0 \Rightarrow 2\epsilon_1 + \epsilon_3 = 0$

SOSTITUISCO IN $\epsilon_{EQ} \rightarrow \epsilon_{EQ} = \frac{\sqrt{2}}{3} |\epsilon_3|$