Metallurgia Fisica



Docente: Lucia Nicola

lucia.nicola@unipd.it

Struttura del corso

- lezioni frontali
- qualche esercizio durante le lezioni
- 6 esercitazioni al computer (venerdì)
- 5 lezioni dedicate a presentazioni di articoli scientifici

Testi di consultazione:

- G.M. Paolucci, *Lezioni di METALLURGIA per la laurea in ingegneria meccanica,* vol 1 e vol 2
- Abbashian, Abbashian, Reed-Hill, *Physical Metallurgy Principles*

Argomenti del corso

1. Metallurgia di processo
2. Produzione e proprietà di ghisa e acciaio
3. Produzione e proprietà di alluminio e rame
4. I legami atomici
5. La struttura cristallina
6. Le leghe metalliche
7. La diffusione: carburazione e nitrurazione
8. La solidificazione
9. L' elasticità
10. I difetti nel reticolo cristallino
11. Le dislocazioni
12. La plasticità
13. I meccanismi di rafforzamento
14. Le proprietà meccaniche dei metalli
15. La lavorazione plastica
16. Il riassetto e la ricristallizzazione
17. I diagrammi di fase
18. Il diagramma Fe-C
19. La cinetica di trasformazione
20. La frattura
21. L'attrito e l'usura
22. La nomenclatura degli acciai

Esercitazioni

- Esercitazioni numeriche (proprio laptop)
- Linguaggio di programmazione MatLab

Argomenti:

1.	Esercitazione preliminare	venerdì 2 ottobre
2.	Il reticolo cristallino	venerdì 9 ottobre
3.	L'energia di legame	venerdì 16 ottobre
4.	Il moto di una lacuna	venerdì 23 ottobre
5.	La diffusione	venerdì 30 ottobre
6.	Fitting e previsione	venerdì 6 novembre

Presentazioni

1) Scegliete un articolo da ISI Web of Science o Scopus
L'articolo deve avere come argomento i metalli e possibilmente essere un approfondimento di quanto fatto nel corso

2) Preparate una presentazione che abbia un numero di slides uguale al numero di minuti che avrete a disposizione (da stabilire in base al numero di partecipanti)

3) Il file con la presentazione deve contenere: Titolo, autori, nome della rivista, anno di pubblicazione e il vostro nome. Inviate il giorno prima a lucia.nicola@unipd.it in formato pdf.

4) 13 nov, 20 nov, 27 nov, 4 dic, 17 dic.
Prenotatevi su STEM per una di queste date entro il **12 ottobre**

Valutazione

- **80%** esame scritto alla fine del corso

1. domande di teoria V/F da motivare
2. un esercizio
3. una domanda sulle esercitazioni
4. una domanda sull'articolo

- **20%**: presentazione in classe di un articolo scientifico

Contenuto
Struttura e qualità slides
Esposizione

Si noti che se decidete di non fare la presentazione:

1. il massimo voto ottenibile è 24/30 con 30/30 allo scritto
2. per superare l'esame con 18/30 e' necessario un 22/30 allo scritto

METALLURGIA FISICA APPELLO 1 2022-2023

lucia.nicola@unipd.it

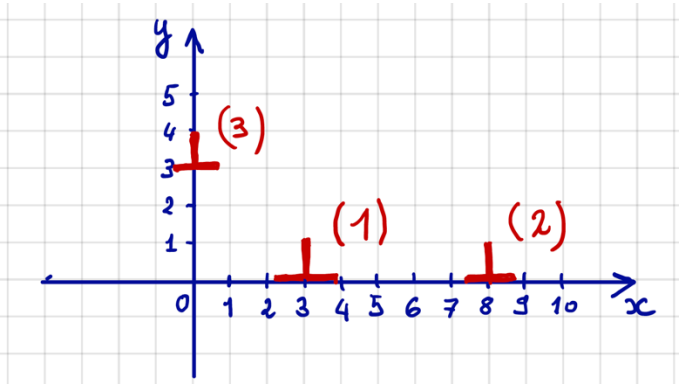
(a) Indicare se le seguenti affermazioni sono vere o false, motivando la risposta:

1. Lo stato di sforzo in un provino in tensione può essere rappresentato attraverso un cerchio di Mohr. Se sigma è il massimo sforzo normale il massimo sforzo tangenziale è anche sigma.
2. In un reticolo tetragonale la direzione [123] equivale alla direzione [312].
3. I trattamenti termici vengono effettuati su leghe metalliche che contengono fasi indesiderate a temperature ambiente al fine di ottenere fasi diverse.

(b) Durante le esercitazioni avete creato un cristallo i cui atomi interagivano tra loro attraverso il potenziale di Lennard-Jones e avete calcolato l'energia potenziale del cristallo per atomo.
Che temperatura era stata assunta per il cristallo? Perchè?
Se si volesse calcolare l'energia a temperatura maggiore cosa si potrebbe fare?

(c) Le dislocazioni (2) e (3) in figura sono entrambe ancorate a un precipitato.

A quale forza di Peach-Koehler è soggetta la dislocazione (1)?
In che direzione si muove a temperature ambiente? E ad alta temperatura?



(d) Avete la possibilità di ottenere 500 kEuro per consolidare le conclusioni della ricerca svolta nell'articolo che avete presentato.
Che tipo di esperimento proponete per aggiudicarvi il finanziamento?

Valutazione con parziali

- 40% primo parziale scritto
- 40% secondo parziale scritto
- 20%: presentazione in classe di un articolo scientifico

(a) Indicare se le seguenti affermazioni sono vere o false, motivando la risposta:

1. Se due metalli hanno entrambi reticolo cristallino CFC il loro spettro di diffrazione è identico.
2. Attraverso inoculazione si diminuisce la densità di bordi grano.
3. Durante solidificazione di una lega con soluto altofondente si accrescono grani di forma dendritica.

z	*erf(z)*
0.55	0.5633
0.60	0.6039
0.65	0.6420
0.70	0.6778
0.75	0.7112
0.80	0.7421
0.85	0.7707
0.90	0.7970
0.95	0.8209
1.0	0.8427

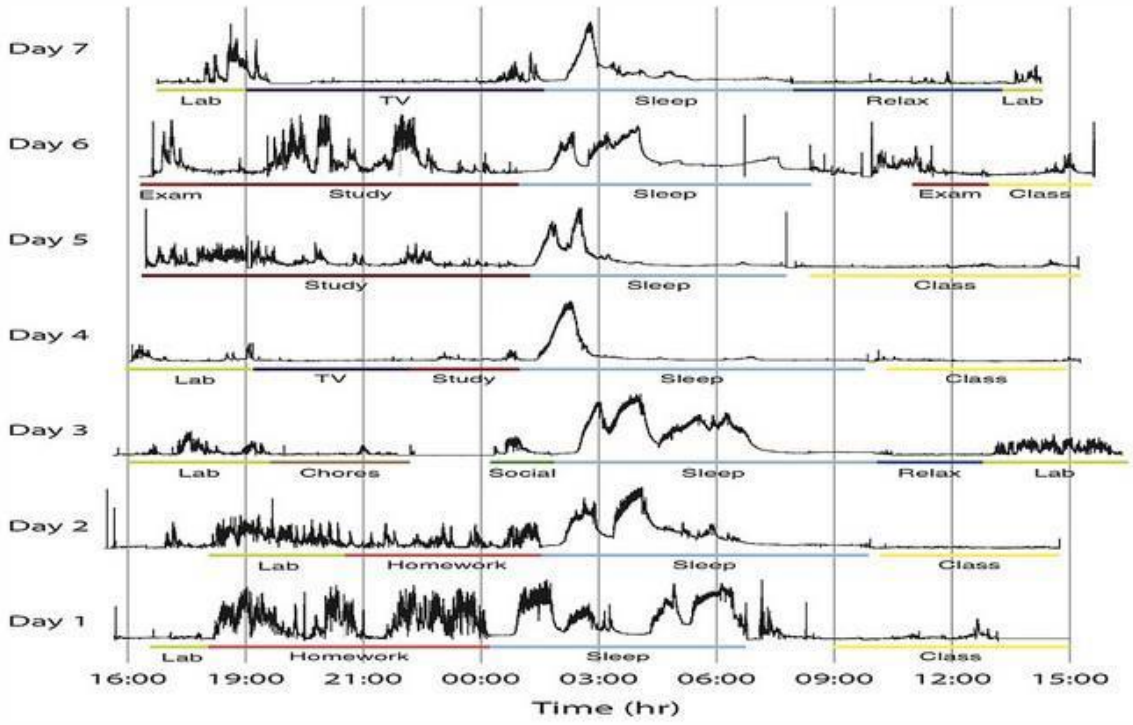
(b) Determinare il tempo di carbocementazione necessario a raggiungere una concentrazione di carbonio di 0.44% a 2.9 mm dalla superficie di una lega Fe/C che inizialmente contiene lo 0.031% C. La concentrazione superficiale e' mantenuta a 1.2% C e il trattamento avviene a 1180°C. Si assuma D_0 = 5.1 x10-5 m^2/s e Q_0 =154 kJ/mol. (R=8.31 J/mol K). $R=N_A k$

(c) Durante le esercitazioni avete creato un cristallo i cui atomi interagivano tra loro attraverso il potenziale di Lennard-Jones. Con quel modello, che energia potenziale ha un atomo della superficie del cristallo rispetto a quella di un atomo al centro? Ci sarebbe differenza in un metallo reale tra l'energia degli atomi in superficie e nel bulk?

Valutazione con parziali

- 40% primo parziale scritto: **17 novembre**
- 40% secondo parziale scritto: **22 dicembre**
- 20%: presentazione in classe di un articolo scientifico

Attività cerebrale



M-Z Poh, N.C. Swenson, R.W. Picar, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2010

Metallurgia Fisica



Lezione 1:

Cenni di metallurgia di processo

Varie figure tratte da: Lezioni di metallurgia, Paolucci

Cenni di metallurgia di processo

- Proprietà dei metalli
- Un po' di storia
- Cos'è la metallurgia
- Cenni di metallurgia di processo:
  - I trattamenti di preparazione
  - I trattamenti estrattivi preliminari
  - I processi di estrazione
  - I processi di raffinazione

Le proprietà dei metalli

- Sono l'unica classe di materiali che ha sia **resistenza meccanica** elevata sia **facilità di deformazione plastica**, cioè buona lavorabilità
- Sono alligabili (alloyable)
- Sono saldabili (weldable)
- Sono pesanti: atomi altamente addensati
- Sono buoni conduttori elettrici e termici: gli elettroni liberi trasportano energia termica ed elettrica



Si corrodono con facilità, fatta eccezione per il titanio

I metalli più utilizzati nell’industria

Metallo o lega	Perché viene utilizzato	Principali applicazioni
Acciai / ghise	Versatili ed economici	Strutture, trasporti, macchine
Alluminio	Leggero, anticorrosione	Trasporti, edilizia, imballaggi
Rame	Conduce corrente e calore	Cavi, elettronica, scambiatori
Titanio	Resistente e leggero	Aeronautica, protesi, chimica
Nichel	Resiste ad alte temperature	Turbine, motori, impianti
Tungsteno	Duro, stabile ad alte temperature	Utensili, elettrodi, componenti termici
Cobalto	Resiste a usura e temperature	Superleghe, magneti, batterie

Proprietà dell’acciaio

Proprietà	Valore / caratteristica	Perché è importante
Densità	Circa 7,8 g/cm³	Buon compromesso tra massa e resistenza
Intervallo di fusione	Circa 1370-1510 °C	Dipende da composizione e lega
Modulo elastico	Circa 210 GPa	Rigidità elevata
Struttura	Ferrite BCC; austenite FCC	Consente trattamenti termici
Resistenza	Molto variabile	Regolabile con lega e microstruttura
Corrosione	Limitata negli acciai comuni	Cr e rivestimenti aumentano la durata
Elementi di lega	C, Mn, Cr, Ni, Mo, Si e altri	Ampia gamma di proprietà

Le proprietà del titanio

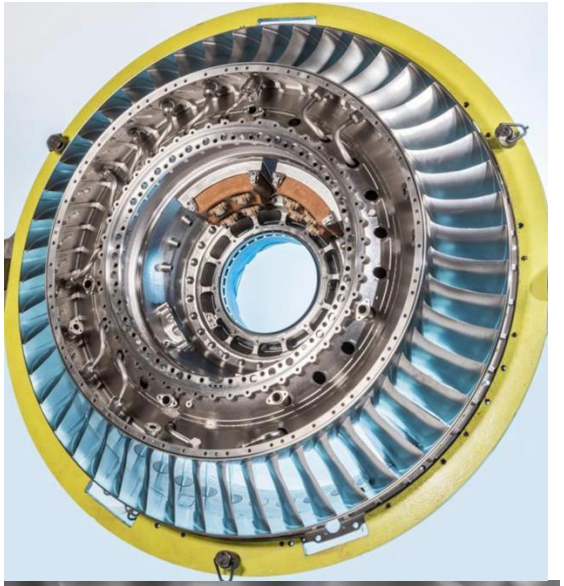
Proprietà	Valore / caratteristica	Perché è importante
Densità	Circa 4,5 g/cm³	Molto più leggero dell'acciaio
Resistenza specifica	Elevato rapporto resistenza/peso	Strutture leggere e resistenti
Modulo elastico	Circa 110 GPa	Rigidità inferiore a quella dell'acciaio
Corrosione	Film passivo stabile di TiO_2	Ottima durata in ambienti aggressivi
Biocompatibilità	Molto elevata	Impianti e protesi
Struttura cristallina	α-HCP sotto 882 °C; β-BCC sopra	Base delle diverse leghe e microstrutture
Punto di fusione	Circa 1668 °C	Buona stabilità termica
Elementi di lega	Al, V, Mo, Nb, Sn e altri	Controllano fasi α/β e proprietà

Applicazioni del titanio





Biomediche





Aeronautica





Attrezzatura sportiva

Nichel

Proprietà	Valore / caratteristica	Perché è importante
Densità	Circa 8,9 g/cm³	Materiale relativamente pesante
Punto di fusione	Circa 1455 °C	Adatto a processi ad alta temperatura
Struttura cristallina	FCC stabile fino alla fusione	Buona duttilità e lavorabilità
Corrosione	Forma uno strato protettivo	Resiste in molti ambienti aggressivi
Alte temperature	Mantiene buone proprietà meccaniche	Base delle superleghe per turbine
Magnetismo	Ferromagnetico sotto circa 358 °C	Magneti, sensori e dispositivi elettrici
Elementi di lega	Cr, Fe, Co, Mo, Al, Ti e altri	Superleghe e leghe anticorrosione

Applicazioni del nichel



Superleghe per pale di turbina
(resistenti a calore e corrosione)



Batterie:
Ni-Li
Ni-Cd



Nichelatura; protezione dalla corrosione e miglioramento porprietà meccaniche ed estetiche

Tungsteno

Proprietà	Valore / caratteristica	Perché è importante
Densità	Circa 19,3 g/cm³	Tra i metalli più pesanti
Punto di fusione	Circa 3422 °C	Il più elevato tra i metalli puri
Modulo elastico	Circa 410 GPa	Rigidità molto elevata
Struttura cristallina	BCC fino alla fusione	Stabilità strutturale ad alta temperatura
Espansione termica	Molto bassa	Elevata stabilità dimensionale
Duttilità	Transizione duttile-fragile; spesso fragile a T ambiente	Lavorabilità migliore a temperature elevate
Elementi di lega	C, Re, Ni, Fe e altri	Carburi, leghe e compositi pesanti

Applicazioni del tungsteno



Applicazioni militari





Superifici dure, che resistano all'usura





Alte temperature: crogioli, rivestimenti

Curiosità: pronuncia di utensile

UTENSÌLE

utensile utensìle (meno com. utènsile) s. m. [uso sostantivato dell'agg. prec.: già in latino esisteva il plur. neutro sostantivato utensilia «cose utili spec. per la vita domestica, utensili» e su esso è fondata l'accentazione piana utensìle]. ...

UTÈNSILE

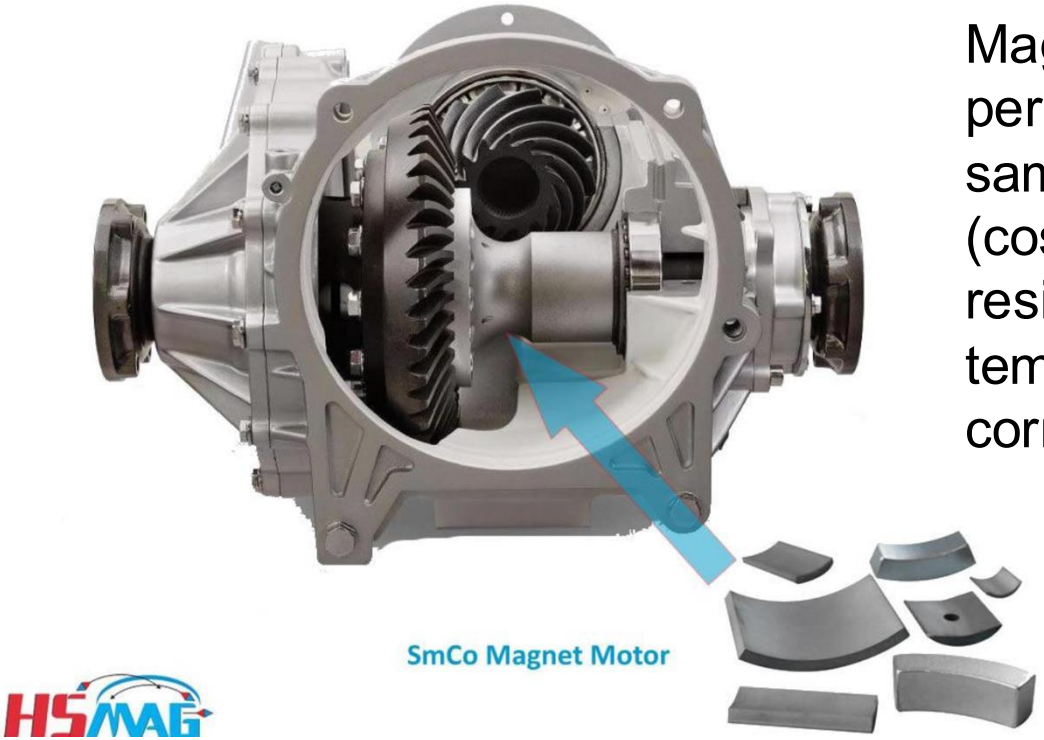
utensile utènsile agg. [dal lat. utensĭlis der. di uti «usare»]. – Propriam., che serve a un uso pratico; soltanto nella locuz. macchine u., macchine operatrici che forniscono a un attrezzo, appositamente realizzato, l'energia necessaria ...

Cobalto



Proprietà	Valore / caratteristica	Perché è importante
Densità	Circa 8,9 g/cm³	Materiale relativamente pesante
Punto di fusione	Circa 1495 °C	Adatto ad applicazioni termiche
Struttura cristallina	HCP a bassa T; FCC ad alta T	Trasformazione intorno a 417 °C
Magnetismo	Ferromagnetico fino a circa 1115 °C	Magneti stabili ad alta temperatura
Usura	Elevata resistenza	Utensili, riporti e protesi
Corrosione	Buona resistenza	Impieghi chimici e biomedicali
Elementi di lega	Cr, W, Mo, Ni, Fe e altri	Superleghe e leghe Co-Cr

Applicazioni del cobalto



Magneti permanenti samario-cobalto (costosi ma resistono ad alte temperature e alla corrosione)

anche protesi, batterie, antiusura a caldo, pigmenti catalisi

- motori e generatori per il settore aeronautico e spaziale;
- motori elettrici funzionanti ad alta temperatura;
- sensori di posizione e velocità;
- attuatori e servomeccanismi;

Un po' di storia

METALLI: facile lavorabilità, ottima resistenza alle sollecitazioni

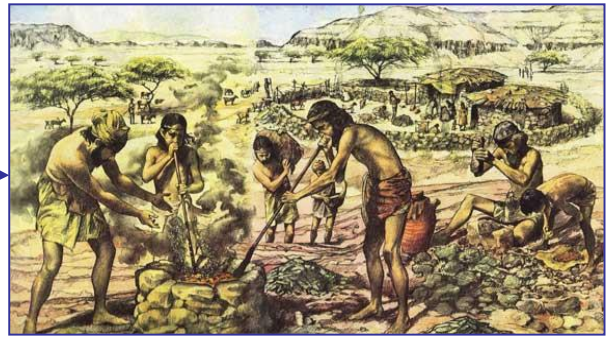
NEOLITICO: circa 7000 anni fa, si iniziò ad utilizzare il **RAME**.

5000-4000 a.C.: età del rame



4000 a.C.: si scoprì il **BRONZO**, una lega di rame e stagno.

Il periodo 3400-600 a.C.: età del bronzo in Europa



1200 a.C.: gli **Ittiti**, popolo della Mesopotamia, produssero per primi il **FERRO**.



Ferro meteoritico: lega nativa Fe/Ni

Un po' di storia

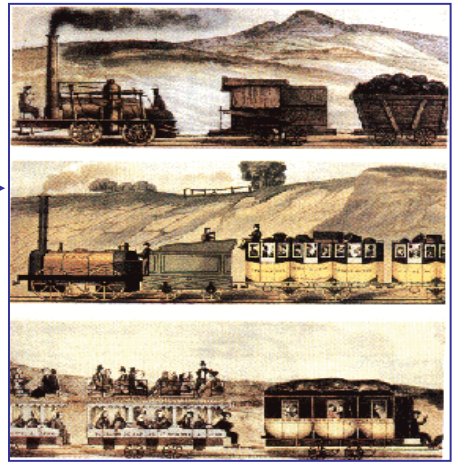
600-500 a.C.: gli **Etruschi** furono i primi a produrre ferro con piccoli **forni a cumulo.**





1500 d.C.: durante il **Rinascimento** si utilizzarono **nuove tecniche di fusione del bronzo** per la fabbricazione di capolavori artistici.

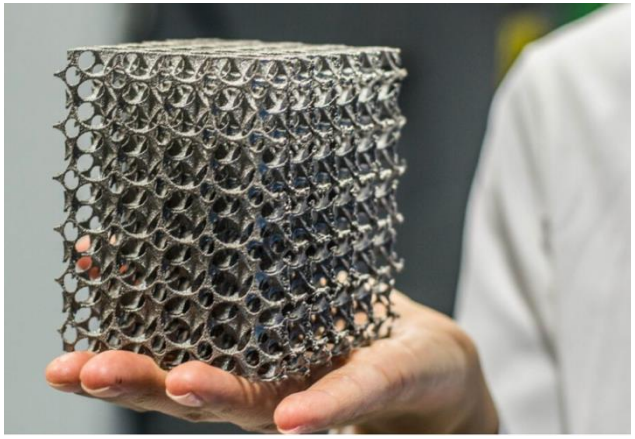
XVIII secolo: la **Rivoluzione industriale**, **l'industria metallurgica** consentì disponibilità di vari materiali metallici.



Storia recente

Anni `60-`70 Metallurgia delle polveri:
Polveri metalliche vengono compresse e sinterizzate





1984-- 3D Printing o Additive Manufacturing
Polveri metalliche vengono fuse tramite laser per creare manufatti con l'ausilio di un modello digitale

Qual è il vantaggio di questi due processi rispetto alla produzione di pezzi industriali comune?