



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

NUMERO : 458

DATA : 18/02/2013

# A P P U N T I

STUDENTE : Nebiolo

MATERIA : Chimica dei Materiali

Prof. Firrao

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.**

I materiali sono le sostanze con cui sono composti o realizzati gli oggetti. Esistono 4 grandi famiglie di materiali:

- **Metallici:** sono costituiti principalmente da elementi metallici, sono relativamente **densi, rigidi e resistenti**; il termine “relativamente” implica che il grado di densità, rigidità, ecc. varia a seconda del materiale metallico. Sono anche **duttili** (si deformano prima di arrivare a rottura. Ergo: sono “facilmente” plasmabili, anche perché hanno un punto di fusione relativamente basso) e **conducono** elettricità e calore. Sono facilmente **corrodibili**;
- **Ceramici** (ossidi, nitruri e carburi; cioè costituiti da elementi metallici e non-metallici): sono relativamente **rigidi e resistenti**, molto **duri e fragili**. **Isolano** elettricità e calore e sono soggetti a **rottura per shock termico** pur avendo un **punto di fusione altissimo**. Alcuni esempi sono il vetro, i mattoni, le piastrelle... ;
- **Polimeri:** sono **poco densi, rigidi e resistenti**; sono molto **duttili e flessibili** e **isolano** bene l'elettricità. Inoltre sono **inerti chimicamente** (molto resistenti all'aggressione chimica). I polimeri possono essere:
  - *Elastomeri* (polimeri con le caratteristiche della gomma naturale)
  - *Materie plastiche*
- **Compositi:** sono l'unione di 2 o più delle 3 famiglie precedenti per combinare le proprietà peculiari di entrambe le famiglie. Alcuni esempi sono il vetroresina, ...

Il ferro è la base per la creazione dell'acciaio. Pur essendo il ferro abbastanza presente nella crosta terrestre (5%), gli elementi utili per la sintesi dell'acciaio (carbonio, molibdeno, tungsteno,...) sono rari, infatti ce n'è meno del 2% nella crosta terrestre.

La scienza dei materiali studia le relazioni che esistono tra le strutture e le proprietà dei materiali (resistenza meccanica/elettrica, ...).

L'ingegneria dei materiali progetta e ingegnerizza la struttura di un materiale e le correlazioni struttura-proprietà, per produrre un insieme di proprietà che siano utili al prodotto finale (che sia lavorabile più facilmente, che funzioni meglio, che consumi meno, bla bla bla).

## LA MATERIA

Da cosa è costituita la materia? Da **atomi**. Gli atomi costituiscono tutto, solidi, liquidi, gas, ... . Originariamente pensati indivisibili, si è poi scoperto che sono scindibili in particelle subatomiche (protoni, neutroni, che formano il nucleo atomico, ed elettroni che ruotano intorno al nucleo).

I protoni e gli elettroni sono carichi elettricamente, + per i protoni e – per gli elettroni, pertanto si attraggono. La misura della carica elettrica è  $1,67 \times 10^{-19}$  C (che sta per Coulomb). I neutroni non hanno carica elettrica.

I protoni e i neutroni hanno massa di  $1,67 \times 10^{-27}$  kg, mentre quella degli elettroni è di  $9,11 \times 10^{-31}$  kg. Per conoscere la massa atomica, mi basta sommare la massa dei protoni a quella dei neutroni (in quanto essendo gli elettroni molto “leggeri” rispetto alla massa di protoni e neutroni, la massa degli elettroni è trascurabile).

Lo “stato fondamentale”<sup>1</sup> di un atomo” contiene lo stesso numero di elettroni e di protoni; pertanto è elettricamente neutro. Mentre è fisso il numero di protoni/elettroni a seconda dell'elemento, lo stesso elemento può avere un diverso numero di neutroni (i cosiddetti **isotopi**, ossia atomi dello stesso elemento chimico che presentano masse atomiche diverse).

Gli elementi caratterizzanti di un atomo sono:

- N° protoni (Numero atomico)  $\rightarrow Z$

---

<sup>1</sup> Nel senso “non sollecitato”, ma lasciato stare per com'è da solo.

L'elettrone non è più localizzato in un punto preciso dello spazio (come in Bohr), bensì come un'entità che si muove su orbitali non fisici, ma che possono essere descritti come nubi di probabilità di trovare l'elettrone in quella zona. Tale nube ha valori massimi in determinate zone intorno al nucleo. I raggi delle orbite di Bohr rappresentano pertanto zone di massima probabilità: è più probabile che l'elettrone si trovi ad una distanza dal nucleo pari al raggio di Bohr che non a qualsiasi altra distanza. Non è possibile in linea di principio verificare sperimentalmente i dettagli del moto dell'elettrone a causa del principio di indeterminazione.

Qui l'elettrone più che essere una particella fisica, ha una natura **ondulatoria**. Invece di orbite vere e proprie (come diceva Bohr) si parla di una nube elettronica che si configura come l'elevata probabilità di trovare l'elettrone in un determinato spazio, data l'imprevedibilità dei suoi movimenti. La probabilità di trovare l'elettrone nel nucleo è bassissima. Per gli altri movimenti si usa il modello della curva di Gauss, dove l'orbitale  $n=k$  (con  $k$  che va da 1 a 7) rappresenta la probabilità maggiore di trovare l'elettrone.

L'elettrone è caratterizzato da 4 parametri:

1. **n** (primo numero quantico o numero quantico principale), il numero del livello energetico principale. Determina la distanza media dal nucleo degli elettroni (cioè l'orbita principale) e la maggior parte della loro energia (rappresenta il picco della Gaussiana sopracitata). Va da 1 a 7. Su ogni  $n$  posso starci al massimo  $2 \times n^2$  elettroni. Tale numero quantico principale mi identifica anche il numero di orbitali ammessi.
2. Il numero quantico secondario o azimutale **l** è relativo al momento angolare e può assumere valori condizionati dal valore di  $n$ :  **$l=0,1,2,\dots,(n-1)$** . Esso esprime i sottolivelli energetici tra  $n=1$  e  $n=2$  e così via; inoltre indica come si muove l'elettrone, cioè la forma degli orbitali; è come se esso compisse dei percorsi orbitali ellissoidali.
  - Per  $l=0$  abbiamo l'orbitale  $s$ , che ha il minor livello di energia richiesto e contiene al massimo 2 elettroni.
  - Per  $l=1$  abbiamo l'orbitale  $p$ , che contiene 6 elettroni.
  - Per  $l=2$  abbiamo l'orbitale  $d$ , che contiene 10 elettroni.
  - Per  $l=3$  abbiamo l'orbitale  $f$ , che contiene 14 elettroni.

Poiché  $n$  indica anche il numero degli orbitali ammessi, per  $n=1$  ho un solo orbitale ammesso ( $s$ ); per  $n=2$  ho 2 orbitali ammessi ( $s, p$ ) e così via. Man mano che  $l$  aumenta, l'energia richiesta dal sottolivello energetico aumenta. In realtà poi, l'orbitale  $s$  per  $n=4$  richiede più energia di quella richiesta dall'orbitale  $d$  per  $n=3$ . (vedi retro fotocopia). La regola è che gli elettroni vanno a riempire per primi gli orbitali a minor richiesta energetica, a prescindere che appartengano a  $n$  diversi.

Si segue la regola di Hundt:

Si riempiono progressivamente i sottolivelli energetici partendo da quelli per cui la somma  $n+l$  è minore. Se  $n+l$  è uguale, si riempie prima quello con  $n$  minore.

Per lo Scandio, c'è prima  $4s$  (perché  $4+0^4=4$ ) poi  $3d$  (perché  $3+2=5$ ). L'elemento successivo riempirà il  $4p$  (che fa sempre somma 5, come il  $3d$ , però  $3<4$ )

Es:  $Ba (56)$ :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 (1+0, 2+0, 2+1, 3+0, 3+1, 4+0, 3+2, 4+1, 5+0, 4+2, 5+1, 6+0)$

3.  **$m_l$**  è il terzo numero quantico (numero quantico magnetico) e assume i valori da  $-l$  a  $+l$ .

<sup>4</sup>  $s = 0, p = 1, d = 2, f = 3$

- **Composto interstiziale:** atomi piccoli si vanno a mettere nelle lacune ottaedriche di un altro atomo, con un rapporto di masse definito e costante
- **Composto intermetallico:** atomi di metalli di dimensioni simili si vanno a mettere nelle posizioni reticolari dell'altro atomo, con un rapporto di masse definito e costante.

### I composti.

---

Il n° di ossidazione è il **valore della carica elettrica** che l'elemento può assumere quando raggiunge la configurazione stabile dell'ottetto (quella dei gas nobili, che hanno n° di ossidazione 0). Gli elementi del gruppo VII hanno 7 elettroni esterni (questo implica che il gruppo k ha k elettroni esterni) e devono acquisirne 1 per raggiungere l'ottetto (es. il Fluoro ha numero di ossidazione -1, perché quando sarà stabile avrà un elettrone in più del normale). Un elemento può avere più numeri di ossidazione; in questo caso, diverse sono per esso le possibilità di raggiungere la stabilità.

Una volta acquisiti o ceduti elettroni, gli atomi diventano **ioni**, cioè elementi, o gruppi di elementi (come lo ione ossidrile (OH)<sup>-</sup>) caricati elettricamente. In questo caso sarà uno ione negativo, perché acquisendo un elettrone, ci saranno più elettroni che protoni. Gli elementi del gruppo IA, che invece hanno un elettrone sul guscio esterno, sono incentivati a cederlo per raggiungere l'ottetto, formando uno ione positivo. Come conseguenza, i 2 elementi sopraccitati (cioè, ad esempio quelli del gruppo VIIA e quelli del gruppo IA) formano volentieri un legame, detto **IONICO**, dove c'è il passaggio di un elettrone dall'atomo che lo deve cedere (per raggiungere l'ottetto) a quello che lo deve acquistare. Nei legami ionici abbiamo cessioni/acquisizioni stabili di elettroni. Gli scambi avvengono in distanze infinitesime dell'ordine dell'Angström (Å), che è pari a 10<sup>-10</sup> m.

Questo legame crea un composto.

I composti sono aggregati di elementi in cui **il rapporto tra gli atomi** degli elementi che li compongono è **ben definito e costante**. Stesso composto, stesso rapporto. Possono essere binari (cioè da 2 elementi) o ternari (cioè da 3 elementi).

### Come si scrive la formula di un composto?

---

Tranne nel caso dell'NH<sub>3</sub> (ammoniaca), la formula si scrive mettendo prima l'elemento che diventerà uno ione positivo e poi quello che diventerà negativo (es NaCl, che tra l'altro si chiama cloruro di sodio). La formula indica il rapporto tra gli atomi dei vari elementi di un composto in equilibrio. Bisogna, quindi, verificare che la somma delle cariche elettriche del composto sia 0. (es. Na → +1 e Cl → -1 creano un composto in equilibrio). La formula ci dice anche che, ad esempio nel caso dell'NaCl, che 1 grammoatomo di Na + 1 grammoatomo di Cl danno 1 grammoatomo di NaCl.

### Come si chiamano i composti?

---

Esistono 2 metodi: la nomenclatura **razionale** e **tradizionale**.

La razionale dà nomi diversi a seconda che i composti siano:

- **Binari.** In questo caso, si parte dal nome dell'elemento con carica negativa (a cui si sostituisce la desinenza con il suffisso -uro), poi quello dell'elemento con carica positiva. Es: Al<sub>2</sub>S<sub>3</sub> → *solfo di alluminio*. Se il composto contiene l'ossigeno, si chiama ossido di...sticazzi. L'azoto, che è un po' merda, ha più di un n° di ossidazione, pertanto reagisce (ad esempio con l'ossigeno) in 5 modi:

$$\frac{[C][D]}{[A][B]} = costante$$

Se aumento A e B, contemporaneamente aumenteranno C e D. Ciò è dovuto al fatto che essendo un equilibrio dinamico, la reazione è naturalmente incline a scatenarsi per ristabilire la proporzionalità.

In realtà, però, la legge di azione delle masse (che considera i coefficienti stechiometrici, ossia i numeri davanti agli elementi che indicano le quantità di atomi) enuncia che

A parità di pressione e temperatura, una volta stabilito l'equilibrio, resta costante il rapporto tra il prodotto delle concentrazioni dei prodotti e il prodotto delle concentrazioni dei reagenti, e tali concentrazioni sono elevati a una potenza uguale ai singoli coefficienti stechiometrici.

$$\frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} = costante$$

(a, b, c, d sono i coefficienti stechiometrici rispettivamente di A, B, C e D)

Gli equilibri chimici possono essere:

- **omogenei:** la reazione avviene tra specie che si trovano tutte nello stesso stato fisico (tutte solide, liquide o gassose); tale reazione dà origine a un prodotto allo stesso stato fisico dei reagenti.
- **eterogenei:** la reazione avviene tra specie di cui almeno una è di stato fisico diverso dagli altri.

#### EQUILIBRIO CHIMICO OMOGENEO E IN PARTICOLARE NEI LIQUIDI

Anche in una soluzione acquosa (distillata) di un dato volume, mantenendo costanti pressione e temperatura, capita che alcune molecole d'acqua subiscano una reazione reversibile in cui il composto  $H_2O$  si dissocia in  $OH^-$  e  $H^+$  e viceversa (perché essendoci solo gruppi OH e atomi di idrogeno, loro 2 sono gli unici due che possono unirsi in quanto attratti dalle opposte cariche elettriche). Vale pertanto la legge di azione delle masse:

$$\frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]} = costante$$

Da qui:

$$costante [H_2O] = [H^+][OH^-]$$

Dove

$$costante [H_2O] = K_W$$

$K_W$  si chiama *prodotto di solubilità dell'acqua* e vale  $10^{-14} \text{ mol}^2/\text{l}^2$  (a pressione di 1 atm e temperatura di circa 25 C°). Alla stessa temperatura e pressione, la soluzione è neutra in quanto le concentrazioni di  $[H^+]$  e di  $[OH^-]$  sono uguali e valgono  $10^{-7} \text{ mol/l}$ .

S'introduce una misura del contenuto di  $H^+$ , che è il pH, che vale:

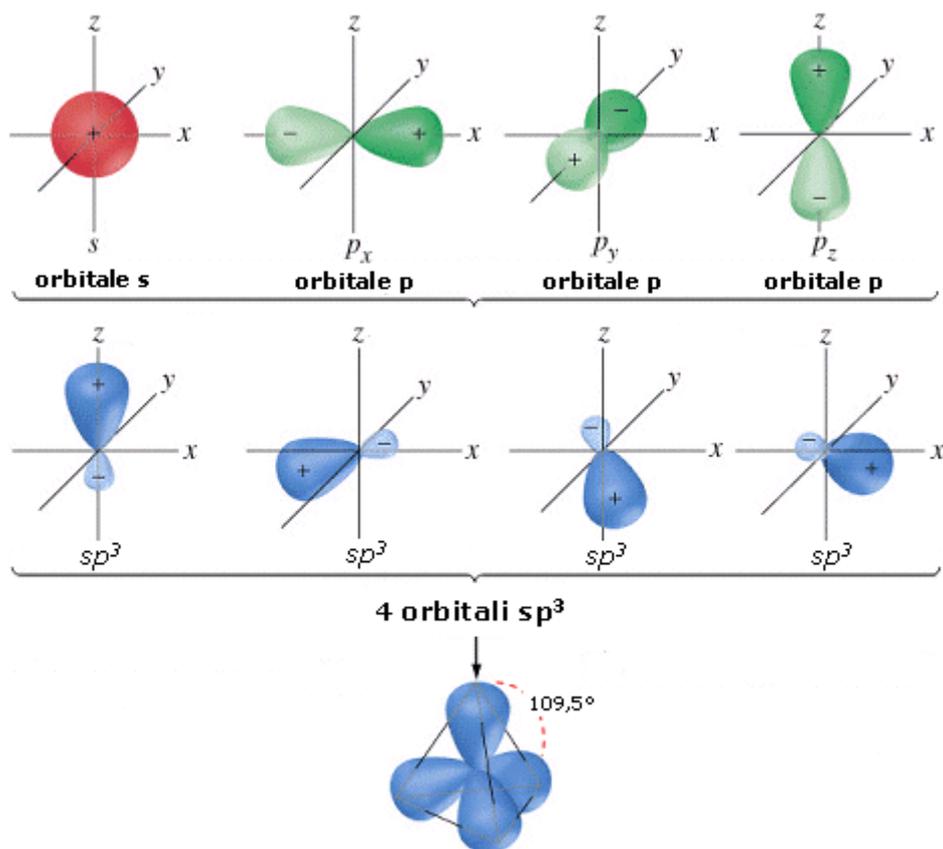
$$pH = \frac{1}{\log_{10}[H^+]} = -\log_{10}[H^+]$$

Il pH di una soluzione neutra a 1 atm e circa 25 C° vale:

$$pH = -\log_{10} 10^{-7} = +7$$

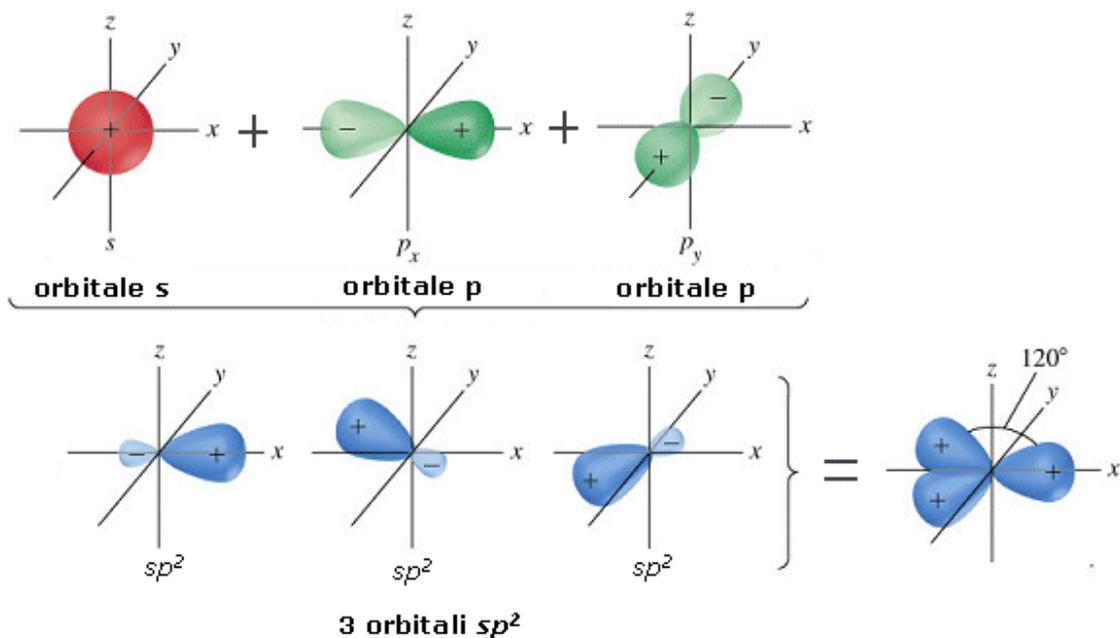
Se aggiungo specie acide (tipo HCl), esse si dissociano liberando ioni  $H^+$ . Pertanto, poiché il prodotto tra OH e H è costante, la soluzione diventerà acida e il pH diventa sempre minore di 7 e viceversa.

- Se  $0 < pH < 7$ , la soluzione è **acida**.
- Se  $7 < pH < 14$ , la soluzione è **basica** ed è ricca in  $[OH^-]$ .



Questa ibridazione non è l'unica possibile. Ci sono anche:

- $sp_2$ .** S'ibrida 2s e,  $2p_x$  e  $2p_y$ , formando tre orbitali sp e lasciando  $2p_z$ . I 3 sp sono isoenergetici. Gli sp sono comunque disposti attorno al nucleo e formano tra loro angoli di  $120^\circ$ . L'orbitale  $2p_z$  che avanza è sempre a forma di clessidra, disposto perpendicolarmente rispetto al piano degli orbitali sp e più lontano dal nucleo. Il riempimento elettronico non cambia. Prima  $sp_1$ ,  $sp_2$ ,  $sp_3$  e  $2p_z$ . Da qui, mantenendo la struttura, due atomi di C condividono un orbitale sp a testa; in più si condividono anche gli elettroni sugli orbitali p, formando un anello → **legame doppio**. Gli orbitali rimanenti sono a disposizione di altri elementi.



La posizione del legame e/ o dell'elemento fa variare le proprietà del composto.

### NOMENCLATURA DEI COMPOSTI ORGANICI

Noi ci occupiamo solo di composti che contengono principalmente C e H, cioè gli **idrocarburi** (derivanti da petrolio o gas naturale). Sono in gran parte dei combustibili. Sono molto semplici e comuni e si dividono in composti:

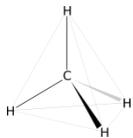
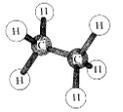
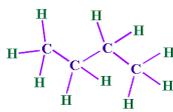
- a **catena lineare**, tutti i C sono disposti su un'unica linea;
- a **catena ramificata**, ci sono dei rami laterali a cui sono collegati atomi di C. A seconda della lunghezza e del numero dei rami, cambiano le proprietà;
- a **catena ciclica**, dove i rami laterali non sono lineari, ma ad anello.

I composti possono anche essere:

- **saturi**, con solo legami semplici;
- **insaturi**, con almeno un legame doppio o triplo.

### Alcani

Gli alcani sono composti di C e H a catena lineare o ramificata (ma non ciclica), e sono composti saturi. Per la loro nomenclatura, si distinguono i primi 4 composti a cui è stato dato un nome "commerciale":

- metano (CH<sub>4</sub>) 
- etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) 
- propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) 
- butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) 

Per gli altri, si segue una certa logica. Il corpo principale del nome si compone andando a contare il n° di atomi di C presenti e si mette tale numero sotto forma di prefisso greco + il suffisso "-ano". Quindi, dal 5° in poi avremo:

- pentano (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>)
- esano (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>)
- ...

Quando il numero di C è molto elevato, non conviene usare questa nomenclatura, ma si parlerà di macromolecole.

## Idrocarburi ciclici

Sono cicloalcani, cicloalcheni e cicloalchini (che non vediamo).

I **cicloalcani** sono sempre saturi a catena ciclica. I **cicloalcheni** sono sempre insaturi a catena ciclica.

Il primo cicloalcano possibile è il ciclopropano (perché servono almeno 3 C per fare un anello). Anche i cicloalcani, possono formare alchili, o meglio, **cicloalchili** (es: ciclopropile) che si possono legare ad altre catene di C. Il fatto che ci sia un propile o un ciclopropile, pur avendo lo stesso numero di C, conferisce alla catena proprietà diverse. Ad esempio il ciclopropile occupa più spazio del propile, ergo: è più difficile formare legami secondari, ad esempio, per il C che si trova tra due C con i ciclopropili attaccati. Inoltre, i ciclopropili sono più rigidi nella forma dei propili.

Per gli alcheni, anche se è ciclico, si numerano lo stesso i C per la nomenclatura. → 1-cicloesene. Ovviamente vale lo stesso discorso di prima sui dieni, trieni, ...

L'1,3,5-cicloesatriene si chiama **benzene**. La composizione del benzene a esagono si chiama "anello

aromatico".  questo disegno di struttura del benzene è UNICA per lui!!!

Se al benzene si lega un gruppo CH<sub>3</sub>, otteniamo un metil-cicloesatriene, detto anche metil-benzene o *toluene*. Se invece si lega un etenile, ottengo un etenil-benzene, o *stirene*.

Due benzeni uniti sono il *naftalene*.

## MACROMOLECOLE

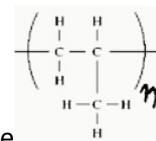
Sono le basi per comporre i materiali polimerici (unione di monomeri). Per ottenere polimeri da macromolecole si procede per polimerizzazione. Sono 3 processi: **poliaddizione**, **policondensazione** e **reticolazione**.

### Poliaddizione.

Parte da tante piccole molecole e le addiziona a costruire tanti mattoncini che si ripetono nello spazio e si uniscono tra di loro, formando macromolecole.

Se ho tante molecole di etilene, posso spezzare un doppio legame, ottenendo un legame semplice. Facendo questo lavoro in tante molecole vicine tra di loro, esse si uniscono tra di loro attraverso legami semplici tra i C. La molecola che si crea ha una testa e una coda, entrambi con 3 H legati. Tra la testa e la coda ci sono n C, rendendo trascurabili "l'effetto" della testa e della coda. Per cui, nella formula di

struttura si indica solo  $\left( \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ | \quad | \\ \text{---C---C---} \\ | \quad | \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right)_n$  (però con le quadre). Tale mattoncino (etilene) è un monomero che, ripetuto, forma un polimero (il polietilene, in questo caso). Tutto ciò indica che è un polietilene formato da n gruppi come in figura (n è il **grado di polimerizzazione**). Più n è grande, più la molecola pesa, più è grossa, diverse sono le proprietà meccaniche.



Tutta sta manfrina vale anche, ad esempio, per il propilene, che forma il polipropilene .

Come avviene il processo di poliaddizione? Esso passa per tre stadi: iniziazione, propagazione e terminazione. Per far sì che avvengano c'è bisogno di determinate condizioni di temperatura e pressione.

- **Termoplastici** (a struttura *amorfa*), facili da spezzare e deformare perché i filamenti di atomi sono uniti da legami secondari (forze di Van der Waals). Scaldando si deformano plasticamente. Questo perché il calore aumenta l'agitazione degli atomi, causando l'allontanamento dei filamenti. Più i filamenti sono distanti, più le forze di Van Der Waals sono deboli, e perciò il materiale è più deformabile. Il materiale termoplastico è altamente riutilizzabile (ovviamente c'è un limite di temperatura, oltre al quale il polimero brucia e si degrada);
- **Termoindurenti** (a struttura *reticolare*), molto rigidi, difficili da deformare e separare. Scaldando si induriscono. Non tutti gli atomi delle strutture principali sono legati da legami covalenti già durante la reticolazione, ma sono presenti legami secondari che il calore spezza, rendendo disponibili legami tra i filamenti che si uniscono facilmente tra loro. Pertanto diventano via via più rigidi, perché si sono creati più ponti. I materiali termoindurenti non sono riutilizzabili perché scaldando non si rammolliscono (anche qui, c'è una temperatura limite, oltre al quale essi bruciano). Questi sono resine fossidiche, fenodiche, colle bicomponenti, vetroresina.

# Materiali termoplastici

## Struttura

È classicamente a groviglio o amorfa. Quella lineare o cristallina è possibile o in alcune zone del materiale (**zone di cristallinità**, meccanicamente più resistenti), o per "srotolamento" sotto sforzo meccanico. In assenza di pigmentazioni, tali zone si distinguono per il loro grado di trasparenza: le zone amorfe sono trasparenti, quelle cristalline sono più opache.

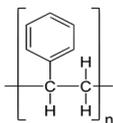
I materiali termoplastici maggiormente degni di nota sono:

- **Polietilene (PE).**  $\left( \begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ | & | \\ \text{---C} & \text{---C---} \\ | & | \\ \text{H} & \text{H} \end{array} \right)_n$

È il materiale più economico e quello più diffuso (bottiglie, recipiente, tubi rigidi, pellicole, sacchetti della spesa). È **isolante**, **insapore** e **inodore** (molto diffuso nell'imballaggio alimentare) ed è **poco permeabile** ad acqua e vapor acqueo. Punto di fusione 110°-137° C, oltre al quale il polietilene brucia. Il fatto che sia un intervallo e non una temperatura precisa, dipende dal numero di gruppi funzionale. A temperatura ambiente **resiste bene agli attacchi chimici**, sia acidi che basici. Esistono diverse forme commerciali di polietilene:

- **LDPE** (Low Density PE). Localmente presenta delle ramificazioni molto lunghe (cioè catene non unite perfettamente alle altre). Questo è un difetto perché se le macromolecole non riescono a unirsi perfettamente, a parità di volume si hanno meno filamenti, e ciò porta a bassa densità (0.92-0.93 g/cm<sup>3</sup>) e bassa probabilità di avere zone di cristallinità (65%). Ha una resistenza a trazione tra 6 e 17 MPa, l'allungamento a rottura è 550%-600%.
- **HDPE** (High Density PE). Localmente presenta delle ramificazioni corte. Ciò permette di avvicinare le varie macromolecole le une alle altre, aumentando la densità (0.95-0.96 g/cm<sup>3</sup>) e la possibilità di avere zone di cristallinità (95%). La resistenza a trazione è 20-37 MPa, l'allungamento a rottura è 20%-120%.

Il punto di fusione è 327° (è il polimero base con la temperatura più alta). Si usa nelle padelle anti-aderenti (perché è oleoso e perché le gocce di roba sul teflon non si spargono, ma rimangono sferiche), guarnizioni (perché **idrorepellente**), recipienti per materiali chimici aggressivi (come e meglio del PVC). Ha **buone proprietà meccaniche** (in temperature tra -200° e 260°), è **resistente agli urti**. Tuttavia ha **bassa resistenza a trazione e a usura**.



- **Polistirene (PS)**

Un atomo di idrogeno è sostituito da un **anello benzenico**. L'anello benzenico è una struttura molto rigida e occupa molto spazio. Pertanto, nel PS aumentano la **rigidezza** e la **resistenza meccanica**, si **deforma poco** ed è **facilmente lavorabile**, ma tende ad essere **fragile**.

Il punto di fusione è 150° - 240°. Non c'è resistenza alla corrosione (perché manca F o Cl). La principale proprietà del PS è la **trasparenza** (usati per il simil-vetro, ma non di esterni) ed è facilmente **stampabile**. È poco resistente agli agenti atmosferici e può essere attaccato chimicamente da solventi organici e oli.

Con l'aggiunta di fibre di vetro e altri polimeri, si fanno i paraurti.

- **Polietilentereftalato (PET)** (la molecola è difficile e NON richiesta all'esame). Si fanno bottiglie e non ha resistenza in temperatura oltre 75°. Pertanto può essere utilizzato solo a temperatura ambiente e per contenere roba poco aggressiva. Il punto di fusione è 327°. È altamente riciclabile.
- **ABS**. È un materiale termoplastico complesso, le cui catene sono costituite da un mix di 3 unità di base diverse. È un acronimo dove ogni lettera sta per un'unità: A (**poliacrilonitrile**), B (**polibutadiene** o gomma artificiale), S (**polistirene**). I mattoncini si possono legare in maniera regolare o casuale, tipo -A-A-B-B-S-A-B-...-. Ogni unità ha delle caratteristiche:
  - A: resistenza meccanica e termica
  - B: resistenza agli urti, lavorabilità
  - C: trasparenza, stampabilità

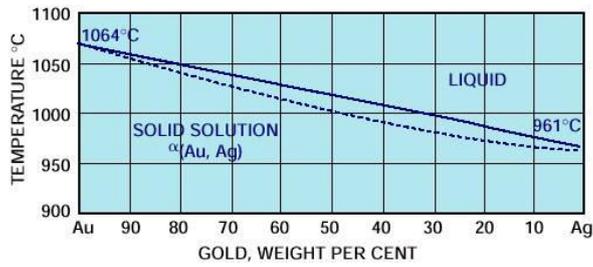
Vengono combinati insieme per ottenere le migliori caratteristiche dai singoli polimeri. Si può giocare sulla frazione relativa di A, B, S. Cioè se voglio un ABS molto rigido e resistente ma anche un po' più lavorabile aggiungo più A che B, e così via. Quasi tutte le parti interne delle auto sono in ABS (di varia combinazione).

### Proprietà meccaniche

Prendiamo la curva di trazione di un polimero a caso (senza resistenze particolari). Superata la linearità, anche con minimi o assenti incrementi di forza (trazione costante), il polimero si deforma.

Nel tratto lineare, il materiale è elastico. Cercando di allontanare gli estremi, il materiale si allunga ma torna normale al rilascio.

All'aumentare della temperatura, i materiali termoplastici passano da un comportamento elastico ad uno elastico+plastico.



Tra l'altro, Au e Ag hanno proprietà molto simili perché fanno parte dello stesso gruppo. Cristallizzano entrambi a CFC. Hanno una solubilità completa tra loro sia allo stato liquido (0 emulsioni) che a quello solido. Tutti i materiali che sono simili e che hanno la solubilità solida e liquida completa tra loro hanno lo stesso diagramma di stato.

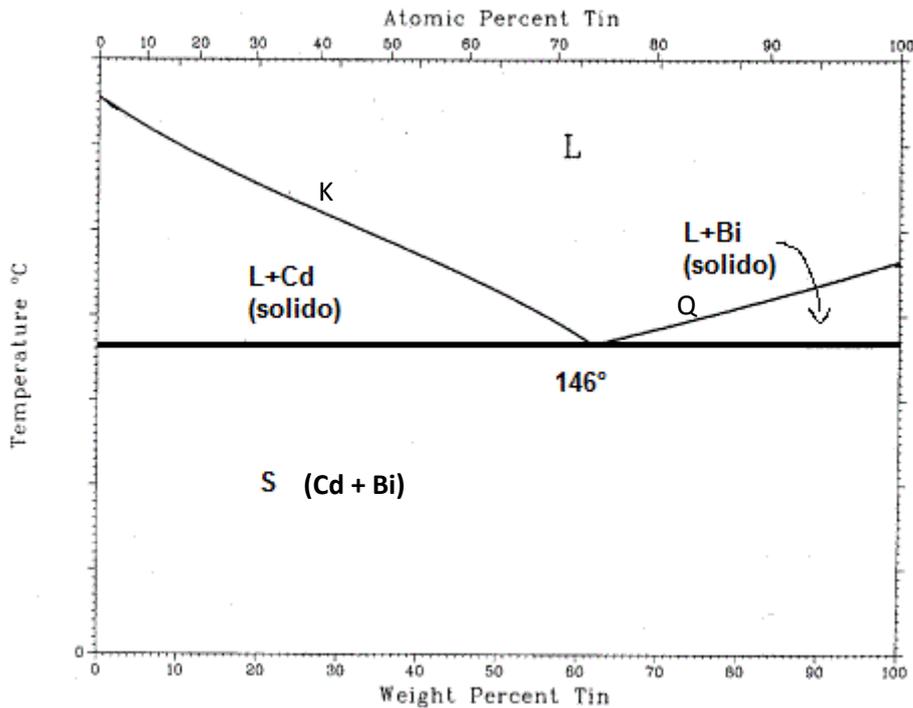
I diagrammi di stato sono costruiti in **ipotesi che ci sia sempre equilibrio.**

Ogni lega sarà più ricca dell'elemento che fonde a temperatura più alta, allo stato solido. Mentre nello stato liquido è il contrario. (vedi appunti Luca).

Bi e Cd non si sciolgono allo stato solido. Il Bi non riesce ad accogliere nel proprio reticolo un atomo di Cd e viceversa. Si sciolgono l'uno nell'altro allo stato liquido.

Se, come in questo caso, c'è immiscibilità completa dei componenti allo stato solido, ma solubilità completa allo stato liquido, siamo in presenza di un **sistema binario eutettico.**

**Cd - Bi**



A 146° gradi abbiamo sia Bi-Cd allo stato liquido che uno allo stato liquido e l'altro allo stato solido e si separano sia cristalli di Bi allo stato solido che di Cd allo stato solido. Tale temperatura si chiama eutettica ("che fonde bene"). Una lega eutettica dopo la solidificazione ha le caratteristiche meccaniche più elevate. Il punto Q è ipoeutettico, quello K è ipereutettico. Nella posizione Q, il Bi aumenta la concentrazione dei propri cristalli, arrivando a raggiungere la temperatura eutettica. Idem per il punto K. (??? → mi sa che ho fatto puttante col grafico...)

L'austenite può essere ottenuta a temperatura ambiente grazie alla presenza di determinati elementi stabilizzanti: gli elementi austenitizzanti (Ni, Mn, Co, Cu, ma soprattutto C e N) che cristallizzano a CFC e pertanto riescono a formare con il ferro  $\gamma$  soluzioni solide per intrusione. Essi ampliano il campo di stabilità della fase  $\gamma$ . In contrapposizione, gli elementi alfogeni (Cr, W, Mo, V) che cristallizzano a CCC (come la ferrite  $\alpha$ ) ne diminuiscono il campo di stabilità.

Le lacune ottaedriche del CCC sono più piccole di quelle del CFC. Pertanto:

- La % massima di C in soluzione nella ferrite-  $\alpha$  è del 0,027%;
- Nella ferrite- $\delta$  la solubilità di C è dello 0,16% (1495°);
- Nell'austenite è di 0,76%, a 727° (questa, però, non è la massima solubilità del C nel ferro  $\gamma$ , che invece è del 2,11% alla temperatura di 1148°).

## Diagramma Fe – Fe<sub>3</sub>C

Il diagramma ferro-carbonio serve a descrivere le caratteristiche dei prodotti siderurgici.

Abbiamo 2 tipi di diagrammi. Il primo è il ferro-carbonio (diagramma **stabile**) dove a destra c'è il Fe e a sinistra il C grafite e l'altro, quello ferro-cementite (o diagramma **metastabile**). **Il diagramma ferro-cementite si chiama metastabile perché la cementite che si forma per raffreddamento non è una fase d'equilibrio.** La percentuale di carbonio nella Fe<sub>3</sub>C è 6,67 % ( $\frac{12}{55*3} * 100 \rightarrow$  il rapporto percentuale tra le masse di C e Fe) ed è fissa perché è un composto e nei composti le percentuali dei materiali che li compongono sono costanti.

### Firrao dixit:

Se per raffreddamento si forma austenite, questa x ulteriore raffreddamento segue sempre il diagramma di stato metastabile. Non ci saranno, pertanto, acciai composti da grafite. Oltre il 2,11% si può avere raffreddamento sia secondo lo stabile che per il metastabile.

Si segue quello metastabile quanto più bassa è la % di C e quanto più è alta la velocità di raffreddamento. Si segue invece quello stabile quanto più è alta la % di C e quanto più è bassa la velocità di raffreddamento.

In altre parole, ho una lega col 4% di C, essa seguirà preferibilmente il diagramma di stato stabile che mi dà ferro-grafite (ghise nere). Al 3,3% interviene il discorso sulla velocità di raffreddamento. Se il getto lo faccio colare in uno stampo metallico, la velocità di raffreddamento è elevata (anche se costa tanto fabbricare stampi complessi in metallo) e seguirà il metastabile, formando ghise bianche; se lo faccio colare in una forma di sabbia (più economico), la velocità è minore e seguirà lo stabile formando ghise grigie.

Il diagramma è composto da 5 campi monofasici:  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , liquido (L) e cementite (Fe<sub>3</sub>C) e 7 campi di miscibilità bifasica.

**TRASFORMAZIONE EUTETTOIDICA ( $\gamma \rightarrow \alpha +$  CEMENTITE A 727°, CIOÈ SOLIDO  $\rightarrow$  SOLIDO + SOLIDO)**

### Firrao dixit:

### TRASFORMAZIONE PERITETTICA ( $L+\delta \rightarrow \gamma$ A 1495°, CIOÈ LIQUIDO + SOLIDO $\rightarrow$ SOLIDO)

A 1495°,  $\gamma$  ha lo 0,15% di C, ma L e  $\delta$ ? Li guardo rispettivamente sulla linea di destra e sinistra rispetto a 0,15, cioè 0,51% e 0,09%.

Per  $C < 0,15\%$  (partendo ad esempio da 1540°), nel mare di liquido, raffreddando man mano ed entrando nel campo  $\delta + \gamma$ , iniziano a formarsi grani di ferrite- $\delta$  properitettica. Essi diventano sempre di più e sempre più grandi finché arriviamo alla temperatura peritettica. Sotto la peritettica, la percentuale di ferrite- $\delta$  properitettica rimane invariata, ma il liquido rimanente si trasforma in ferrite- $\delta$  peritettica e  $\gamma$ . Pertanto, alla fine della trasformazione avremo ferrite- $\delta$  properitettica + ferrite- $\delta$  peritettica +  $\gamma$ .

Per  $0,15\% < C < 0,51\%$  (partendo ad esempio da 1540°), nel mare di liquido, raffreddando man mano, iniziano a formarsi grani di ferrite- $\delta$  properitettica. Essi diventano sempre di più e sempre più grandi finché arriviamo alla temperatura peritettica. Sotto la peritettica, la percentuale di liquido rimane invariata, ma la ferrite- $\delta$  properitettica si trasforma in  $\gamma$ . Pertanto, alla fine della trasformazione avremo liquido +  $\gamma$ . (NON SONO ASSOLUTAMENTE SICURO DI QUESTO PARAGRAFO, MA A LOGICA DOVREBBE ESSERLO)  $\rightarrow$  dovrebbe essere questa, ma con procedimento contrario (cioè partendo da qua e scaldando sopra la temperatura peritettica) la  **fusione incongruente** <sup>12</sup> che ha accennato Donato.

### TRASFORMAZIONE EUTETTICA ( $L \rightarrow \gamma +$ CEMENTITE A 1148°, OSSIA LIQUIDO $\rightarrow$ SOLIDO + SOLIDO)

Questa trasformazione non si incontra negli acciai al carbonio, in quanto il loro contenuto di C è troppo basso.

A 1148°, il liquido è al 4,3% di C,  $\gamma$  al 2,11% e la cementite al 6,67% di C. al di sotto di tale temperatura (temperatura eutettica) non troviamo più fasi liquide.

Se  $C < 4,3\%$  (partendo, ad esempio, da 1200°), nel mare di liquido, raffreddando ed entrando nel campo "liquido +  $\gamma$ ", iniziano a formarsi grani di  $\gamma$  proeutettico (cioè formatosi prima della temperatura eutettica). Una volta raggiunta la temperatura eutettica, i grani di  $\gamma$  proeutettica rimangono quanti sono e dove sono, mentre il liquido rimanente si trasforma in  $\gamma +$  cementite.

Se  $C > 4,3\%$  (partendo, ad esempio, da 1200°), nel mare di liquido, raffreddando ed entrando nel campo "liquido + cementite", iniziano a formarsi grani di cementite proeutettica (cioè formatasi prima della temperatura eutettica). Una volta raggiunta la temperatura eutettica, la cementite proeutettica rimane dov'è e nelle stesse quantità di prima, mentre il liquido rimanente si trasforma in  $\gamma +$  cementite.

### PERCENTUALI RELATIVE DI COSTITUENTI STRUTTURALI IN CAMPI BIFASICI

Per  $C < 0,78\%$ ... Sopra la temperatura eutettoidica vale il principio della leva (Appendice III). Ma al di sotto? Prendo come riferimento ad esempio la linea di  $\alpha$  e quella della perlite pura (C al 0,78%). Tra il punto preso e la linea della perlite pura ho la % di  $\alpha$  e tra il punto e la linea di  $\alpha$ , abbiamo la % di perlite. C'è da dire che essendo la linea di  $\alpha$  (al di sotto dell'eutettoide) è praticamente verticale, ergo le % di  $\alpha$  e perlite non è che cambino chissà che.

Per  $C > 0,78\%$ ... vale lo stesso solo che sotto l'eutettoide trovo la % di perlite (a destra del punto considerato) e la % di cementite (a sinistra).

---

<sup>12</sup> Le dispense dicono che una fusione è **congruente** se un solido, fondendo, genera un liquido della sua medesima composizione.

- la **velocità relativa** di raffreddamento tra fluido e acciaio da temperare.
- la **densità** del fluido (tipo acqua vs aria).
- la **temperatura di ebollizione** (per evitare di creare vapore, la temperatura di ebollizione dev'essere più alta).
- il **coefficiente viscosità**. Esso dev'essere basso, in modo tale da permettere l'esistenza di *moti convettivi* che aiutano a dissipare più rapidamente il calore dal pezzo.

Differenti metodi di raffreddamento (in ordine decrescente di drasticità <sup>17</sup>):

- Salamoia ghiacciata. Con essa andiamo a temperature più basse dell'acqua. È il mezzo più drastico;
- Acqua;
- Olio industriale;
- Aria.

Per acciai con contenuto di C inferiore allo 0.4% si può usare l'acqua. Se è maggiore uguale a 0.4% bisogna usare l'olio. L'aria si usa per acciai particolari, piuttosto legati.

Immaginiamo di avere un assale di un camion in acciaio. Chiaramente la parte centrale è quella sottoposta al maggior momento flettente. E poiché il diagramma delle tensioni rivela che nella sezione centrale ci siano tensioni positive in basso (dove le fibre si allungano) e negative in alto (dove si accorciano), ma in centro, le tensioni tendono ad annullarsi, avrò bisogno che l'assale sia duro all'esterno.

Per raffreddamenti lenti come quelli al centro di una barra, le curve TTT di un acciaio eutettoidico portano alla formazione di perlite grossolana. Siccome non voglio una durezza così bassa, invece di usare un acciaio al solo C, uso un acciaio legato perché questo mi fa spostare le curve TTT verso tempi più alti (cioè verso destra). I materiali leganti sono:

- Alfogeni: innalzano  $A_1$  e  $A_3$ , riducono il campo  $\gamma$ , e (al contrario di quanto uno pensi) abbassano la temperatura dell'  $M_s$  e  $M_f$ ;
- Austenitizzanti: abbassano  $A_1$ ,  $A_3$ ,  $M_s$ ,  $M_f$ , allargano il campo  $\gamma$ , e spostano le curve TTT verso destra.

Se ne metto tanti, le curve sono così a destra che gli acciai si temprano all'aria (acciai autotemperanti).

In conseguenza della tempra abbiamo la trasformazione martensitica, con formazione di martensite (metastabile) che aumenta la durezza e la resistenza a trazione. La durezza è tanto maggiore quanto più è alta la % di C. Poiché però, più è duro e più è fragile, la tempra rischia di creare acciai poco utilizzabili. Per questo di solito dopo la tempra si procede al rinvenimento.

Si definisce **rinvenimento** degli acciai un trattamento termico svolto subito dopo tempra mediante riscaldamento ad una temperatura inferiore ad  $A_1$  (che è, ricordiamo, la temperatura eutettoidica). A seconda della temperatura di rinvenimento, le caratteristiche di un acciaio già temprato variano sensibilmente. Sotto  $A_1$  abbiamo  $\alpha$  più  $Fe_3C$ . Più riscaldiamo e più ci avviciniamo a cristalli di grafite  $\alpha$  con dentro dei piccoli piccoli sferoidi di  $Fe_3C$  (per riscaldamento, non si può avere la classica configurazione perlitica a lamelle alternate).

Per aumentare la duttilità, conviene scaldare in un intorno di  $200^\circ$  (vedi diagramma sul foglio), così passiamo dall'allungamento a rottura aumenta dal 4% all'8%. Oppure anche dopo i  $450^\circ$  va benissimo perché arrivo fino al 13% di allungamento a rottura; tuttavia, qui, la resistenza a trazione che scende al valore asintotico di 1000 MPa. Tutto questo, ovviamente costa.

---

<sup>17</sup> Se questi fluidi sono messi in agitazione, la drasticità cambia.

## Trattamenti di indurimento superficiale

---

I trattamenti termici superficiali (tra cui la cementazione) vengono fatti x 2 finalità:

- Aumento della durezza superficiale per consentire una buona resistenza all'usura. L'usura è un fenomeno di consumo delle superfici se c'è un movimento relativo tra 2 superfici. L'usura la evitiamo con più durezza e con l'uso di lubrificanti;
- Aumento della resistenza a fatica.

### 1) CEMENTAZIONE CARBURANTE

È un trattamento di indurimento superficiale che consiste nell'aumento della durezza superficiale tramite cessione di carbonio (partendo da un'atmosfera ricca di ossido di CO che, in presenza di Fe, reagisce  $2CO = CO_2 + C$ . Il C disperso carbura la superficie, cementandola).

Il ciclo che il pezzo in acciaio segue è:

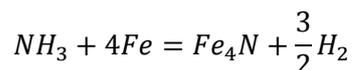
- Pre-riscaldamento a 600°;
- Stazionamento a 50° sopra A3 (circa 930°) per un tempo piuttosto lungo (perché la profondità di diffusione è proporzionale alla radice del tempo. Es, per 1 mm di diffusione devo tenerlo 4 h, per 2 mm 16 h, ...);
- Tempra in olio;
- Rinvenimento (distensione) di 2,5 h a 180°-200°.

Se l'atmosfera è ottimale, io ho in superficie già lo 0,8% di C (cosa a cui stiamo mirando). La durezza che avremo è 64 HRC. Man mano che ci addentriamo nel pezzo, si nota che la durezza decresce. I costi sono circa 1 €/kg.

Per evitare l'aumento di dimensioni dei cristalli in superficie (vedi nota 17, visto che allo 0,8%, 930° è più di 200° sopra A3) utilizzo acciai legati. In alternativa, dovrei fare un doppio trattamento di tempra che mi costerebbe circa 1,5 €/kg di materiale (conviene spendere di più per l'acquisto del materiale legato, perché comunque i costi convergono. Il meglio sono 18NiCrMo<sub>2</sub><sup>18</sup> e 20NiCrMo<sub>2</sub>). Tutti i fabbricatori di motori seguono il processo sopradescritto per la cementazione dei propri pezzi.

### 2) NITRURAZIONE

È l'aggiunta di N in superficie. Per farla, utilizzo un'atmosfera formata prevalentemente da ammoniaca (NH<sub>3</sub>) che, sempre in presenza di Fe, si scinde in N che reagisce con la superficie del pezzo e H<sub>2</sub>. N con Fe genera Fe<sub>4</sub>N in superficie dello spessore di 10 micron, quindi:



A seconda dell'acciaio riesco a ottenere durezza di 800 - 1100 Vichers (HV). La nitrurazione si fa tra 500° e 530° e il processo è molto più lungo (per ottenere 0,3 mm arriviamo a 72 h e il costo sale 1,5 €/kg di prodotto).

Si ottengono 3 differenti effetti:

1. Incremento durezza;
2. Aumento del limite di fatica;

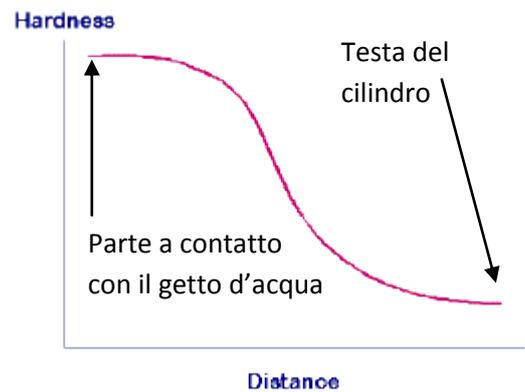
---

<sup>18</sup> 18 vuol dire che ha lo 0,18% di C e il 2/4 (50%) di nichel, 0,2% Mo

tutta  $\gamma$ ). Dopo, lo preleviamo e entro 5 secondi lo posizioniamo in un contenitore cilindrico con un foro nel coperchio (la testa della T sbucca dal cilindro). Sotto il campione, in asse con il gambo della T ho un ugello (di diametro 12,5 mm ed è posizionato a 12,5 mm dal campione) che spara acqua (a  $5^\circ - 10^\circ$ ) contro il fondo del campione con una pressione tale che in assenza del campione l'acqua uscirebbe dal foro del cilindro contenitivo. Si mantiene per almeno 10 minuti il getto, poi si chiude l'acqua e si toglie il campione, pronto per essere analizzato.

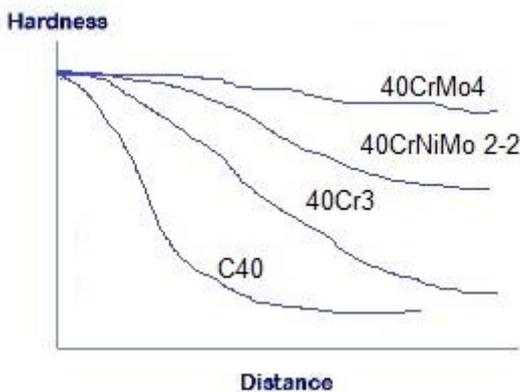
Si passa con una mola sul cilindro in direzione assiale sulla superficie del cilindro, spianandola. Dopo eseguo una serie di prove di durezza, tipo delle punte che lasciano l'impronta sulla superficie del campione partendo dal fondo della T. Ci si aspetta che l'impronta sia via via più grande man mano che ci si avvicina alla testa. Questo perché il fondo è il primo pezzo che subisce la tempra da parte dell'acqua.

Man mano che si va verso la testa, le sezioni si raffreddano per asportazione di calore (conduzione) che la sezione precedente (già "fredda") fa su quella successiva. Pertanto, i tempi di raffreddamento sono superiori e la **durezza decresce** (in verità, ci sarà un certo numero di sezioni, le cui velocità di raffreddamento non toccano il "naso" della curva TTT; esse avranno struttura completamente martensitica. Ci saranno poi sezioni, le cui velocità saranno all'interno della curva, tra i 2 "nasi", la trasformazione sarà data da martensite +  $\alpha$  + perlite; è solo  $\gamma$  che si trasforma: prima in  $\alpha$ , ma non tutta, poi in perlite, ma non tutta, il resto in martensite. Se non è  $\gamma$  non si trasforma! Si raffredda e basta! Man mano che si va verso destra, sempre all'interno dei 2 nasi, la % di martensite diminuisce e aumentano quelle di perlite e  $\alpha$ ).



Ecco perché se la curva TTT è spostata a sinistra, l'acciaio è poco temprabile, perché c'è "poco spazio" a sinistra della curva dove si può formare martensite pura.

### Curve Jominy per diversi acciai



Più elementi leganti ci sono, e più tempo.

Se aumento al percentuale di C, le curve si spostano progressivamente più a destra e si ha un abbassamento del pianerottolo superiore (confrontando acciai TUTTI ricotti). → Se la % di C è bassa, la resilienza è alta!

C40, 41Cr4, 39NiCrMo3, 40CrMo4, 40NiCrMo7 → acciai allo 0,4% di C per bonifica.

La UNI EN 10027 dà i nomi agli acciai. Divide gli acciai in 2 gruppi.

### GRUPPO I

Acciai che non vengono modificati dai trattamenti termici. Cioè vengono prodotti con trattamenti termici interni (normalizzazione, ricottura, trattamenti interni all'acciaieria). Sono acciai a ferro e C e poco altro (Mn, Si, P, S), sono acciai semplici e non sono caratterizzati dalla loro composizione chimica, ma **designati in base alle caratteristiche fisiche**. Il nome non dice che elementi sono presenti, ma informa su alcune proprietà fisiche specifiche (limite di snervamento, valore di permeabilità magnetica, ...). Sono designati in base al loro impiego:

- **S** (indica che è un acciaio per impieghi Strutturali) + **numero che indica il carico unitario di snervamento minimo garantito**, espresso in  $N/mm^2$ ; non possono essere peggiori di tal valore, ma possono essere migliori. Valori tipici sono S220, S350, S550, B350, B450).
- **B** (indica che è un acciaio per impieghi da cemento armato) + **numero che indica il carico unitario di snervamento minimo garantito**.
- **E** (indica che è un acciaio per costruzioni meccaniche) + **numero che indica il carico unitario di snervamento minimo garantito**.
- Scrivo **M** (indica che è un acciaio magnetico) + **numero** (in questo caso il numero dopo indica la proprietà magnetica).
- **D** (indica che è per lamiere) + **C** (per prodotti laminati a freddo) o **D** (per prodotti laminati a caldo). La differenza è che se ho bisogno di un prodotto di partenza molto spesso (> di 10 mm) non riesco a laminare a freddo. DC o DD sono **seguite da un numero che non indica** niente (cioè non indica una proprietà), ma è **un ordine progressivo di introduzione in commercio** → DC01, DC02, ... .

### GRUPPO II

Acciai caratterizzati dalla loro composizione chimica (qui P, S derivano dai minerali che uso, e Mn e Si li uso x togliere l'ossigeno e quindi sono sempre presenti fino all'1% in peso naturalmente) e le cui **proprietà** sono **modificate dai trattamenti termici**. Sono gli acciai più utilizzati. Il nome dato caratterizza già gli elementi presenti. Ci sono sottogruppi:

- **Acciai al carbonio** (con Mn, Si, P, S di tenori inferiori all'1% in peso). Le loro proprietà dipendono dalla quantità di C.  
**C** (indica acciai al carbonio) + **numero** (che indica la percentuale in peso moltiplicata \* 100). C40 contiene 0,40% di C. C80 è l'acciaio eutettoidico. Sopra il C80 abbiamo gli ipereutettoidici, sotto gli ipoeutettoidici. In realtà "80" è un valore approssimato! In realtà l'eutettoidico avrebbe lo 0,76% di C)
- **Acciai basso legati** (con Mn/Si con + dell' 1%, e/o Cr, Ni, Mo in quantità limitate). Ciascun elemento legante è contenuto con tenori inferiori al 5 % in peso.  
**Numero** (indica la percentuale di C moltiplicata \*100) + **simboli degli elementi leganti** (in ordine decrescente di contenuto) + **numeri** (indicano le % degli elementi leganti, moltiplicati per un fattore che cambia da elemento a elemento: per Cr, Co, Mn, Ni, Si, W è 4; per Al, Mo, Nb è 10; per N, P, S è 100; per

HS (high speed) + 3(o 4 numeri) (indicano la % di W, Mo, V, Co, in ordine. Se c'è il 4° numero, è perché c'è anche Co)

C150 e X210Cr13 presentano carburi e martensite.

- **Acciai x deformazione plastica a freddo**, non hanno necessità di resistere alle alte temperature. Sono acciai molto legati (oltre l'X210Cr13) e sono legati con il tungsteno (acciai rapidi, cioè alta velocità di taglio.).
- **Acciai inossidabili**. Le condizioni perché si abbia inossidabilità in un acciaio:
  - Struttura monofasica (perché non si formino coppie galvaniche)
  - Contenuto di Cr > 12% (xk il Cr con l'ò2 dell'aria fa uno strato di Cr2O3 che protegge dalla ossidazione)

Gli acciai inox possono essere:

- **Ferritici**, se legati al solo Cr e con bassissimo tenore di C (X8Cr13 fino a X105Cr13). Il C dev'essere basso perché è austenitizzante e mi serve solo se ho bisogno di una grande durezza (derivata dalla tempra). Li usi in impianti industriali dove ci siano cuscinetti a rotolamento in ambiente aggressivo.
- **Austenitici** (acciai al Nichel)→ X8CrNi18-08. Migliore è X6CrNi18-10. Tali acciai vengono austenitizzati a 1000° e poi temprati. Resistono a tutto, tranne a HCl.

## Le ghise

---

Sono dette ghise i prodotti in lega Fe-C che hanno **un tenore di C > 1,8% in peso**. Noi avevamo studiato che si chiama ghisa tutto quello con un tenore di C dall' 2,11% al 4,3% (tecnologicamente è raro che si usino acciai con più del 4,3% di C, ma credo che anche tutto quello dopo il 4,3% si possa considerare ghisa). In realtà, alcune leghe Fe-C sono classificate come ghise anche se hanno 1,8% di C. Le ghise sono molto comode (a livello produttivo) perché si può partire dal materiale fuso e colarlo (per getto) direttamente nello stampo. Da tal procedimento esce il componente finito.

Tutto ciò è completamente diverso dalla fabbricazione di un prodotto in acciaio: in questo caso, infatti, dallo stampo esce un lingotto, o barra, cioè un semiprodotto. Poi bisogna lavorarlo meccanicamente e deformarlo plasticamente per ottenere il componente finale. Ogni passaggio costa, per cui la ghisa è molto più economica. La fabbricazione tramite getto è possibile perché la ghisa è :

- molto *fluida*;
- allo stato fuso *non forma pellicole in superficie* (cioè non tende a solidificare prima di riempire completamente lo stampo);
- è caratterizzata da un *ritiro estremamente basso* sia allo stato liquido che a quello solido.

Tuttavia, la ghisa ha proprietà meccaniche più basse dell'acciaio, soprattutto in termini di duttilità (gli allungamenti a rottura sono piuttosto limitati → difficile deformarla plasticamente a caldo o a freddo). La densità è circa quella dell'acciaio, però (a causa della bassa resistenza) per assolvere alle stesse funzioni di un

- velocità di solidificazione moderate, cioè né veloce, né troppo lenta; in ogni caso più veloce di quelle necessarie per la solidificazione della ghisa grigia.

Nelle ghise bianche non c'è C libero (poiché non compare affatto la grafite).

Le ghise bianche sono molto dure e fragili.

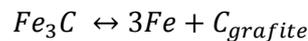
**Usi:** principalmente come materia prima per la creazione delle malleabili.

### GHISE MALLEABILI

Si parte dalla ghisa bianca solida e si applica un trattamento termico:

1. riscaldamento fino a circa 900° in modo molto lento
2. raffreddamento in forno.

Ciò genera la reazione:



La grafite derivata dalla reazione che avviene durante il trattamento termico si agglomera in noduli. La conformazione a noduli della grafite riduce l'effetto d'intaglio rispetto a quello presente nelle ghise grigie (c'è più deformazione plastica, arrivando ad un allungamento a rottura tra il 5% e il 7%).

Le ghise malleabili si usano poco perché fai prima a fare le sferoidali che sono le più meglio.

### GHISE SFEROIDALI

Sono le ghise con le proprietà migliori.

Si ottiene da uno stato fuso di composizione simile alla ghisa grigia a cui si aggiunge un "agente sferoidizzante" in minime %. Esso ha il compito di aggregare la grafite sotto forma di sferoidi. Nel caso della grafite agglomerata in sferoidi, la concentrazione degli sforzi è minima, e di conseguenza l'effetto d'intaglio è praticamente eliminato. In realtà, se gli sferoidi sono pochi, piccoli e lontani, l'effetto d'intaglio è minimo; se invece sono tanti, lunghi e vicini, l'effetto d'intaglio è maggiore. Alta duttilità (fino al 20% di allungamento a rottura), la grafite lubrifica la superficie e posso colarla direttamente tramite getto in stampi. Le proprietà sono simili ad un acciaio medio (500-600 MPa di resistenza a trazione).

La **matrice** è **ferritica** o **perlitica** (vale lo stesso discorso per le ghise grigie). La matrice può anche essere **martensitica**; per ottenerla, posso:

- temperare normalmente la ghisa solida (possibilmente con matrice perlitica). Con elementi leganti aggiunti (tipo Cr), si rende più semplice la tempra. È il procedimento è più comodo ed economico;
- iniziare a raffreddare lentamente (partendo dal getto) fino ad arrivare al campo gamma + C (l'equivalente del campo gamma + cementite che troviamo nel diagramma metastabile) e poi, prima di arrivare alla temperatura eutettoidica, aumento la velocità di raffreddamento.

Ghise malleabili e sferoidali hanno proprietà simili all'acciaio.

Si aggiunge anche il Pb (1-3%), aumenta la lavorabilità dell'ottone. Il Pb facilita la lavorazione perché aiuta i trucioli a scivolare via dal materiale, diminuendo l'usura dell'utensile. Viene usato negli ottoni per impianti sanitari. Tuttavia è pericoloso per la salute, ergo meglio Pb intorno 1%.

Ni e Mn aumentano le proprietà meccaniche per soluzione solida. In realtà, si aggiungono prevalentemente agli ottoni del I titolo, perché in quelli del II titolo, c'è già  $\beta'$  a migliorare le proprietà (e la *precipitazione in genere rafforza meglio delle soluzioni solide sia per intrusione che per sostituzione*).

Elevata resistenza a corrosione (in particolare a contatto con gli acidi), resistenza a rottura attorno 300 MPa, sono economici.

Sono usati nei sanitari (rubinetteria), maniglie, boccole.

Nomenclatura ottoni:

**OT + Numero** (che indica la % di  $Zn_{eq}$ ), oppure, **CuZn + numero** (indica la % Zn, non equivalente)

L'ottone più comune è l'OT 58 (per rubinetteria). In realtà si chiama CuZn40Pb2. Altri sono OT 37 (CuZn37).

## Leghe di Al

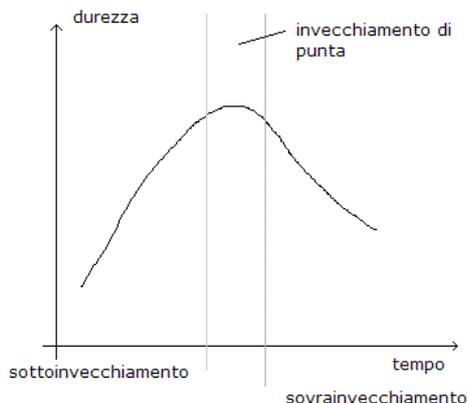
---

Densità molto bassa (2,7 g/cm<sub>3</sub> – ghisa e acciaio 7,8). Proprietà meccaniche medie. Componenti ottenibili per colata e deformazione plastica. Elevata conducibilità elettrica e termica (ottimo x stampi. Stesso discorso fatto per gli stampi in rame, ma pesa meno e spendo meno energia a spostarlo). Resistenza a corrosione, resistenza meccanica (100-600 MPa).

Per le leghe Al il modulo di Young (E) vale 70 GPa → per l'acciaio vale 220 GPa. Ergo: le leghe Al sono molto più deformabili.

Il principale meccanismo di rafforzamento è la precipitazione di particelle (che sono composti intermetallici), ottenibile con un trattamento termico (invecchiamento). A seguito del trattamento di raffreddamento ottengo una soluzione solida  $\alpha$  soprassatura (??). Poi lo butto in forno a 150°-180° per un tempo tx (tempo critico) in cui si ottiene il massimo della precipitazione

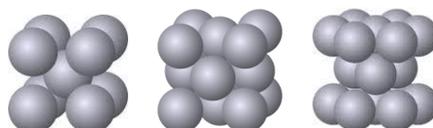
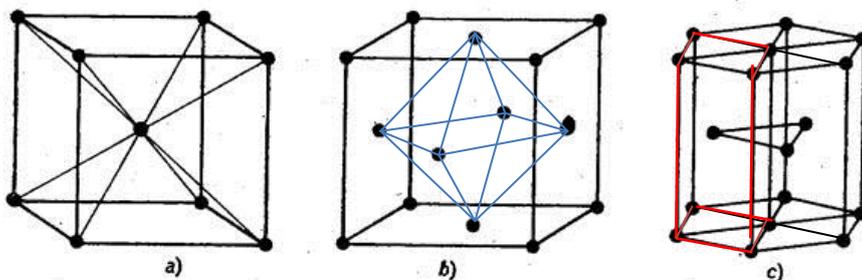
Trattamento termico di precipitazione: si riscalda la lega soprassatura in forno a 150°-180° (una temperatura tale che gli elementi presenti oltre il limite di solubilità tendono a precipitare come particelle finemente disperse nella matrice). Questo fenomeno è noto con il termine invecchiamento e porta ad un aumento di durezza in funzione del tempo fino ad un massimo, oltre il quale decresce.



## Appendice I: I reticoli cristallini

In natura molti elementi si presentano, allo stato solido, come degli aggregati. Esistono tre tipi di aggregati di atomi nello spazio (reticoli cristallini).

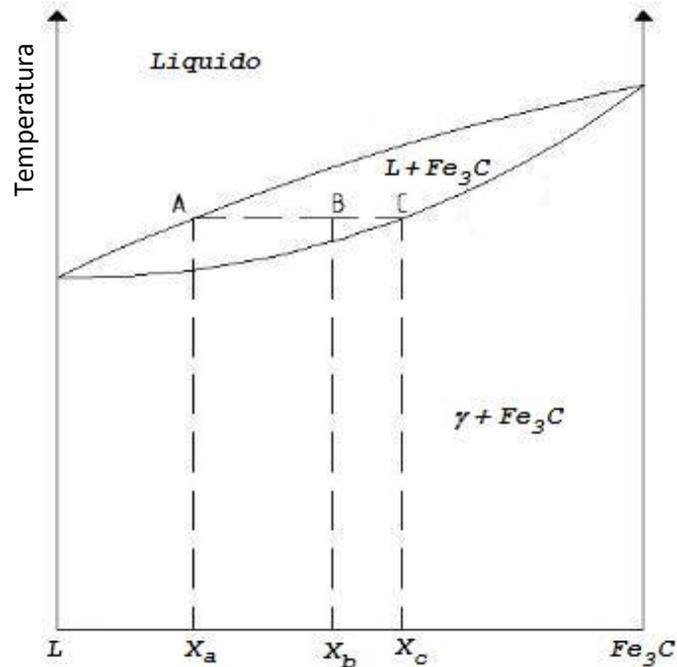
- Cubica corpo-centrata** (o reticolo cubico semplice) (**CCC**), in cui gli atomi occupano il 68% dello spazio ( $\rightarrow$  il 32% di spazio è riservato agli spazi interatomici) e comprende 2 atomi perché gli otto atomi ai vertici, nel composto, sono condivisi con gli otto aggregati adiacenti; pertanto all'aggregato considerato appartiene solo  $1/8$ . Per cui:  $8 \cdot (1/8) + 1$  (che è l'atomo centrale, non condiviso) = 2 atomi.
- Cubica a facce centrate** (**CFC**) che occupa il 74% dello spazio e comprende 4 atomi  $\rightarrow 8 \cdot (1/8) + 6(1/2)$  (che sono i 6 atomi sulle facce, a loro volta condivisi solo tra l'aggregato considerato e i 6 "attaccati") = 4.
- Esagonale compatta** (**EC**) che occupa il 74% dello spazio (in realtà la vera cella centrale è quella evidenziata in rosso).



C'è una prova in laboratorio che testa la resistenza agli urti (vedi foglio). Ci serve sempre avere resistenze elevate.

Nel CFC, al centro c'è una cosiddetta "lacuna ottaedrica". Se io collego gli atomi delle facce centrali, viene costruito un ottagono (in blu sul disegno sopra), in cui c'è spazio per un atomo piccolo (primi periodi sulla tavola). È uno spazio che può essere riempito da un atomo piccolo, entrando in lega con aggregati metallici di dimensioni elevate. Questo perché gli atomi sono sempre in movimento per agitazione termica (a meno che non ci si trovi allo 0 assoluto); tale movimento permette "l'inserimento" in lega dei suddetti atomi piccoli, all'interno della lacuna ottaedrica. Lo stesso avviene per il CCC e per il EC, anche se con lacune di forme diverse.

## Appendice III: Il Principio della Leva



Il sistema in figura rappresenta un ingrandimento del diagramma di stato metastabile nella zona appena sopra a destra del punto eutettico.

Per composizione B, è costituito da quantitativamente variabili, man mano che scende lungo l'asse della temperatura, di soluzione solida e di soluzione liquida. Al punto B, la ghisa considerata sarà un miscione di cementite e liquido. Ora ci si chiede: in che proporzione?

Proiettando B sulla curva di liquido si ottiene A, la cui proiezione sull'asse delle ascisse ( $X_A$ ) rappresenta la percentuale di liquido contenuta in B. Proiettando B sulla curva della cementite si ottiene C, la cui proiezione sull'asse delle ascisse ( $X_C$ ) rappresenta la percentuale di cementite contenuta in B.

Come calcolarla?

In pratica,

$$\begin{cases} X_A + X_C = 1 & \rightarrow \text{(sarebbe il 100\%)} \\ B = (A * X_A) + (C * X_C) \end{cases}$$

Girando la prima equazione, ho:

$$X_A = 1 - X_C$$

Allora la seconda equazione diventa:

$$B = A * (1 - X_C) + C * X_C$$

$$B = A - (X_C * A) + C * X_C$$

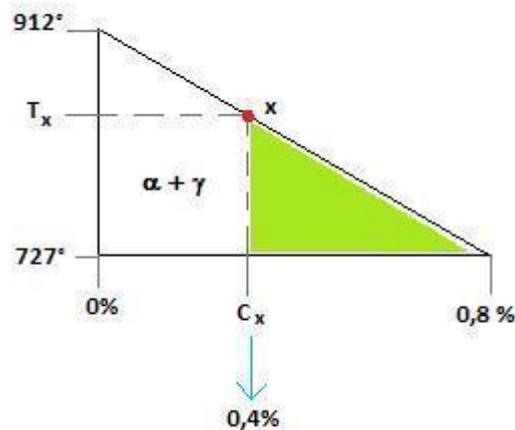
$$B - A = X_C(C - A)$$

Ossia:

$$\overline{AB} = X_C * \overline{AC}$$

## Appendice IV: Come determinare la temperatura $A_3$ per un acciaio ipoeutetoidico a caso?

Uso la regola dei triangoli simili:



Voglio trovare la temperatura  $A_3$  di un acciaio al  $C_x$  % di carbonio. Supponiamo che  $C_x = 0,4\%$  e mettiamo in proporzione il triangolo grande con quello verde (il cui vertice in alto è la temperatura  $A_3$  che vogliamo trovare):

$$\frac{0,8 - 0,4}{0,8 - 0} = \frac{T_x - 727}{912 - 727}$$

$$\frac{0,4}{0,8} = \frac{T_x - 727}{185}$$

$$0,5 * 185 = T_x - 727$$

$$92,5 + 727 = T_x$$

$$T_x = 819,5^\circ \cong 820^\circ$$