La risposta ad ogni quesito è scritta in carattere normale, *ulteriori spiegazioni saranno scritte in corsivo.*

## ESERCIZIO 2.1

1. *I piani compatti sono quelli dove si riscontra la maggior densità atomica.*
   Nel caso in esame sono:
   CFC {111}
   EC {0001}

2. *Le direzioni compatte sono quelle dove si riscontra la maggior densità atomica.*
   Nel caso in esame sono:
   CFC [011], [110], [101]
   EC [1000], [0100], [0010].

3. *I sistemi di scorrimento sono definiti da una linea compatta, che rappresenta la direzione compatta, in un piano compatto. Come visto nella precedente risposta ogni piano compatto contiene 3 linee compatte.*
   *Il reticolo EC ha solamente un piano compatto mentre il CCC ha 4 piani compatti , la famiglia {111} che stanno perpendicolari sulle diagonali di corpo.*
   Nel reticolo EC abbiamo dunque 3 sistemi di scorrimento, mentre in quello CFC i sistemi sono 12.

## ESERCIZIO 2.2

I fattori che influenzano la solubilità sono diversi. Nell'ordine della loro importanza sono:

1. Differenza del raggio atomico. Ciò incide sulla solubilità per ± 15%.
2. Reticolo cristallografico. La solubilità sarà favorita se i cristalli dei materiali candidati a miscelarsi sono identici.
3. Differenza di elettronegatività. Stessa elettronegatività comporterà una più facile miscelazione.
4. Differenza della valenza, al diminuire di essa viene favorita la solubilità.

Per dare, in prima approssimazione, una ragionevole previsione del grado di solubilità è sufficiente concentrarsi sul fattore più importante, ovvero la differenza del raggio atomico dei due atomi da miscelare. Molto semplicemente, il calcolo della differenza di raggio atomico si esegue con la formula seguente:

$$\Delta R = \frac{R_{soluto} - R_{matrice}}{R_{matrice}} \cdot 100\%$$

I risultati, in ordine crescente (considerando il valore assoluto), sono riportati nella tabella seguente:

| **Sistema** | **Cu-Ni** | **Cu-Zn** | **Cu-Si** | **Cu-Be** | **Cu-Al** | **Cu-Pb** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ΔR** | -2,3 % | +3,9 % | -8,6 % | -10,9 % | +11,7 % | +36,7% |

La tabella riporta l'ordine approssimato dei sistemi che saranno più solubili sino ai sistemi meno solubili.
*Integriamo tale tabella ragionando sulla differenza di elettronegatività e sui dati di laboratorio:*

| **Sistema** | **Cu-Ni** | **Cu-Zn** | **Cu-Si** | **Cu-Be** | **Cu-Al** | **Cu-Pb** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ΔR** | *-2,3 %* | *+3,9 %* | *-8,6 %* | *-10,9 %* | *+11,7 %* | *+36,7%* |
| **Differenza di elettronegatività** | *0* | *0,1* | *0* | *0,3* | *0,3* | *0,2* |
| **Grado di solubilità previsto** | *Molto alto* | *Alto* | *Medio* | *Medio* | *Medio* | *Molto basso* |
| **Massima solubilità osservata** | *100 %* | *38,3 %* | *11,2 %* | *16,4 %* | *19,6 %* | *0,1 %* |

## ESERCIZIO 2.3

Lo sforzo richiesto è calcolabile con la formula:

$$\tau = \sigma \cos(\lambda) \cos(\varphi)$$

Dove $\lambda$ rappresenta l'angolo tra la direzione di $\sigma$ e la direzione [0-11], mentre l'angolo φ è quello tra $\sigma$ e la normale al piano (111).
$\lambda = 45°$

Il calcolo del valore dell'angolo φ è dato dall'analisi della cella in figura 1. Con semplici calcoli geometrici si ottiene che $\cos(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{3}}$
$\varphi = 54{,}74\ °$

$$\tau = \sigma \cos(\lambda) \cos(\varphi) = 5{,}6\ [MPa]$$

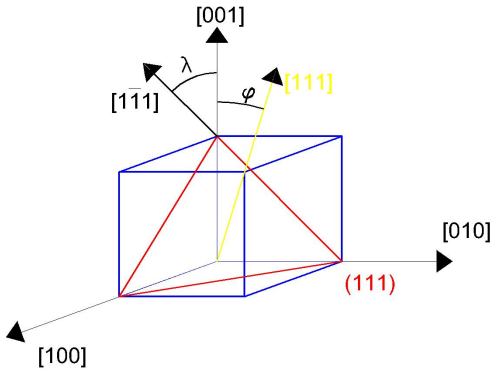


**Figura 1 Schema esercizio 3**

## ESERCIZIO 2.4

Questo fatto si spiega con l'aumento esponenziale del numero di vacanze con la temperatura.
A tal proposito, l'equazione di Arrhenius mette in relazione il numero di vacanze con la temperatura del materiale:

$$n_v = n\, e^{\frac{-Q}{RT}}$$

dove $n_v$ rappresenta il numero di vacanze, n il numero di atomi nel reticolo, Q l'energia necessaria per creare una vacanza, chiamata anche energia di attivazione, R è la costante molare dei gas, e T è la temperatura misurata in [K].
*Risulta essere fondamentale fare attenzione alle unità di misura!!!*

## ESERCIZIO 2.5

1. Ragionando indipendentemente dai dati del problema, è intuitivo sapere che all'aumentare della temperatura un pezzo di ferro si espande in modo continuo. Questo però non avviene nella realtà perché il ferro ha la proprietà di cambiare la propria struttura cristallina all'aumentare della temperatura.
   Alla temperatura di 912 [°C], a titolo di esempio, il ferro cambia composizione da CCC a CFC.
   Considerando che il lato del cubo CCC è di 2,863 [A] e il lato del cubo CFC è di 3,591 [A] calcoliamo i volumi delle due celle:

$$V_{CCC} = (2{,}863)^3\ [A^3] = 23{,}467\ [A^3]$$

$$V_{CFC} = (3{,}591)^3\ [A^3] = 46{,}307\ [A^3]$$

   Bisogna tenere conto che per operare un confronto tra i due volumi dobbiamo riferirci allo stesso numero di atomi. Quindi poiché la cella CCC possiede 2 atomi e la cella CFC 4 sarà necessario raddoppiare il volume della cella CCC (il numero di atomi non cambia al variare della temperatura):

$$2 \cdot V_{CCC} = 46{,}934\ [A^3]$$

   Dunque, essendo il volume occupato dal materiale con struttura CFC diverso rispetto a quello occupato quando il materiale stesso ha struttura CCC possiamo calcolare la differenza di volume:

$$\Delta V = (46{,}934 - 46{,}307)[A^3] = 0{,}627\ [A^3]$$

   La deformazione volumetrica sarà data dalla formula:

$$\Delta V_{\%} = \frac{V_{CFC} - 2 \cdot V_{CCC}}{2 \cdot V_{CCC}} \cdot 100\ \% = -1{,}34\ \%$$

   Per quanto detto a 912 [°C] il filo si restringerà bruscamente. E' intuitivo affermare che a 1140 [°C] il filo assumendo una diversa struttura cristallina subirà nuovamente dei bruschi cambiamenti di volume, come meglio mostrato in fugura 2:

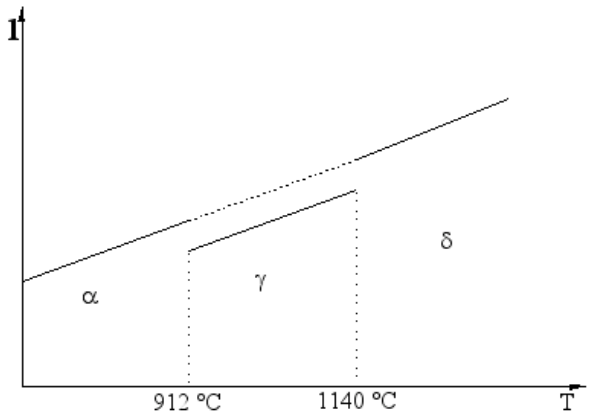


**Figura 2 Diagramma l-T**

2. Per un filo di ferro che passa da temperatura ambiente a 1000 [°C], superati i 912 [°C] si avrà un restringimento dell'1,34 %.
   Si passerà cioè da 1000 [m] a 986,6 [m]

3. Il significato di polimorfia è intrinseco alla cristallizzazione dei metalli: si dicono metalli polimorfi quelli che cristallizzano in sistemi differenti in relazione alle condizioni di temperatura e di pressione.
   Svantaggio: essendo il polimorfismo accompagnato da un brusco cambio di volume al variare della temperatura, vi è il rischio di fissazione.
   Vantaggio: i materiali polimorfi possono essere utilizzati come sensori di temperatura di "emergenza" perché superando la temperatura di cambio di fase si nota un cambio di volume misurabile.

## ESERCIZIO 2.6

Una barra di acciaio AISI 304 a sezione circolare, di diametro d= 10 [mm] deve sorreggere una massa di 2 [t]. (Si assuma per il carico di snervamento $\sigma_s = 300\ [MPa]$, mentre per il carico di rottura $\sigma_u = 660\ [MPa]$ ).

1. Qual è lo sforzo a cui è soggetta la barra?

   Per prima cosa, come visto già nell'esercitazione I, ho la necessità di calcolare il valore della sezione resistente:

$$A = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 78{,}5\ [mm^2]$$

   Lo sforzo σ invece sarà:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{2\ [t] \cdot 9{,}81\ [{}^{m}/_{s^2}]}{78{,}5\ [mm^2]} = \frac{2000\ [kg] \cdot 9{,}81\ [{}^{m}/_{s^2}]}{78{,}5\ [mm^2]} = \frac{19620\ [N]}{78{,}5\ [mm^2]}$$
$$= 250\left[\frac{N}{mm^2}\right] = 250\ [MPa]$$

   Avendo calcolato la forza F come il prodotto della massa per l'accelerazione di gravità.
   Devo verificare se, date le condizioni di carico, la barra in esame si trova in campo elastico, plastico oppure se non è in grado di sostenere la sollecitazione generata dalla massa.
   Si evince chiaramente che, secondo le condizioni di carico esaminate ci ritroviamo in uno stato di sforzo inferiore allo snervamento:

$$\sigma < \sigma_s \Rightarrow 250\ [MPa] < 300\ [MPa]$$

   Quando lo sforzo di un elemento è inferiore al carico di snervamento $\sigma_s$, ci ritroviamo in campo elastico. In campo elastico le deformazioni sono reversibili: applicando il carico la barra in esame si allungherà, rimuovendo però il carico stesso, la barra tornerà alle condizioni iniziali.

Dal punto di vista microscopico applicando il carico la distanza interatomica è crescita; per questa ragione, dal punto di vista macroscopico la barra risulta avere dimensioni maggiori rispetto allo stato non sollecitato.

2. Che cosa accadrebbe se venissero aggiunti 1000 [kg]?

   Logicamente la sezione A rimane costante all'aumentare del carico. Cambierà però la tensione nella barra:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{(2\,[t] + 1000[kg]) \cdot 9{,}81\,[^{m}/_{s^2}]}{78{,}5\,[mm^2]} = \frac{3000\,[kg] \cdot 9{,}81\,[^{m}/_{s^2}]}{78{,}5\,[mm^2]}$$
$$= \frac{29430\,[N]}{78{,}5\,[mm^2]} = 375\left[\frac{N}{mm^2}\right] = 375\,[MPa]$$

   Questa situazione è diversa dalla precedente, in questo caso il nostro sforzo è compreso tra in carico di snervamento e quello di rottura:

$$\sigma_s < \sigma < \sigma_u \Rightarrow 300\,[MPa] < 375\,[MPa] < 660\,[MPa]$$

   Siamo quindi in campo plastico, ovvero il materiale ha superato il limite elastico e parte della deformazione che ha subito è irreversibile; rimuovendo il carico la barra non tornerà nelle condizioni iniziali, ma ci sarà una deformazione residua.
   Dal punto di vista microscopico, come nel caso precedente la distanza interatomica è cresciuta. La crescita di questa distanza però non è l'unica cosa che è avvenuta, le dislocazioni (difetti lineari del cristallo) si sono spostate e alla rimozione del carico, non riprenderanno la posizione iniziale.

3. Che cosa accadrebbe invece se venissero applicati 6 [t]?

   Applicando una forza F pari a 6 [t] lo sforzo sarà:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{6\,[t] \cdot 9{,}81\,[^{m}/_{s^2}]}{78{,}5\,[mm^2]} = \frac{6000\,[kg] \cdot 9{,}81\,[^{m}/_{s^2}]}{78{,}5\,[mm^2]} = \frac{58860\,[N]}{78{,}5\,[mm^2]}$$
$$= 750\left[\frac{N}{mm^2}\right] = 750\,[MPa]$$

   In questo caso lo sforzo applicato è superiore al carico di rottura ( $\sigma_u = 660\,[MPa]$ ).
   Il carico di rottura è il massimo sforzo sopportabile dal materiale: questo significa che la barra non è in grado di sopportare tale carico e si allungherà sino a rompersi.