

Appunti per Metallurgia e Materiali non Metallici

Matteo Sanderson

19-02-2023

Contents

1 Appunti iniziati	1
1.1 Libri consigliati	1
1.2 Link	1
1.3 Modalita' d'esame	1
2 Lezione 1 - Introduzione	1
2.1 Differenze tra metalli e leghe	1
2.2 Legami	2
2.2.1 Legame Ionico/Ceramiche	2
2.2.2 Legame Covalente/Polimeri	2
2.2.3 Legame Metallico	2
2.3 Caratteristiche importanti dei legami	3
2.4 Caratteristica fondamentale dei metalli	3
3 Lezione 2 - Reticoli cristallini dei metalli	5
3.1 Tipi di celle elementari	6
3.1.1 Reticolo cubico a corpo centrato (CCC)	6
3.1.2 Fattori di compattazione atomica (APF - Atomic Packing Factor) per il reticolo CCC	7
3.1.3 Reticolo cubico a facce centrate (CFC)	7
3.1.4 Fattori di compattazione atomica (APF) per il reticolo CFC	9
3.2 Regione per il cambio di deformabilita'	9
3.3 Fasi strutturali del ferro	9
4 Lezione 3 - Reticoli, e diffetti e i loro positivi	11
4.1 Reticolo esagonale compatto (HCP)	11
4.2 Difetti dei reticoli	11
4.2.1 Difetti di punto	11
4.3 Leghe vs. Metalli Puri	13
4.4 Rafforzamento per soluzione solida/rafforzamento per alligazione (creano una lega)	14
4.5 Reticolo cristallino disordinato/ordinato	15
4.6 Solubilita' tra elementi e composti	15
4.6.1 Composti Chimici	16

1 Appunti iniziati

1.1 Libri consigliati

- Nicomedi - Metallurgia
- Nicomedi - Acciai e leghe non ferrose
- Askeland - The Science and Engineering of Materials
- Campbell - Metallurgy and Engineering Alloys

I concetti sono importanti non le formule

1.2 Link

- fa-fe.com
- fa-fe.it
- Password: 1141410931181

1.3 Modalita' d'esame

Parte A (25% del voto): Domande a risposta multipla. 2 punti per risposta corretta, 0 per nessuna risposta e -1 per risposta errata. Almeno 16 per passare.

Parte B (75% del voto): Scritto a risposta aperta, 2 ore per 4 domande. Almeno 18 per passare.

2 Lezione 1 - Introduzione

2.1 Differenze tra metalli e leghe

I metalli, come ferro, alluminio, rame e nickel hanno delle leghe e il nome delle leghe gli e' stato dato o viene derivato dai metalli che creano la lega. L'acciaio e' la lega piu' importante a cause delle sue proprietà interessanti e il suo costo che e' relativamente basso.

Una lega ferrosa con un contenuto minore di 2,11% di carbonio e' nota come ferro invece una lega ferrosa con un contenuto di carbonio maggiore di 2,11% e' nota come ghisa.

Ci sono anche leghe di alluminio e rame. Il rame crea leghe con altri metalli, la

sua lega con lo stagno e' nota come il bronzo mentre la sua leghe con lo zinco e nota come l'ottone.

Il titanio crea leghe ma sono fuori dello scopo del corso a causa dell'uso sparso a colpa del prezzo elevato del titanio.

2.2 Legami

2.2.1 Legame Ionico/Ceramiche

I legami ionici vengono creati a cause delle attrazione elettrostatica tra anioni di non metalli e cationi di metalli. I legami ionici creano ceramiche. I materiali ceramici hanno molti usi anche in ambiti industriali tra piastrelle, sali e vetri. Tutti i materiali ceramici sono composti da legami ionici.

Esempi di materiali ceramici includono:

- Al_2O_3 (Allumina)
- SiO_2 (Silice)
- NaCl

2.2.2 Legame Covalente/Polimeri

I polimeri(organici) sono creati da numeri grandi di monomeri, che catene lunghe di carbonio. I polimeri possono esser visti come degli spaghetti, dove se non ci metti l'olio dopo essere cotti possono avere delle proprieta diverse.

I polimeri termoplastici sono polimeri che dopo essere formati possono essere riscaldati per dargli una nuova forma, questo e' perche i materiali sono solo tenuti insieme da legami idrogeni e altri legami deboli che possono riformarsi se rotti. Invece i polimeri termodurenti sono polimeri che quando gli viene data un forma non puo' essere piu' cambiata, questo e' a cause delle reticolazione (cross-linking), che e' un effetto dove i monomeri creano legami covalenti tramite i gruppi funzionali che non possono esser rotti facilmente perciò i polimeri termodurenti di solito bruciano prima di sciogliersi.

2.2.3 Legame Metallico

In un legame metallico tutti gli atomi perdono i loro elettroni di valenza e essi vanno nella nube di elettroni che caratterizza un legame metallico. Gli atomi

perciò hanno carica positiva mentre la nube ha carica negativa, questo crea una attrazione elettrostatica che mantiene il materiale insieme.

Gli atomi si mettono in una rettcola a distanze costanti a cause di forze di attrazione e repulsione che ci sono fra gl'atomi e gl'atomi e gl'atomi e la nube di elettroni.

2.3 Caratteristiche importanti dei legami

Caratteristica importante delle ceramiche:

Le caratteristiche degli elementi componenti sono perse nelle ceramiche e il materiali guadagna proprieta' sue.

Caratteristica importante dei polimeri:

Anche i monomeri perdono le proprieta' degli elementi che li compongono.

Caratteristiche importanti dei composti metallici:

- Elevata energia e forza di legame
- Comportamento isotopo (assenza di priorita' direzionali [come in ceramiche e polimeri])
- Assenza localizzazione della carica elettrica
- Conduttività elettrica e termica → Perche elettroni non sono bloccati e invece sono liberi di muoversi influenzare l'un l'altro.
- Alta lucentezza → I fotoni che colpiscono la superficie colpiscono gli elettroni nella nube e vengono assorbiti e sparati indietro(diagrammi Feynman).
- Alta compattezza e densità

2.4 Caratteristica fondamentale dei metalli

Tutte le classi di materiali (ceramiche, polimeri e metalli) possono essere deformati plasticamente, pero i metalli sono gli unici che possono essere deformati plasticamente senza rompersi.

La deformazione plastica e' definita da uno scorrimento degl'atomi in una struttura.

I metalli sono gli unici che possono deformarsi senza rompersi perché la struttura dei metalli non dipende dalla posizione specifica di cariche, come nei legami ionici, perciò quando c'è uno scorrimento gli elettroni mantengono la struttura mentre gli atomi cambiano solo gli atomi sui quali hanno effetto la loro repulsione.

Se lo scorrimento occorresse in un retticoio ionico gli anioni e cationi si incontrerebbero e ci sarebbe un'attrazione perciò si romperebbe.

Invece nei polimeri le ragioni sono diverse. Nei polimeri termoplastici con uno scorrimento i legami ad idrogeno si rompono e gli monomeri si muovono, questo può essere visto un sacchetto che si stira e poi si rompe. Se si tentasse di deformare i monomeri se stessi i monomeri si deformerebbero elasticamente e con abbastanza forza i legami covalenti del monomero si romperebbero. In un polimero termodurente, la deformazione plastica non occorre perché la struttura è un retticoio grande e perciò si possono solo rompere i legami covalenti perciò cambiando la struttura effettiva.

A causa di queste proprietà le ceramiche e i polimeri possono essere chiamati **Fragili**. Fragile significa che non occorre deformazione plastica prima che il materiale si rompa. Invece i metalli sono chiamati **Duttili**. Duttile significa che dopo abbastanza deformazione plastica il materiale si rompe. La deformazione plastica è progressiva prima di rompersi, questo è importante perché in casi industriali si possono vedere deformazioni dei metalli prima che si rompa, perciò è più sicuro.

3 Lezione 2 - Reticoli cristallini dei metalli

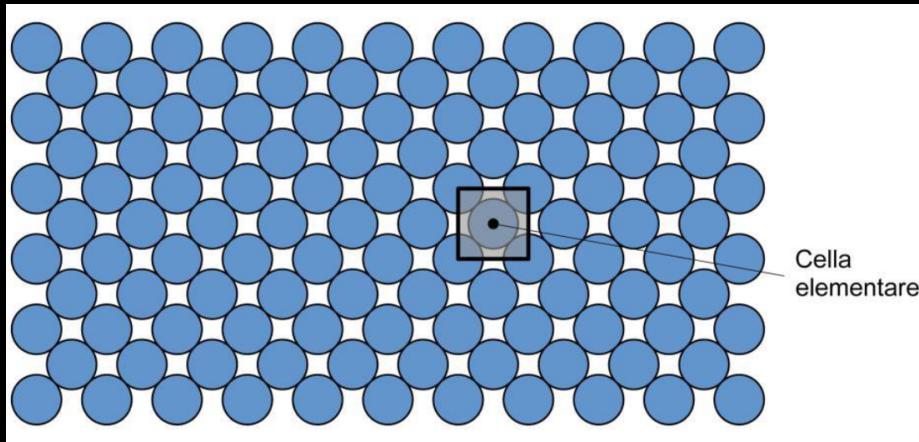


Figure 1: Reticolo cristallino dei metalli alla fine dell'1800

La figura fa vedere l'idea che gli scienziati alla fine del 1800 avevano sulla struttura del rettico metallico. Oltra la ovvia mancanza della nube di elettroni, l'idea e' per la maggior parte la struttura e' giusta.

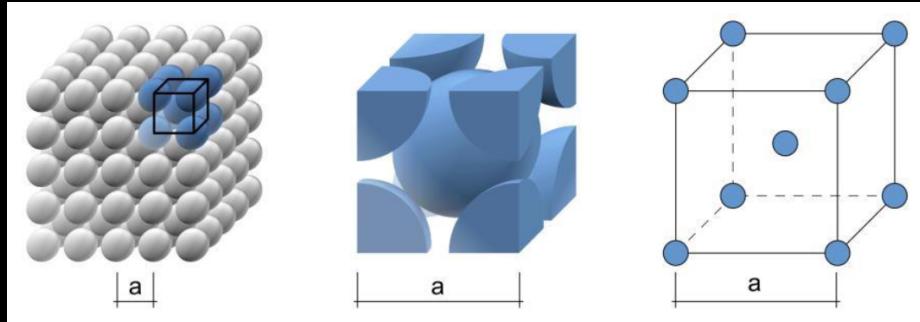
La metallurgia spiega le proprieta' macroscopiche con la proprieta' microscopiche del materiale.

In generale per i materiali metallici piu' deformabile il materiale meno e' rigido e meno e' deformabile piu' e' resistente.

I materiali metallici sono disposti in modo regolare noto come un rettico, questo rettico e' composto da celle elementari che si ripetono e creano il rettico grande nel metallo.

3.1 Tipi di celle elementari

3.1.1 Reticolo cubico a corpo centrato (CCC)

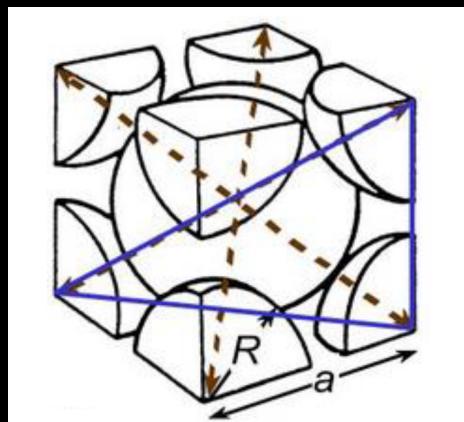


In un reticolo cubico a corpo centrato un atomo è centrato nella cella con altri altri atomi posti ad ogni vertice che comprende l'atomo centrale. Gli atomi si toccano lungo la diagonale del cubo.

Questa struttura per le celle elementari è usata dal cromio(Cr), vanadio(V), tungsteno(W), molibdeno(Mo), litio(Li), sodio(Na) e calcio(Ca), è anche la struttura del ferro(Fe) quando $T < 912^{\circ}C$ e quando $1396^{\circ}C < T < 1538^{\circ}C$.

Il ferro è un materiale allotropico, che significa che subisce una trasformazione che cambia la forma delle sue celle elementari.

Il reticolo CCC a due atomi propri che lo compongono.



$$(4R)^2 = a^2 + (a\sqrt{2})^2 \quad (1)$$

$$a = \frac{4R}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

$$a^3 = 12,32R^3 \quad (3)$$

3.1.2 Fattori di compattazione atomica (APF - Atomic Packing Factor) per il reticolo CCC

Definizione di APF L'APF e' usato per determinare la densita di una cella elementare o potrebbe esser visto come la percentuale del volume in una cella e' occupata da atomi.

$$APF = \frac{\text{Volume degli atomi nella cella}}{\text{Volume nella cella}} \quad (4)$$

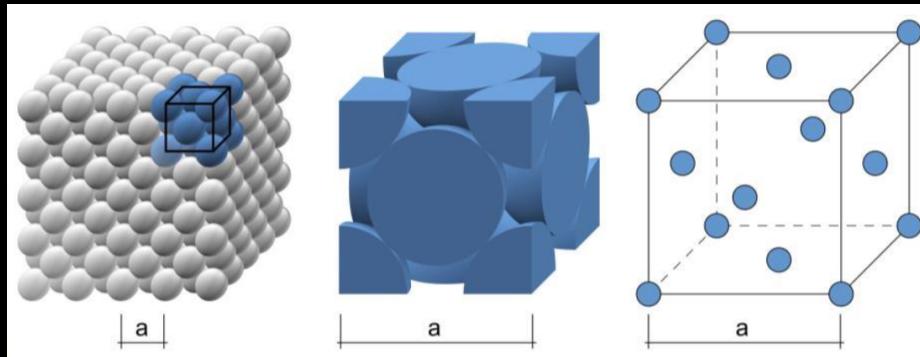
$$V_{\text{atomi}} = 2 * \frac{4}{3}\pi R^3 \cong 8,37R^3 \quad (5)$$

$$V_{\text{cella}} \cong 12,32R^3 \quad (6)$$

$$APF_{\text{CCC}} = \frac{V_{\text{atomi}}}{V_{\text{cella}}} = \frac{8,37R^3}{12,32R^3} \cong 0,68 \quad (7)$$

⇒ Il volume del reticolo CCC e' occupato il 68% da atomi.

3.1.3 Reticolo cubico a facce centrate (CFC)



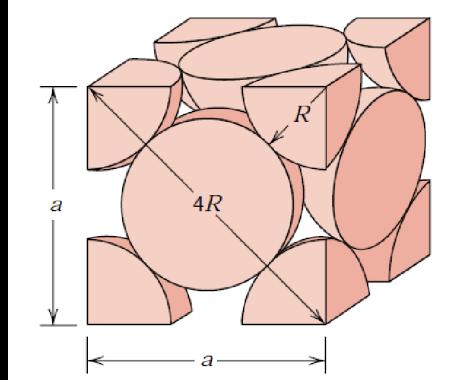
Il reticolo CFC e' una struttura piu' complessa del reticolo CCC, questo e' perche il reticolo CFC ha le facce che puntano verso il centro non ha un atomo centrale. Questo significa che ci sono 4 atomi propri nel reticolo CFC invece

dei 2 del reticolo CCC, e causa il volume del reticolo CFC ad esser piu' grande del reticolo CCC perche la tangenza degli atomi occorrere sulla diagonale delle facce della cella in confronto con la diagonale del cubo intero come nei reticolo CCC.

Il reticolo CFC e' il reticolo usato dal rame(Cu), argento (Ag), oro (Au), alluminio (Al), nickel(Ni), piombo (Pb), platino(Pt) e il ferro quando $912^{\circ}C < T < 1396^{\circ}C$.

Tutti i metalli elencati sono noti per la loro deformabilita', quindi si puo' capire il reticolo e' la cause della deformabilita'.

Il ferro quando entra questa forma diventa piu' maleabile/deformabile, questo spiega perche' i fabbri ferrai riscaldano il ferro prima di colpirlo.



$$(4R)^2 = a^2 + a^2 \quad (8)$$

$$a = \frac{4}{\sqrt{2}}R \quad (9)$$

$$a^3 \cong 22,63R^3 \quad (10)$$

Il fatto che la lunghezza dei lati a nel reticolo CCC (2) e' piu' piccolo di a nel reticolo CFC (9) spiega matematicamente perche' il reticolo CFC e' piu' voluminoso del reticolo CCC.

3.1.4 Fattori di compattazione atomica (APF) per il reticolo CFC

$$V_{\text{atomi}} = 4 * \frac{4}{3} \pi R^3 \cong 16,76 R^3 \quad (11)$$

$$V_{\text{cella}} \cong 22,63 \quad (12)$$

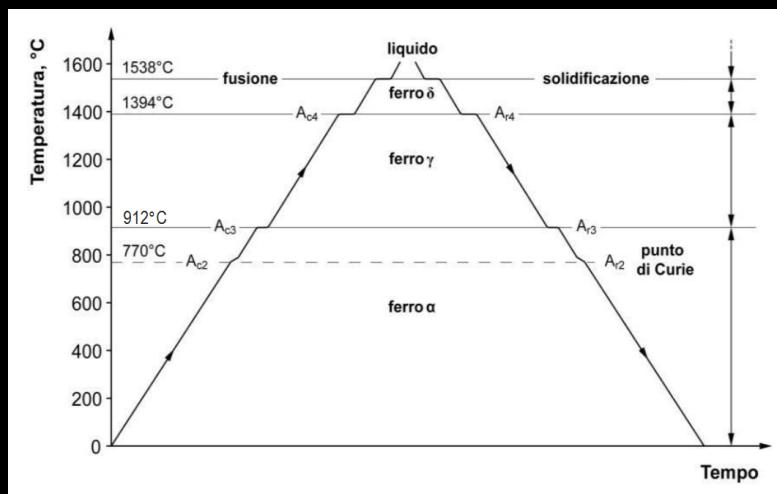
$$APF_{\text{CFC}} = \frac{V_{\text{atomi}}}{V_{\text{cella}}} = \frac{16,76 R^3}{22,63 R^3} \cong 0,74 \quad (13)$$

\implies Il volume del reticolo CFC e' occupato il 68% da atomi.

3.2 Regione per il cambio di deformabilita'

La deformabilita' e' causata dalla quantita' di spazio che e' vuota (spazio vuoto si chiama anche lacuna). Il reticolo CFC e' piu' deformabile del reticolo CCC perche' anche se ha piu' spazio occupato occupato da atomi (74%) in confronto al reticolo CCC (68%), il reticolo CFC e' piu' voluminoso quindi la percentuale piu' piccola di lacune nel reticolo CFC e' piu' grande della percentuale piu' grande del reticolo piu' piccolo. Le leghe sono create mettendo atomi di altri elementi nelle lacune. I metalli con il reticolo CFC formano leghe piu' prevalentemente per questa ragione.

3.3 Fasi strutturali del ferro

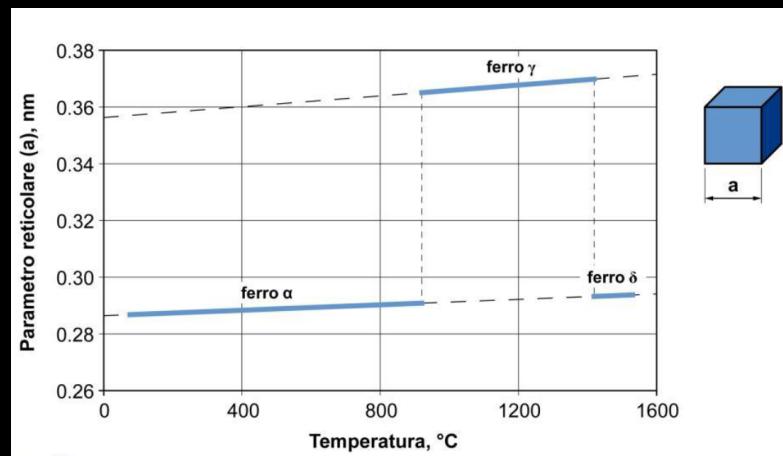


Come cennato prima, il ferro e' un materiale allotropico che significa che cambia forma retticolare al cambio della temperatura. Il ferro ha tre fasi ret-

ticolari note come α , γ e δ . α e δ sono fasi dove il ferro ha una reticolo CCC invece la nella fase γ il ferro ha un reticolo CFC. α e δ sono chiamati diversamente per facilitare la identificazione della temperatura.

Gli scalini (punti critici, notati da A_{cn} e A_{rn}), occorrono quando c'e' un cambio nel ferro in cui c'e' bisogno di energia per effettuarlo.

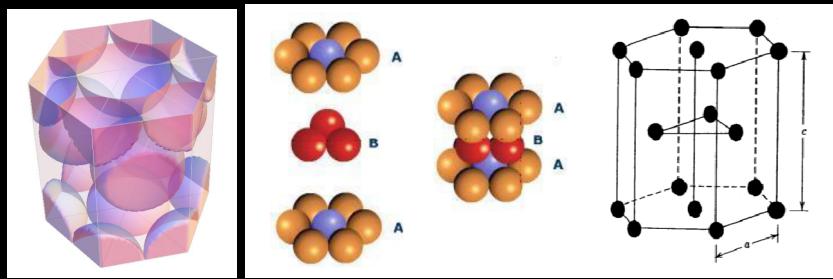
Un punto critico nella struttura (A_{c2} e A_{r2}) e' il "Punto di Curie", questo non occorre quando la struttura del ferro cambia invece a questa temperatura il ferro perde il suo ferromagnetismo e diventa amagnetico. Questa figure mette in



evidenza il cambio del parametro reticolare, cioe' la lunghezza di un lato di una celle elementare, nel ferro con il cambio della temperatura e con se il cambio della struttura reticolare.

4 Lezione 3 - Reticoli, e diffetti e i loro positivi

4.1 Reticolo esagonale compatto (HCP)



Il reticolo esagonale compatto (HCP) e' usato dal titanio quando $T < 882^{\circ}C$, dal magnesio, lo zinco, il cadmio e il cobalto. Questi metalli sono resistenti ma **fragili** (fragile = tendenza a rompersi come il vetro). Aggiunto al costo piu' basso, l'acciaio e' meglio del titanio perche' a piu' **tenace** (tenace opposto di fragile).

Il HCP ha un APF = 0,74 ed e' composto da 6 atomi propri.

4.2 Difetti dei reticolati

Ogni reticolo contiene difetti perche' niente e' perfetto, i difetti nei reticoli sono (per la maggior parte) positivi e aiutano con delle proprieita dei metalli.

4.2.1 Difetti di punto

Vacanza

Una vacanza e' quando c'e' una mancanza di atomi in un certo punto, che cause la compressione degli atomi circostanti a causa di forze repulsiv piu' deboli di se ci fosse un altro atomo.

Atomi sostituzionali

Un atomo sostituzionale e' un atomo di una altro elemento che sostituisce un atomo del elemento principale. Questo e' uno dei due metodi per creare le leghe, quindi tecnicamente le leghe sono metalli con difetti.

Un esempio di una lega creata da atomi sostituzionali e' l'otone che creato

da 60% rame e 40% zinco.

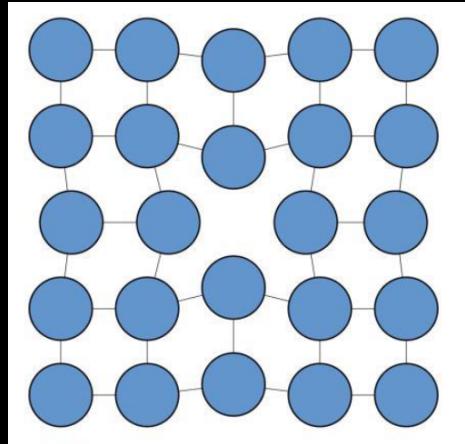
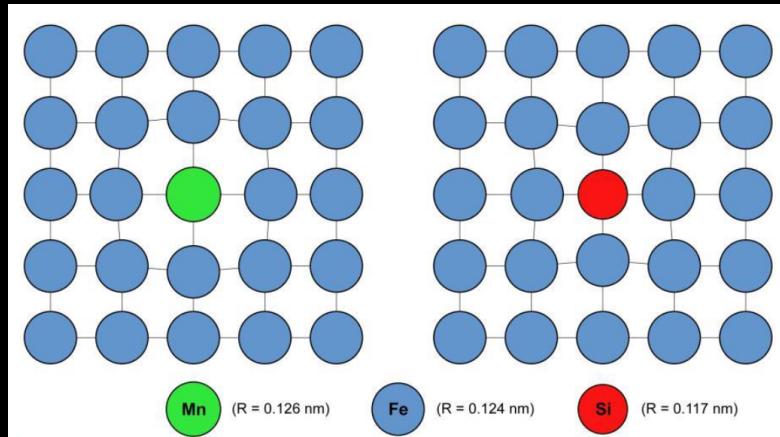
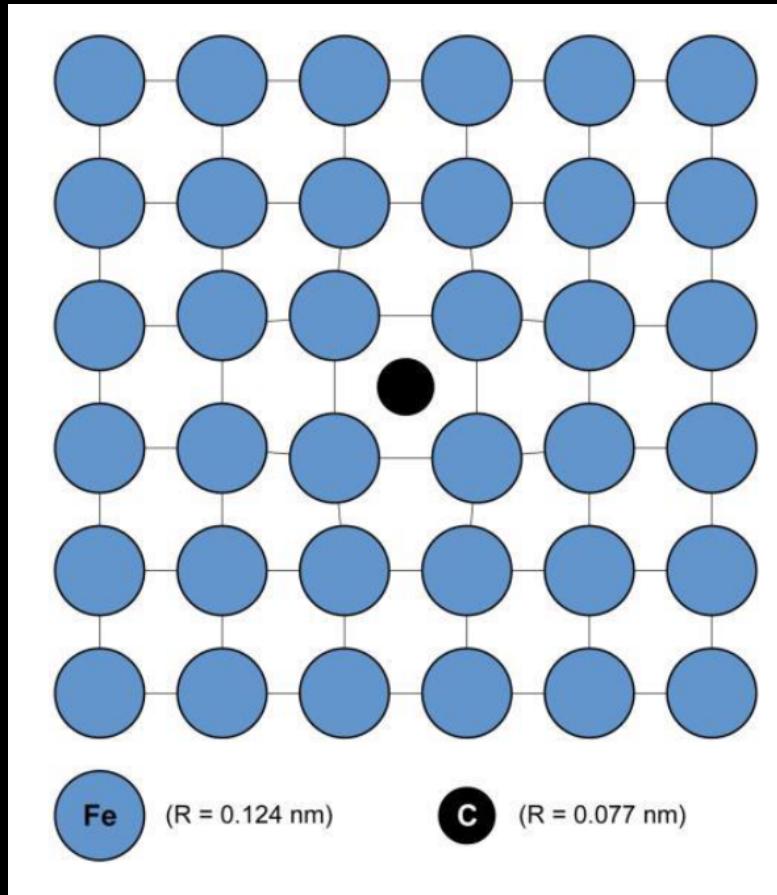


Figure 3: Diagramma semplice di una vacanza reticolare.



Nella sostituzione gli atomi che sostituiscono devono essere di dimensioni simili all'atomo principale, se sono troppo grandi i due elementi non sono solubili, e quindi non si crea una lega. Se gli atomi sono di dimensione simile la struttura cambia in corrispondenza alla dimensione dell'atomo sostituente. Se l'atomo e' piu' grande dell'atomo principale, il reticolo circostante si espande a cause di forze repulsive piu' forti, mentre se il diametro e' piu' piccole dell'atomo originale, il reticolo ciscostante si restringe a cause di forze repulsive piu' deboli.

Atomi interstiziali Un atomo interstiziale e' un atomo decisamente piu' piccolo degli atomi dell'elemento originale che si mette nei buchi del reticolo e cause disturbi alle strutture. Questi disturbi sono piu' grandi dei disturbi che sono creati dagli atomi sostituzionali, qui gli atomi intersezionali hanno un effetto piu' grande sulla resistenza di un reticolli che gli atomi sostituzionali. Un

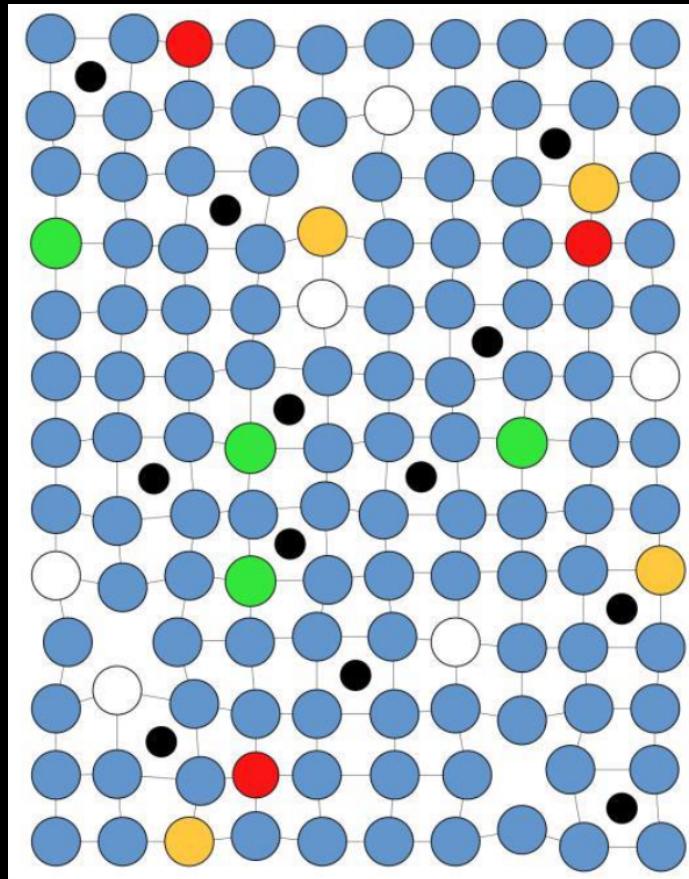


combinazione di atomi sostituzionali e interstiziali e' la cosa migliore per creare un reticolo resistente.

4.3 Leghe vs. Metalli Puri

Le leghe sono piu' resistenti alle deformazioni a cause dei loro difetti, i difetti causano disturbi al reticolo che lo rendono piu' resistenti alle deformazione. Questo disturbi occorso nella forma di una perturbazione del campo elettrico

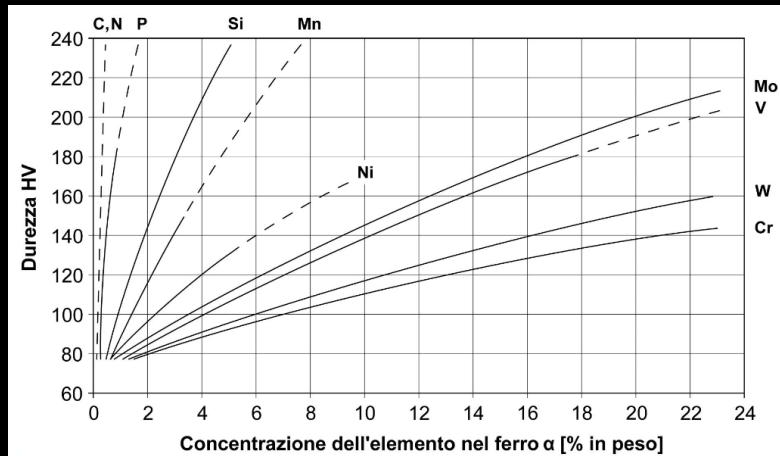
magnetico nel rettcolo e per cio' la resistenza aumenta. Nella figure si vede



un diagramma del reticolo d'acciaio (non esatto), questo rappresenta il fatto che l'acciaio e' una lega base ferro e carbonio, ma contiene anche molti altri elementi che cambiano se stessi la struttura.

4.4 Rafforzamento per soluzione solida/rafforzamento per alligazione (creano una lega)

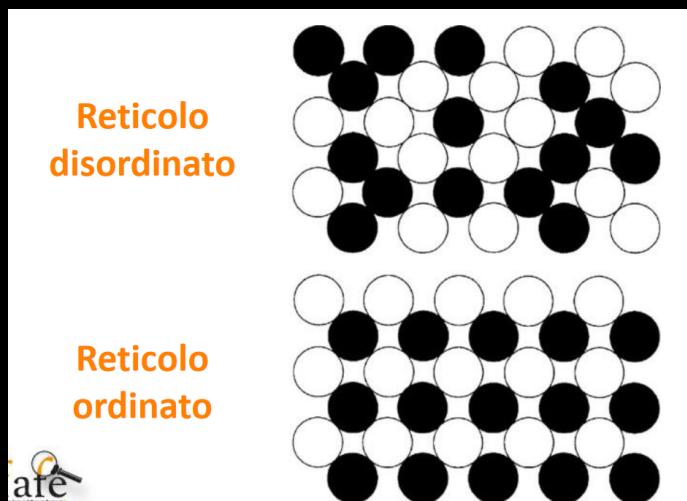
Il diagramma rappresenta la quantita di certi elementi che devono essere aggiunti al ferro per aumentare la durezza di una certa quantita'. Quello che possiamo vedere e' che il carbonio e azoto, che sono atomi interstiziali per il ferro aumentano la durezza con una concentrazione molto bassa invece altri metalli che sono atomi sostituzionali per il ferro hanno un effetto piu' basso con concentrazioni



piu' elevate, questo di nuovo rafforza l'idea che gli atomi interstiziali hanno un effetto grande sulla resistenza delle leghe.

4.5 Reticolo cristallino disordinato/ordinato

I reticoli disordinati sono piu' resistenti dei reticoli ordinati.



4.6 Solubilita' tra elementi e composti

Gli elementi hanno diverse compabilita' con l'un l'altro, alcuni elementi si mischiano bene ad ogni temperatura. Alcuni elementi non si mischiano molto e

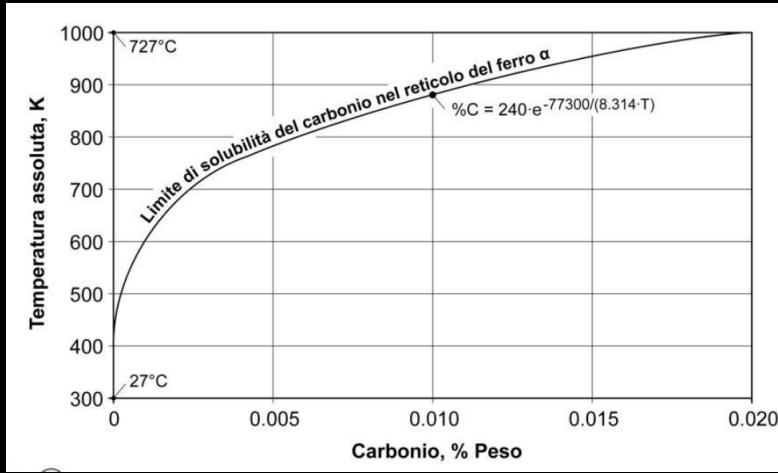


Figure 4: Questo grafico rappresenta la linea del limite di solubilità tra il carbonio e il ferro e spiega perché ci si mette così poco carbonio nell'acciaio.

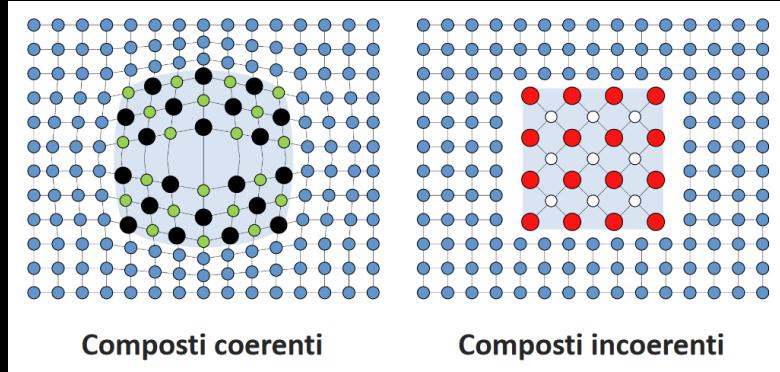
esiste un limite alla loro solubilità e se il limite è passato non si mischiano più, mentre alcuni elementi non si mischiano a qualsiasi temperatura. Questo effetto si può spiegare con gli atomi sostituzionali e interstiziali. Come detto prima negli atomi sostituzionali, se gli atomi hanno dimensioni troppo diverse non si mischiano, invece con gli atomi interstiziali si crea il limite perché causano troppi disturbi al reticolo del materiale e quindi troppo causerebbe una deformazione del reticolo.

Ci sono 4 classi di rapporti nella solubilità di elementi, gli elementi possono:

- Avere perfetta solubilità (Ag e Au)
- Avere parziale solubilità (Fe e C)(Limite)
- Avere perfetta insolubilità (Fe Pb)

4.6.1 Composti Chimici

La quarta possibilità di solubilità tra 2 elementi è che creino un composto chimico invece di mischiarsi. Per esempio il Fe o O, che quando mischiati creano FeO, un composto ionico. I composti possono non avere niente a che fare con il composto e sono completamente inglobati dal reticolo. Le dimensioni interatomiche nel composto sono di solito simili a quelle del reticolo che lo inglobano.



I composti vengono in due tipi, i composti coerenti e i composti incoerenti. La coerenza ha a che fare con l'orientamento del composto in confronto al reticolo. I composti coerenti, hanno un orientamento che e' uguale a quella del reticolo inglobante e questo permette al composto di creare legami con il reticolo, invece in composti incoerenti il composto un orientamento diverso dal reticolo inglobante per cio' il composto non puo' creare legami con il reticolo inglobante.