

A. Tiziani, F. Bonollo, P. Ferro

MATERIALI METALLICI

I diagrammi di stato

A.A. 2008/2009

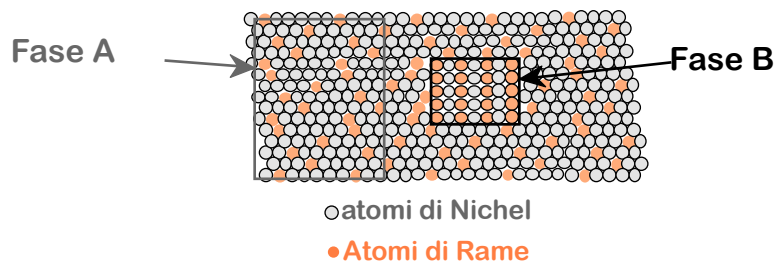
2° Anno Ingegneria Gestionale - Nuovo Ordinamento

- Introduzione ai diagrammi di stato
- Regola delle fasi
- Soluzioni solide
- Diagrammi di stato binari
- Diagrammi ternari
- Diagramma Fe-C (dispensa a parte)

DIAGRAMMI DI STATO

FASE

Porzione omogenea (composizione e reticolo) di un sistema chimico fisico eterogeneo.

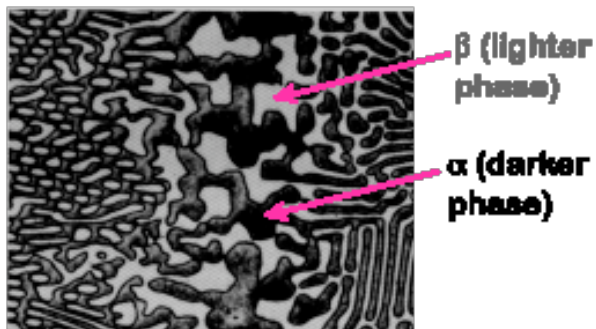


3

DIAGRAMMI DI STATO - Componenti e fasi

- **Componenti:**
elementi o composti che vengono inizialmente mescolati (es: Al e Cu)
- **Fasi:**
Le derivanti regioni di materiale fisicamente e chimicamente distinguibili (es: α e β).

Lega
Alluminio-
Rame



3

4

DIAGRAMMI DI STATO

FASI IN EQUILIBRIO

Avviene quando lo **scambio** di energia o di materia attraverso l'interfaccia è **istantaneamente uguale nelle due direzioni**.

VARIABILI TERMODINAMICHE INDIPENDENTI

Sono quelle variabili da cui dipendono tutte le altre che caratterizzano un sistema e generalmente sono **temperatura, pressione, composizione chimica**.

5

Introduzione ai diagrammi di stato

DIAGRAMMI DI STATO

Le proprietà di una lega metallica in condizioni di equilibrio possono essere descritte graficamente dal suo **diagramma di stato** o **diagramma di equilibrio**, che permette di stabilire quali siano le **fasi**, che **composizione** abbia ciascuna fase e quale sia la **quantità** di ciascuna fase presente quando siano **note le sole variabili indipendenti** temperatura e composizione.

6

Introduzione ai diagrammi di stato

I diagrammi di stato

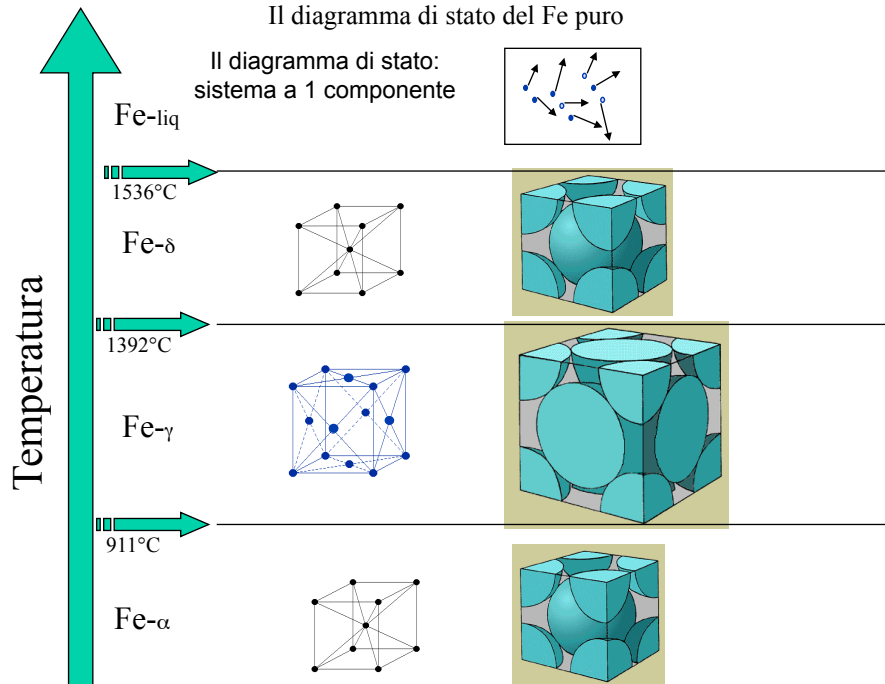
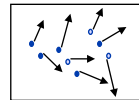


Il DIAGRAMMA di STATO indica i campi di temperatura e di composizione (a pressione atmosferica) in cui sono stabili fasi specifiche o loro miscele. Valutando l'influenza delle proprietà atomiche, chimiche e cristallografiche sulla energia libera, è possibile prevedere il campo di miscibilità di due elementi. La regola delle fasi mette in relazione il numero delle variabili termodinamiche indipendenti con il numero dei componenti e delle fasi presenti

7

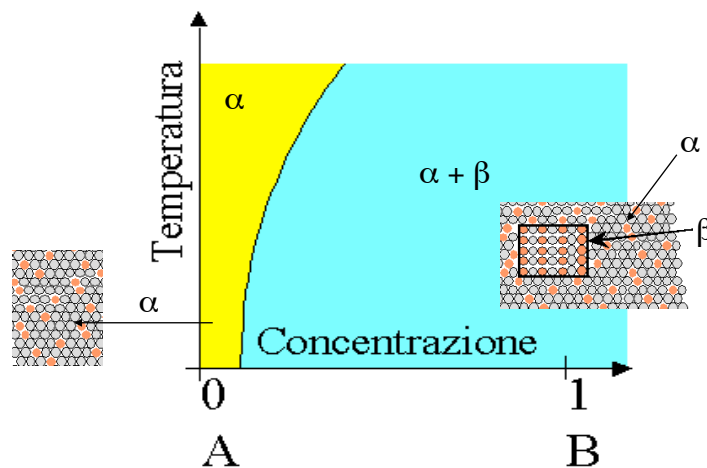
Il diagramma di stato del Fe puro

Il diagramma di stato:
sistema a 1 componente



8

Il diagramma di stato:
sistema a due componenti (A e B)
con limite di solubilità allo stato solido



9

Regola delle fasi

REGOLA DELLE FASI O EQUAZIONE DI GIBBS

$$V = n + \phi - f$$

V = **varianza** del sistema (o numero delle variabili indipendenti, numero dei gradi di libertà, numero di variabili controllato all'esterno (P , T , C) che posso cambiare indipendentemente senza cambiare il numero delle fasi in equilibrio)

n = numero dei componenti indipendenti del sistema

f = numero delle fasi presenti

ϕ = fattori fisici attivi

(è un numero fisso che rappresenta le due variabili non di composizione, temperatura e pressione, e quindi = 2)

L'equazione di GIBBS si scrive pertanto:

$$V = n + 2 - f$$

10

Regola delle fasi

Punto A:

$$V = n - f + 2 = 1 - 1 + 2 = 2 \text{ gradi di libertà}$$

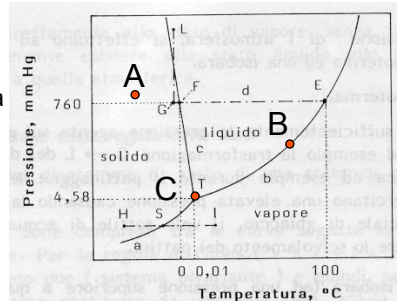
Punto B:

$$V = n - f + 2 = 1 - 2 + 2 = 1 \text{ grado di libertà}$$

Punto C: (*punto triplo*)

$$V = n - f + 2 = 1 - 3 + 2 = 0$$

nessun grado di libertà
(sistema invariante).



Nei sistemi metallici in generale si considera $\phi = 1$ poiché **la pressione è costante** ed uguale ad una atmosfera.

$$V = n - f + 1$$

11

Regola delle fasi

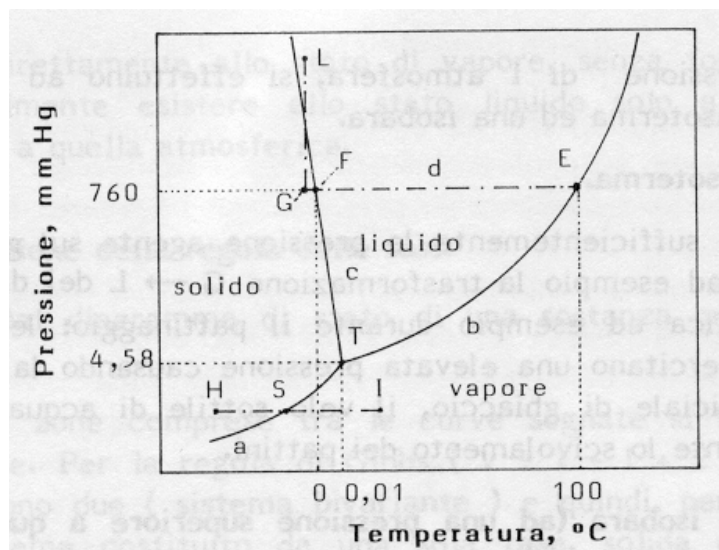
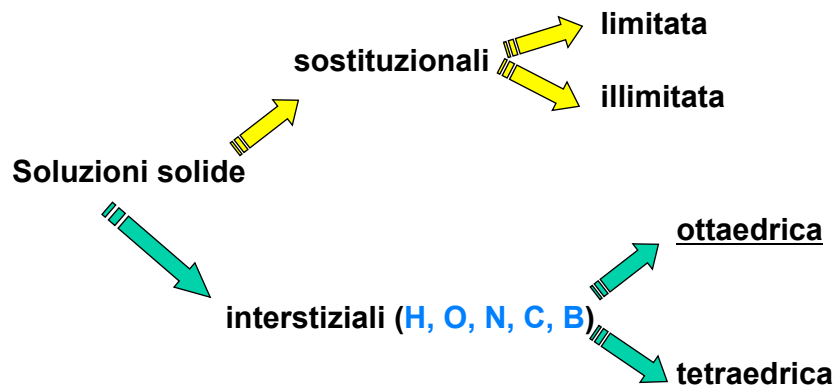


Diagramma di stato dell'acqua (non in scala).

12

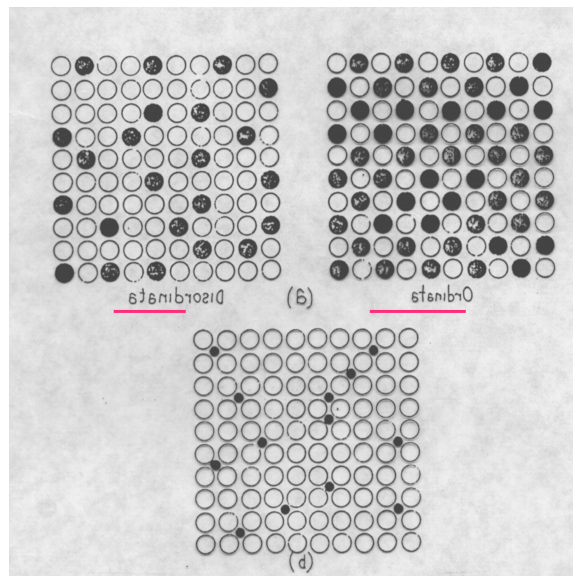
SOLUZIONI SOLIDE

Fasi nelle quali uno dei componenti mantiene il suo reticolo cristallino mentre gli altri non lo mantengono.
Il componente il cui reticolo è conservato viene detto solvente e gli altri soluti.



13

Soluzioni Solide

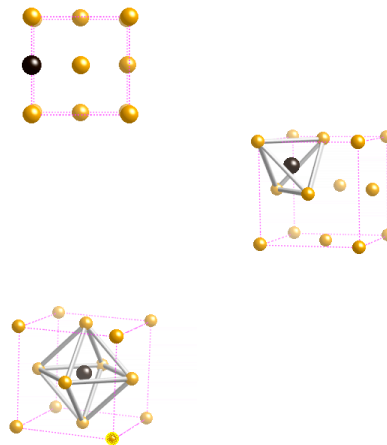
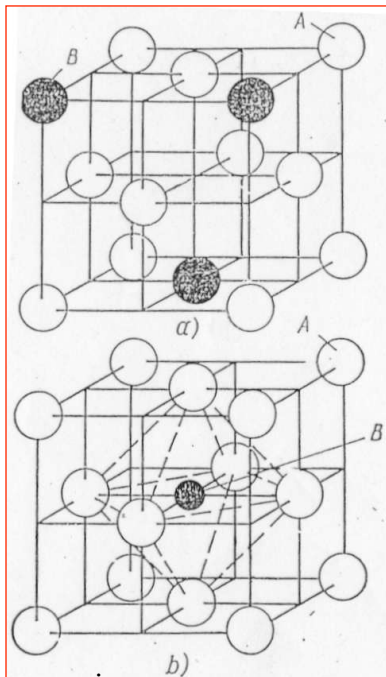


Soluzioni solide sostituzionali (a) e interstiziali (b).

14

Soluzioni Solide

Disposizione degli atomi nelle soluzioni solide

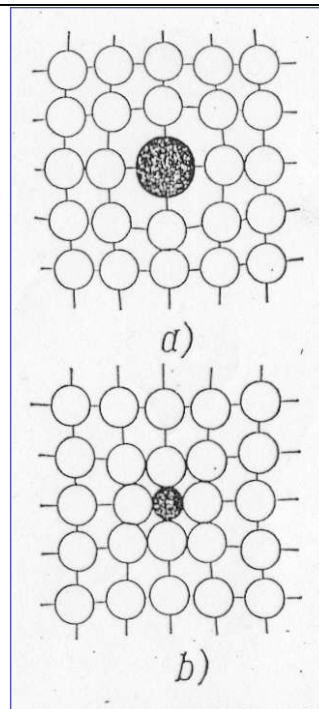


15

Soluzioni Solide

Distorsione del reticolo cristallino nelle soluzioni solide di sostituzione:

- a) atomo di soluto più grande di quello del solvente;
- b) caso contrario.



16

SOLUZIONI SOLIDE SOSTITUZIONALI

Le soluzioni solide di sostituzione illimitate si possono formare nelle seguenti condizioni (regole empiriche di **HUME-ROTHERY** (*necessarie ma non sufficienti*))

- i **reticoli cristallini** devono essere **dello stesso tipo** (isomorfi);
- la **differenza tra i diametri atomici** dei componenti deve essere **trascurabile** (15% max);
- i **componenti** devono appartenere allo **stesso gruppo** della tavola periodica degli elementi (**valenza simile**);
- le **elettronegatività** dei componenti sono pressoché **uguali**.

17

Soluzioni solide ordinate

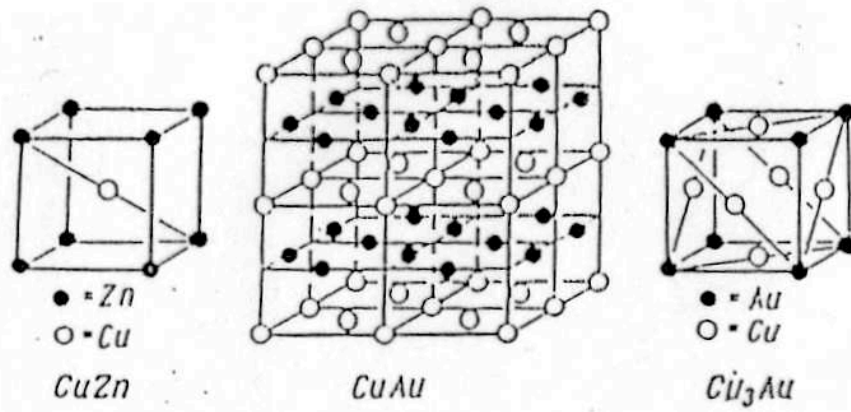
Certe leghe che formano a temperatura elevata delle **soluzioni di sostituzione**, a seguito del raffreddamento lento o di un mantenimento per lunghi tempi ad una certa temperatura, presentano un **fenomeno di ridistribuzione degli atomi**.

Ne risulta una distribuzione ben definita degli atomi del soluto nel reticolo del solvente.

Vengono chiamate **superstrutture**.

18

Soluzioni Solide



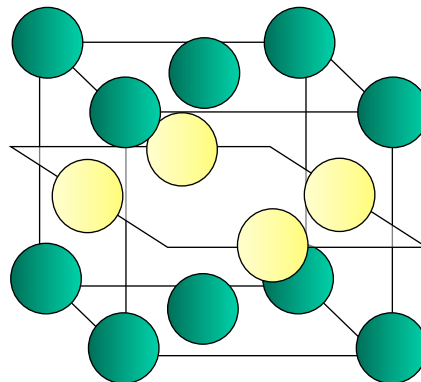
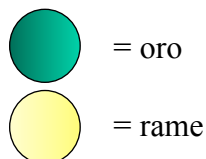
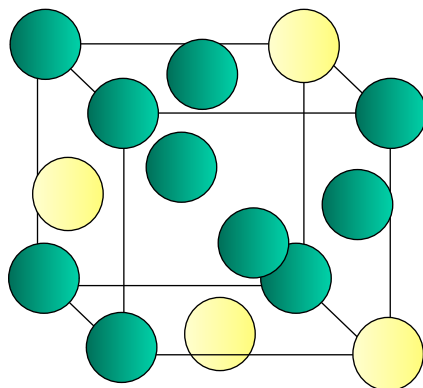
Struttura delle soluzioni solide ordinate.

19

Trasformazione disordine-ordine

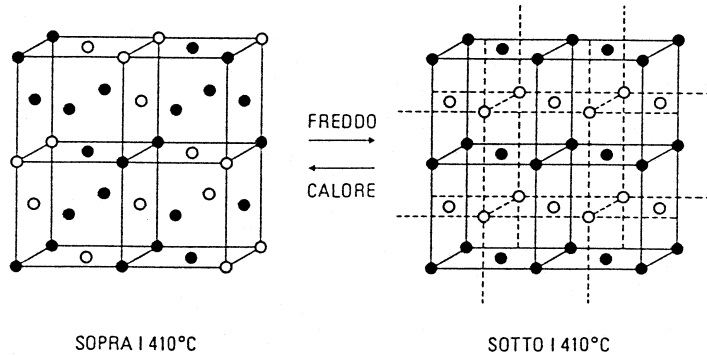
$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

se la differenza dimensionale è sufficiente prevale la diminuzione di ΔH rispetto alla diminuzione di ΔS



20

Trasformazione disordine-ordine



● ATOMO DI Cu
○ ATOMO DI Au

SOLUZIONE SOLIDA DISORDINATA.
GLI ATOMI DI Au E Cu SONO IN
POSIZIONI CASUALI NEL RETICOLO
ATOMICO CUBICO.

SOLUZIONE SOLIDA ORDINATA DI AuCu.
GLI ATOMI DI Au E Cu SONO ORA
DISPOSTI A INTERVALLI REGOLARI SULLE
FACCE DEL RETICOLO ATOMICO CUBICO.

21

Soluzioni Solide

SOLUZIONI SOLIDE INTERSTIZIALI

Gli atomi che possono occupare, per le loro dimensioni, una posizione interstiziale sono :

H $r = 0,53 \text{ \AA}$

O $r = 0,66 \text{ \AA}$

N $r = 0,71 \text{ \AA}$

C $r = 0,77 \text{ \AA}$

B $r = 0,88 \text{ \AA}$

I vuoti, salvo che per l'H, sono insufficienti a contenere gli atomi e quindi si creano delle [deformazioni nel reticolo](#).

22

Secondo Hume-Rothery

$$r_x \leq 0,41 \cdot r_m$$

Soluzione solida interstiziale

$$0,41 < \frac{r_x}{r_m} < 0,59$$

Composti interstiziali (carburi, nitruuri, boruri dei metalli di transizione); struttura cubica o esagonale (dove il non-metallo occupa posizioni interstiziali); hanno formula M_2X o MX (es: TiC)

$$r_x > 0,59 \cdot r_m$$

Composti intermetallici a struttura più complessa (es: Fe_3C)

La proprietà di queste soluzioni (anche a basse concentrazioni) risultano profondamente modificate rispetto a quelle del metallo puro a causa delle dilatazioni e tensioni elastiche indotte nel reticolo.

23

La solubilità del **C** ed **N** nel Fe_α è $\ll$ di quella nel Fe_γ .

Il Fe_α scioglie modeste quantità di C a causa del suo reticolo BCC. Tale solubilità varia con T secondo la relazione:

$$C(\%at) = 12 \cdot e^{-\frac{9700}{RT}}$$

$$R = 1,987 \text{ Kcal/Kmole}$$

%at = per cento atomico = numero di moli di un elemento rispetto al totale delle moli degli elementi in lega

Si può calcolare quindi che:

- a Temperatura ambiente: 1 atomo di C su $10 \cdot 10^6$ di Fe;
- a $T = 910^\circ\text{C}$: 2 atomi di C su 1000 atomi di Fe, come conseguenza della dilatazione dei siti e dell'aumento del numero di vacanze

24

COMPOSTI ELETTRONICI o fasi di Hume Rothery

Si riscontrano, nel caso di leghe **costituite da un metallo nobile** (Ag, Au, ecc) **ed uno di valenza superiore** (Zn, Al, Sn, ecc.). Sono **composti definiti, esprimibili con una formula stechiometrica** e possono avere un campo più o meno esteso. Il metallo nobile può essere sostituito da uno di transizione a cui si assegna valenza zero. In ogni caso i raggi ionici dei due o più elementi possono essere di poco diversi.

27

COMPOSTI ELETTRONICI o fasi di Hume Rothery

Comprendono leghe di interesse industriale quali fasi ($\alpha, \beta, \gamma, \epsilon$) di **ottoni, bronzi** ecc.

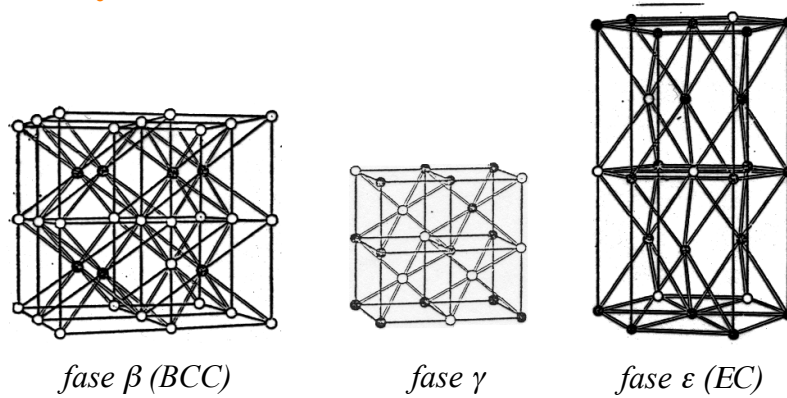
Il loro parametro caratteristico è la **concentrazione elettronica** intesa come **rapporto tra elettroni periferici o di valenza e numero di ioni**.

Per i composti	β	$3/2 = 1,5$
Per i composti	γ	$21/13 = 1,615$
Per i composti	ϵ	$7/4 = 1,75$

ciascuno di questi rapporti corrisponde ad un reticolo cristallino ben definito.

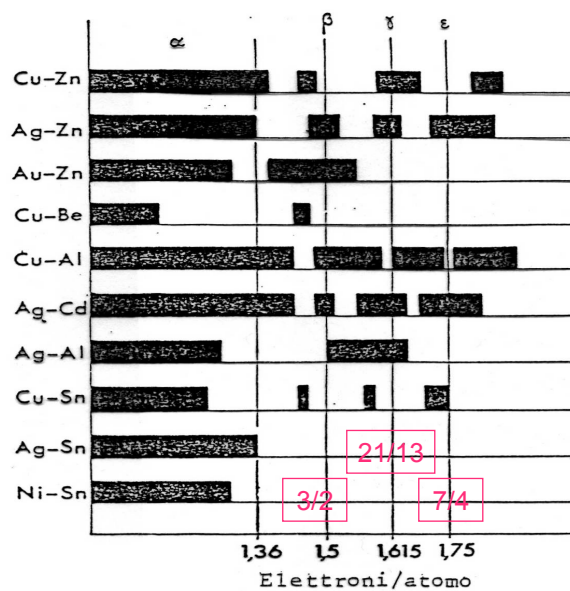
28

COMPOSTI ELETTRONICI o fasi di Hume Rothery



Reticoli cristallini dei composti elettronici

29



Intervalli di stabilità di alcuni composti elettronici.

30

DIAGRAMMI DI STATO BINARI

Diagrammi di stato binari semplici

1. Soluzioni solide illimitate

La linea superiore (*liquidus*) indica le temperature di **inizio cristallizzazione**, mentre la linea inferiore (*solidus*) quella di **fine cristallizzazione**.

L'intervallo di temperatura tra Liquidus e Solidus segna il dominio nel quale i cristalli della soluzione solida si liberano dalla fase liquida.

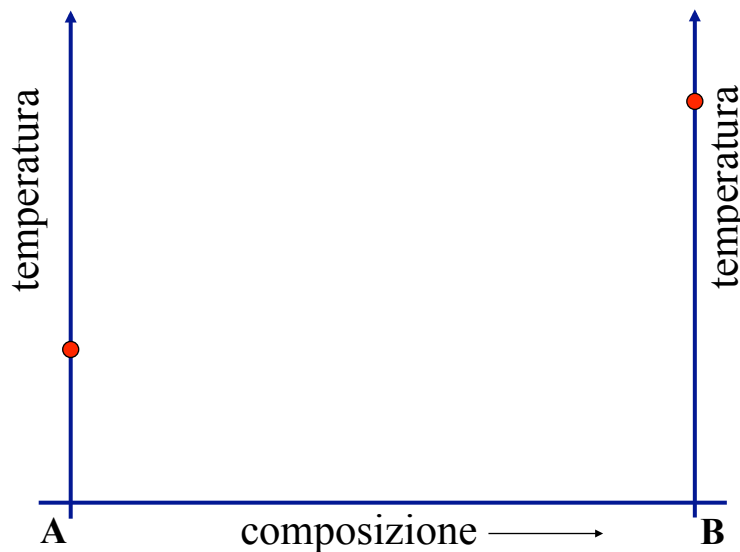
Al di sotto della linea del solidus non vi sono che i cristalli della soluzione solida omogenea costituita da A e B.

Esaminiamo il processo di solidificazione di una lega con X% del componente B.

31

DIAGRAMMI DI STATO BINARI

Pressione = cost = 1 atm

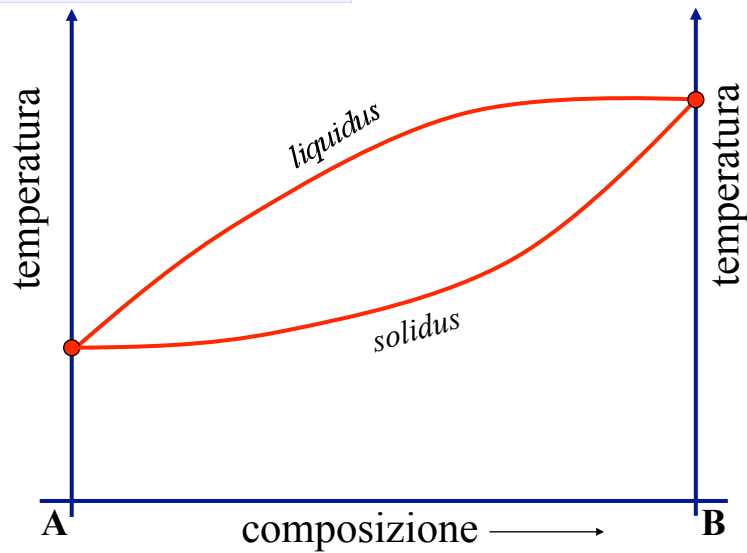


32

DIAGRAMMI DI STATO BINARI

Completa miscibilità allo stato liquido
Completa miscibilità allo stato solido

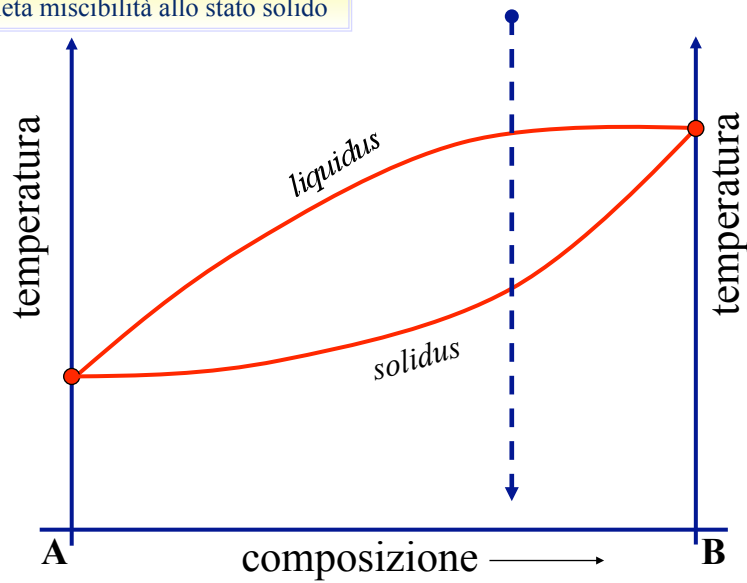
Pressione = cost = 1 atm



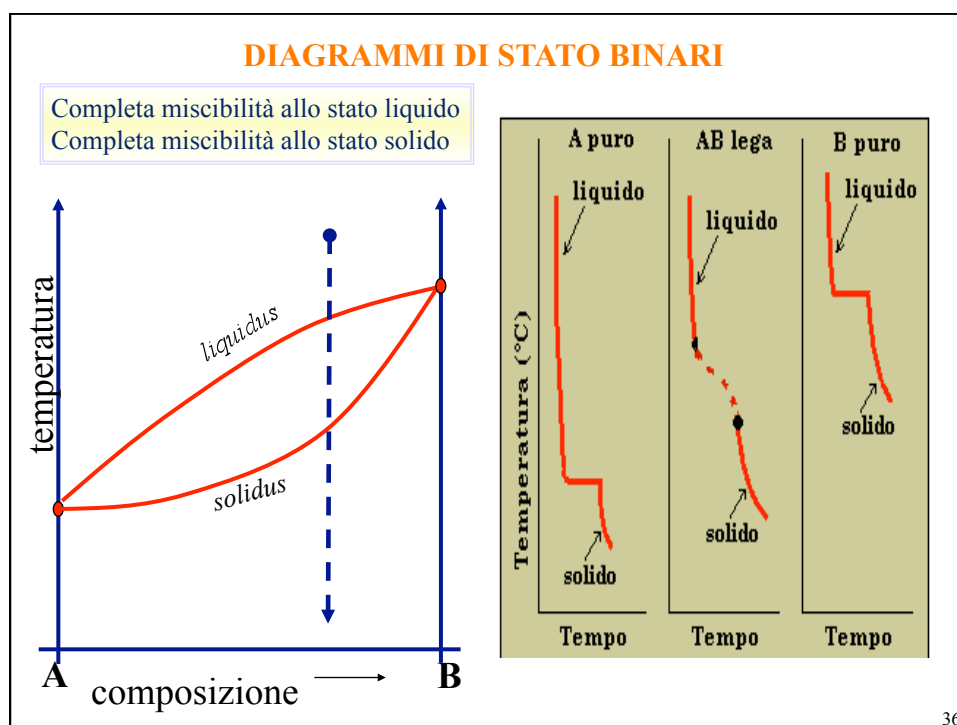
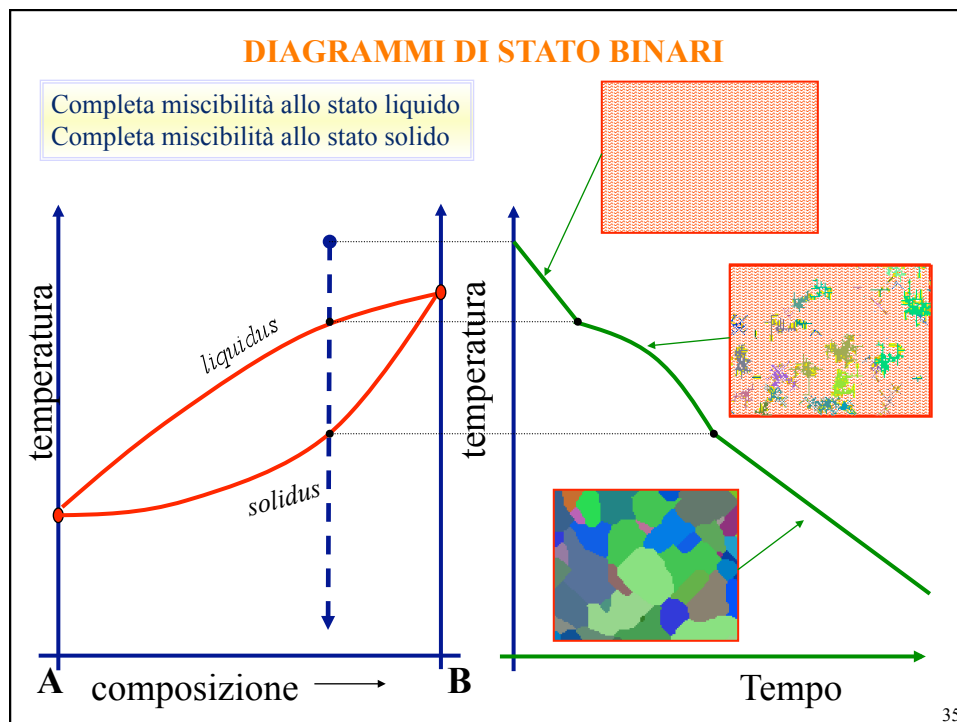
33

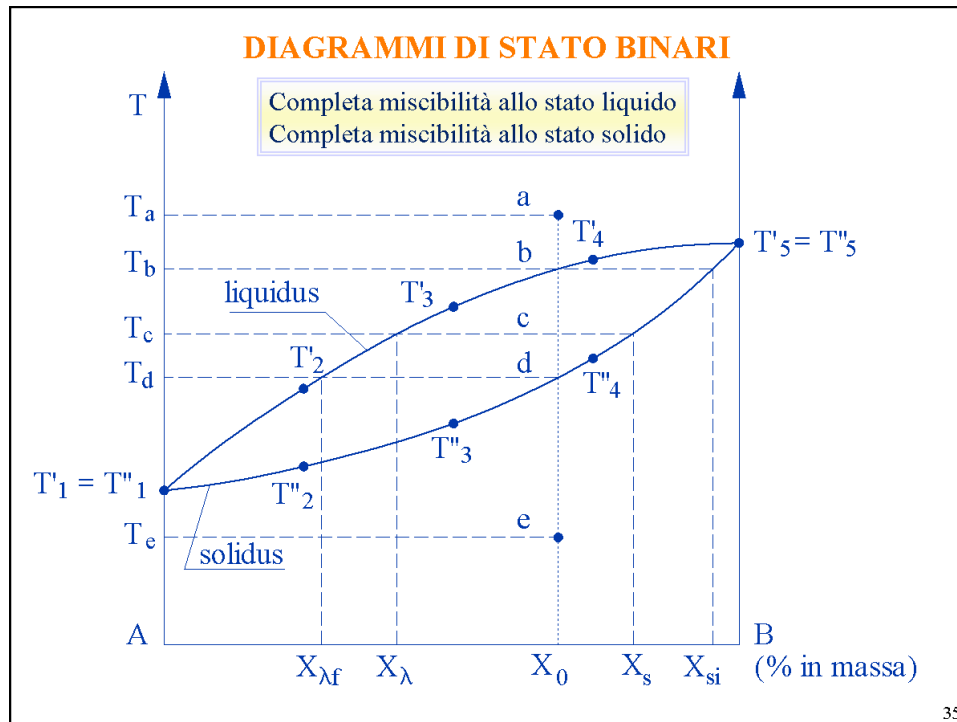
DIAGRAMMI DI STATO BINARI

Completa miscibilità allo stato liquido
Completa miscibilità allo stato solido

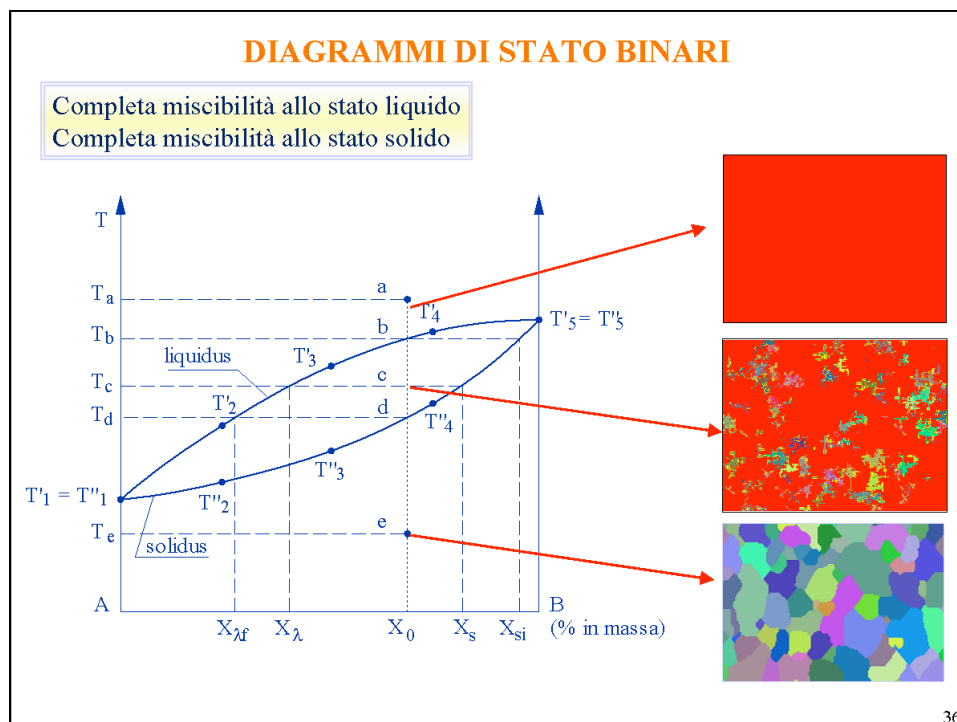


34





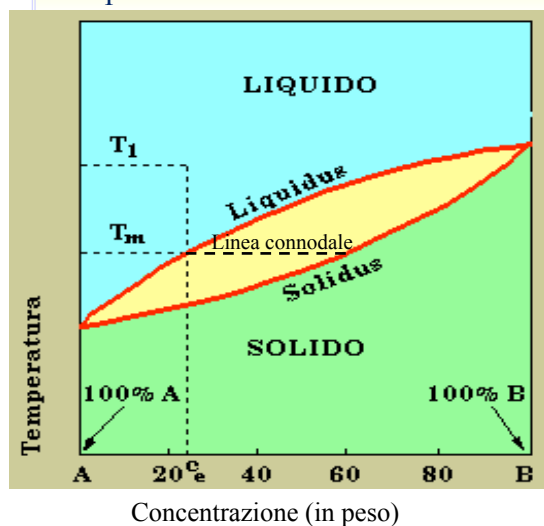
35



36

DIAGRAMMI DI STATO BINARI

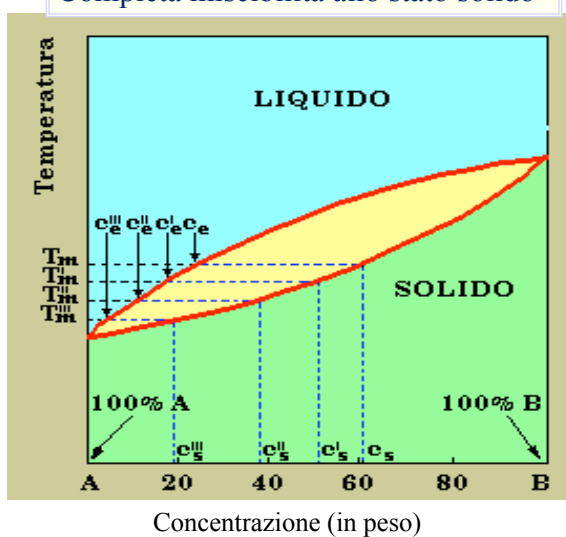
Completa miscibilità allo stato liquido
Completa miscibilità allo stato solido



39

DIAGRAMMI DI STATO BINARI

Completa miscibilità allo stato liquido
Completa miscibilità allo stato solido

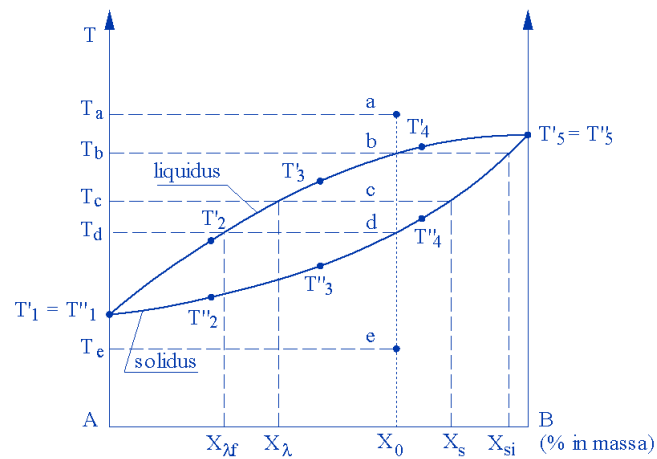


40

Diagrammi di stato binari

Determiniamo la varianza nei tre casi

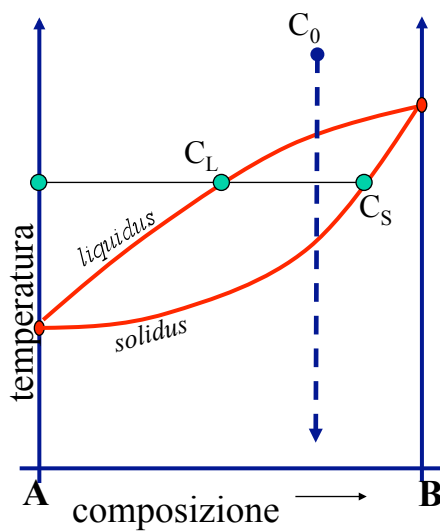
- $T > T_b$
- $T_b < T < T_d$
- $T < T_d$



39

Diagrammi di stato binari

La regola della leva inversa



$$C_0 = C_S \cdot f_S + C_L \cdot f_L$$

$$f_S + f_L = 1$$

$$C_0 = C_S \cdot f_S + C_L \cdot (1 - f_S)$$

$$C_0 - C_L = C_S \cdot f_S - C_L \cdot f_S$$

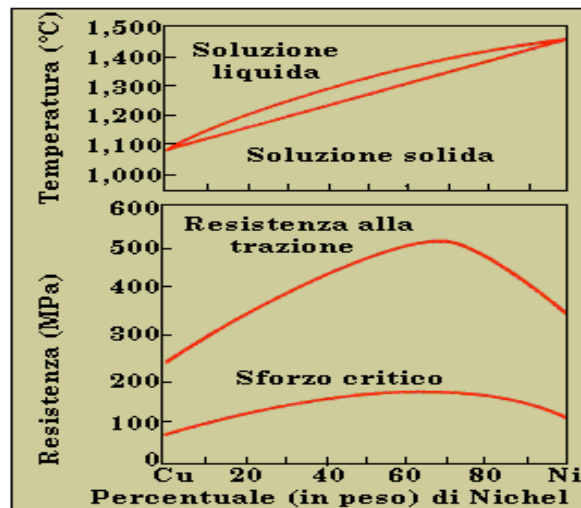
$$f_S = (C_0 - C_L) / (C_S - C_L)$$

$$f_L = (C_S - C_0) / (C_S - C_L)$$

42

DIAGRAMMI DI STATO BINARI

Completa miscibilità allo stato liquido
Completa miscibilità allo stato solido

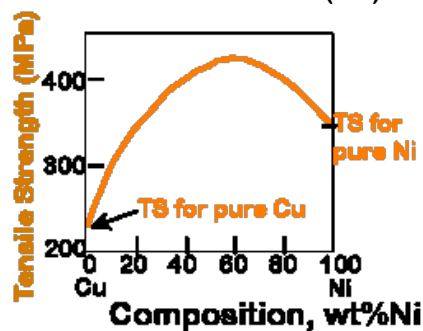


43

Proprietà meccaniche: Sistema Cu-Ni

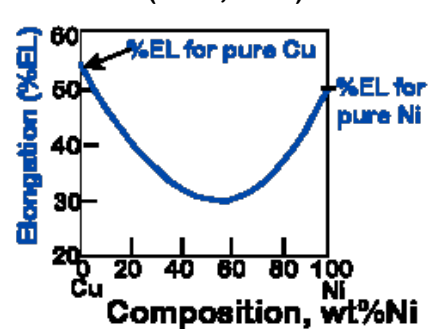
- rafforzamento mediante soluzione solida:

--Tensione di rottura (TS)



--Picco in funzione di C_0

--Duttilità (%EL,%AR)

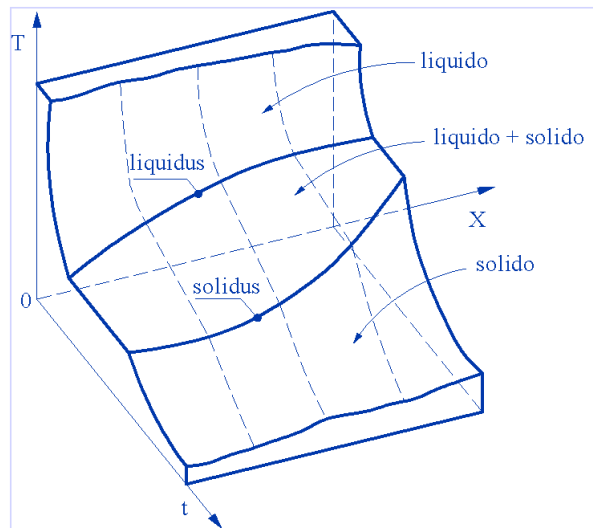


--Minimo in funzione di C_0

44

I diagrammi di stato

Completa miscibilità allo stato liquido
Completa miscibilità allo stato solido



42

Diagrammi di stato binari

Miscugli meccanici

Due componenti che formino un miscuglio meccanico durante la solidificazione presentano un diagramma di stato del tipo di figura seguente. La curva presenta un *eutettico*.

Eutettico : la temperatura del punto invariante è minore delle temperature di fusione dei due componenti o delle due fasi. La varianza in questo punto è nulla.

Liquido E $\Rightarrow$ solido A + Solido B

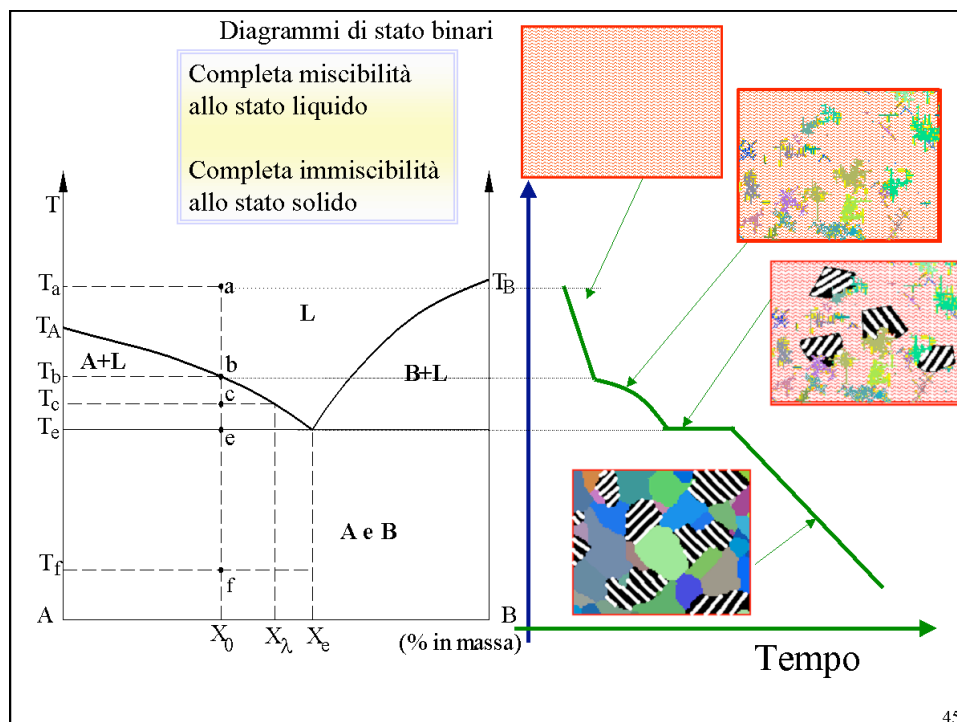
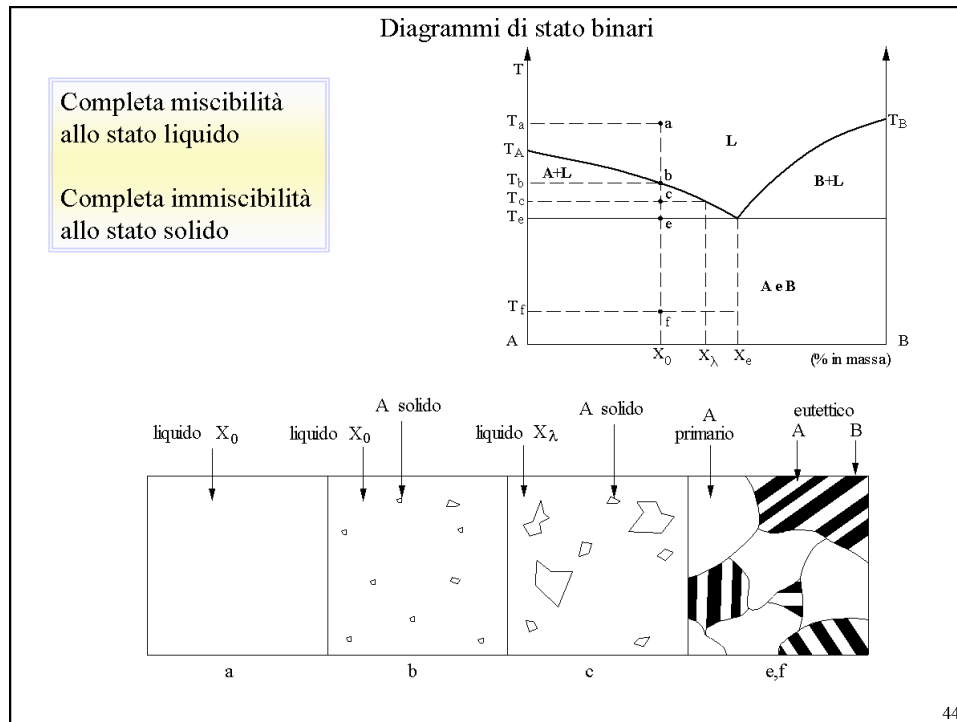
Micrografia della microstruttura eutettica del sistema Pb-Sn



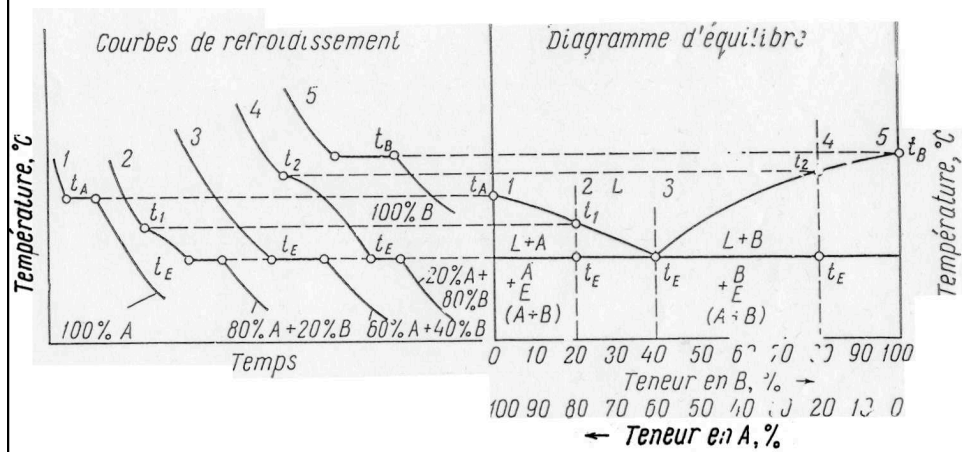
Eutettico: 'che fonde bene'!

160 μm

46



Diagrammi di stato binari



Leghe che allo stato solido formano miscugli meccanici.

49

Diagrammi di stato binari

Completa miscibilità
allo stato liquido

Completa immiscibilità
allo stato solido

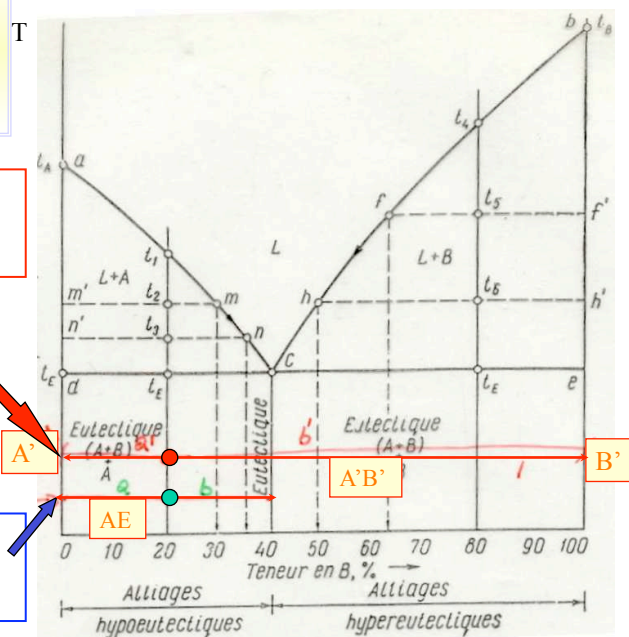
$$\% A = b' / (A'B')$$

$$\% B = a' / (A'B')$$

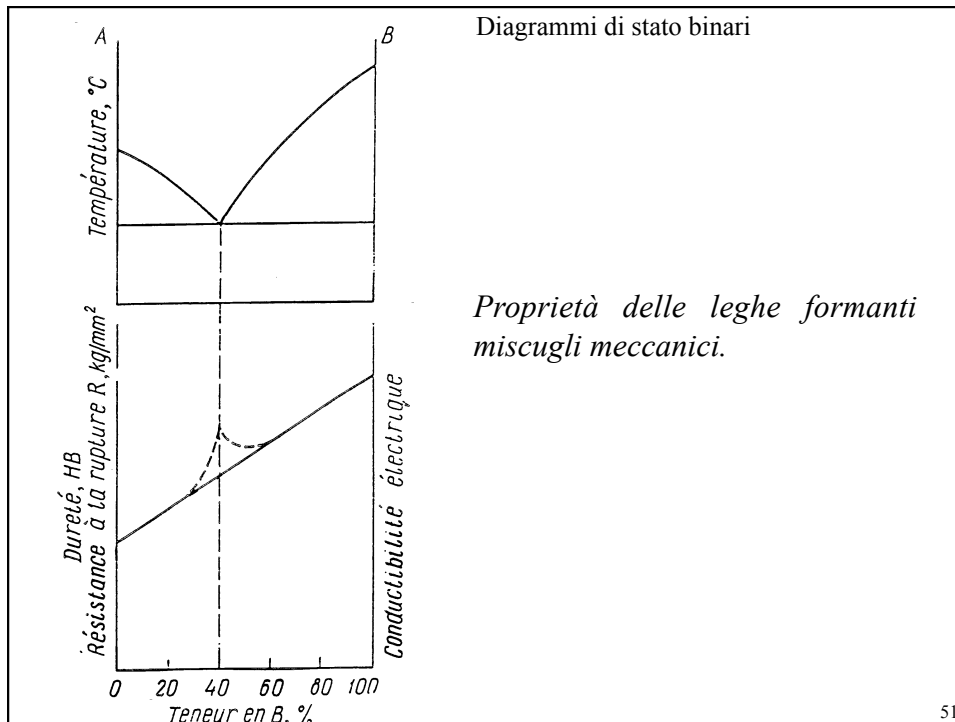
Pro-eutettica

$$\% A = b / (AE)$$

$$\% E = a / (AE)$$



50



Diagrammi di stato binari

Spazio interlamellare di un eutettico

$$\lambda = C / (R^{0.5})$$

R = velocità di accrescimento (cm/s)
C = costante

La morfologia dell'eutettico non è sempre lamellare

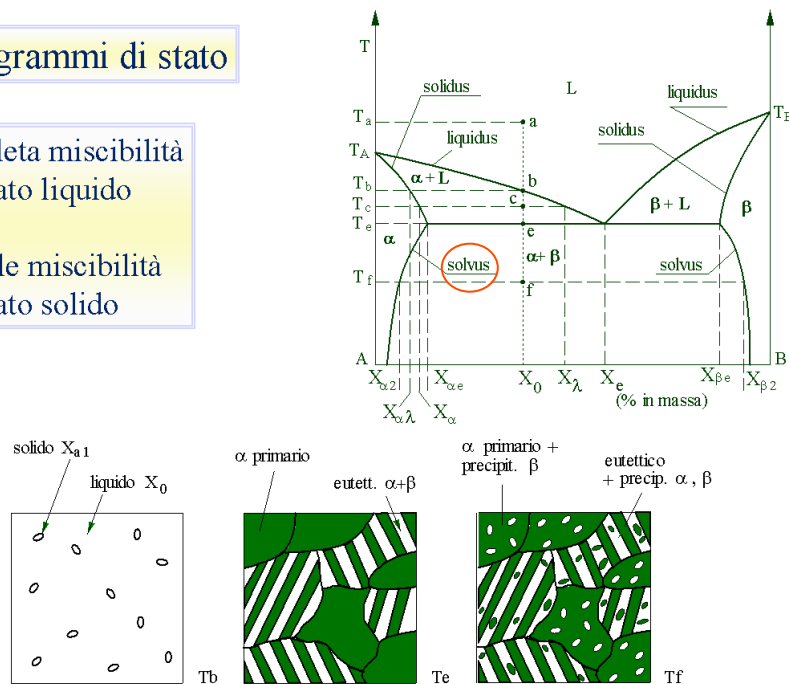
NB: la struttura lamellare permette agli atomi della lega di muoversi attraverso il liquido, in cui la diffusione è facile, senza doversi muovere per grandi distanze.

52

I diagrammi di stato

Completa miscibilità
allo stato liquido

Parziale miscibilità
allo stato solido

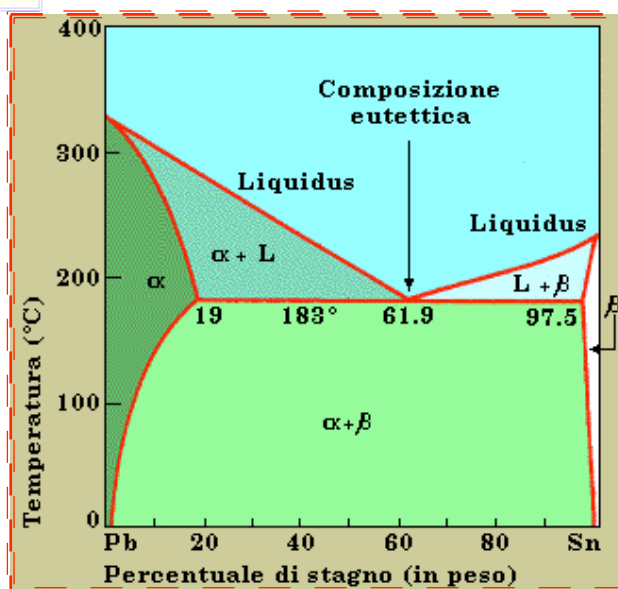


50

I diagrammi di stato

Completa miscibilità
allo stato liquido

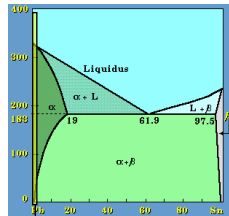
Parziale miscibilità
allo stato solido



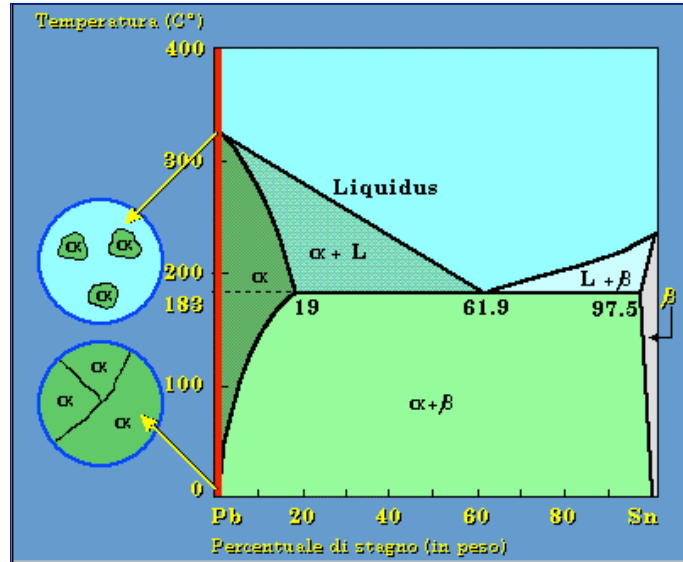
54

I diagrammi di stato

Completa miscibilità allo stato liquido
Parziale miscibilità allo stato solido



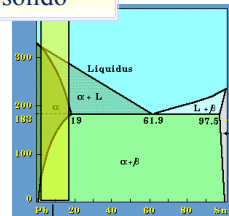
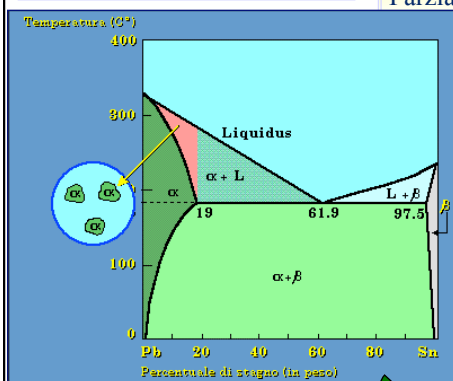
1° Caso



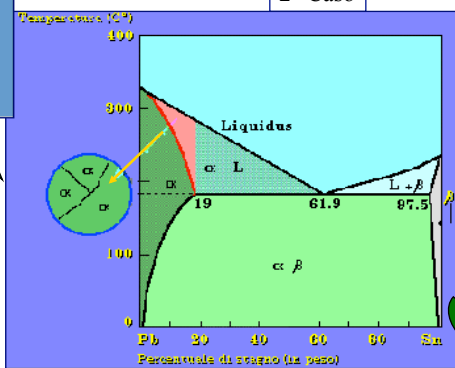
55

I diagrammi di stato

Completa miscibilità allo stato liquido
Parziale miscibilità allo stato solido



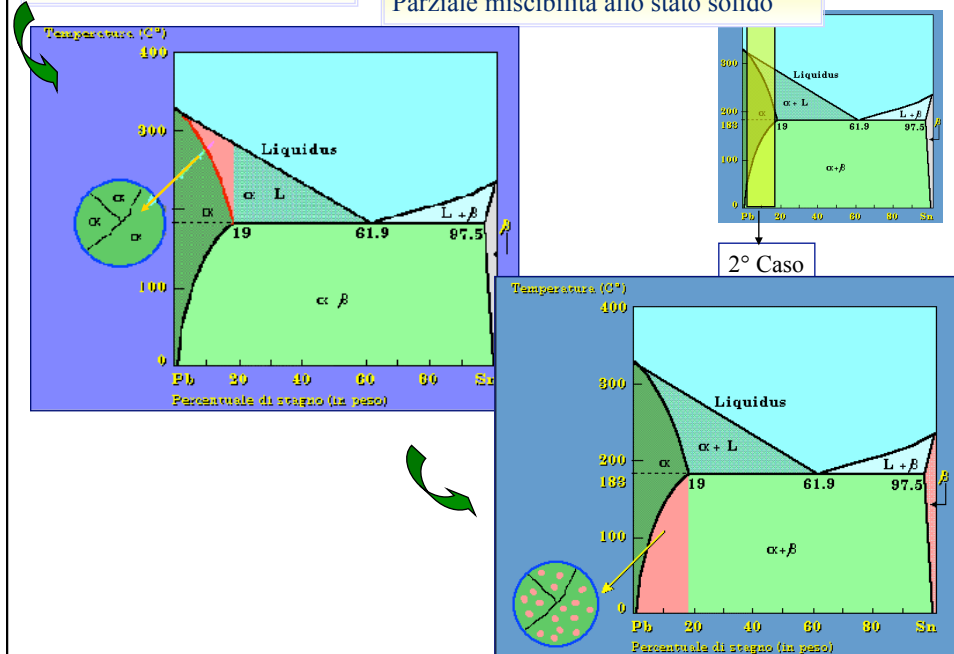
2° Caso



56

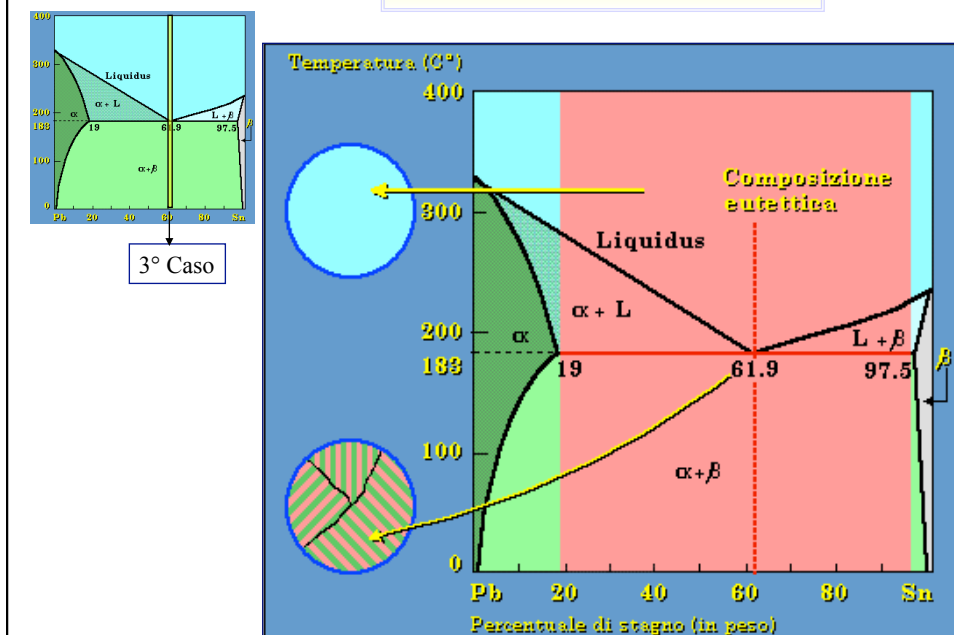
I diagrammi di stato

Completa miscibilità allo stato liquido
Parziale miscibilità allo stato solido



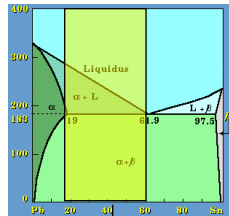
I diagrammi di stato

Completa miscibilità allo stato liquido
Parziale miscibilità allo stato solido

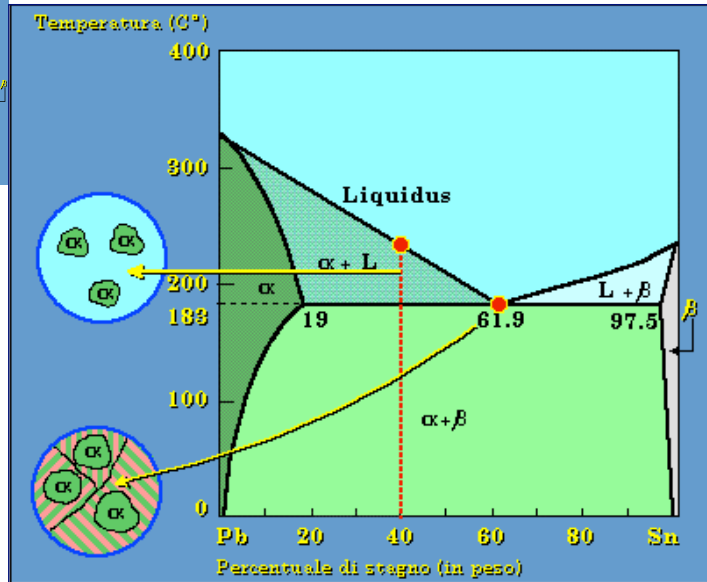


I diagrammi di stato

Completa miscibilità allo stato liquido
Parziale miscibilità allo stato solido

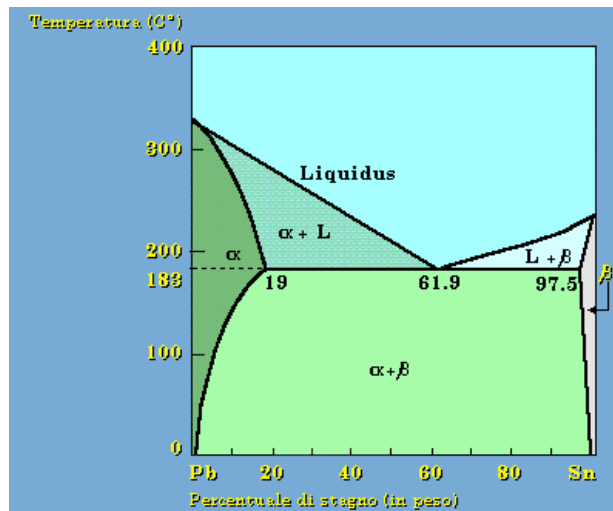


4° Caso



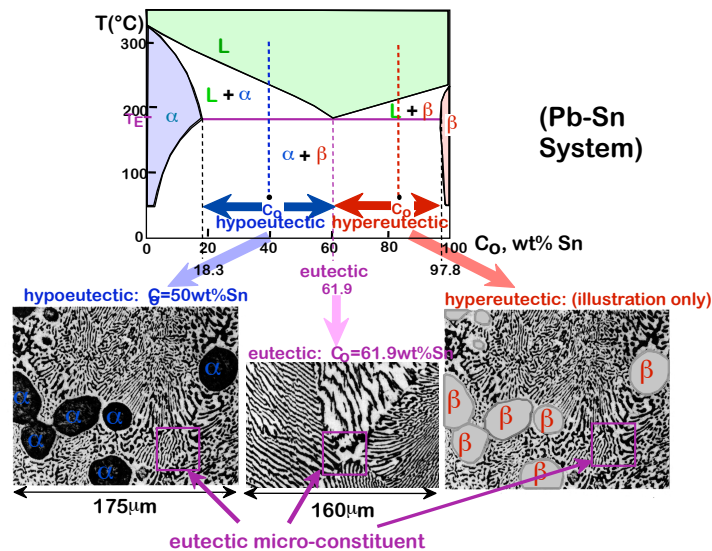
59

Filmato riassuntivo

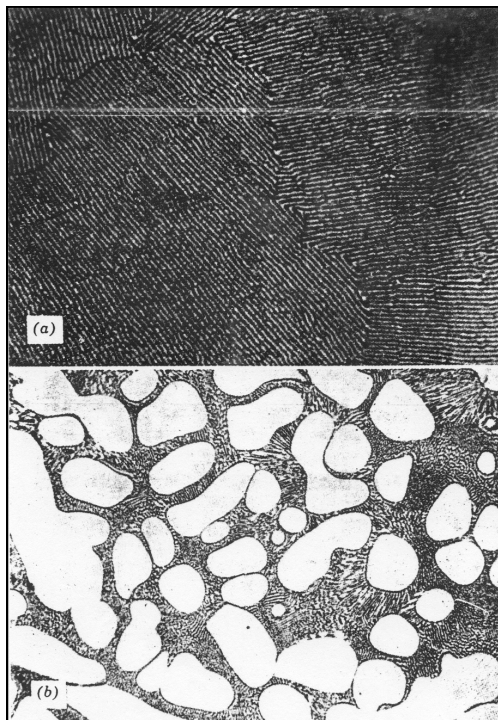


60

HYPOEUTECTIC & HYPEREUTECTIC



61



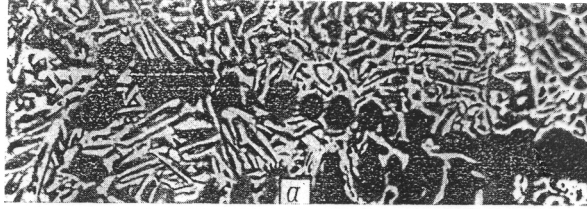
Diagrammi di stato binari
Microstruttura di due leghe
piombo-stagno.

(a) Lega di **composizione eutettica**, nella quale è visibile la miscela intima delle due fasi, la soluzione solida di stagno (chiaro) e la soluzione solida di piombo (scuro) [500x].

(b) Lega piombo-stagno **ipereutettica**, che mostra la soluzione solida primaria di stagno in una matrice di eutettico piombo-stagno [100 x].

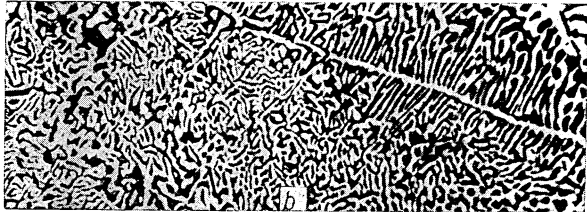
62

Micrografie di leghe **Piombo-Antimonio** (150x)

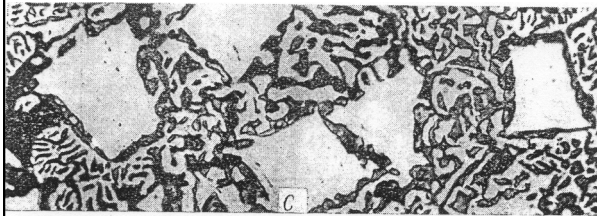


Diagrammi di stato binari

a) **lega ipoeutettica:**
eutettico Pb+Sb e Pb
in eccesso (zone scure)



b) **lega eutettica:**
eutettico Pb+Sb.

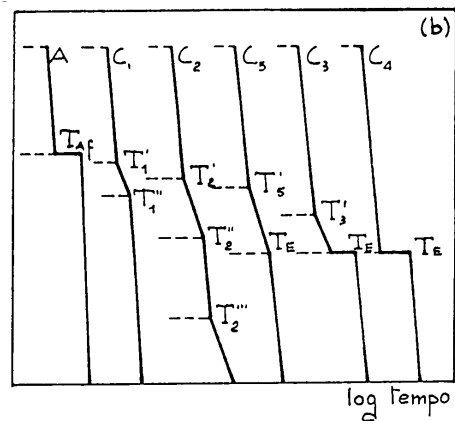
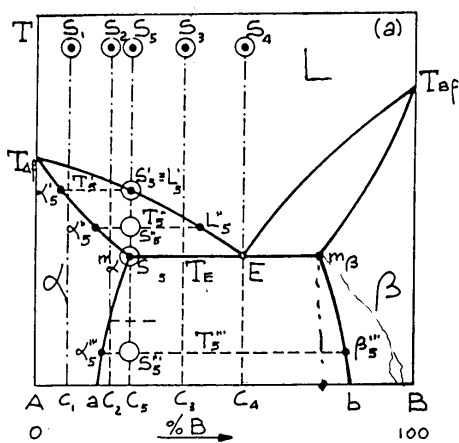


c) **lega ipereutettica:**
eutettico Pb+Sb e Sb
(zone chiare).

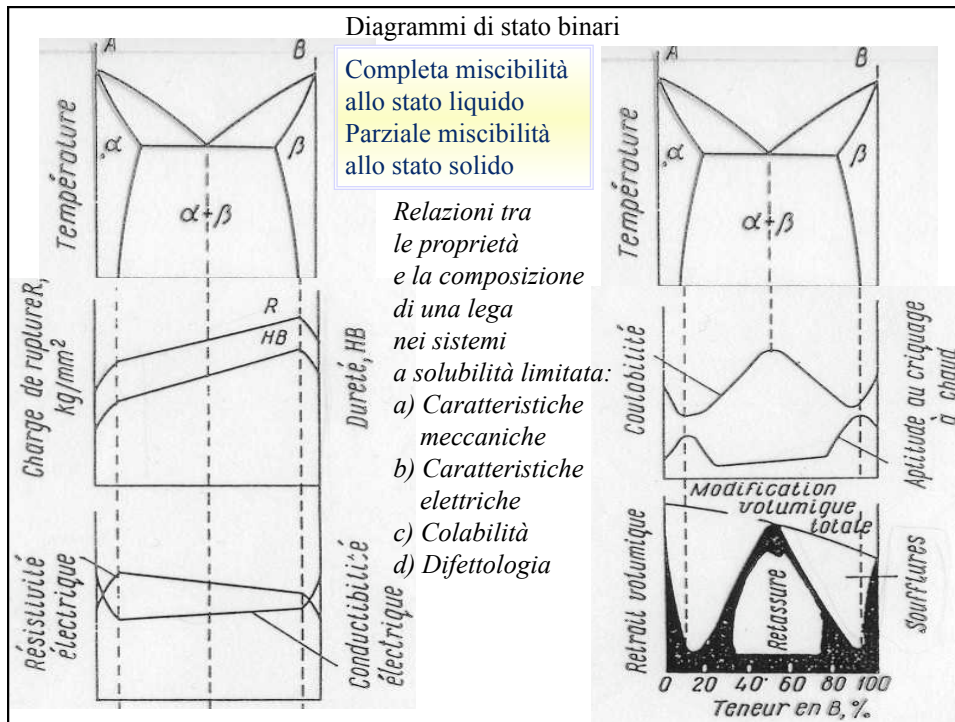
63

I diagrammi di stato

Completa miscibilità allo stato liquido
Parziale miscibilità allo stato solido



64



Diagrammi di stato binari

Diagramma con peritettico

Questo tipo di reazione avviene in un gran numero di leghe, compresi gli **acciai a basso C**.

Nella reazione peritettica un liquido reagisce con il solido δ per formare una seconda fase solida γ . Dopo l'inizio della reazione, la nuova fase γ separa le due fasi reagenti.

Affinché la reazione peritettica continui, gli atomi devono diffondere attraverso il solido γ . Ma la diffusione attraverso il solido è molto più lenta di quella che avviene nel liquido.

Man mano che la reazione peritettica continua lo strato di γ diventa sempre più spesso e la reazione rallenta sempre di più.

66

Diagrammi di stato binari

A meno di una velocità di raffreddamento molto lenta si hanno sempre strutture a **segregazione eterogenea**.

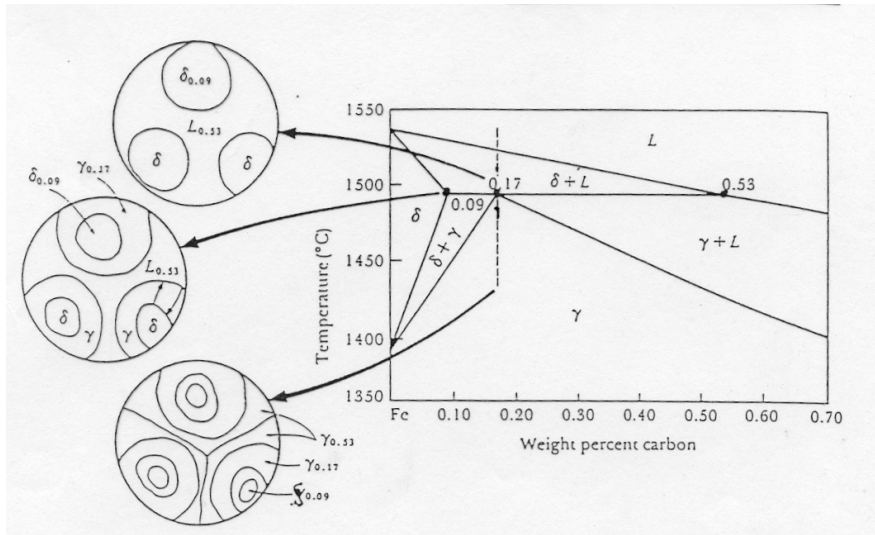
Negli acciai la segregazione durante la reazione peritettica non è un grave problema dato che la maggior parte degli acciai subisce dopo solidificazione delle lavorazioni meccaniche e dei trattamenti termici.

Peritettico: la temperatura del punto invariante è intermedia tra le temperature di fusione dei costituenti.
La varianza è nulla.

solido P3 + Liquido P1 ==> Solido P2

67

Diagrammi di stato binari



Solidificazione e microstruttura che si sviluppa come risultato della reazione peritettica.

68

Diagrammi di stato binari

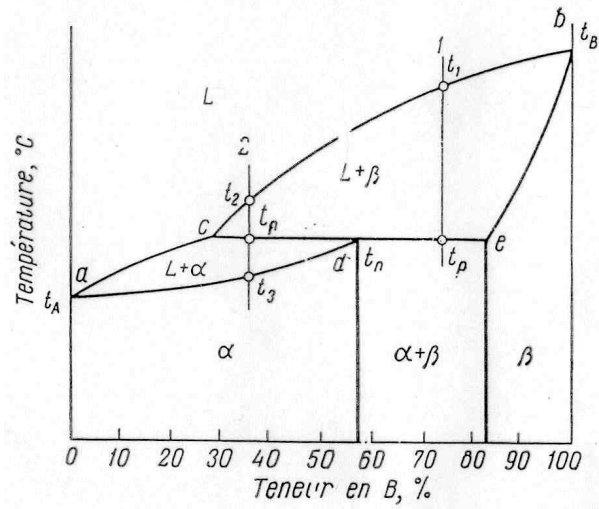
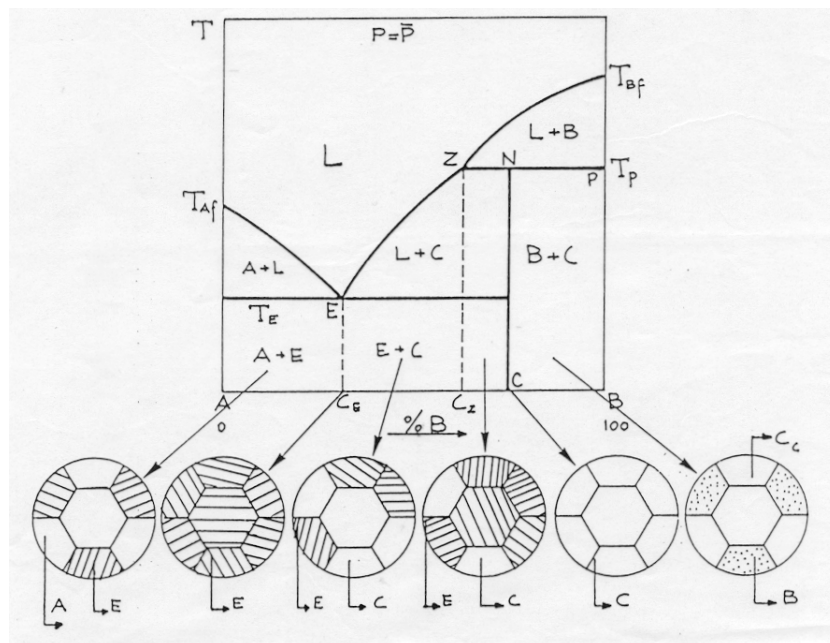


Diagramma di equilibrio di leghe che formano soluzioni solide limitate ed un peritettico.

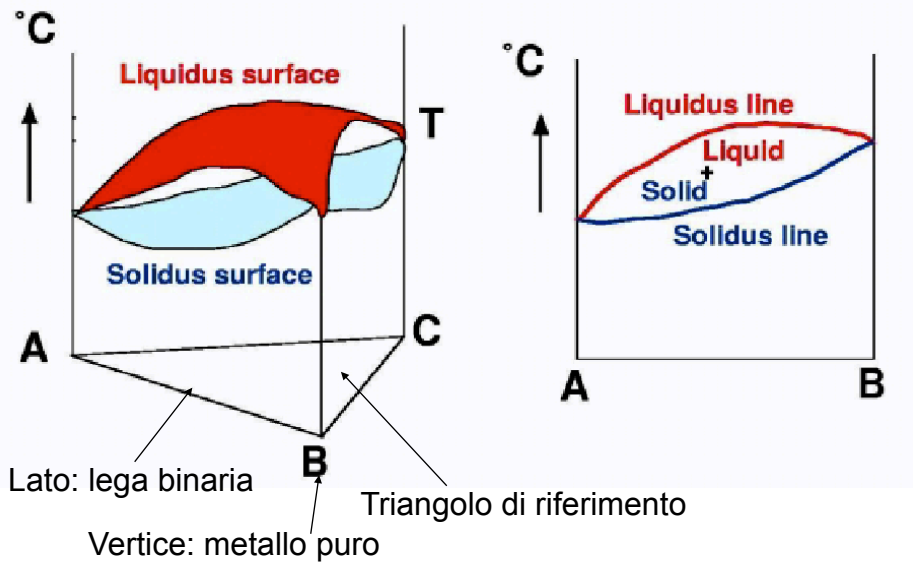
69

Diagrammi di stato binari



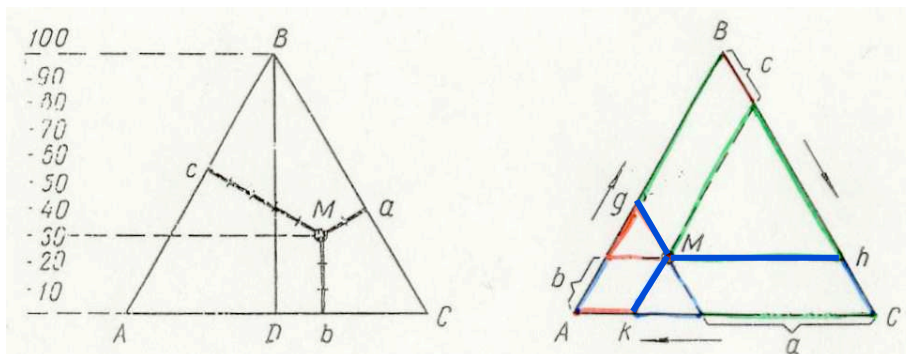
70

DIAGRAMMI DI STATO TERNARI



71

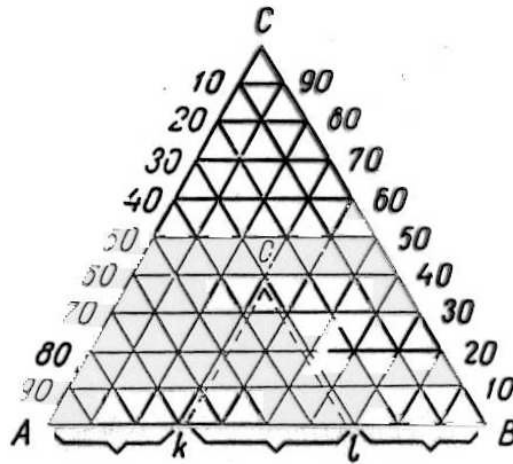
Diagrammi di stato ternari



Tutti i punti che si trovano su una parallela ad un lato del triangolo corrispondono a percentuali uguali del componente rappresentato dal vertice opposto

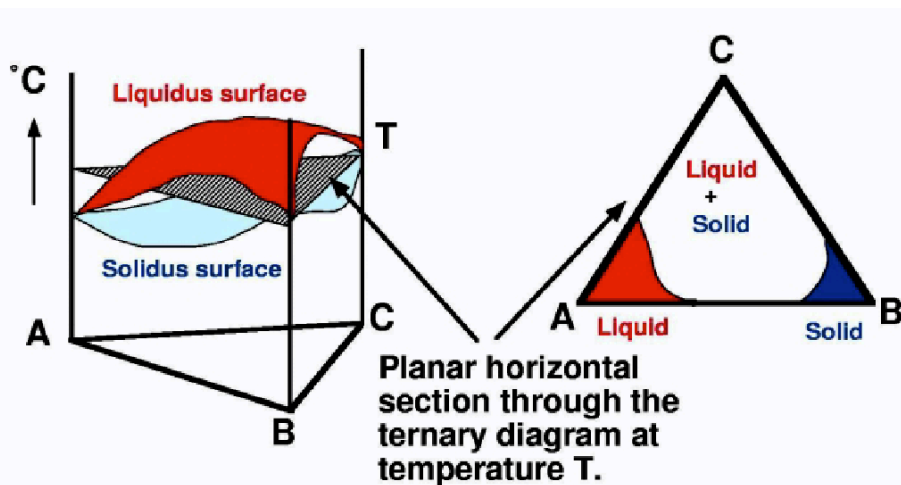
72

DIAGRAMMI DI STATO TERNARI



73

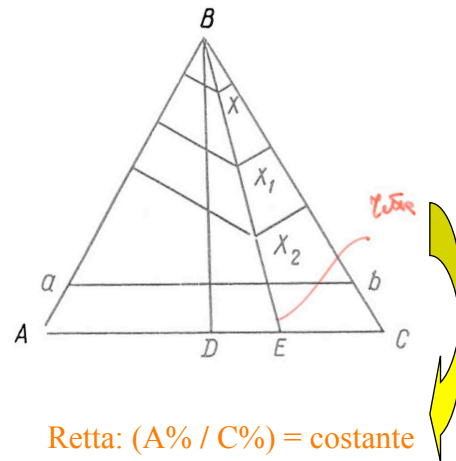
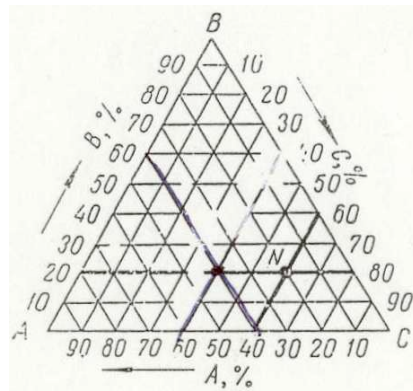
DIAGRAMMI DI STATO TERNARI



Le temperature sono portate verticalmente al triangolo:
diagramma spaziale.

74

Diagrammi di stato ternari



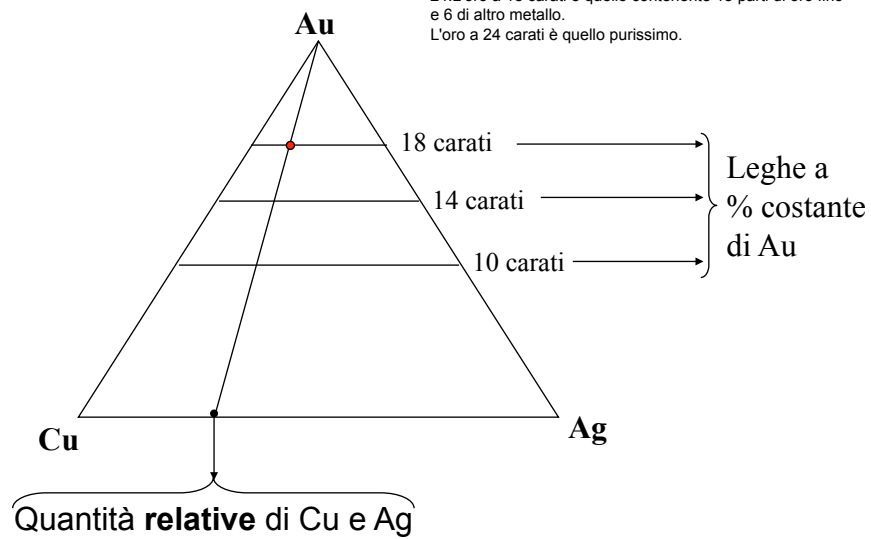
Retta: $(A\% / C\%) = \text{costante}$

75

DIAGRAMMI DI STATO TERNARI

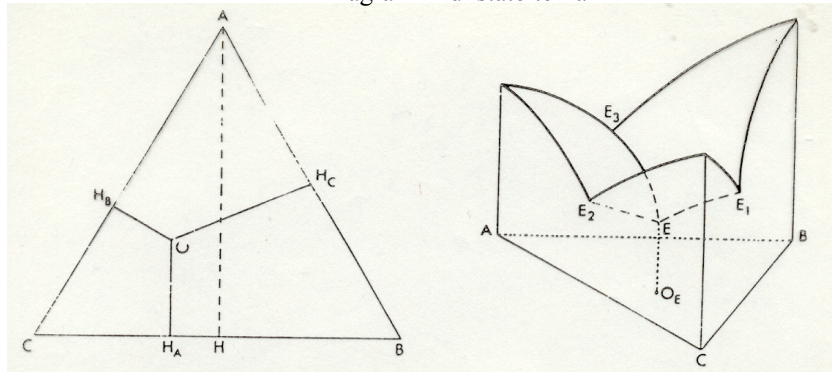
Sezione isoterma

Il termine **carato** viene utilizzato per quantificare le parti di oro in una lega. Un carato equivale ad una parte di oro su 24. L'oro a 18 carati è quello contenente 18 parti di oro fino e 6 di altro metallo. L'oro a 24 carati è quello purissimo.



76

Diagrammi di stato ternari

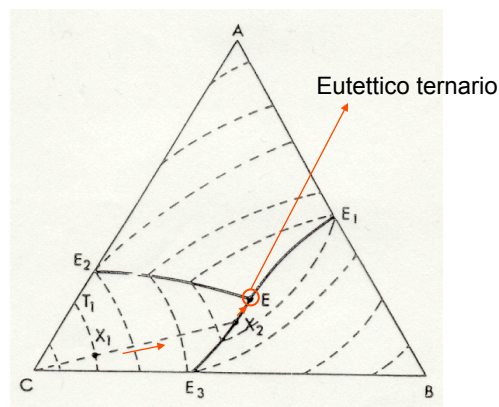


Rappresentazione della composizione di una lega ternaria.

Rappresentazione della superficie di liquidus di una lega ternaria dove i costituenti A, B e C formano due a due gli eutettici binari E_1 , E_2 , E_3 .

77

Diagrammi di stato ternari



Solidificazione di una lega ternaria che presenta una solubilità nulla allo stato solido.

Proiezione delle composizioni chimiche di sezioni isoterme del diagramma di stato ternario delle leghe.

78

A. Tiziani

P. Ferro

MATERIALI METALLICI

Segregazioni

A.A. 2008/2009

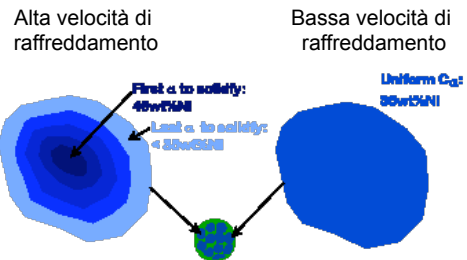
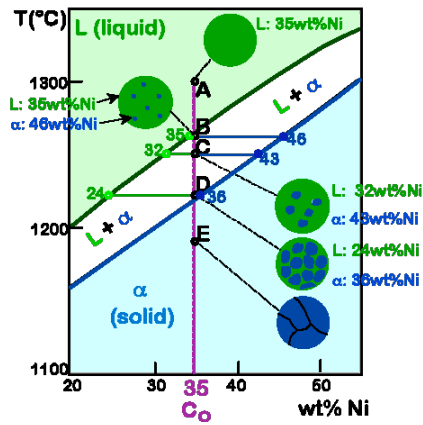
2° Anno Ingegneria Gestionale - Nuovo Ordinamento

79

- Definizione
- Segregazione minore
- Segregazioni maggiori

80

INTRODUZIONE



81

SEGREGAZIONI

Definizione:

“SEGREGAZIONE: MECCANISMO CHE CONDUCE ALLA FORMAZIONE DI ETEROGENEITA”.

E' quindi una disomogeneità di composizione che si osserva in una lega metallica solidificata come conseguenza del fatto che la solidificazione non avviene con una successione di stati di equilibrio (spesso si confonde il meccanismo con il fenomeno).

82

Definizione

Si distinguono a seconda della scala in cui avvengono, cioè macroscopica o microscopica, in :

-  **Segregazioni minori:**
si manifestano in seno al cristallo singolo.
-  **Segregazioni maggiori:**
all'interno di un pezzo o lingotto.

83



SEGREGAZIONE MINORE

Si intende la presenza di **concentrazioni differenti** di un certo elemento **entro uno stesso cristallo** solido per effetto di un meccanismo di solidificazione non conforme al diagramma di equilibrio.

Le composizioni delle fasi solida e liquida di una lega in equilibrio ad una certa temperatura sono definite dal **coefficiente di distribuzione o ripartizione K_0** dato da:

$$K_0 = C_s / C_l$$

dove: C_s = Concentrazione di B nel solido
 C_l = Concentrazione di B nel liquido

- **$K_0 < 1$ quando il soluto abbassa il punto di fusione di A**
- **$K_0 > 1$ quando lo innalza**

84

Segregazione minore

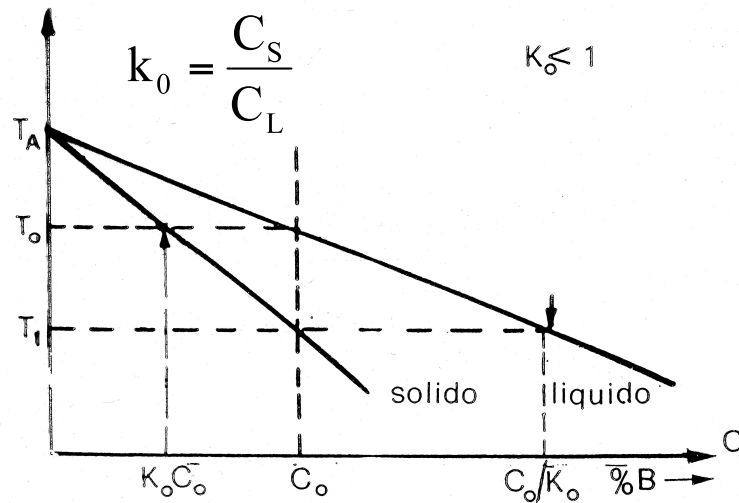


Fig. 2.14 - Parte di un diagramma di stato binario con solubilità allo stato solido

85

Segregazione minore

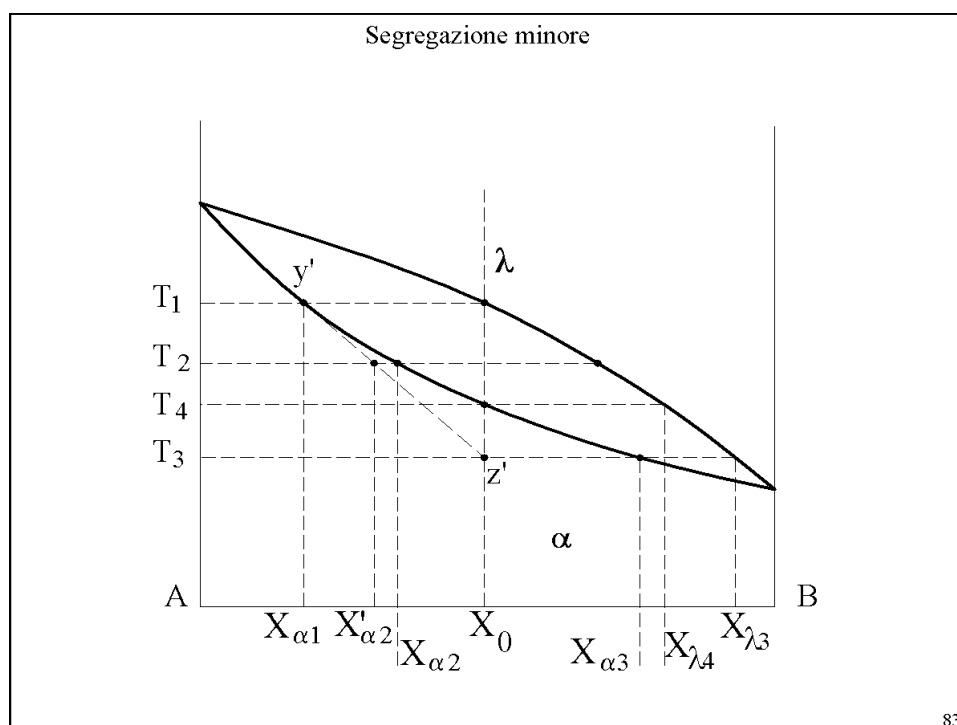
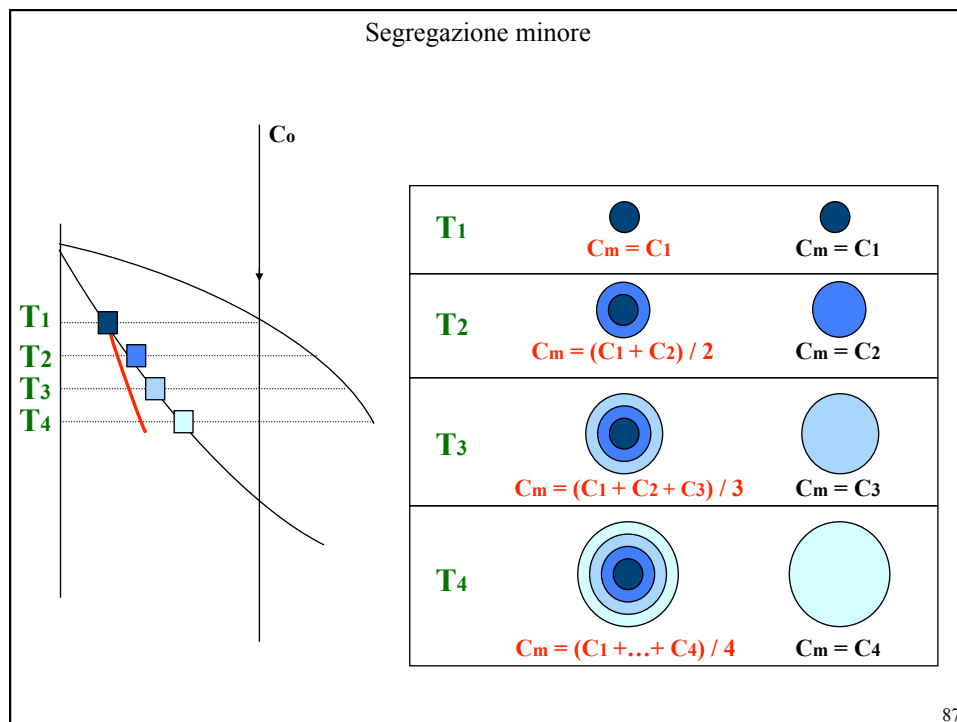
1° caso)

Supponiamo una perfetta diffusione sia nel liquido che nel solido. Il raffreddamento avviene alle condizioni di equilibrio ed il L e S saranno sempre in equilibrio fino ad ottenere tutto solido con la composizione del liquido di partenza.

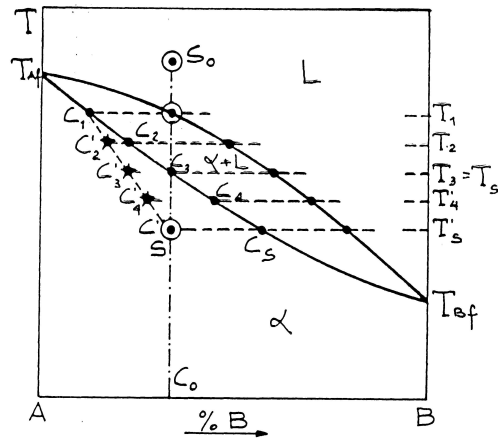
2° caso)

Supponiamo non esista alcuna diffusione. Il liquido solidifica più ricco in A e resta tale durante tutto il raffreddamento. L'ultimo liquido è formato da solo B e la temperatura di solidificazione è data da $T_B = T_2$.

86



Segregazione minore



Segregazione nelle leghe binarie A-B completamente miscibili allo stato liquido e solido.

89

Segregazione minore

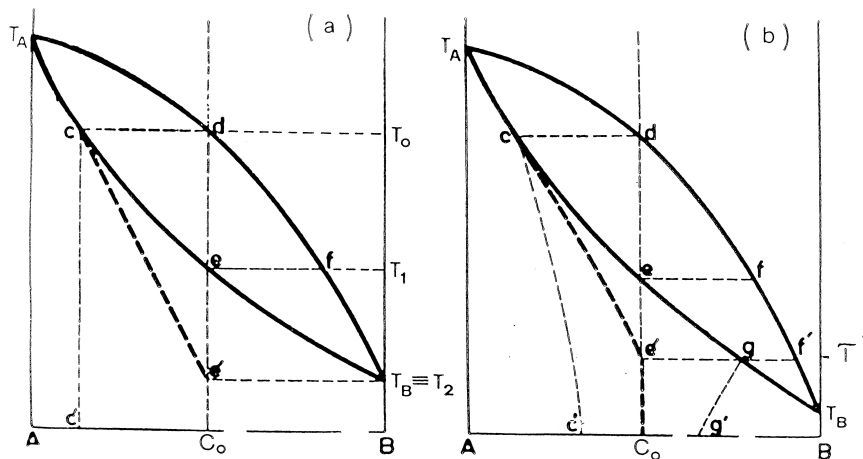


Fig. 2.15 - Effetto segregativo durante una solidificazione:
a) senza diffusione allo stato solido;
b) con parziale diffusione allo stato solido,

90

3° caso)

Velocità di diffusione definita e diversa da zero. Le ultime frazioni di liquido avranno composizione f' e la temperatura di solidificazione sarà T' . Inoltre durante il raffreddamento vi sarà una ulteriore diffusione in solido. Solo la **concentrazione media** sarà pari a C_0 .

Le curve di concentrazione di B in funzione della distanza dal centro del grano saranno quelle riportate in figura seguente.

91

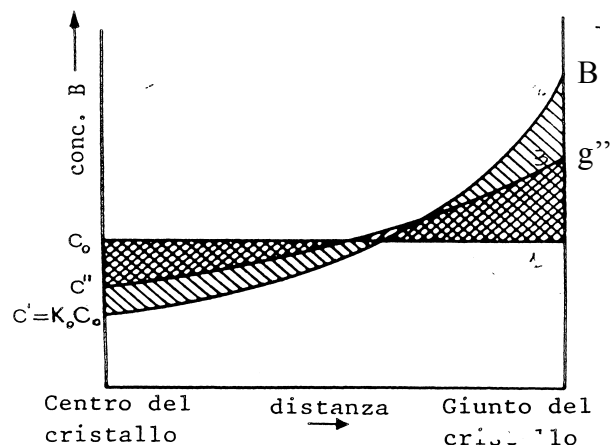
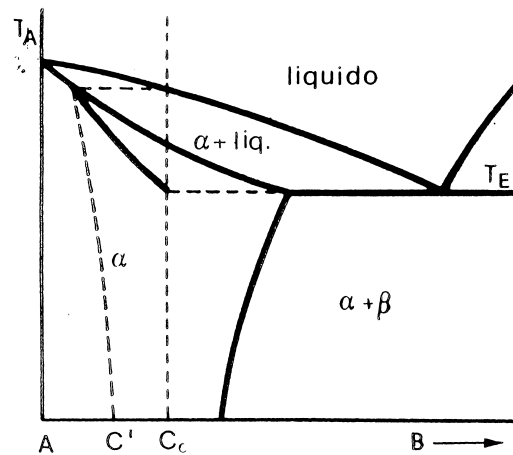


Fig. 2.16 - Andamento della concentrazione di soluto con la distanza dal centro del cristallo: 1) con diffusione perfetta; 2) con diffusione nulla; 3) con diffusione parziale.

92

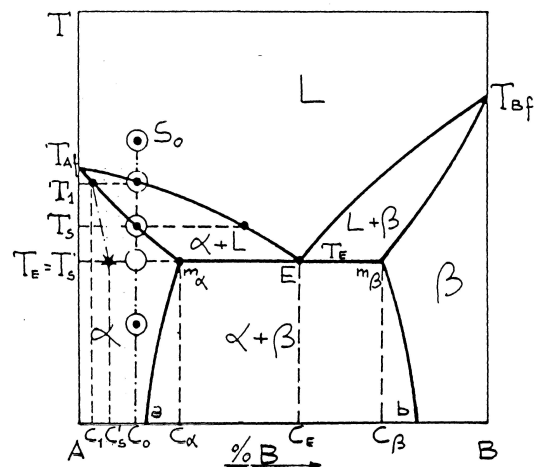
Segregazione minore

Si possono avere segregazioni anche quando esiste una lega binaria a solubilità limitata di B in A allo stato solido, con possibile formazione di eutettico.



93

Segregazione minore



Segregazione nelle leghe binarie A-B completamente miscibili allo stato liquido e parzialmente allo stato solido con formazione di eutettico.

94

Segregazione minore

In un cristallo se i tempi (reali) non sono sufficienti per arrivare all'equilibrio si formano diverse concentrazioni partendo dal centro ed andando verso la superficie con la presenza di linee di **isoconcentrazione**.

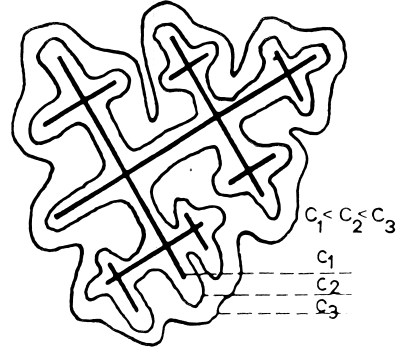


Fig. 2.18 - Curve di isoconcentrazione in un cristallo dendritico dopo segregazione.

95

Segregazione minore

SEGREGAZIONE MINORE SECONDARIA

Eterogeneità che può verificarsi anche durante trasformazioni allo stato solido.

Le segregazioni minori sono tanto più marcate quanto:

- **maggiore è la differenza** di concentrazione tra le curve del **solidus e del liquidus**;
- **più grandi sono i cristalli**, ossia quanto meno accentuata la nucleazione rispetto all'accrescimento;
- **più bassa è la temperatura di solidificazione** (infatti la diffusione si riduce).

96

Segregazione minore

BRUCIATURA:

Formazione di un eutettico per segregazione, in presenza di impurezza scarsamente solubile allo stato solido, con creazione di una guaina bassofondente ai bordi grani.

Durante un trattamento termico o una lavorazione plastica a caldo essa subisce una fusione parziale o una disgregazione. (il materiale è quindi da rottamare).

97

Segregazione minore



Micrografia ottica di un acciaio austenitico fortemente legato che presenta un eutettico localizzato alla giuntura dei grani.

98

Segregazione minore

METODI DI INDAGINE

IDENTIFICAZIONE:

Attacco metallografico

Microsonda

Microtraccianti radioattivi

LE SEGREGAZIONI MINORI SI TOLGONO CON UN TRATTAMENTO DI **RICOTTURA DI OMOGENEIZZAZIONE**.

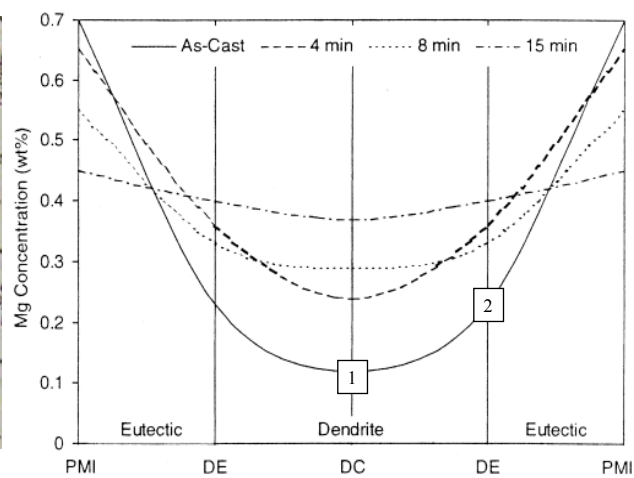
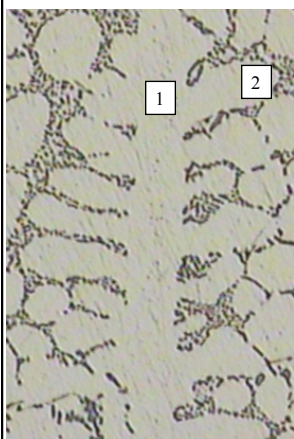
In alcuni casi oltre alla ricottura si esegue una lavorazione meccanica (fucinatura, laminazione, ecc...) che riduce la grana cristallina e quindi le distanze di diffusione.

99

Segregazione minore

Lega Al-7%Si-0.3%Mg da fonderia

Trattamento di solubilizzazione e omogeneizzazione



100



SEGREGAZIONI MAGGIORI O LIQUAZIONE

Quando la massa liquida è grande e la velocità di raffreddamento piccola la segregazione tende a prodursi non solo su scala microstrutturale, ma anche su scala macrostrutturale. Si deve ammettere che nel corso della solidificazione gli elementi in lega migrino per notevoli distanze. Tali spostamenti possono essere:

1. SPOSTAMENTO PER DIFFUSIONE NELLA FASE LIQUIDA (normale).

Si verifica nella solidificazione dell'acciaio nelle lingottiere. Al centro del lingotto vi è un accumulo di soluto (impurezze) rispetto al diagramma di stato. Tale zona solidificherà solo dopo che la temperatura sarà diminuita di molto.

101

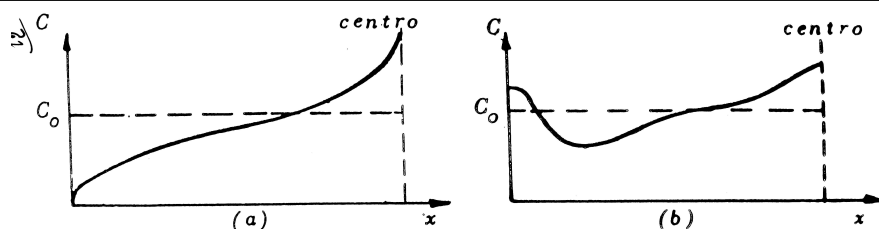


Fig. 2.19 - Andamento della distribuzione del soluto in un lingotto, dalla periferia al centro, a) macrosegregazione normale, b) macrosegregazione inversa.

ELEMENTO		Lingotto da 3 t			Lingotto da 1,5 t		
		Concentrazione			Concentrazione		
		sotto pelle	al centro	media	sotto pelle	al centro	media
C	%	0,279	0,36	0,305	0,440	0,69	0,50
S	%	0,018	0,026	0,022	0,088	0,167	0,10
P	%	0,028	0,053	0,040	0,098	0,223	0,12

102

2. SPOSTAMENTO MECCANICO DI UNA FASE RISPETTO AD UN'ALTRA.

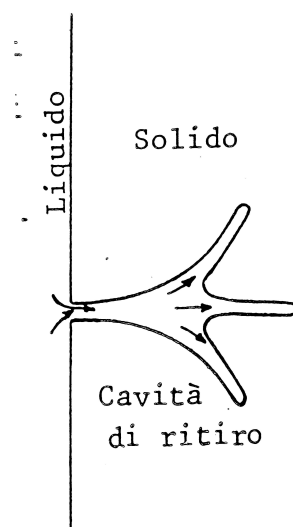
a) spostamento del solido nel liquido (*segregazione per gravità*): i cristalli che solidificano possono spostarsi in superficie o verso il basso in relazione al loro peso specifico con il liquido. Ex. carburi, metalli antifrizione, grafite nella ghisa).

b) spostamento del liquido nel solido (*segregazione inversa*).

Durante la solidificazione il liquido è suscettibile di spostarsi e di andare ad occupare gli spazi interdendritici creati dalla contrazione della solidificazione

103

Segregazione
inversa



104

Segregazione maggiore

Le condizioni perché avvenga la condizione di cui al punto b) sono che:

- **la lega subisca una diminuzione di volume;**
- **dia origine ad una struttura dendritica.**

Il fenomeno è più vistoso quanto più a lungo il liquido può stazionare nei canali interdendritici, ossia quanto più ampio è l'intervallo di solidificazione.

La presenza di gas favorisce la possibilità dell'afflusso di liquido nei canalicoli.

Effetto “sudore” dello stagno nei bronzi.

105

Segregazione maggiore

Le segregazioni maggiori risultano attenuate nei casi di :

- rapida solidificazione;
- leghe a piccolo intervallo di solidificazione.

Non sono eliminabili nè riducibili mediante trattamenti termici dati i tempi che richiederebbero per la diffusione.

Sono riducibili solo con trattamenti termomeccanici a caldo.

106