

17 Leghe non ferrose

Leghe del rame

Ottoni al piombo

Il piombo ha la proprietà di migliorare la lavorabilità degli ottoni alle macchine utensili. Viene aggiunto agli ottoni in percentuale molto piccola (circa il 2%), allo scopo di facilitare la rottura del truciolo.

Il piombo non è solubile nel rame e nelle sue leghe, ma rimane disperso in piccolissime particelle, perciò non altera le proprietà della lega.

Un esempio di ottone al piombo può essere la lega OT 58 Pb UNI 5705, con il 58% di rame, il 40% di zinco e il 2% di piombo.

Viene utilizzata per la fabbricazione di viti.

In **figura 1** è riportato il diagramma di stato delle leghe rame-piombo.

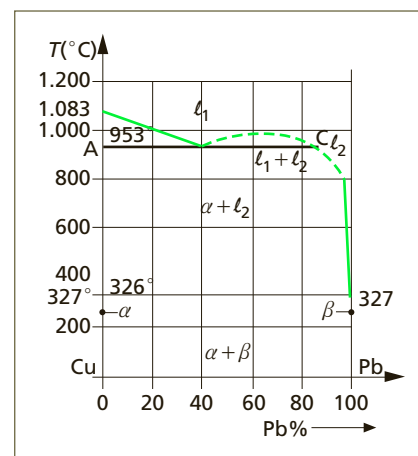


Figura 1

Diagramma di stato leghe rame-piombo.

Ottoni speciali

Si definiscono ottoni speciali le leghe rame-zinco alle quali sono stati aggiunti, in percentuale complessiva variabile dal 2 al 14%, altri elementi che migliorano le caratteristiche meccaniche.

Gli elementi che si aggiungono sono: ferro, manganese, nichel, alluminio.

Gli effetti degli elementi aggiunti sulle caratteristiche della lega sono indicati nella **tabella 1**.

Ferro Affina il grano e migliora leggermente le caratteristiche meccaniche.

Alluminio Aumenta la durezza e il carico di rottura, diminuendo la duttilità.

Manganese Aumenta la resistenza a trazione e affina il grano.

Nichel Aumenta la resistenza a caldo. Viene aggiunto in percentuali non superiori al 2%.

Le principali utilizzazioni e caratteristiche di alcuni ottoni sono indicate nella **tabella 1**.

Tabella 1

Utilizzazioni e caratteristiche di alcuni ottoni.

Sigla UNI	Composizione chimica			Stato	Caratteristiche meccaniche			Lavorazioni possibili e utilizzazioni
	Cu %	Zn %	Altri elementi %		R (N/mm ²)	A %	HB 10/1.000 30"	
OT 58 Pb	58	40	≤ 1,8 Pb = 2	Ricotto	360	25	80	Estrusione, fucinatura, lavorazione alle macchine utensili. Applicazioni varie, viterie, pezzi stampati a caldo.
				Semiduro	420	12	110	
				Duro	530	4	140	
OT 60	60	40	≤ 0,7	Ricotto	360	38	75	Estrusione, fucinatura, lavorazione macchine utensili, piegatura moderata, lavori di conio. Adatta per barre, lamiere, tubi, fili (soprattutto industria navale); piastre tubiere, viti per legno.
				Semiduro	410	20	110	
				Duro	500	8	140	
OT 63	63	37	≤ 0,6	Ricotto	300	50	55	Estrusione, laminazione, trafilatura, imbutitura. Per profilati e barre, lamiere e nastri, tubi, fili per costruzioni e apparecchi vari.
				Semiduro	380	25	80	
				Duro	440	9	105	
				Durissimo	520	5	130	
OT 72	72	28	≤ 0,4	Ricotto	280	55	50	Estrusione, laminazione, trafilatura, imbutitura, lavorazioni a caldo, saldatura forte. Come la lega OT 63 e per stampaggio profondo, bossoli, tubi.
				Semiduro	360	28	75	
				Duro	420	10	110	
OT 85	85	15	≤ 0,4	Ricotto	260	46	50	Lavorazioni a freddo. Per lamiere, fogli, minute-rie, pezzi da smaltare, tubi.
				Semiduro	300	15	70	
				Duro	400	8	100	

Bronzi all'alluminio

I bronzi all'alluminio sono leghe costituite da rame, alluminio e altri elementi, quali il nichel, il ferro e il manganese.

I bronzi all'alluminio generalmente sono denominati più esattamente cupralluminio, perché l'alluminio sostituisce lo stagno.

Il cupralluminio presenta:

- elevata resistenza alla corrosione;
- ottima resistenza all'usura;
- elevate caratteristiche meccaniche.

Il contenuto di alluminio è 4-14%.

Il ferro, il manganese e il nichel possono essere presenti in percentuali variabili dal 2 al 5%.

Nei grafici in **figura 2** sono rappresentate alcune caratteristiche delle leghe rame-alluminio.

Figura 2

Caratteristiche leghe rame-alluminio.

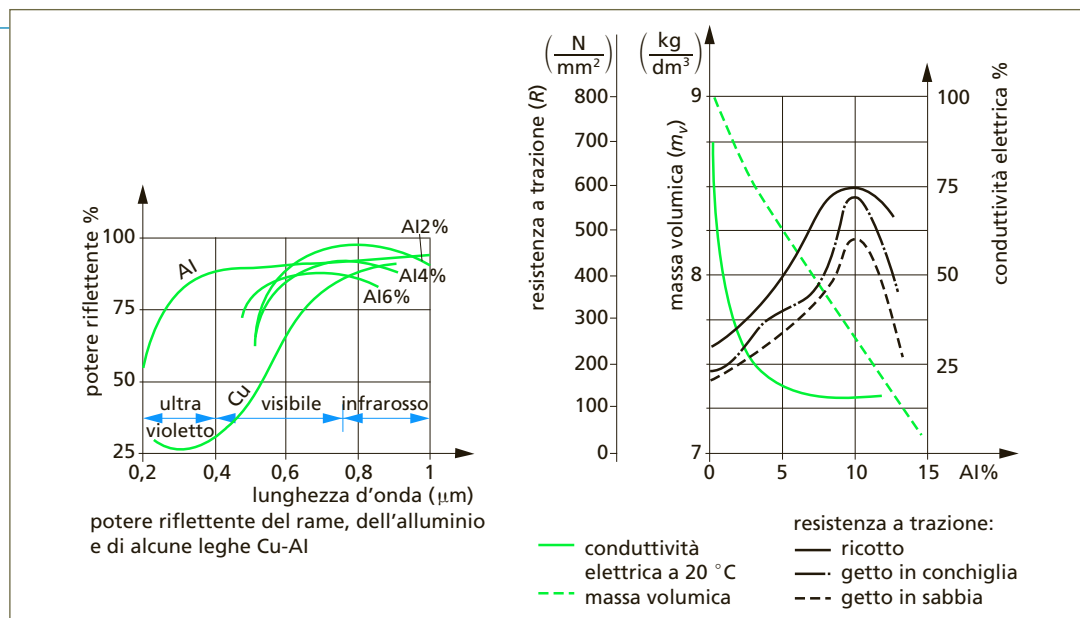


Diagramma di stato delle leghe rame-alluminio (fig. 3)

Sopra i 565 °C le leghe Cu-Al presentano due soluzioni solide α e β .

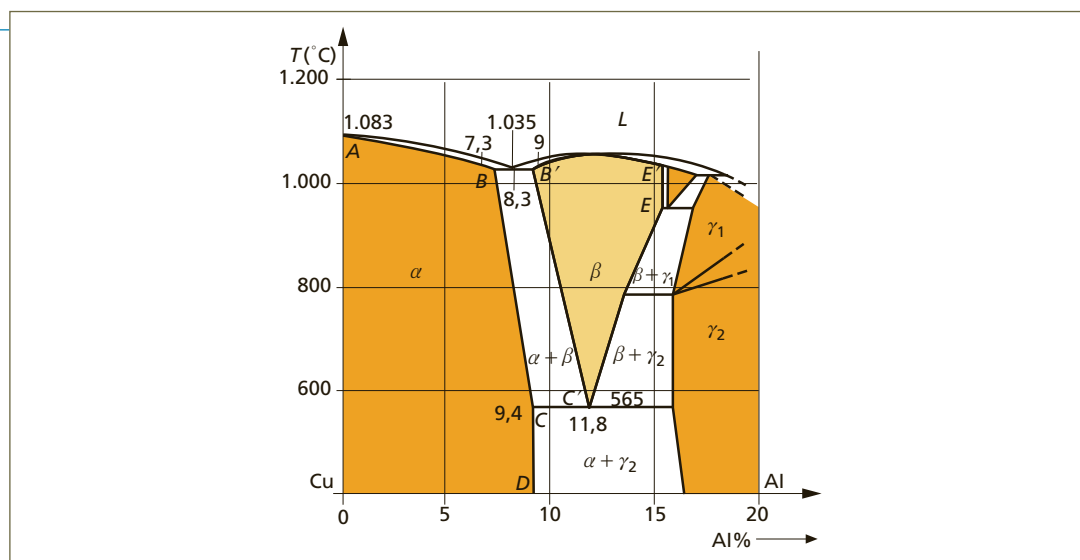
Sotto i 565 °C si ha la trasformazione eutettoide della fase β in $\alpha + \gamma$.

La fase γ , molto fragile, diminuisce la resistenza a corrosione. Per evitare che si formi la fase γ , si raffredda la lega molto rapidamente.

Per composizioni fino al 7,4% di Al si ha soltanto la struttura α . Per valori maggiori è possibile un trattamento termico di tempra.

Figura 3

Diagramma di stato di alcune leghe rame-alluminio.



Influenza degli elementi aggiunti

Il ferro affina il grano durante la solidificazione. Sopra il 3,5% resta insoluto e forma composti intermetallici molto duri che rendono la lega fragile e corrodibile.

Il nichel aumenta il limite elastico e il tenore di solubilità.

Il manganese aumenta la duttilità.

Le principali utilizzazioni e caratteristiche di alcuni bronzi all'alluminio sono indicate in **tabella 2**.

Sigla UNI	Composizione chimica		Stato	Caratteristiche meccaniche			Lavorazioni possibili e utilizzazioni
	Cu %	Al %		R (N/mm ²)	A %	HB 10/1.000 30"	
CU AL 4	96	4	Semilavorato-ricotto	300	50	60	Laminazione, tranciatura. Per lamiere e profilati per industrie chimiche e fili per bendaggio di motori elettrici.
			Semiduro	360	15	100	
			Duro	420	8	130	
			Durissimo	1.000	0,5	—	
CU AL 5	95	5	Semilavorato-ricotto	350	20	70	Laminazione, tranciatura. Per lamiere e profilati e molle per usi elettrotecnici.
			Semiduro	420	15	110	
			Duro	500	8	150	
CU AL 9	91	9	Greggio-getti	350	12	80	Getti, laminazione, tranciatura, fucinatura. Per lamiere e profilati, getti per motori a combustione, industrie chimiche, barre da tornitura ecc.
			Semilavorato-ricotto	400	30	80	
			Semiduro	500	10	130	
			Duro	600	5	160	
			Durissimo	850	1	200	
CU AL S I	83	9	Greggio-getti	400	20	100	Getti, estrusione, fucinatura, laminazione, tranciatura. Per guide di valvole per motori a combustione, sedi di valvole, aste per stantuffi, viti senza fine, corone dentate, ruote elicoidali, fasce elastiche per pompe.
			Semilavorato-trattato	450	30	80	
CU AL S II	83	9	Greggio-getti	450	10	130	
			Semilavorato-trattato	550	12	100	
CU AL S III	83	9	Greggio-getti	600	10	150	
			Semilavorato-trattato	650	12	160	
CU AL S IV	83	9	Semilavorato-trattato	750	5	200	

Tabella 2

Utilizzazioni e caratteristiche di alcuni bronzi all'alluminio.

Leghe dell'alluminio

Caratteristiche dell'alluminio puro

L'alluminio puro ha ottima conduttività elettrica, malleabilità e resistenza alla corrosione.

La conduttività elettrica dell'alluminio puro è 37,7 m/($\Omega \cdot \text{mm}^2$), pari al 63% rispetto alla conduttività del rame puro.

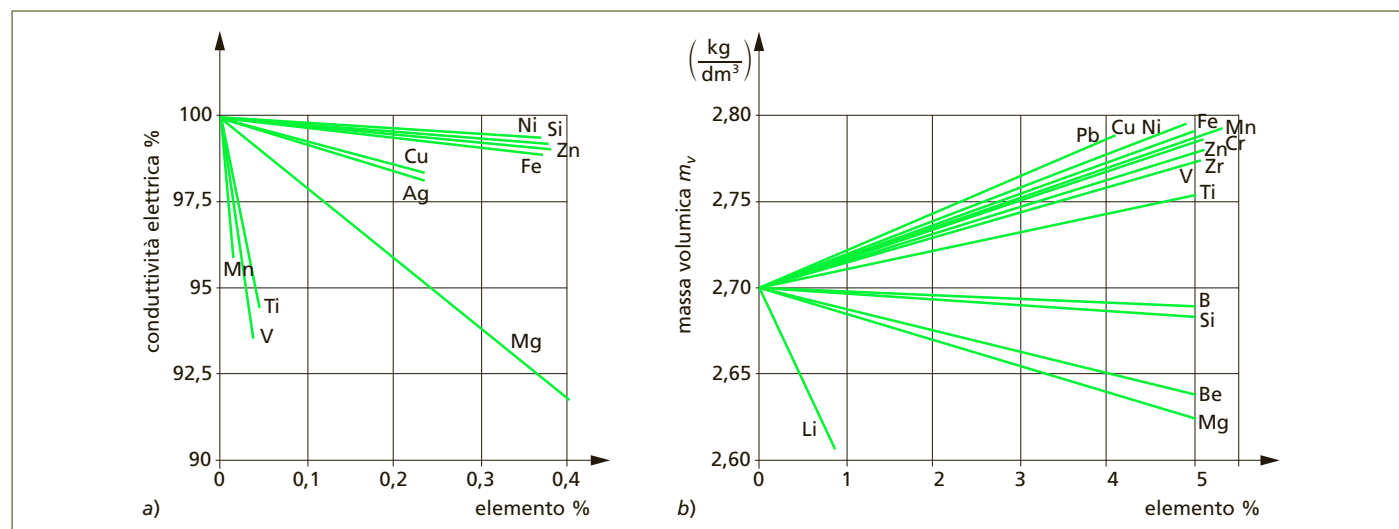
Il diagramma in **figura 4a** mostra l'influenza degli elementi aggiunti sulla conduttività elettrica dell'alluminio puro.

Il diagramma in **figura 4b** mostra l'influenza degli elementi aggiunti sulla massa volumica dell'alluminio puro.

Poiché le caratteristiche meccaniche dell'alluminio puro sono piuttosto basse, lo si mette in lega con altri elementi per ottenere metalli che, oltre a presentare le doti di leggerezza e di ottima resistenza alla corrosione proprie dell'alluminio, abbiano buone proprietà meccaniche e tecnologiche.

Figura 4

Influenza degli elementi aggiunti su
a) conduttività elettrica
e b) massa volumica.



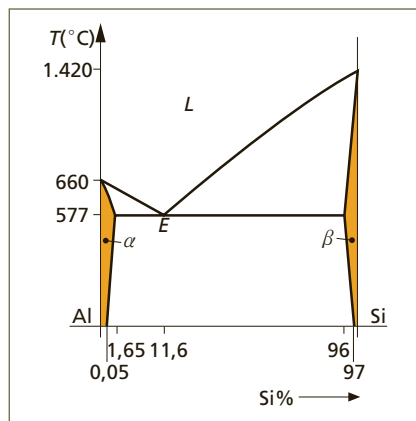
**Figura 5**

Diagramma di stato alluminio-silicio.

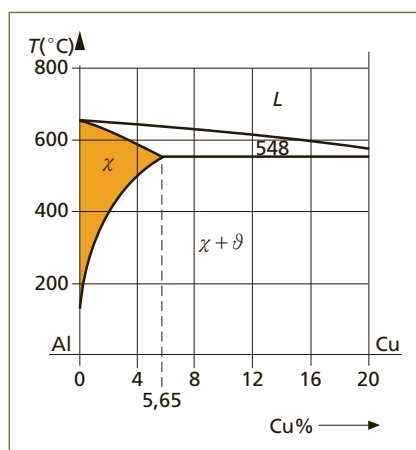
**Figura 6**

Diagramma di stato alluminio-rame.

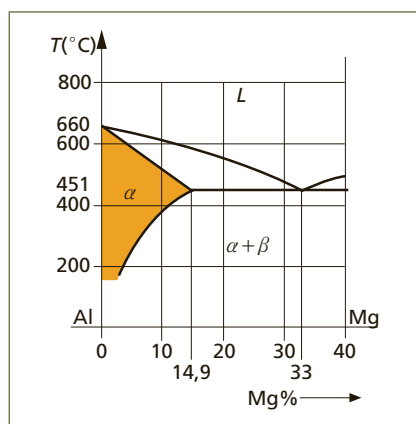
**Figura 7**

Diagramma di stato alluminio-magnesio.

Principali leghe dell'alluminio

Le leghe dell'alluminio più comunemente usate sono quelle che contengono rame, silicio, magnesio, manganese, zinco.

Una prima classificazione delle leghe dell'alluminio avviene in funzione della loro utilizzazione, e si distinguono perciò le leghe da fonderia (per getti) e le leghe da lavorazione plastica. La seconda classificazione si può fare sulla base dell'elemento in lega.

Molte leghe dell'alluminio possono subire i trattamenti termici di bonifica, che conferiscono durezza e resistenza al prodotto finito.

Leghe alluminio-silicio

Il diagramma di stato alluminio-silicio in **figura 5** mostra la formazione di un eutettico a 577 °C.

Le leghe alluminio-silicio sono molto importanti perché hanno caratteristiche di massima fluidità, di diminuzione della contrazione alla solidificazione e di assenza di fragilità a caldo. Per questi motivi sono considerate le migliori leghe di alluminio per la fabbricazione di getti.

Inoltre, all'aumentare del silicio diminuisce il coefficiente di dilatazione termica, mentre la resistenza alla corrosione è buona, anche se inferiore a quella delle leghe Al-Mg.

Leghe alluminio-rame

Solo le leghe con Cu < 15% hanno interesse pratico.

Nel diagramma di **figura 6** si nota che a 548 °C, tra la soluzione solida χ e la fase θ, si forma un eutettico, il composto intermetallico CuAl₂ (Cu = 54%).

A 548 °C il limite di solubilità del rame nell'alluminio χ è del 5,65% e si abbassa insieme alla temperatura.

La forma della linea che limita il campo della soluzione solida χ rende possibile la tempra di soluzione.

Duralluminio

Si chiama duralluminio la lega formata dall'alluminio e dai seguenti elementi:

- Cu = 3,5 ÷ 5,5%;
- Mg = 0,1 ÷ 1,5%;
- Mn = 0,3 ÷ 1,2%;
- Si = 0,1 ÷ 1,5%;
- Fe = 0,15 ÷ 0,5%.

Gli elementi aggiunti possono formare composti intermetallici (Al₃Fe; Mg₂Si; CuAl₂) che consentono la tempra di soluzione.

Le leghe duralluminio sono usate per getti e per lavorazioni plastiche.

Hanno ottime proprietà meccaniche e tecnologiche e una eccellente resistenza alla corrosione.

Leghe alluminio-magnesio

Il diagramma di stato in **figura 7** mostra un eutettico a 451 °C, con composizione Mg = 67%.

Allo stato solido si hanno soluzioni solide formate dal composto intermetallico Al₃Mg₂, molto duro, e dalla fase α.

L'abbassamento della temperatura riduce sensibilmente la solubilità della fase Al₃Mg₂, nella fase α (14,9% a 451 °C, 2,90% a 200 °C).

Ciò consente il trattamento di tempra di soluzione.

Trattamenti termici delle leghe leggere: tempra di soluzione e invecchiamento

La tempra di soluzione è un trattamento termico che permette di realizzare un indurimento della lega. Consideriamo per esempio la lega Al-Cu (Cu = 4%) rappresentata in **figura 8a**.

La tempra di soluzione si esegue con (**fig. 8b**):

- riscaldamento oltre la linea AB (circa 500 °C), in corrispondenza del punto rappresentativo P₁, nel quale la struttura della lega è fase omogenea χ;
- mantenimento a questa temperatura per il tempo sufficiente a mandare in soluzione la fase θ (CuAl₂);
- raffreddamento rapido (di solito in acqua).

A temperatura ambiente la soluzione χ è soprassatura, per cui la solubilità del rame nell'alluminio a 20 °C è di circa lo 0,1%.

Dopo un tempo di incubazione le particelle di CuAl_2 cominciano a precipitare e tendono a raggiungere lo stato di equilibrio.

La struttura finale è costituita da alluminio (soluzione solida χ).

Nella massa dell'alluminio sono disperse particelle piccolissime di fase ϑ (CuAl_2), che proprio per la loro dimensione bloccano il movimento delle dislocazioni.

Questo blocco migliora le proprietà meccaniche (resistenza, limite di snervamento, durezza), ma diminuisce la deformabilità.

Il fenomeno della precipitazione è detto invecchiamento.

L'invecchiamento è naturale quando avviene a temperatura ambiente; è artificiale quando avviene a una temperatura leggermente superiore.

L'invecchiamento artificiale consente un risparmio di tempo.

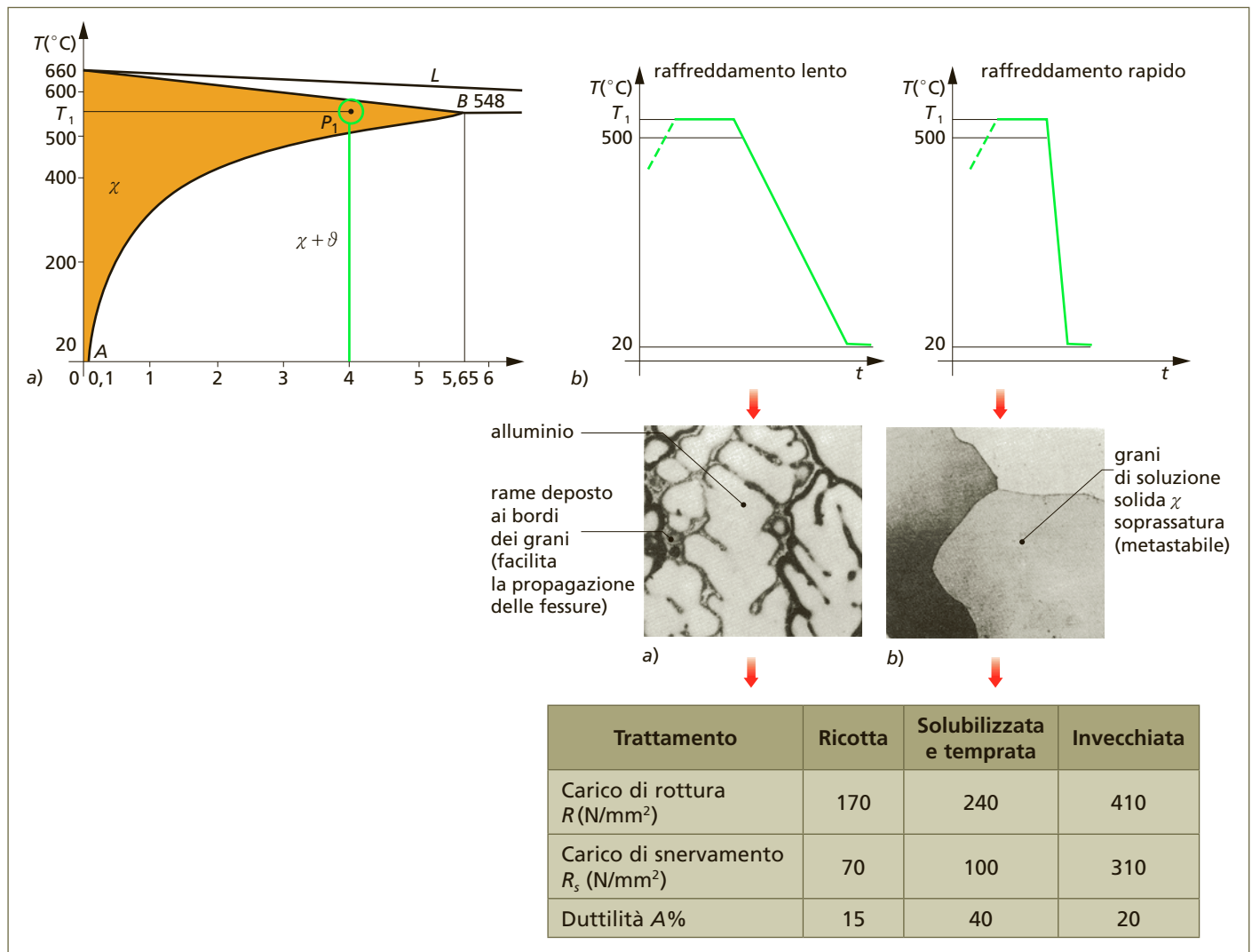
La tempra di soluzione può essere seguita da una ricottura di addolcimento (nel caso esemplificato, a una temperatura di 250 °C).

A questa temperatura le particelle di CuAl_2 si riaggregano in elementi tanto più grandi quanto più lungo è il tempo di mantenimento della temperatura.

Il processo di riaggregazione porta a una diminuzione della durezza.

Figura 8

Tempra di soluzione e invecchiamento per lega Al-Cu e caratteristiche meccaniche.



Trattamenti termici delle leghe leggere: ricottura

Le leghe dell'alluminio possono essere sottoposte a trattamenti di ricottura.

I trattamenti che si impiegano sono i seguenti:

- ricottura di omogeneizzazione;
- ricottura di addolcimento.

Ricottura di omogeneizzazione

La ricottura di omogeneizzazione migliora la finezza della grana e solubilizza le fasi intermedie durante il raffreddamento veloce, dopo la colata.

La temperatura richiesta per il trattamento è di circa 450-570 °C.

Ricottura di addolcimento

La ricottura di addolcimento è una cottura di ricristallizzazione.

Viene effettuata per eliminare l'incrudimento che si verifica in alcune leghe dopo la lavorazione meccanica.

Per altre leghe la ricottura d'addolcimento ha l'effetto di aumentare la resistenza alla corrosione.

Le principali utilizzazioni e caratteristiche di alcune leghe dell'alluminio sono indicate nella **tabella 3**.

Tabella 3

Utilizzazioni
e caratteristiche
di alcune leghe leggere.

Tipo di lega	Denominazione commerciale	Composizione chimica					Caratteristiche meccaniche				Utilizzazioni
		Cu%	Sn%	Mg%	Mn%	Altri elementi %	R (N/mm²)	R _e 0,2 (N/mm²)	A%	HB	
Leghe per getti											
Al-Cu	Termafond C12T	12				Fe = 0,7	250 ÷ 280	200 ÷ 170	1,2	105 ÷ 117	Pistoni colati in conchiglia
	Termafond C10	10		0,3		Fe = 1	250 ÷ 320	200 ÷ 250	0,3	115 ÷ 137	Pistoni e teste dei cilindri
	Inafond C8	8					140 ÷ 160	80 ÷ 90	2,5 ÷ 3,5	55 ÷ 62	Dove serve buona lavorabilità all'utensile
	Termafond Y	4		1,5		Ni = 2	230 ÷ 290	190 ÷ 260	0,7 ÷ 0,4	95 ÷ 105	Pistoni, teste di cilindri, parti molto sollecitate
Al-Si	Inafond S13		13				200 ÷ 230	20 ÷ 110	6,0 ÷ 2,2	55 ÷ 70	Getti con pareti sottili
	Termafond S10	2,2	10	1,4		Ni = 1	240 ÷ 300	210 ÷ 270	0,6 ÷ 0,4	110 ÷ 115	Pistoni e teste dei cilindri
	Pressofond 59C	3,5	8,5				310	190	3,8	90	Parti complesse colate sotto pressione
	Inafond S7		7	0,3	0,5		240 ÷ 280	200	2,5 ÷ 8,0	80 ÷ 100	Getti complessi e sollecitati
	Corrofond S45		4,5	0,7	0,7		190 ÷ 290	140 ÷ 220	1,5 ÷ 2,0	65 ÷ 100	Parti complesse resistenti alla corrosione
Al-Mg	Corrofond M10			10	0,4		180 ÷ 270	110 ÷ 170	2,0 ÷ 10,0	75 ÷ 80	Come l'S45, per forti sollecitazioni
Al-Zn	Inafond Z5F			0,6		Fe = 1 Zn = 5	250 ÷ 330	190	4,5 ÷ 11,5	95 ÷ 100	Getti semplici
Al-Sn	Lubral SN6	1	1,2			Fe = 6,0 Zn = 1	120 ÷ 160	60 ÷ 70	5,0 ÷ 7,5	45 ÷ 50	Cuscinetti monoblocco e guarnizioni antifrizione
Leghe per lavorazione plastica											
Al-Cu	Avional 24	4,5		1,6	0,6		200 ÷ 500	100 ÷ 400	14 ÷ 20	55 ÷ 125	Parti strutturali molto sollecitate
	Avional 22	4,0		0,5	0,5	Ti = 0,1 Ni = 0,6 Fe = 1,5	200 ÷ 400	80 ÷ 250	14 ÷ 18	55 ÷ 112	Idem, mediamente sollecitate
	Duralite 35	3,5	0,6	0,7			190 ÷ 420	120 ÷ 320	15 ÷ 15	57 ÷ 135	Parti strutturali sollecitate all'usura e a caldo
	Avional 21	2,5	0,3	0,3		Ni = 0,8	120 ÷ 310	50 ÷ 170	27 ÷ 32	40 ÷ 85	Pezzi imbutibili e ribattini
Al-Si	Extrudal 12	1,0	12,0	1,0			400	320	8	122	Pistoni
	Anticorrodal 11		1,0	0,8	0,3		120 ÷ 370	60 ÷ 340	6 ÷ 32	37 ÷ 115	Strutture portanti in ambiente corrosivo
	Aldrey 14		0,5	0,5			100 ÷ 320	40 ÷ 290	6 ÷ 25	80	Conduttori elettrici cordati
Al-Mg	Peraluman 50			5,0	0,3		290 ÷ 370	150 ÷ 320	15 ÷ 25	75 ÷ 102	Parti strutturali molto sollecitate in ambiente corrosivo marino
Al-Zn	Ergal 65	1,6		2,5	0,2	Ti = 0,08 Cr = 0,15 Zn = 7,8	250 ÷ 640	150 ÷ 580	7 ÷ 13	70 ÷ 135	Per parti strutturali fortemente sollecitate. Le leghe Al-Zn sono le leghe a più alta resistenza
Al-Mn	Aluman 30				1,2		100 ÷ 220	50 ÷ 210	5 ÷ 35	30 ÷ 57	Le stesse dell'alluminio, ma per sollecitazioni maggiori

Leghe del magnesio**Caratteristiche del magnesio puro**

Il magnesio ha scarse proprietà meccaniche, perciò lo si utilizza in lega con altri elementi.

In **figura 9** sono illustrati alcuni effetti degli elementi aggiunti sulle proprietà del magnesio.

Nel diagramma di **figura 9a** è indicata l'influenza degli elementi aggiunti sulla massa volumica del magnesio.

La massa volumica del magnesio puro è:

$$m_v = 1,74 \text{ kg/dm}^3.$$

Nel diagramma di **figura 9b** è indicata l'influenza degli elementi aggiunti sulla conduttività elettrica del magnesio.

La conduttività elettrica del magnesio puro è:

$$\rho = 22,4 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$$

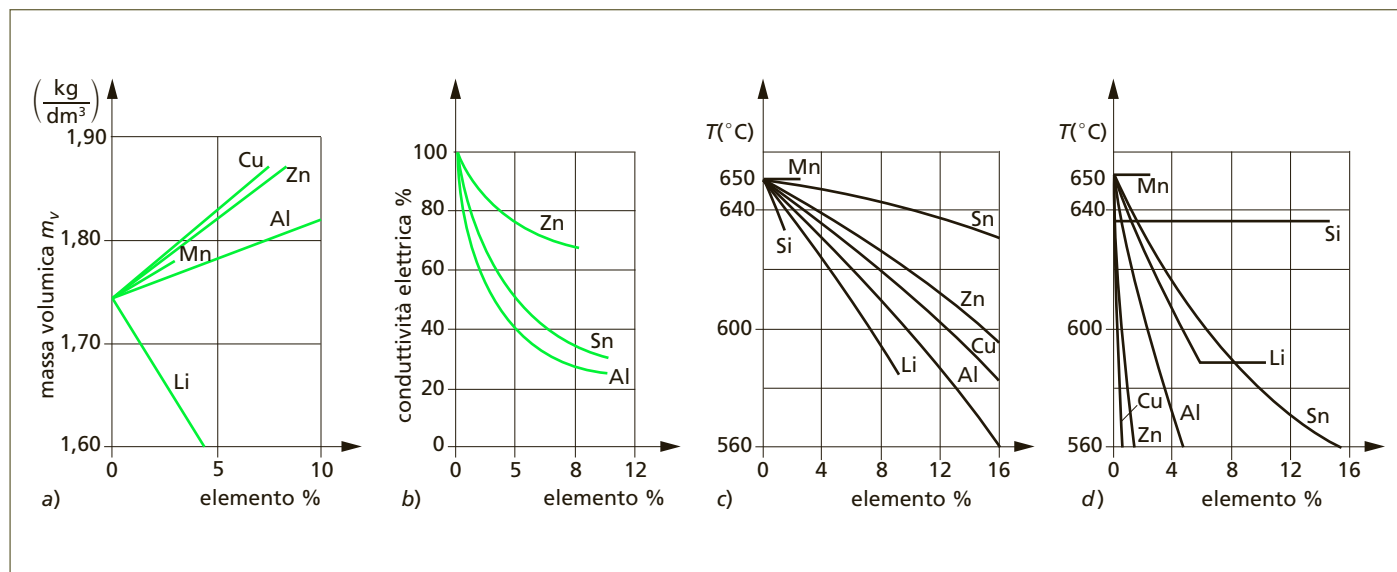
pari al 37% della conduttività del rame puro.

Nel diagramma di **figura 9c** è indicato lo spostamento della linea del liquido in alcune leghe del magnesio.

Nel diagramma di **figura 8d** è indicato lo spostamento della linea del solido in alcune leghe del magnesio.

Figura 9

Effetti di elementi in lega su alcune proprietà del magnesio.



Principali leghe del magnesio

Le leghe del magnesio, denominate anche leghe ultraleggere, sono costituite da magnesio con aggiunta di 4-5% di alluminio, 3-4% di zinco, 0,2-1% di manganese. Il magnesio forma composti intermetallici con altri elementi della lega parzialmente solubili.

Sulle leghe del magnesio può essere eseguita la tempra di soluzione.

In **figura 10** il diagramma di stato delle leghe magnesio-alluminio.

Principali utilizzazioni e caratteristiche delle leghe del magnesio

Le leghe del magnesio sono adatte per la preparazione di getti e per lavorazioni plastiche.

Date le apprezzabili proprietà meccaniche, fisiche e tecnologiche, le leghe del magnesio trovano applicazioni nella fabbricazione di aerei, di macchine da corsa ecc. cioè quando è determinante una massa ridotta.

La lavorazione alle macchine utensili delle leghe del magnesio è difficile, perché il truciolo, se non si prendono opportune precauzioni, può incendiarsi.

Ugualmente difficile è la lavorazione in fonderia: le formature devono essere effettuate in terra, utilizzando un impasto con acido borico e zolfo, perché il magnesio reagisce con acqua e sviluppa idrogeno, che è un gas fortemente infiammabile.

Nei diagrammi in **figura 11a** sono indicate alcune caratteristiche meccaniche (carico di rottura R ; allungamento A ; durezza Brinell HB) delle leghe magnesio-alluminio.

Il diagramma a sinistra si riferisce alle leghe per getti; quello a destra si riferisce alle leghe per estrusi. Nei diagrammi in **figura 11b** sono indicate alcune caratteristiche meccaniche (carico di rottura R ; allungamento A ; durezza Brinell HB) delle leghe magnesio-zinco.

Il diagramma a sinistra si riferisce alle leghe per getti; quello a destra si riferisce alle leghe per estrusi non trattati.

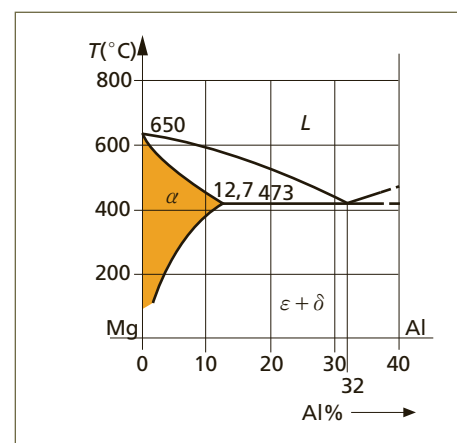


Figura 10

Diagramma di stato delle leghe magnesio-alluminio.

Figura 11

Caratteristiche meccaniche
a) leghe magnesio-alluminio
e b) magnesio-zinco.

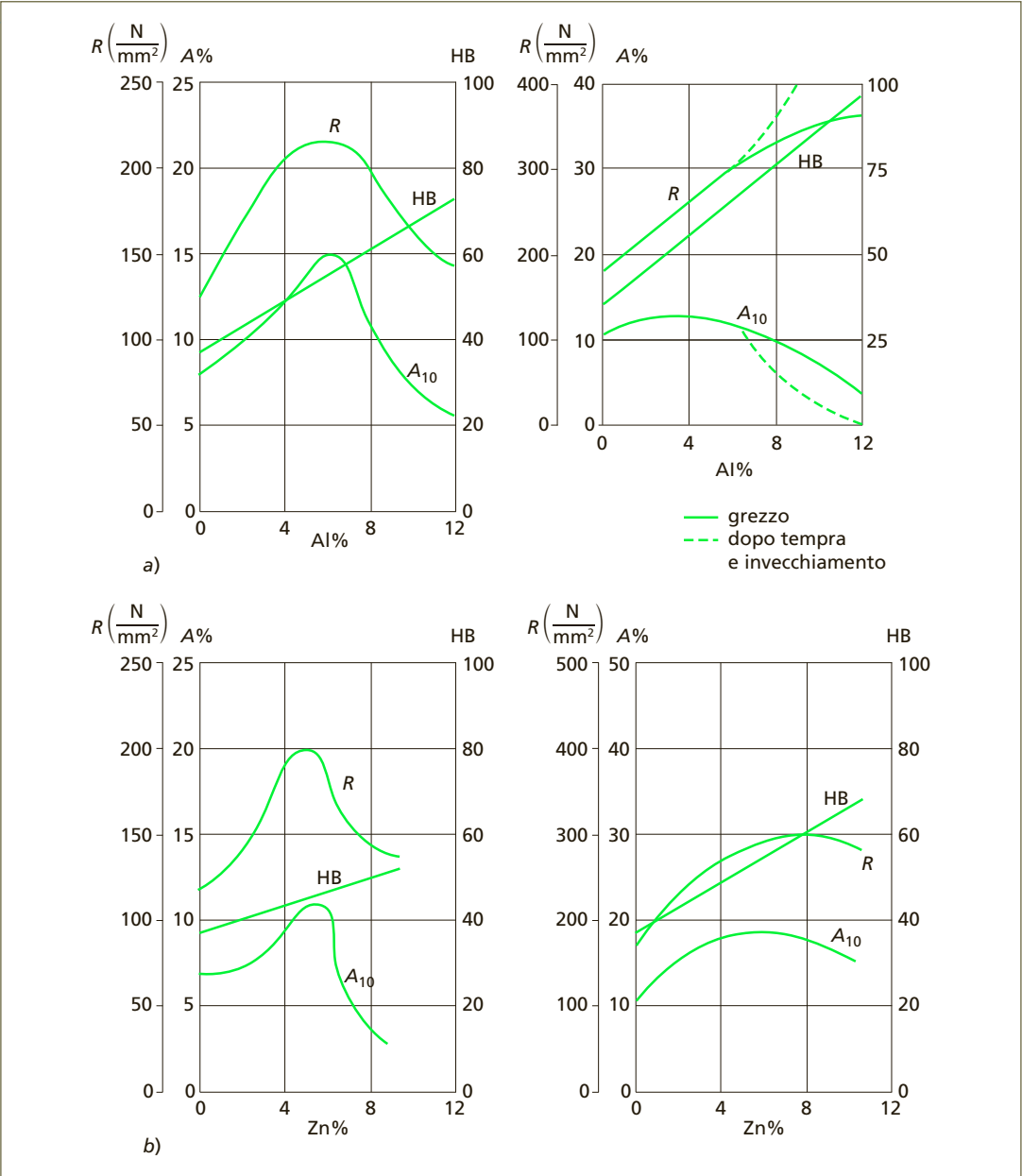


Tabella 4

Utilizzazioni
e caratteristiche
di alcune leghe
ultraleggere.

Le principali utilizzazioni e caratteristiche di alcune leghe del magnesio sono indicate nella [tabella 4](#).

Denominazione commerciale	Composizione chimica			Caratteristiche meccaniche				Utilizzazioni
	Al%	Mn%	Zn%	R (N/mm²)	R _s 0,2 (N/mm²)	A%	HB 10/500 30"	
Elektron A 8 K Atesia C	8	0,2		160	110	5	50	Parti di motori e di aerei. Per getti.
Elektron AZM Atesia L	6	0,3	1	320	240	13	60	Per lavorazioni plastiche. Per parti saldate con buona resistenza a corrosione e forti sollecitazioni.
Elektron AZ 855	8	0,3	0,5	340	240	12	65	Per lavorazioni plastiche e getti. Per supporti di motori e pezzi stampati (pale delle eliche).
Atesia C-V	8	0,3	0,5	270	120	10	64	
Elektron AZ 91 Atesia P	9,5	0,3	0,5	195	110	3,8	64	Per getti in conchiglia e sotto pressione.
Elektron AZG Atesia D	6	0,3	3	200	100	5	60	Per getti in sabbia di medie caratteristiche.

Leghe del piombo

Il piombo puro ha alcune caratteristiche importanti, quali:

- massa volumica elevata ($11,3 \text{ kg/dm}^3$);
- elevata resistenza alla corrosione;
- scarsa penetrazione alle radiazioni (in particolare ai raggi X e γ).

Il piombo ha però caratteristiche meccaniche assai scarse, e perciò viene utilizzato in lega con altri elementi.

Le leghe del piombo più comuni sono quelle costituite da piombo, antimonio e stagno, che conferiscono maggiore durezza e resistenza alla lega.

Tutte le leghe del piombo hanno un aspetto lucente, che conservano a lungo.

Data la buona durezza e resistenza alla corrosione, le leghe del piombo vengono impiegate per la costruzione di tubi, lamiere, pallini da caccia, caratteri da stampa, cuscinetti antifrizione ecc.

Leghe piombo-antimonio

Il diagramma di stato piombo antimonio in **figura 12** presenta un eutettico alla temperatura di 252°C , con l'11,1% di antimonio e l'88,9% di piombo.

Come si può rilevare dal diagramma, alla temperatura dell'eutettico l'antimonio forma con il piombo una soluzione solida con 3,45% di Sb.

Le leghe piombo-antimonio vengono utilizzate soprattutto per costruire serbatoi, recipienti, tubi per acidi, piastre per batterie e accumulatori.

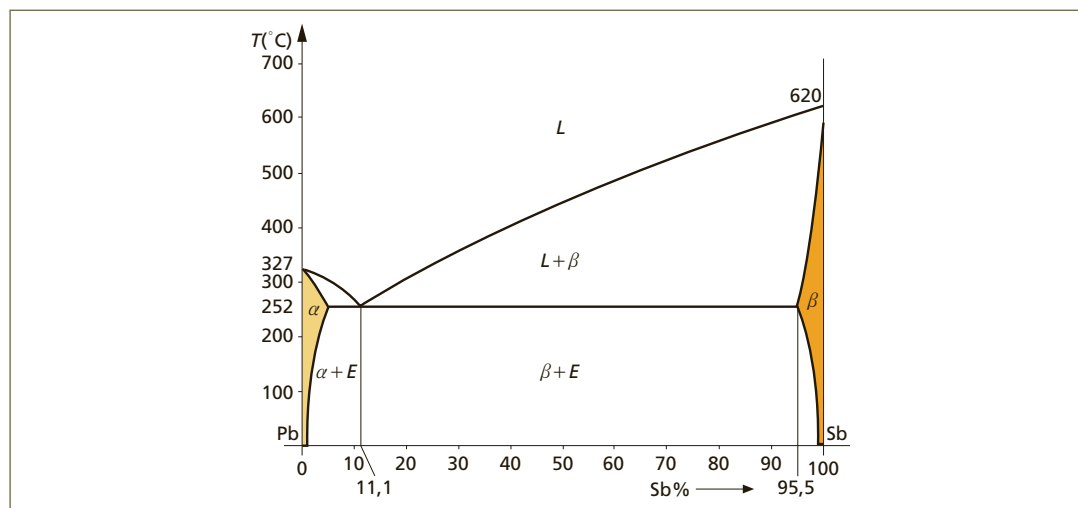


Figura 12

Diagramma di stato piombo-antimonio.

Leghe piombo-stagno

Il diagramma di stato delle leghe piombo stagno in **figura 13** presenta un eutettico alla temperatura di 183°C , con il 61,9% di stagno e il 38,1% di piombo. La principale applicazione industriale delle leghe piombo-stagno è in qualità di materiale d'aggiunta per la saldatura.

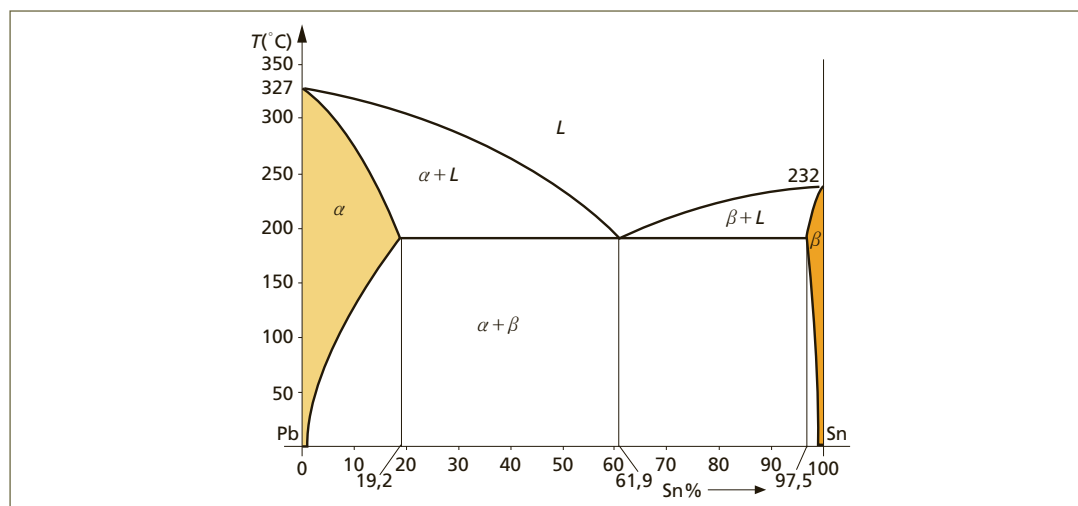


Figura 13

Diagramma di stato piombo-stagno.

Leghe per piastre di accumulatori

Le piastre per accumulatori elettrici sono costituite da leghe piombo-antimonio.

Poiché l'antimonio conferisce durezza tanto elevata quanto maggiore è il suo contenuto, si impiegano leghe che contengono dal 5 al 12% di antimonio.

Le leghe prescelte hanno una composizione prossima a quella dell'eutettico e quindi una temperatura di fusione molto bassa ($< 300^{\circ}\text{C}$).

Leghe per caratteri da stampa

Le leghe per caratteri da stampa sono costituite da piombo-antimonio-stagno.

L'antimonio conferisce durezza alla lega, lo stagno la rende più fluida allo stato fuso.

La composizione dipende dalle applicazioni. Generalmente il contenuto di stagno varia da 2,5 a 6%, quello di antimonio è compreso tra 8 e 18%.

A volte ci può essere una piccola aggiunta di rame ($1 \div 2\%$) per incrementare ulteriormente la durezza.

Un esempio di lega per caratteri da stampa è la lega di composizione Pb 84%, Sb 12%, Sn 4%, che corrisponde all'eutettico del sistema Pb, Sb, Sn e che fonde a 239°C .

Leghe per cuscinetti antifrizione

Le leghe per cuscinetti antifrizione sono costituite da piombo, antimonio, stagno, e a volte arsenico.

Per migliorare la qualità del prodotto si aggiungono piccole quantità di nichel, rame, cadmio.

Le leghe antifrizione devono avere:

- elevata resistenza a compressione;
- buona resistenza alla corrosione;
- piccolo coefficiente di attrito;
- buone proprietà antigrippanti.
- apprezzabile plasticità;

Tabella 5

Utilizzazioni
e caratteristiche
di alcune leghe del piombo.

La struttura delle leghe antifrizione è costituita da cristalli molto duri dispersi in una matrice dolce che assicura l'adattamento ai piccoli spostamenti.

Le principali utilizzazioni e caratteristiche di alcune leghe del piombo sono indicate in **tabella 5**.

Tipo di lega	Composizione chimica			Stato	Caratteristiche meccaniche			Utilizzazioni
	Pb%	Sb%	Sn%		R (N/mm ²)	A%	HB 10/1.000 30"	
Pb-Sb	99	1		Tubi estrusi	21	50	7	Queste leghe sono dette anche «piombo duro»
	96	4		Tubi	28	45	8	
	94	5		Tubi	29	50	8,5	
	92	8		Tubi	33	32	9,5	
	91	9		Getti	53	17	15,4	
Pb-Sn	95		5	Getti	24	50	8	Leghe per saldatura
	80		20	Getti	41	16	11,3	
	50		50	Getti	43	50	14,3	
	37		63	Getti	53		14	
	30		70	Getti	48		12	
Pb-Sb-Sn	85	10	5	Getti	70	5	19	Leghe antifrizione
	75	15	10	Getti	70	4	22	
	83	13	1	Getti	70	1,5	22	
Pb-Sb-Sn	84	12	4	Getti				Lega per linotipia

Leghe del nichel

Il nichel puro viene utilizzato per le seguenti proprietà:

- buone caratteristiche meccaniche, simili a quelle di un acciaio dolce;
- ottima resistenza alla corrosione;
- buona lavorabilità sia a freddo che a caldo;
- buona saldabilità.

Leghe nichel-alluminio

In **figura 14** è riprodotto il diagramma di stato delle leghe nichel-alluminio.

Queste leghe sono utilizzate per la fabbricazione di parti di apparecchiature e macchine per l'industria chimica, perché hanno bassa disponibilità alla corrosione.

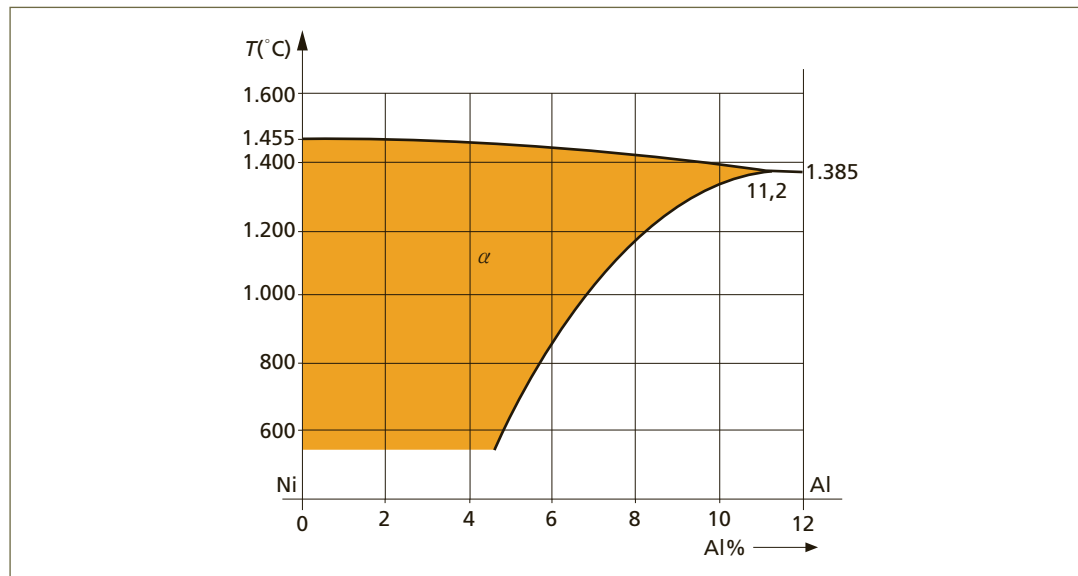


Figura 14

Diagramma di stato leghe nichel-alluminio.

Leghe nichel-cromo

In **figura 15** è riprodotto il diagramma di stato delle leghe nichel-cromo.

Le leghe nichel-cromo hanno:

- elevata temperatura di esercizio;
- resistenza all'ossidazione anche a caldo.

Queste leghe vengono utilizzate nella costruzione di resistenze per forni o altre parti sia per forni che per attrezzature per cementazione e ricottura.

Esempio di leghe nichel-cromo sono le leghe Inconel con cromo 15 ÷ 16% e ferro 6 ÷ 7%, le leghe Nimonic con cromo 20% e cobalto 15 ÷ 20% e le leghe Incoloy, con composizioni simili.

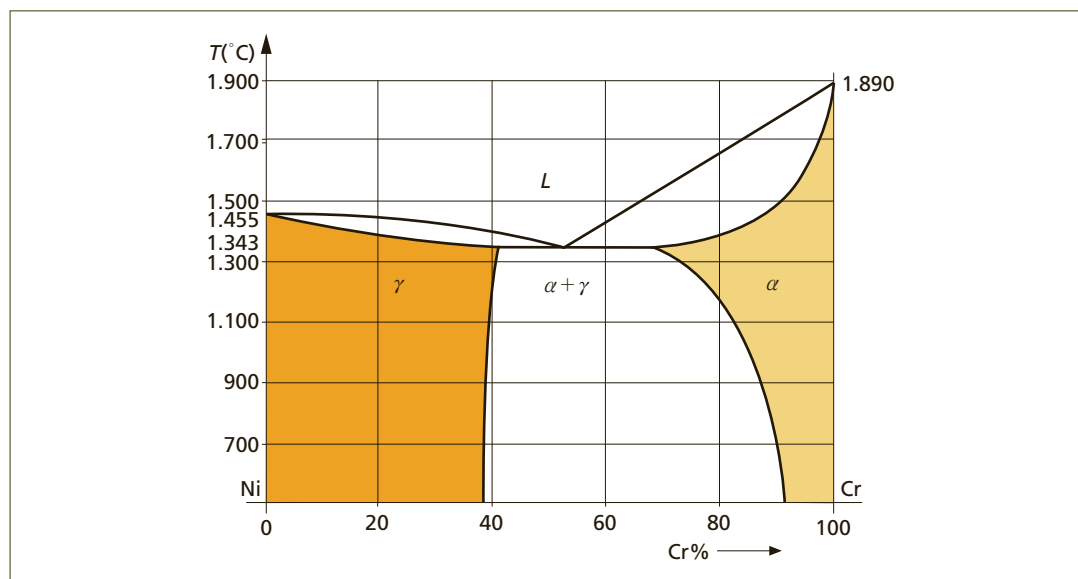


Figura 15

Diagramma di stato leghe nichel-cromo.

Leghe nichel-rame

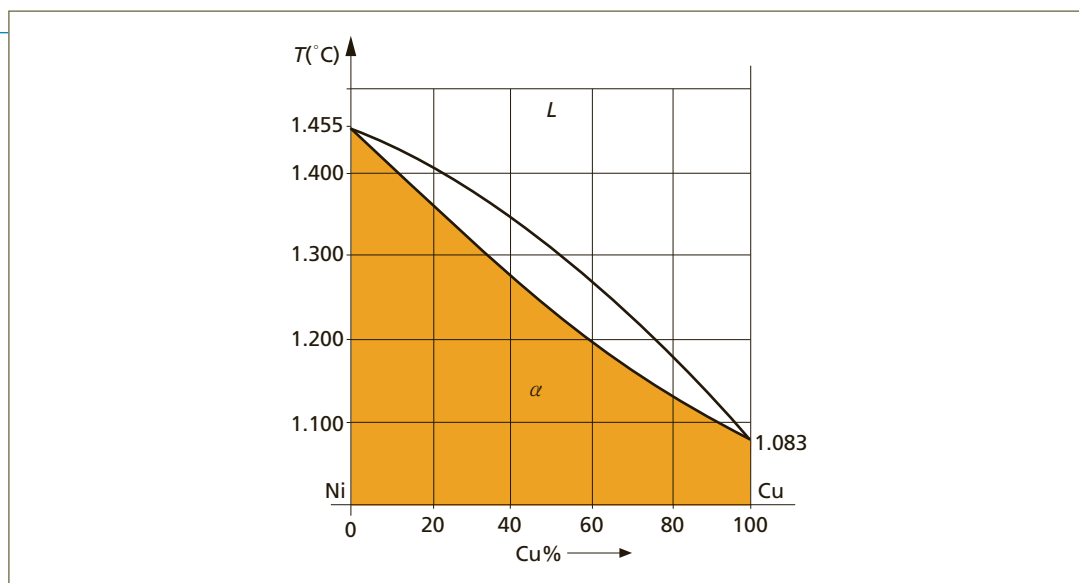
In **figura 16** è riprodotto il diagramma di stato delle leghe nichel-rame.

Per le caratteristiche di inattaccabilità del nichel e del rame agli agenti chimici, queste leghe sono usate nell'industria della carta, del petrolio, delle fibre artificiali ecc.

Le principali leghe nichel-rame sono quelle denominale Monel, contenenti Ni 63 ÷ 67% e Cu 29 ÷ 32%.

Figura 16

Diagramma di stato leghe nichel-rame.



La lega Monel K contiene anche alluminio (3%) e può essere sottoposta a tempra di soluzione, che alza ulteriormente le sue proprietà meccaniche e la rende adatta alla fabbricazione di palette per turbine e rotori di pompe.

Una lega con 45% di nichel e 55% di rame, denominata costantana, è impiegata per resistenze campione e strumenti di misura, perché possiede un bassissimo coefficiente di variazione della resistività con la temperatura ($\pm 25 \cdot 10^{-6} [1/^\circ\text{C}]$).

Leghe nichel-ferro

In **figura 17a** è riportato il diagramma di stato delle leghe nichel-ferro.

Queste leghe hanno numerosissimi impieghi. In particolare citiamo due casi.

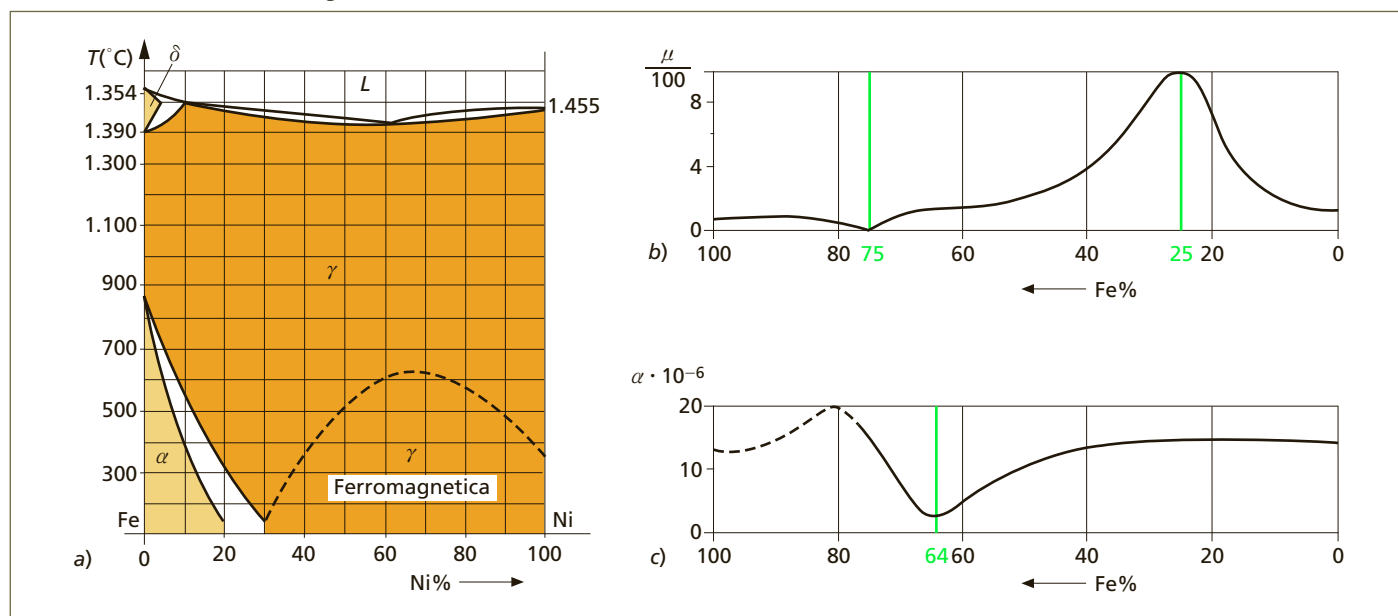
Se si esamina l'andamento delle proprietà magnetiche delle leghe nichel-ferro, e in particolare l'andamento **figura 17b**, si osserva che:

- la lega Fe = 75%, Ni = 25% è un materiale non magnetico, che può perciò essere usato in apparecchi speciali;
- la lega Fe = 21,5%, Ni = 78,5% ha il massimo della permeabilità magnetica. Questa lega è denominata Permalloy.

Se si esamina l'andamento del coefficiente di dilatazione (α) evidenziato nel diagramma in **figura 17c** si osserva che la lega Fe = 64%, Ni = 36% ha un coefficiente di dilatazione estremamente piccolo ($2 \cdot 10^{-6} [1/^\circ\text{C}]$).

Figura 17

a) Diagramma di stato;
b) permeabilità
e c) coefficiente di dilatazione
delle leghe nichel-ferro.



Questa lega, denominata Invar, è impiegata per strumenti di precisione, orologi a pendolo ecc. Al variare del tenore di nichel il coefficiente di dilatazione varia con continuità fra i valori di 2 e 20,10. Questo permette di produrre leghe con coefficiente di dilatazione prefissato. Per esempio: la lega Nilo 42, che si dilata come la porcellana (Fe = 58%, Ni = 42%), la lega Nilo 48/50 che si dilata come il vetro e perciò è usata nell'industria delle lampadine, delle valvole termioniche e dei tubi per raggi X. Saldando due strisce di due leghe nichel-ferro (con tenori di ferro del 75 e del 64%) che abbiano coefficienti di dilatazione rispettivamente massimo e minimo, si ottiene una lamina che si inflette al variare della temperatura. Questa lamina, chiamata bimetal, ha impiego in apparecchi elettrici, quali gli interruttori termici di protezione.

Altre leghe del nichel

Hanno importanti applicazioni industriali anche le leghe nichel-manganese (Manganic per elettrodi di candele per auto), le leghe nichel-molibdeno-ferro (leghe Hastelloy per parti resistenti alla corrosione) e leghe nichel-silicio per getti.

Le principali caratteristiche di alcune leghe del nichel sono indicate in **tabella 6**.

Tabella 6

Caratteristiche di alcune leghe del nichel.

Tipo di lega	Denominazione commerciale	Composizione chimica			Caratteristiche meccaniche			Stato di fornitura
		Ni%	Cu%	Altri elementi %	R (N/mm ²)	A%	R _s 0,2 (N/mm ²)	
Ni-Al	Nichel «Z»	94		Al = 4,5	850	25	600	Laminato
Ni-Cr	80/20	80		Cr = 20	670	30		Ricotto
Ni-Cu	Monel K	66	29	Fe = 0,9	850	25	630	Laminato
	Monel per getti	63	32	Fe = 1,5	550	35	230	Getti
	Costantana	45	55		550	20	210	Semiduro
Ni-Fe	Permalloy	78,5		Fe = 21,5	650	50	320	Temprato
	Invar	36		Fe = 64	520	35	280	Trattamento speciale
Ni-Mn	Nichel «D»	95		Mn = 5	600	40	240	Ricotto
Ni-Si	Nichel per getti	97		Si = 2	370	25	180	Getti

Altre leghe non ferrose

Leghe dello zinco

Lo zinco puro ha le seguenti proprietà:

- elevato potere riflettente;
- ottima resistenza alla corrosione atmosferica.

Lo zinco puro viene usato per la zincatura di altri metalli (acciaio), per proteggerli dalla corrosione degli agenti atmosferici.

Le leghe dello zinco si distinguono in due gruppi: quello delle leghe per profilati e quello delle leghe per getti.

Nelle leghe per profilati gli elementi aggiunti sono sempre in quantità minima (< 1%).

Alle leghe per getti appartengono le leghe zama per pressofusione.

Leghe zama

Le leghe zama sono leghe di zinco a elevata purezza con alluminio, rame e magnesio.

Vengono impiegate soprattutto per pressofusione.

L'alluminio conferisce alla lega una elevata scorrevolezza allo stato fuso, affina i grani e rende la lega più resistente. Il rame e il magnesio riducono la tendenza alla corrosione intercrystallina.

Le leghe zama hanno una buona resistenza all'urto e elevata stabilità dimensionale.

Il diagramma di stato delle leghe Zn-Al in **figura 18a** presenta un eutettico costituito dalle soluzioni solide η ed ϵ .

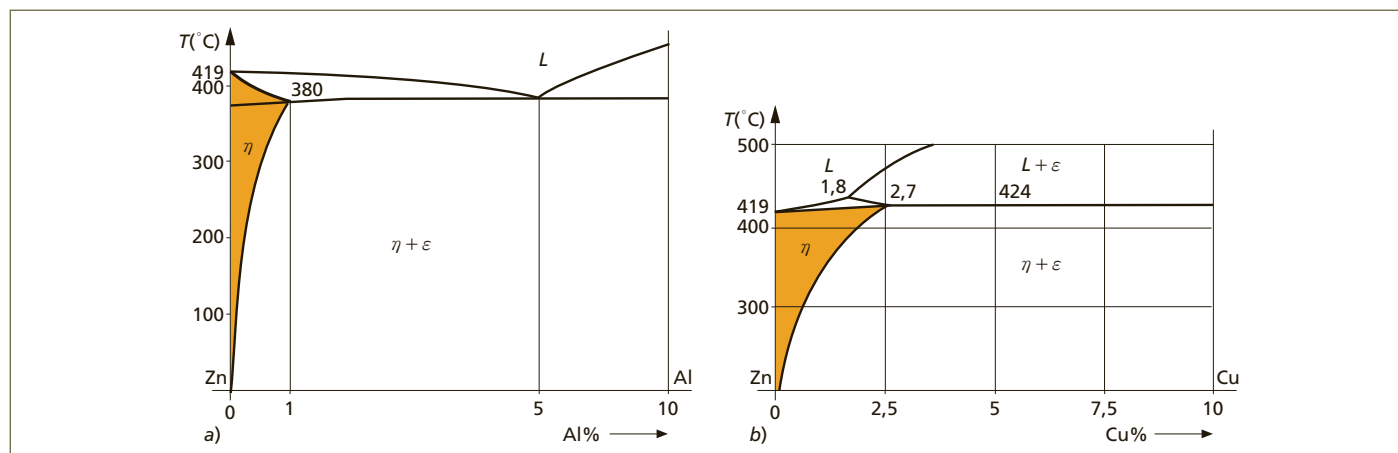
Le leghe zama a temperatura ambiente sono costituite da soluzione solida η ed eutettico (Al = 4%).

Con l'invecchiamento si separa l'alluminio che al microscopio appare nella forma di punti scuri.

Le leghe zama sono impiegate per costruzioni automobilistiche, elettrodomestici, apparecchiature elettriche ecc.

Leghe zinco-rame

In **figura 18b** è presentato il diagramma di stato delle leghe zinco-rame.

**Figura 18**

a) Diagramma di stato delle leghe zama e b) zinco-rame.

Tabella 7

Caratteristiche di alcune leghe dello zinco.

Principali caratteristiche delle leghe dello zinco

Nella **tabella 7** sono indicate la composizione chimica media, alcune caratteristiche meccaniche e lo stato di fornitura di alcune leghe dello zinco.

Tipo di lega	Composizione chimica				Stato	Caratteristiche meccaniche			
	Zn%	Al%	Mg%	Altri elementi %		R (N/mm ²)	R _s 0,2 (N/mm ²)	A%	HB
Zn	99,4			Pb = 0,3	Laminato	160	—	40	47
Zn-Cu	99			Cu = 1	Laminato	170	—	20	52
Leghe Zama	93	4	0,03	Cu = 3	Getti	370	300	7	100
	96	4	0,04		Getti	320	250	7	85
	95	4	0,04	Cu = 1	Getti	350	280	3	95
	94,5	4	—	Cu = 1,25	Getti	370	280	6	95

Leghe dello stagno

Le proprietà notevoli dello stagno puro sono:

- elevata resistenza alla corrosione atmosferica;
- buona resistenza agli acidi;
- ottima malleabilità a freddo;
- elevato potere riflettente.

Come il piombo, lo stagno ha scarse proprietà meccaniche. Per questo motivo viene utilizzato in lega con altri elementi.

Gli impieghi principali per le leghe dello stagno sono i seguenti:

- leghe per saldature (leghe con antimonio e argento, oltre che con piombo);
- leghe antifrizione (leghe con rame e antimonio, oltre che con piombo);
- leghe per confezioni alimentari (leghe con zinco).

Leghe del titanio

Le proprietà notevoli del titanio sono:

- bassa massa volumica (4,5 kg/dm³);
- alto limite di snervamento (in particolare a temperature superiori alla temperatura ambiente);
- buona resistenza alla corrosione.
- apprezzabile resistenza alla trazione;

Per queste proprietà trova impiego soprattutto nell'industria aeronautica e chimica.

Il titanio presenta due forme allotropiche.

La prima, stabile a temperatura inferiore a 885 °C, presenta reticolo esagonale compatto (fase α).

La seconda, stabile al di sopra di 885 °C, ha struttura cubica a corpo centrato (fase β).

Gli elementi aggiunti spostano la temperatura di trasformazione e possono rendere stabile la struttura α o l'aggregato $\alpha + \beta$.

A seconda della struttura cristallina, le leghe del titanio si classificano perciò in leghe α e leghe $\alpha + \beta$. L'alluminio e lo stagno favoriscono la formazione della struttura α .

Il vanadio, il manganese e il molibdeno favoriscono la formazione della struttura β .