

## **RAME - NICHEL - FOSFORO**

Si usa circa l' 1% di Ni e lo 0.2% di P. Si ottiene circa 55-60% IACS e  $\sigma_t = 55 \text{ kg/mm}^2$ . Si usa per componenti di saldatrici a resistenza per contatti a molla e per parti di sezionatori fortemente sollecitate.

## **LEGHE DI RAME A TITOLO ELEVATO**

**Si intendono materiali con tenori variabili tra 1 - 5%.**

Sono leghe speciali per applicazioni in cui sono richieste resistenza meccanica e durezza elevate, unite ad una conducibilita' elettrica ancora apprezzabile.

## **LEGHE NON SUSCETTIBILI DI BONIFICA**

**Cu-Si-Mn (bronzo al silicio).**

In Italia e' in uso solo la lega Cu Si3 Mn1 (Si = 2.7-3.5% Mn = 0.7-1.5%).

Il silicio da' un campo di s.s.  $\alpha$  notevolmente ristretto con una solubilita' massima a RT del 3.5%, e quindi con queste leghe non sono possibili trattamenti termici e le proprieta' sono quelle della soluzione solida: possiedono cioe' ottima malleabilita' e duttilita' a freddo, ottima lavorabilita' a caldo. Possono essere prodotti semilavorati per laminazione, forgiatura, stampaggio, estrusione...

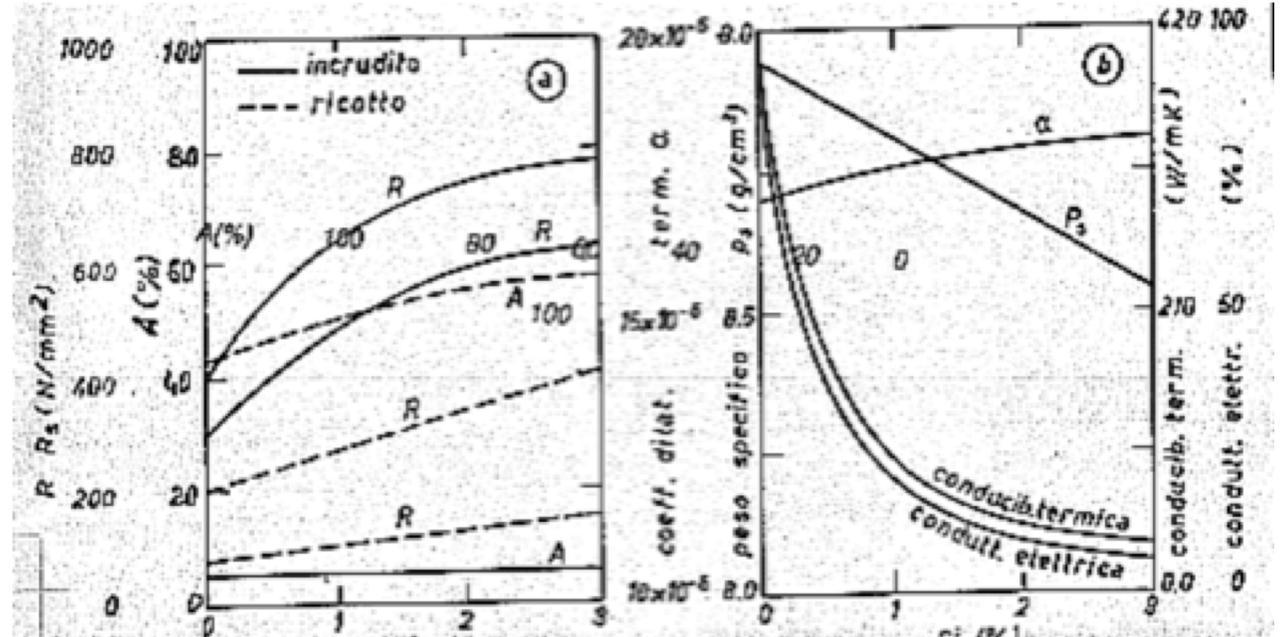
Il rame al Si - Mn e' quindi una lega ad elevata resistenza meccanica

$$\sigma_t = 60 - 65 \text{ kg/mm}^2 \quad \varepsilon = 5 - 15\% \quad \text{HBr} = 100 - 110 \text{ kg/mm}^2.$$

Il principale effetto del **Silicio**, oltre ad aumentare le caratteristiche meccaniche (il materiale viene indurito per s.s), e' quello di mantenere disossidato il materiale anche in condizioni sfavorevoli (es. durante la saldatura) ed incrementare la resistenza alla corrosione in ambiente caldo

Si usa in ingegneria chimica ed elettrica

per scatole e protezioni antimagnetiche; per molle...



## LEGHE DA BONIFICA

## RAME-BERILLIO

*Con queste leghe si raggiungono le caratteristiche meccaniche piu' elevate tra le leghe industriali del rame.*

La lega infatti e' invecchiabile o induribile per precipitazione.

Precipita una fase ricca in Be da una soluzione sovrasatura di rame praticamente puro. La precipitazione avviene durante il lento raffreddamento perche' la solubilita' del Be nella fase  $\alpha$  decresce molto con la temperatura

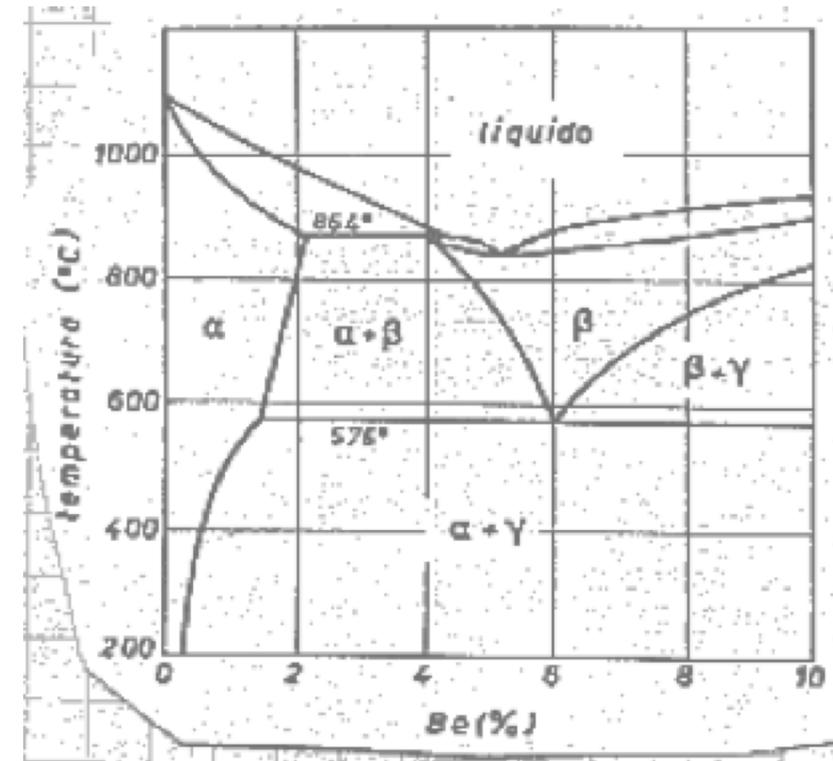
Tutto cio' e' possibile con una tempra di soluzione seguita da un rinvenimento che equivale ad un "invecchiamento artificiale" che produce la precipitazione della fase  $\gamma$  in forma finissima (1h a 200 - 460 C).

**I benefici piu' evidenti si ottengono con Be > 1.3%.**

Esistono due tipi principali di leghe Cu - Be:

1. Cu Be 1.7 Co Ni (Be=1.6-1.9% Ni+Co+Fe=0.2-0.6%)
2. Cu Be2 Co Ni (Be=1.9-2.1% Ni+Co+Fe=0.2-0.6%)

Co, Ni, Fe agiscono come inibitori della crescita del grano.



Allo stato incrudito si ottengono

$$\sigma_t = 120 - 160 \text{ kg/mm}^2, \text{ HBr} = 400 \text{ kg/mm}^2, \varepsilon = 4\%.$$

**La resistenza alla corrosione e' buona in:**

1. Atmosfera industriale
2. Atmosfera marina
3. Acidi organici
4. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> freddo, HCl freddo e diluito
5. Soluzioni alcaline fredde o calde se diluite

**La resistenza non e' buona invece per:**

1. HNO<sub>3</sub>
2. FeCl<sub>3</sub>
3. Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>
4. Hg e i suoi sali
5. NH<sub>3</sub>
6. Alogeni

Queste leghe vengono utilizzate per molle e contatti in elettrotecnica, parti sollecitate a fatica (diaframmi, soffietti, rele', interruttori, sezionatori...), bulloneria ad alta resistenza, utensili antiscintille.

## **RAME - COBALTO - BERILLIO (BRONZO AL BERILLIO)**

Cu Co2 Be (Co = 2 - 3%; Be = 0.8 - 0.4%; Ni+Fe max 0.5%)

Buona deformabilita' a freddo e possibilita' di subire invecchiamento.

*A differenza della lega Cu-Be ha conducibilita' elettrica piu' elevata e resistenza meccanica piu' bassa.*

## **RAME - NICHEL- SILICIO**

Cu Ni2 Si1 (Ni = 1 - 4.5%; Si = 0.4 - 1.3%)

La fase indurente e' il composto Ni<sub>2</sub>Si ( in generale si usa la proporzione Ni:Si=2:1). *Dopo l' invecchiamento  $\sigma_t = 65 \text{ kg/mm}^2$ , mantiene pero' una buona duttilita'. La conducibilita' elettrica e' 35 - 40% IACS. La lavorabilita' alle macchine utensili e' circa doppia rispetto al rame puro, piccole aggiunte di Te la avvicinano a quella degli ottoni.*

**Sono leghe ottime per stampaggio a caldo e a freddo.**

Usate per bulloneria e viteria ad alta resistenza, giunti meccanica, parti d' interruttori etc...

# LEGHE INDUSTRIALI DEL RAME

In tutte le applicazioni, a determinare la scelta del **rame** in luogo di altri possibili metalli contribuiscono le seguenti proprietà:

1. Lavorabilità a caldo e a freddo
2. La resistenza alla corrosione
3. Conducibilità termica ed elettrica

## LEGHE RAME- ZINCO ( OTTONI )

Cu: FCC

Zn: EC

raggio Cu/raggio Zn = 4%

$\Delta$ elettronegatività = 0.3%

Quindi le leggi di Hume- Rothery non sono totalmente rispettate ma la solubilità è ugualmente notevole

**Tra le leghe a base di rame, gli ottoni sono probabilmente quelle più diffuse.** Conservano la buona resistenza alla corrosione e la lavorabilità del rame, ma sono assai più resistenti meccanicamente.

## Lo Zn aumenta le proprietà meccaniche del Cu entrando in soluzione solida

L'effetto cresce linearmente con la percentuale di Zn solo per basse concentrazioni per poi raggiungere un valore limite. Il campo è tuttavia esteso (circa 37%) per cui l'effetto dello Zn è significativo anche in confronto allo Sn e allo Al, elementi che danno con il Cu leghe di buone proprietà meccaniche.

Lo Zn ha anche l'importante vantaggio di mantenere la malleabilità tipica del Cu.

In particolare la deformazione a frattura risulta essere maggiore per gli ottoni che per il rame

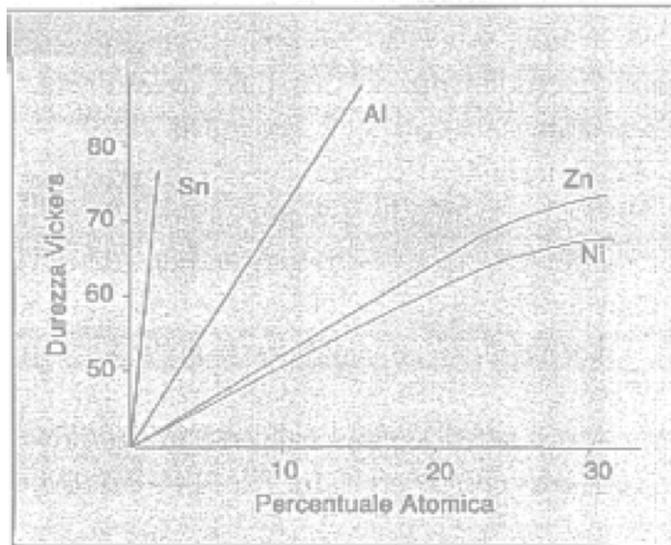


Fig. 2.1 - Indurimento per alligazione relativo a vari soluti nel rame.

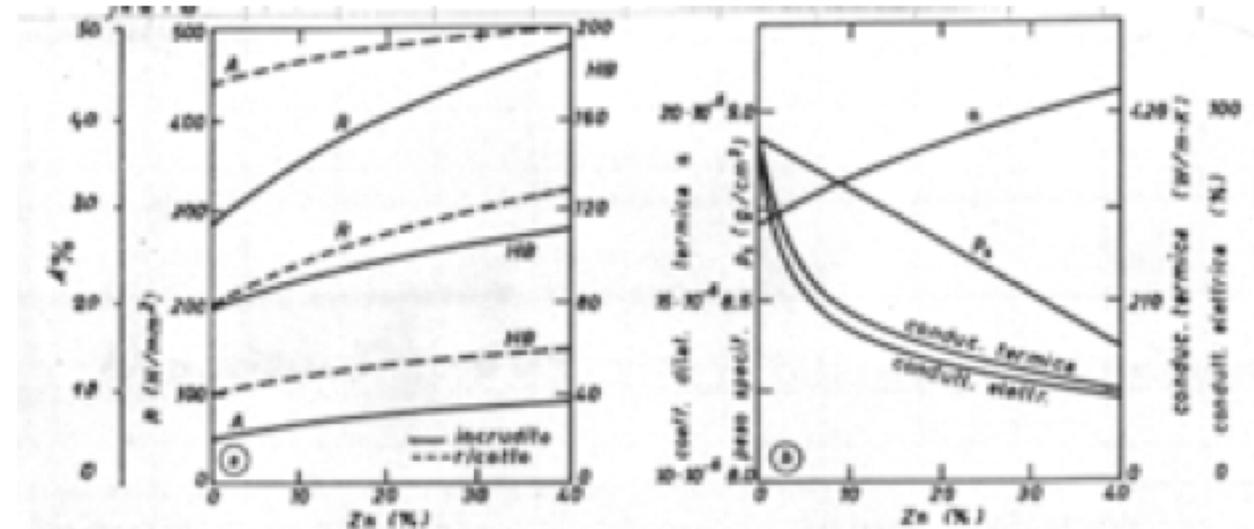
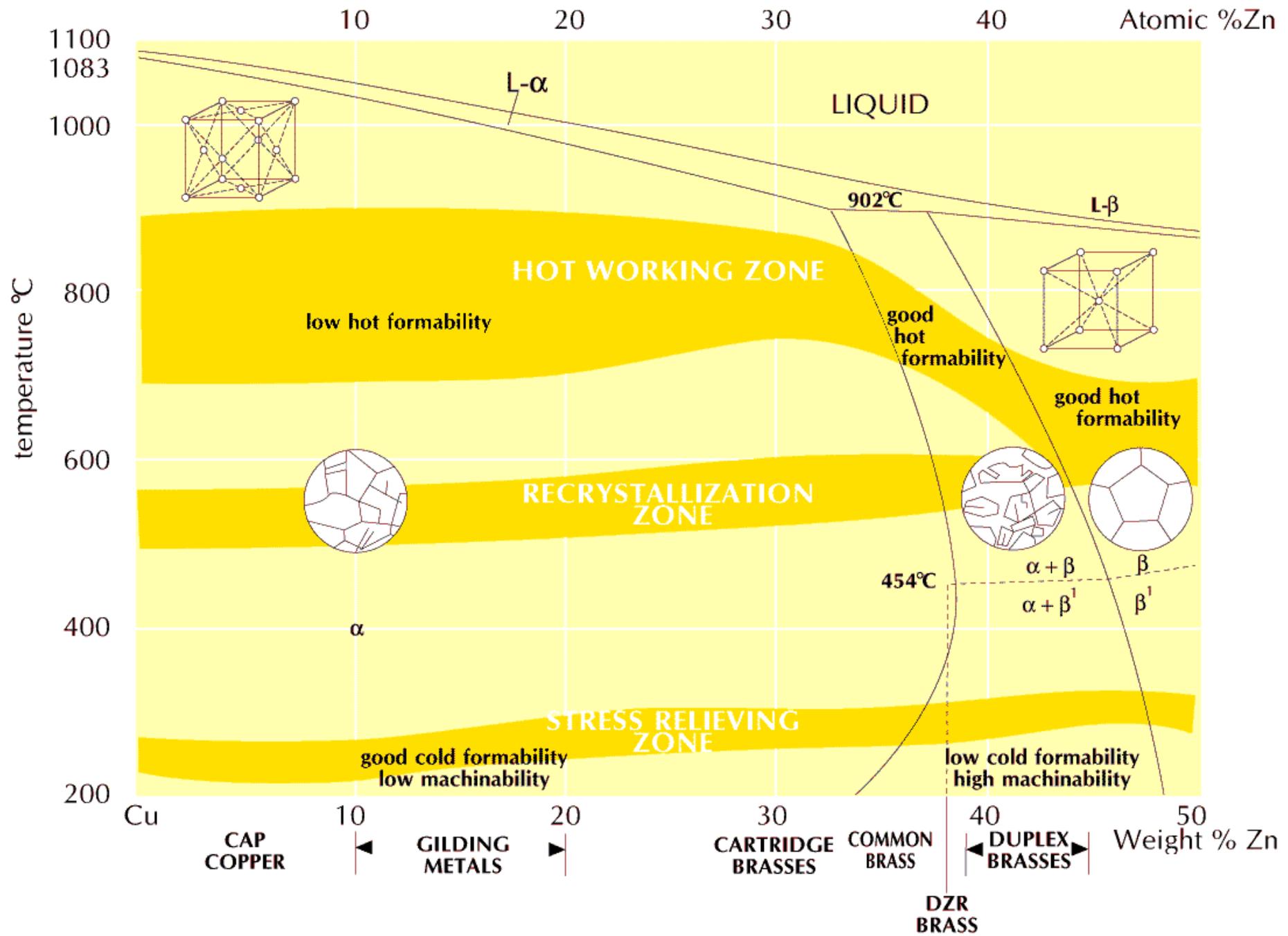


Fig. 12.5 Influenza dello zinco sulle: a) caratteristiche meccaniche; b) proprietà fisiche delle leghe rame-zinco.

**Gli ottoni possono essere costituiti esclusivamente di rame e zinco (ottoni binari), oppure contenere piombo (ottoni al piombo) o altri elementi di alligazione (ottoni speciali).**



Designazione: tutti gli ottoni vengono designati con i simboli chimici degli elementi di lega. Il primo simbolo Cu indica che si tratta di una lega di rame, del quale non si precisa la percentuale.

Dopo sono riportati i simboli degli altri elementi che caratterizzano la lega, ciascuno seguito da un numero che ne rappresenta la percentuale.

La sigla di designazione puo' essere preceduta dalle lettere:

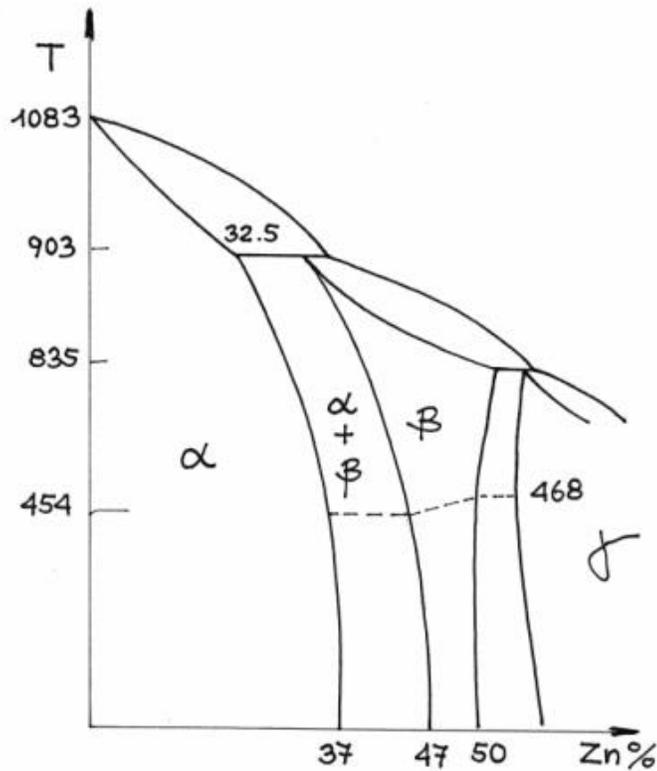
P = lega da deformazione plastica

G = lega per getti

Es:

G-Cu Zn33 Pb2 Si

P-Cu Zn28 Sn1 As

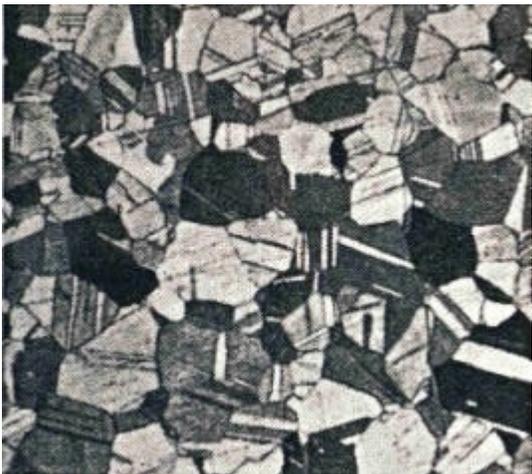


## Ottoni alfa

Lo zinco, fino al 37% in peso circa, forma col rame una soluzione solida monofasica alfa, con lo stesso reticolo cristallino (cubico a facce centrate) del rame; nel reticolo, lo zinco sostituisce gli "atomi" del rame. **Queste leghe vengono denominate ottoni alfa ed hanno proprietà assai simili a quelle del rame.** Sono particolarmente adatte alla deformazione plastica a freddo; le loro caratteristiche meccaniche crescono al crescere del tenore di zinco. La possibilità di deformatarli a caldo è minore e richiede un particolare controllo delle impurezze.

**Un ottone ha interamente struttura  $\alpha$  quando non contiene più del 33% di Zn.**

Questi ottoni non subiscono nessuna trasformazione durante il raffreddamento, non è quindi possibile nessun trattamento termico, **solo un incrudimento e grani piccoli**



Lega G - CuZn30 – soluzione solida  $\alpha$

Gli ottoni con Zn < 20% circa sono comunemente denominati **tombacchi o similori**. Le loro applicazioni sono solitamente la bigiotteria, la minuteria elettrica imbutita, il rivestimento di elementi architettonici, gli oggetti decorativi.

**Le leghe Cu Zn 28 , Cu Zn e 30 Cu Zn 33 sono particolarmente adatte all'imbutitura profonda e allo stampaggio a freddo.** Esse vengono adoperate: nella produzione di bossoli per cartucce, di articoli stampati, ricalcati o imbutiti, e di tubetti per radiatori di automobili, ricavati da nastro ripiegato, aggraffato e brasato.

L'ottone **Cu Zn 35** ha una **struttura prevalentemente alfa** a temperatura ambiente con possibile struttura bifasica ( $\alpha + \beta$ ) a temperature piu' elevate. Questa lega viene usata per bossoli di piccolo calibro, per **piccoli** pezzi stampati a freddo, per accessori di porte e finestre e simili.

L'ottone **Cu Zn 37** è, infine, una lega per laminati commerciali da tranciatura, ma viene anche fornito come tubo, barra e filo. Esso è suscettibile tanto di deformazione a freddo che di deformazione a caldo poiché ormai si è prossimi al dominio bifasico  $\alpha + \beta$ .

**Il piu' utilizzato e' il "70/30", CuZn30 impiegato per produrre anche cartucce. Tubi per scambiatori di calore sono spesso in 70/30 con elementi in lega che migliorano la resistenza a corrosione**  
**Sostanziali quantita' di leghe alfa sono usate per produrre viti da legno, rivetti e chiusure lampo**

Per tenori di Zn = 37 - 47% si ha la graduale comparsa della fase  $\beta$  (CCC).

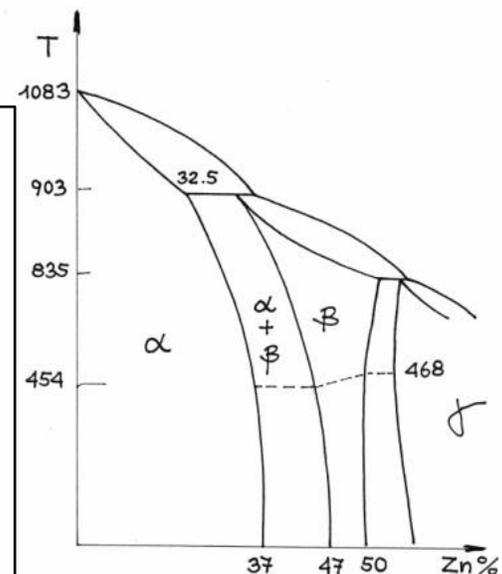
La fase  $\beta$  puo' esistere, a seconda della temperatura (454 C), in uno stato "ordinato" (sotto 454C -  $\beta'$ ) o "disordinato" (sopra 454 -  $\beta$ ). Nello stato ordinato, gli atomi di zinco sono disposti entro il reticolo secondo una successione regolare, appunto "ordinata", con un reticolo c.c.c. con gli ioni di Zn ai vertici e con lo ione di Cu al centro. *La struttura ordinata e' assai dura e si presta soltanto a modeste deformazioni plastiche, mentre la struttura disordinata e' estremamente plastica e duttile.*

*Gli ottoni ( $\alpha+\beta$ ), quindi, sono essenzialmente delle leghe da deformazione plastica a caldo. Inoltre, con questi tenori di Zn, in fase di riscaldamento parte della fase  $\alpha$  si trasforma in  $\beta$ .*

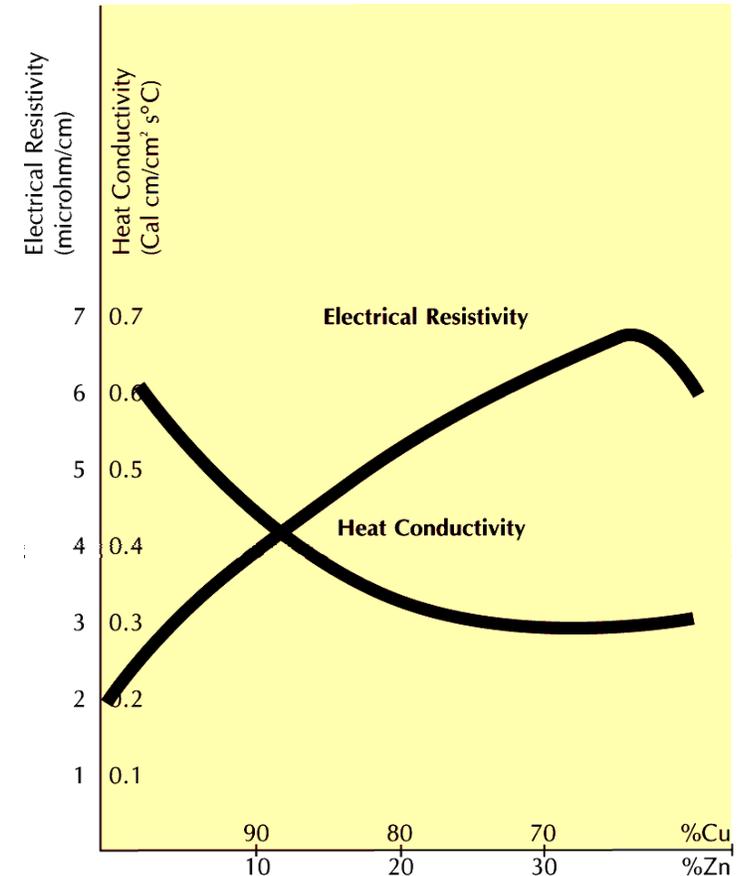
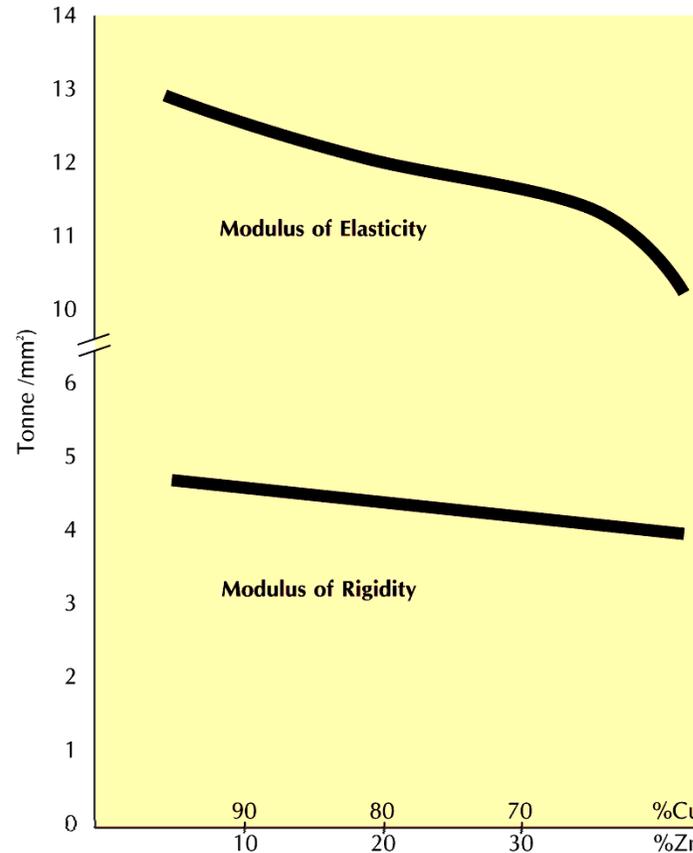
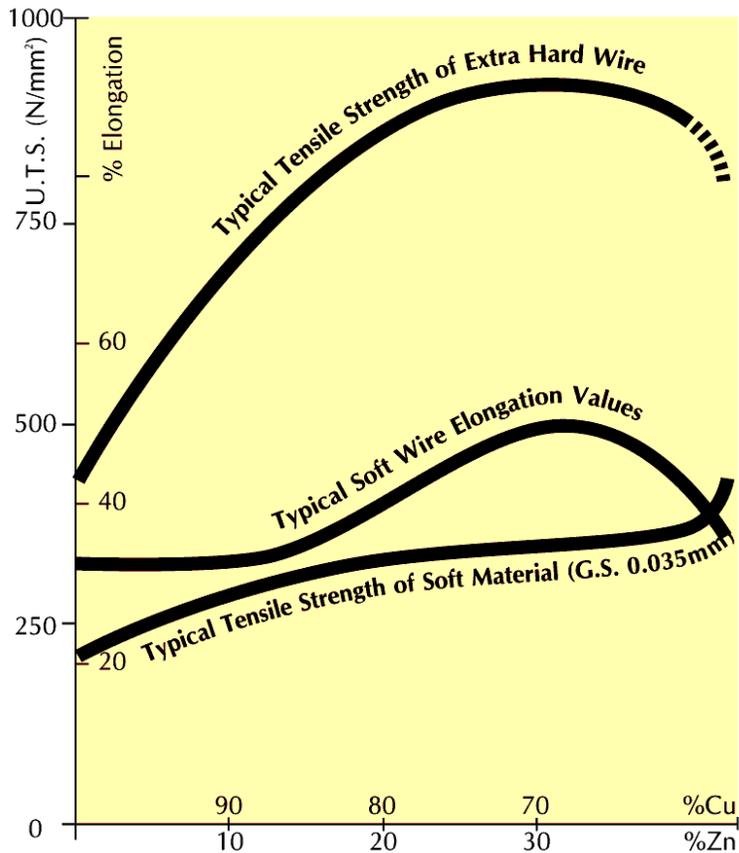


Ottoni  $\alpha+\beta$ : la lega piu' rappresentativa e' la lega  
**MUNTZ (metallurgo inglese)(Cu Zn40)**  
*assai plastica a  $T > 750$  C ma non a freddo*

L' uso e' quindi limitato a manufatti che subiscono quasi tutta la loro lavorazione plastica a caldo (es. piastre tubiere di grande spessore finite a caldo, barre estruse a caldo e solo raddrizzate a freddo). Uso in campo navale



- l'aggiunta di elementi in lega come Al, Si e Sn produce l'aumento di fase beta
- la fase beta negli ottoni alfa-beta riduce la duttilita' a freddo, incrementando la lavorabilita' a caldo per estrusione o stampaggio
- le leghe alfa-beta sono piu' resistenti e piu' economiche contenendo piu' zinco



## **OTTONI BETA**

Al di sopra del 47% in peso di zinco, la struttura degli ottoni è interamente costituita da fase beta. **Gli ottoni beta non sono praticamente deformabili a freddo.**

A temperatura ambiente sono molto fragili e quindi sono inadatti alla produzione di semilavorati o di getti, salvo che adeguate aggiunte di lega ne migliorino le caratteristiche strutturali.

**Vengono adoperati quasi unicamente come leghe brasanti, poiché il loro intervallo di fusione è assai ristretto e la loro temperatura di incipiente fusione (linea del solido) è inferiore ai 900 °C.**

Gli ottoni beta binari si prestano quindi egregiamente alla brasatura di altri ottoni, come pure degli acciai e di altre leghe di uso meccanico.

## Ottoni al piombo

Sono leghe di largo consumo. Sono quasi sempre ottoni a struttura alfa + beta, sono essenzialmente destinati solo alla lavorazione alle macchine utensili o allo stampaggio a caldo, **con l'aggiunta di piombo, soprattutto per migliorarne le caratteristiche di lavorabilità alle macchine utensili. Il Pb è insolubile nella loro matrice, allo stato solido, e si presenta come inclusioni che agiscono da punti di rottura fragile del truciolo durante il taglio all'utensile.** L'azione rompitruciolo svolta dal piombo è di estrema importanza nel caso della lavorazione alle macchine utensili automatiche, ove essa elimina la produzione di bave e fornisce ottime qualità della superficie.

Il piombo, però, non è molto favorevole alla deformazione plastica a caldo e a freddo, perché esso tende a fondere entro la matrice, rendendola fragile; perciò, nelle leghe destinate allo stampaggio a caldo, il tenore di piombo viene mantenuto su livelli alquanto bassi.

Gli ottoni al piombo sono commercialmente noti col termine di **ottoni da torneria o di ottoni da stampaggio a caldo**.

Vengono usati nella produzione di viteria, bulloneria, minuteria metallica varia, rubinetteria, maniglie, raccorderia, pezzi che vengono tutti ottenuti partendo da barra lavorata all'utensile o da barra stampata a caldo, ma che quasi sempre richiedono una finitura alle macchine utensili. In ottone al piombo vengono anche realizzati piccoli getti (rubinetteria, valvolame, ecc.) destinati alla successiva finitura alle macchine utensili.

## Ottoni speciali

Sono leghe contenenti, oltre al rame e allo zinco, quantità variabili di uno o più metalli, come **stagno, alluminio, nickel, ferro, manganese, silicio**, ecc., **in tenori non superiori al 10% circa**, e nelle quali risultano esaltate le proprietà meccaniche e la resistenza alla corrosione.

Se l'elemento aggiunto è presente in quantità inferiori al suo limite di solubilità, esso può far variare la configurazione del diagramma di stato Cu – Zn, comportandosi come se al tenore iniziale di Zn fosse stata aggiunta una quantità di zinco proporzionale al tenore dell'elemento in questione. Sono quindi sostanzialmente delle leghe che risultano a struttura mista o addirittura beta.

Se l'elemento d'aggiunta è presente in tenori superiori al suo limite di solubilità, una parte di esso rimarrà allo stato libero, o sotto forma di composti intermetallici. Gli elementi di lega vengono aggiunti per migliorare una o più delle caratteristiche meccaniche o tecnologiche.

- **Alluminio**: aumenta le caratteristiche meccaniche e la resistenza alla corrosione; aumenta notevolmente la plasticità a caldo
- **Stagno**: aumenta le caratteristiche meccaniche e soprattutto la resistenza alla corrosione
- **Manganese**: svolge un'energica azione disossidante, affina il grano e aumenta la resistenza meccanica
- **Ferro**: affina il grano ed aumenta la resistenza meccanica ma, in tenori superiori allo 0,5% precipita come fase separata particolarmente soggetta a corrosione
- **Nickel**: totalmente solubile negli ottoni, aumenta sia la resistenza meccanica sia quella alla corrosione chimica.

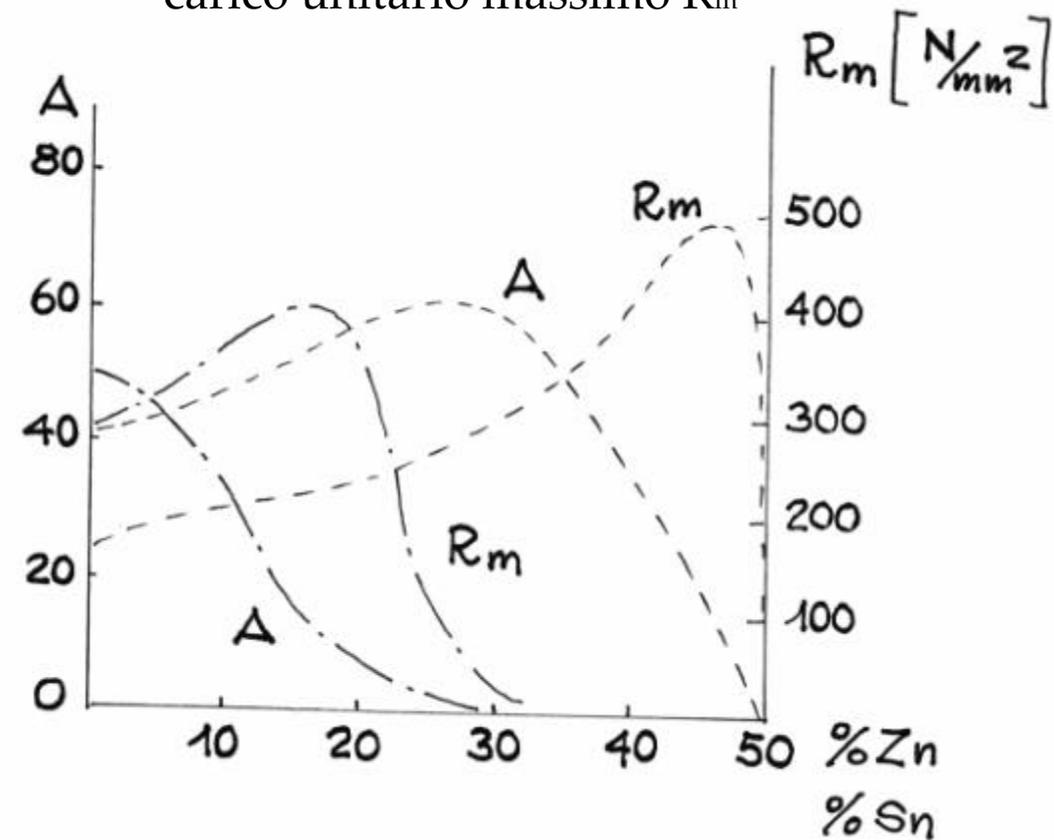
Questi vari elementi vengono aggiunti singolarmente o in combinazione. Si possono distinguere due classi di ottoni speciali

- **ottoni speciali resistenti alla corrosione** (ottone all'Al - Cu Zn 21 Al 2 e ottone allo Sn - Cu Zn 33 Sn 1 (ottone navale); Cu Zn 28 Sn 1 (ottone Ammiragliato).
- **ottoni speciali ad alta resistenza** noti come **bronzi al manganese con proprietà vicine ai bronzi**

L'aggiunta di un terzo elemento alle leghe Cu-Zn può essere considerata equivalente, agli effetti di un'eventuale modificazione strutturale, all'aggiunta (o sottrazione di zinco) in quantità proporzionale a quella dell'elemento stesso. La costante di proporzionalità, denominata coefficiente di equivalenza, varia da un elemento all'altro.

Elemento aggiunto	Coefficiente di equivalenza
Mn	0,5
Fe	0,9
Sn	2
Mg	2
Al	6
Si	10
Pb	0
Ni	-1,1 → -1,7

- allungamento percentuale  $A$
- carico unitario massimo  $R_m$



- Le curve riguardanti gli ottoni (lega Cu Zn) sono tratteggiate a linee
- Le curve riguardanti i bronzi (lega Cu Sn) sono tratteggiate a tratto e punto

# LEGHE RAME - STAGNO

## Bronzi

**PROPRIETA'**  
*Resistenza all'usura*  
*Sonorità*  
*Durata nel tempo*

I bronzi allo stagno, o bronzi propriamente detti, **sono le più antiche leghe di rame**. Essi sono disponibili tanto come leghe da deformazione plastica che come leghe da fonderia.

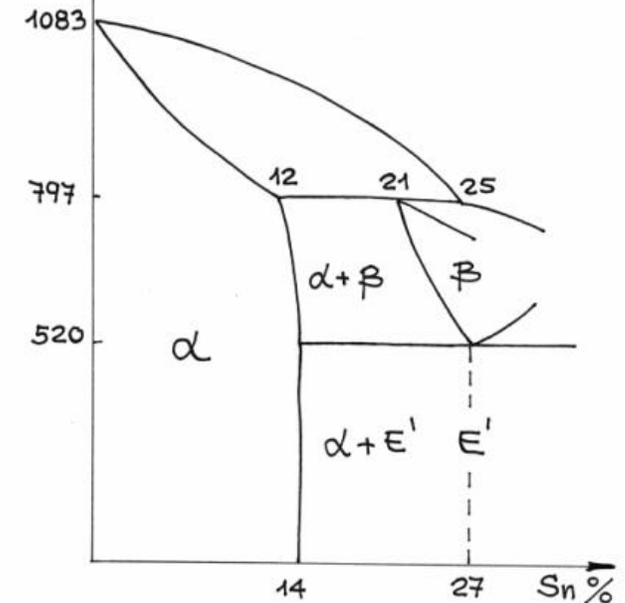
**Solo i bronzi da deformazione plastica sono leghe binarie**, ed anche in tale caso, per evitare nella matrice delle inclusioni di biossido di stagno ( $\text{SnO}_2$ ) dovute ad ossidazione del bagno fuso, contengono sempre un po' di fosforo (inferiore allo 0,4 %) come disossidante. Per questa ragione, i bronzi da deformazione plastica sono detti anche bronzi fosforosi o al fosforo.

A temperatura ambiente, le leghe rame-stagno sono costituite da fase alfa (soluzione solida primaria), relativamente plastica e deformabile. Perciò, le leghe classiche da semilavorati sono la

Cu Sn4                  Cu Sn6                  Cu Sn8

**Le caratteristiche meccaniche dipendono dal tenore di stagno.**

Pezzi di macchine notevolmente sollecitati, di ingranaggi, di reti metalliche, di molle, specie per applicazioni elettrotecniche, di componenti di apparecchiature esposti a vapore o ad ambienti acidi, salini o alcalini.



## Bronzi da fonderia

I bronzi da fonderia sono sempre complessi, vale a dire **contengono sempre zinco e/o piombo**.

*Il tenore di stagno difficilmente supera il 15 per cento.* Le leghe di uso più comune sono

Cu 5 Sn10 Zn2

Cu Sn8 Zn4

Cu Sn8 Zn4 Pb1

Cu Sn6 Zn4 Pb2,

le prime: due venendo impiegate per getti generici, mentre le ultime sono adottate specialmente per getti da lavorare successivamente alle macchine utensili.

Per tenori superiori di Zn e Pb, si ottengono i cosiddetti "bronzi con zinco" o "bronzi con zinco e piombo" (Cu Sn5 Pb5 Zn5, Cu Sn3 Pb7 Zn9), che vengono adoperati nella produzione di corpi di pompe e di valvole, di raccordi, di componenti navali, di bronzine e cuscinetti, di viti senza fine, **campane**.