

# Il Rame

- **STORIA**

In quanto reperibile allo stato nativo il rame, dopo l'oro fu il primo metallo conosciuto e usato dall'uomo (età del rame), con lavorazioni a freddo per martellamento, verso la fine dell'età della pietra. Gli oggetti di rame più antichi sono dei gioielli provenienti dall'Egitto, che risalgono al 4500 a.C. Nel 3500 a.C. si incominciò a fondere questo metallo ottenendolo per riduzione dal minerale: perciò il rame è il primo metallo che l'uomo ha estratto dai suoi minerali. Intorno al 3000 a.C. il rame viene legato allo stagno per ottenere il bronzo: è la cosiddetta età del bronzo, che precede quindi quella del ferro. Presso i Greci e i Romani il rame veniva usato per fabbricare armi, utensili, ornamenti ed anche nell'edilizia. Grandi quantità di rame venivano estratte dall'isola di Cipro, in latino *Cyprum*: dal cui nome derivò *aes cuprum*, da cui il simbolo Cu e il nome stesso del metallo in gran parte delle lingue moderne occidentali (copper, cuivre, kupfer, cobre, koppar). Il simbolo della donna (il cerchio con una croce in basso, detto "specchio" di Venere) è lo stesso usato dagli alchimisti per indicare il rame: questo perché, secondo la leggenda, la Dea nacque dalla schiuma delle acque dell'isola di Cipro. La diffusione del rame era dovuta anche alla sua reperibilità allo stato grezzo e alla sua relativamente bassa temperatura di fusione. Il primitivo processo di produzione prevedeva una prima "cottura" per eliminazione delle tracce di zolfo, poi una fusione che faceva salire in superficie eventuali scorie e quindi una colata in stampi ricavati nel terreno, ottenendo forme simili a dischi, poi lavorati tramite martellatura.

Lo sapevate che....

....l'ascia dell'uomo di Similaun vissuto nel 3200 a.C. era, anzi è, in rame?

....l'ottone (lega rame -zinc) risale al 1000 a.C.?

....il primo tubo di rame per l'acqua potabile risale al 2750 a.C.? Fu rinvenuto nel tempio del re Sa-Hu-Re ad Abusir, in Egitto; faceva parte di un impianto di circa 100 m di lunghezza, costituito da diverse sezioni, ognuna delle quali misurava 750mm. Il tubo era ottenuto aggraffando una sottile lastra di rame fino ad ottenere un diametro approssimativo di 75mm. E' conservato al Museo Statale di Berlino.

....già Servo Tullio (IV sec. A.C.) ordinò di coniare solo monete di rame, che poi chiamò "pecuniae"?

....già Plinio (I sec. d.C) descriveva la stagnatura del rame?

## Caratteristiche Chimico-Fisiche

Metallo di colore rosso, simbolo Cu e numero atomico 29, con struttura reticolare cubica a facce centrate. Appartiene agli elementi di transizione della tavola periodica, nella stessa colonna di argento e oro, con cui ha molte affinità chimico-fisiche. Possiede gli stati di ossidazione +1 e +2 (rispettivamente sali rameosi e rameici). Ha una spiccata attitudine a legarsi con altri metalli, formando un elevatissimo numero di leghe di interesse tecnologico. Ha scarsa affinità con l'ossigeno e a contatto con la maggior parte dei metalli -generalmente meno nobili- non subisce corrosione galvanica. E' l'unico, tra i metalli puri di uso industriale, ad avere un potenziale elettrochimico positivo: questo gli consente di non sciogliersi negli acidi, a meno che non siano fortemente ossidanti, come HNO<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Il rame è un materiale indispensabile e insostituibile in numerosissime applicazioni, grazie alle sue proprietà fisiche e meccaniche, tra le quali spiccano l'elevata conduttività termica ed elettrica e la notevole resistenza alla corrosione

Temperatura di fusione	1083 °C
Temperatura di ebollizione	2595 °C
Densità a 20 °C	8.94 g/cm <sup>3</sup>
Carico di rottura (ricotto)	~ 220 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di dilatazione termica a 20°C	1,65 10 <sup>-6</sup> m/(m*K)
Ritiro di solidificazione	4.92 %
Calore specifico a 20°C	385 KJ/(Kg*K)
Conduttività termica a 20 °C	391 W/(m*K)
Resistività elettrica a 20 °C (ricotto)	0.017241 Ohm mm <sup>2</sup> /m
Coefficiente di temperatura della resistività elettrica	393 *10 <sup>-5</sup> K <sup>-1</sup>
Velocità del suono	3600 m/s
Potenziale E° (Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> Cu)	0,337 V

## • Caratteristiche tecnologiche

### Ottimo conduttore elettrico

Il rame è il miglior conduttore dell'elettricità dopo l'argento (vedi tabella), ma ovviamente è di gran lunga il miglior compromesso tra le caratteristiche tecnologiche e i costi da sostenere. Oltre a considerazioni sui costi e sulla conduttività elettrica, il rame è apprezzato per la sua duttilità, robustezza, resistenza al creep e alla corrosione. E' quindi possibile ottenere fili molto sottili, compatibili con tutti i moderni materiali isolanti, per esempio gli smalti, utilizzati negli avvolgimenti. Inoltre è sufficientemente forte e flessibile da sopportare avvolgimenti molto stretti senza rompersi.

### Ottimo conduttore termico

Il rame è il miglior conduttore di calore dopo l'argento: pertanto offre il miglior compromesso tra caratteristiche tecnologiche (vedi tabella) e il risparmio economico. Anche per questo motivo il rame è il materiale di gran lunga più apprezzato per gli impianti che trasportano fluidi caldi. Per questo viene usato negli scambiatori di calore, nei pannelli solari, nel riscaldamento civile (come ad esempio nei pannelli radianti); il rame non teme improvvisi innalzamento della temperatura, poiché fonde a 1083°C: l'acqua bollente non lo rammollisce! Oltretutto il suo

# Il Rame

basso coefficiente di dilatazione termica dà meno problemi alle strutture murarie e lo avvantaggia rispetto ad altri materiali alternativi.

## **Facilità di formare leghe**

Il rame ha una spiccatissima tendenza a formare leghe. A seconda del tipo di metallo aggiunto e della sua percentuale si otterrà un prodotto con particolari caratteristiche (vedi figura) La famiglia più numerosa è quella degli ottoni, costituiti da rame e zinco, con quantità di quest'ultimo che possono arrivare fino al 40%. Se viene aggiunto un terzo elemento si parla di ottoni ternari. Un'altra famiglia di leghe molto importante è quella dei bronzi, ottenuti da rame e stagno, caratterizzati da un'ottima lavorabilità a freddo e a caldo, da resistenza meccanica e alla corrosione. Il rame è usato anche per la monetazione, in lega soprattutto con il nickel, con cui dà origine alla famiglia dei cupronickel. Altri composti di impiego del rame e delle leghe sono: arredamento ed arredobagno, oggettistica, artigianato, componentistica, minuterie metalliche, ecc. Un settore di impiego particolarmente interessante, in quanto facente parte del sistema idrotermosanitario, è quello delle barre di ottone per rubinetterie e valvolame, mentre i laminati di rame vengono usati per i corpi di caldaie e bollitori.

## **Resistenza alla corrosione**

Il rame fa parte della famiglia dei metalli da conio, insieme all'argento e all'oro; è un metallo "quasi nobile" dal potenziale elettrochimico inferiore molto alto (vedi Tabella). I prodotti della corrosione del rame sono spesso protettivi: per esposizione all'aria il rame sviluppa uno strato protettivo chiamato patina, la cui composizione varia al variare dei luoghi e delle condizioni atmosferiche. La patina verde che ricopre i tetti in rame è un sale di stechiometria variabile, che protegge il metallo rendendolo praticamente "eterno". La Statua della Libertà è costituita esternamente da lastre di rame poiché deve essere in grado di resistere all'atmosfera marina e industriale di New York.

Non deve stupire che numerosi oggetti in rame provenienti dall'antichità o dalla preistoria (come l'ascia dell'uomo di Similaun) siano arrivati pressoché intatti fino a noi.

## **Lavorabilità a freddo e a caldo**

Il rame ha elevata malleabilità e duttilità, cioè la capacità di deformarsi in laminati e fili. Può essere quindi facilmente lavorato per deformazione plastica con ottimi risultati.

## **Attitudini alla giunzione**

Il rame è caratterizzato da una elevata attitudine alla giunzione sia per saldatura sia per brasatura.

## **Amagnetismo**

Il rame è praticamente amagnetico; si utilizza questa proprietà nella strumentazione, nelle tecnologie avanzate e nel campo della bio-architettura.

## **Possibilità di trattamenti superficiali**

Cromatura, nichelatura, stagnatura e argentatura sono alcuni dei numerosi trattamenti superficiali cui può essere sottoposto il rame

## **Riciclabilità**

Il rame risulta riciclabile al 100%. Le nazioni tecnologicamente più avanzate recuperano i prodotti contenenti rame al termine della loro vita utile: ad esempio il rame è la materia prima di cui l'Italia dispone maggiormente, pur non possedendo miniere. Questo contribuisce a ridurre la dipendenza dalle importazioni e rende praticamente trascurabile il contributo del rame all'incremento costante dei rifiuti solidi e industriali. Quasi il 50% del rame attualmente utilizzato in Italia proviene dal riciclo. Tale percentuale è destinata ovviamente a salire, visto che la disponibilità di rottami è strettamente correlata al consumo di 20-30 anni prima e quest'ultimo è andato sempre aumentando. Si calcola che l'80% circa del rame estratto fin dall'antichità sia ancora in uso sotto varie forme. Solo una piccola parte non viene recuperata: essa è dispersa prevalentemente come composti chimici necessari per l'agricoltura. Il rame

riciclato ha le stesse caratteristiche chimico- fisiche e tecnologiche del rame primario e quindi non subisce limitazioni di utilizzo o diminuzione di valore. Si noti che il riciclo consente un notevole.

- **Estrazione del rame**

Possiamo riassumere le fasi dei principali processi con la premessa che considereremo solamente minerali solforati e a basso tenore, in quanto più largamente disponibili.

- **Estrazione**: i minerali di rame sono ricavati da miniere sia a cielo aperto sia in galleria ed i metodi utilizzati non si caratterizzano in modo particolare rispetto a quelli ormai tradizionali anche per altri minerali.

- **Frantumazione e macinazione**: il minerale, che contiene una rilevante quantità di inerti (ganga) viene ridotto, per mezzo di potenti mulini, a una polvere di adeguata granulometria al fine di ottimizzare il trattamento successivo.

- **Flottazione**: questa operazione consente la separazione delle frazioni contenenti il rame dagli inerti; la polvere, emulsionata con liquidi tensioattivi, viene immessa in grandi vasche da dove si asporta lo strato schiumoso superficiale che contiene le particelle più ricche di rame. Infatti, grazie alla selettiva tensione superficiale, i solfuri si ricoprono di minute bollicine di tensioattivo, che impediscono il contatto con l'acqua, e sono trascinati verso l'alto dall'aria che viene fatta gorgogliare nella vasca. La concentrazione di rame ottenibile può variare dal 30 al 50% in funzione del tenore del minerale di partenza.

- **Concentrazione**: i fanghi sono essiccati meccanicamente prima dell'immissione nel forno di arrostitimento in quanto una elevata quantità d'acqua produrrebbe uno spreco di energia termica per la sua evaporazione; si ottiene così un composto prevalentemente a base di minerali solforati.

- **Arrostitimento**: la concentrazione procede poi per via termica; si diminuisce così il tenore dello zolfo presente sfruttando la sua più elevata affinità chimica con l'ossigeno rispetto al rame.

- **Fusione e conversione**: nel forno si procede alla fusione del concentrato in ambiente reso ossidante per mezzo di insufflaggio di aria od ossigeno nel bagno ottenendo la formazione di SO<sub>2</sub> gassosa, che si separa dal metallo liquido; l'aggiunta di silicio inoltre permette l'eliminazione del ferro presente; esso forma la scoria, composta prevalentemente da silicati, che galleggia e viene asportata per sfioramento.

- **Raffinazione termica**: questo trattamento viene effettuato allo scopo di ridurre ulteriormente la concentrazione di impurezze nel rame e, pur rappresentando praticamente la prosecuzione dell'operazione precedente, può essere effettuato in apparecchiature e tempi differenti. Il metallo fuso viene trattato nuovamente con insufflaggio di aria od ossigeno e successiva scorifica delle impurezze; in questa fase si riossida parzialmente anche il bagno. Successivamente si procede alla riduzione del tenore di ossigeno introducendo nel forno un tronco verde di pino che, bruciando, sprigiona vapore acqueo ed altri gas riducenti. Questa operazione è chiamata "pinaggio". Questo trattamento generalmente permette di ottenere gli anodi che saranno poi sottoposti alla raffinazione elettrolitica; tuttavia, se la raffinazione termica è estremamente accurata, è possibile utilizzare il rame così ottenuto direttamente per la produzione di alcuni semilavorati.

# Il Rame

- **Raffinazione elettrolitica:** è il processo che permette di ottenere i massimi livelli di purezza del rame. Viene effettuata con il processo ad anodo solubile in vasche contenenti una soluzione di solfato di rame ed in cui gli anodi si alternano con i catodi. Questi ultimi sono costituiti da lamierini sottili di rame ad elevata purezza di origine elettrolitica. Tra anodi e catodi, immersi nella soluzione conduttrice elettricamente, viene fatta circolare una corrente elettrica che dissolve l'anodo in ioni i quali, migrando attraverso la soluzione, vanno a depositarsi sul catodo. Regolando opportunamente i parametri di differenza di potenziale e di intensità di corrente, il processo permette di ottenere una deposizione selettiva del rame nei confronti degli altri metalli che costituiscono le impurezze. I metalli meno nobili del rame restano in soluzione, i più nobili precipitano nei fanghi da cui sono periodicamente separati con evidenti vantaggi economici. Il processo si interrompe con l'esaurimento degli anodi, i catodi vengono così estratti ed inviati alle lavorazioni successive o al commercio. Oggi circa il 90% del rame estratto dalle miniere viene raffinato secondo questo procedimento.

- **Rifusione e colata:** i catodi non possono essere lavorati per deformazione plastica direttamente; essi sono infatti costituiti da materiale incoerente e devono pertanto subire una rifusione. Questa è un'operazione delicata in quanto una errata conduzione del forno porterebbe a un inquinamento del metallo; al contrario in questa fase è ancora possibile intervenire sul bagno, modificandone la composizione, per ottenere proprietà particolari. Il metallo liquido periodicamente viene estratto dal forno e conservato in apposite siviere o in forni di attesa per le conseguenti operazioni di colata. Quest'ultima avviene oggi prevalentemente con processi di colata continua, per la vergella, e semicontinua per billette e placche. La forma del metallo solido è ottimizzata in funzione del semilavorato da produrre: vergella per ottenere fili, billette per tubi e barre, placche per lamiere e nastri.

## • Leghe

Il rame ha una spiccata capacità di legarsi agli altri metalli, che ne rafforzano le caratteristiche meccaniche e chimico-fisiche.

Lo zinco e il rame formano la famiglia più numerosa e utilizzata: gli ottoni

Lo stagno e il rame danno origine ai bronzi, il cui uso più noto è quello artistico.

Il binomio rame-nickel forma il gruppo delle leghe denominate cupronickel, di particolare interesse per la loro resistenza alla corrosione.

TIPI DI RAME: Cu-DHP E Cu-ETP

Le tabelle del CEN Report 13388 designano una dozzina di tipi di rame pressoché puro, con purezza minima superiore al 99,90%. Ognuno di questi si distingue per la composizione di quel rimanente 0,10%, che a volte è responsabile di rilevanti variazioni di caratteristiche tecnologiche. Dal punto di vista dei quantitativi prodotti e consumati a livello mondiale, i tipi di rame più importanti sono indicati come Cu-ETP e Cu-DHP.

Il rame Cu-ETP (Electrolytic Tough Pitch) è un rame ottenuto per raffinazione elettrolitica e trattato al tronco di pino; è caratterizzato dalla presenza di ossigeno e dall'assenza di fosforo.

Il rame Cu-DHP (Deoxidized High residual Phosphorus) è invece un rame totalmente privo di ossigeno, nel quale viene mantenuto, a garanzia della disossidazione, un tenore di fosforo relativamente alto, compreso tra lo 0,015 e lo 0,04%.

Tipo di rame	Cu (+Ag) %	O %	P %
DHP	99,90 min.	-	0,015-0,04
ETP	99,90 min.	0,04 (max)	-

La presenza del fosforo permette di eliminare fenomeni di fragilità in ambiente riducente, migliorare la deformabilità plastica a freddo e soprattutto incrementare l'attitudine alla brasatura. Quest'ultimo è l'aspetto fondamentale: per le applicazioni di lattoneria sono necessarie giunzioni che devono essere meccanicamente stabili. Nelle operazioni di brasatura si usano i disossidanti proprio per evitare che la superficie di rame si ricopra di ossidi (formati

# Il Rame

dal calore) che impediscono la corretta compenetrazione della lega d'apporto. Analogamente, se il rame contenesse già in partenza dell'ossigeno, la forza della giunzione sarebbe comunque pregiudicata.

Pertanto il rame utilizzato per i laminati da impiegare per coperture e lattoneria, ma anche per la produzione di tubi per gli impianti di distribuzione dei fluidi è quindi il tipo Cu-DHP.

Il fosforo - al contrario dell'ossigeno- riduce notevolmente la conduttività elettrica: pertanto il rame destinato ad applicazioni elettriche ed elettrotecniche è il tipo Cu-ETP.

Le altre proprietà tecnologiche (per esempio il punto di fusione o la conduttività termica) non sono influenzate significativamente

## OTTONI

Gli ottoni, a seconda del tenore di zinco presente, offrono caratteristiche molto diverse.

Le tabelle riassumono le principali caratteristiche e applicazioni dei diversi tipi di ottoni binari, costituiti cioè da rame e zinco, e ternari, costituiti da rame zinco e un altro elemento

Considerando gli ottoni primari, si parla di fase  $\alpha$  quando il contenuto di Zn è inferiore al 36% circa; la struttura cristallina della lega ricalca quella del rame, cioè cubica a facce centrate.

Questi ottoni hanno eccellente lavorabilità a freddo (imbutitura e stampaggio) e buona a caldo.

Gli ottoni  $\alpha$ - $\beta$  (dove la fase  $\beta$  è cubica a corpo centrato) hanno un titolo di zinco oscillante tra il 36 e il 45%; sono facilmente lavorabili a caldo.

Le leghe con percentuali di Zn superiori al 45% non hanno interesse pratico.

Tipo di ottone ternario	Composizione	Caratteristiche e applicazioni
Ottoni al piombo	CuZn38Pb2 CuZn39Pb2 CuZn40Pb2	Utilizzati per stampaggio e lavorazione alle macchine utensili, in particolare per la produzione di rubinetteria e accessori vari per bagni, valvolame, viteria e bulloneria.
Ottone allo stagno	CuZn28Sn1As	Condensatori, scambiatori di calore, distillatori, raccordi, applicazioni marine in generale (ottone ammiragliato)
	CuZn19Sn	Strumenti musicali (ottoni)
Ottone all'alluminio	CuZn20Al2As	Vengono usati per tubi condensatori e scambiatori di calore; tubazioni e raccordi per acqua marina

Le leghe binarie rame-zinco sono adatte anche per le colate in getti: hanno un intervallo di solidificazione ristretto, quindi c'è un pericolo minore di rotture a caldo e porosità durante il ritiro per solidificazione.

Gli ottoni sono adatti per la colata in sabbia e in conchiglia e la presso fusione o pressocolata, che si applica a getti di piccole e medie dimensioni.

## BRONZI

Lo stagno, aggiunto in percentuale crescente fino a raggiungere il 9-10%, dà origine a leghe che presentano ottima resistenza alla corrosione e buone caratteristiche meccaniche.

Queste leghe sono lavorabili plasticamente e si possono laminare, estrarre, forgiare, stampare e trafilare.

Aumentando la percentuale di stagno, si ricavano leghe con durezza maggiore, quindi minore malleabilità.

L'elevata resistenza alla corrosione dei bronzi spiega il larghissimo uso in costruzioni navali, o per materiali a contatto con liquidi o atmosfere corrosive.

# Il Rame

Tipo di bronzo	Composizione	Applicazioni
Bronzi per semilavorati	CuSn4 CuSn8P	Molle, interruttori, connettori, applicazioni chimiche.
	CuSn4Pb4Zn4	Cuscinetti a manicotto, parti di valvole, ingranaggi
	CuSn3Zn9	Applicazioni elettriche
Bronzi per getti	CuSn10 CuSn11	Ingranaggi, bronzine, cuscinetti
	CuSn11Pb2	Cuscinetti, bronzine, giranti di pompe
	CuSn12	Cuscinetti e bronzine
	CuSn12Ni2	Ingranaggi
	CuSn5Zn5Pb5	Valvole, raccordi, flange, pompe

Anche se la denominazione bronzo dovrebbe riferirsi solo alle leghe rame-stagno, per comodità si è soliti chiamare bronzi anche quelle leghe caratterizzate dalla presenza di un altro metallo, anche se lo stagno non c'è oppure è componente minoritario.

Pertanto si parla di bronzi al silicio, al manganese, all'alluminio (detti anche cuprallumini), al berillio, al piombo e così via, mentre i bronzi propriamente detti sono chiamati bronzi comuni.

## CUPRONICKEL

Il nickel aggiunto al rame dà luogo ad una famiglia di leghe destinate ad applicazioni speciali. Sono caratterizzate da un'ottima resistenza alla corrosione in ambienti marini ( si usano in impianti di dissalazione e condensatori marini); notevole è la resistenza meccanica, in particolare la resistenza all'erosione. Si noti che basta un tenore del 20% per ottenere un colore grigio metallico.

Per questi motivi sono usate nella monetazione: la parte "bianca" delle monete da 1 e 2 euro sono costituite da un cupronickel 75-25.

Spesso il nickel viene accompagnato da altri elementi, per migliorare alcune proprietà della lega:

il ferro aumenta la resistenza alla corrosione e la resistenza meccanica;

il manganese viene usato per disossidare e desolfurare; inoltre migliora la lavorabilità;

lo stagno aumenta l'elasticità.

Ulteriori informazioni e approfondimenti sono reperibili nel sito [www.coppernickel.org](http://www.coppernickel.org)

Tipo di Cu-Ni	Proprietà	Applicazioni
CuNi25	Resistenza all'usura, colore "argento"	Monetazione, materiale per placcatura
CuNi9Sn2	Buona lavorabilità a freddo, ottima elasticità.	Contatti a molla nei relè, interruttori e connettori
CuNi10Fe1Mn	Resistenza a erosione, cavitazione e corrosione, soprattutto marina e buona saldabilità.	Lamiere e tubi per scambiatori di calore, condensatori, caldaie a bassa pressione per acqua di alimentazione impianti, aria condizionata, tubi alettati, tubi per sistemi frenanti.
CuNi30Fe2Mn2	Come CuNi30Mn1Fe, con migliori proprietà meccaniche	Tubi condensatori
CuNi30Mn1Fe	Come CuNi10Fe1Mn, con migliori proprietà meccaniche e resistenza alla corrosione	Come CuNi10Fe1Mn, tubi marini e impianti di desalinizzazione

## CUPRALLUMINI

Si cuprallumini (più noti come bronzi all'alluminio) sono leghe di rame in cui l'alluminio è come elemento aggiuntivo principale. Le più diffuse contengono dal 5 al 12% di alluminio, spesso insieme con ferro, nickel, manganese. Sono note per la loro notevole resistenza meccanica e alla corrosione; sono impiegate anche in presenza di fluidi ad alta velocità. In alcune applicazioni possono sostituire leghe più costose, come i bronzi allo stagno.

La resistenza meccanica dipende innanzitutto dal contenuto di alluminio. Fino all'8% la lega è ancora duttile e lavorabile a freddo per ottenere tubi, lastre e fili. Tra l'8 e il 10% di alluminio la durezza permette le lavorazioni a caldo; oltre il 10% si hanno leghe speciali per applicazioni anti-usura.

Altri elementi modificano le caratteristiche della lega:

- il ferro aumenta il carico di rottura e agisce come raffinate del grano cristallino;
- il nickel migliora la resistenza alla corrosione, il limite di elasticità e ha un effetto stabilizzante sulla struttura cristallina;
- Il manganese funge anche lui da stabilizzante;

Sono da citare anche quelle leghe contenenti fino al 6% di alluminio e fino al 2% di silicio, che presentano ottima resistenza all'urto.

Le leghe con alluminio fino all'8% e manganese al 13% circa (i bronzi al manganese) hanno un'ottima resistenza alla cavitazione e all'erosione dovuta alla velocità di flusso (impingement). Vengono usate per le eliche delle navi.

Le applicazioni dei cuprallumini sono molteplici: tra queste eliche, pompe e valvole a contatto con acqua di mare (es. impianti di raffreddamento a bordo di navi), tubi per piattaforme off-shore, giranti, fissaggi e barre di sostegno in edilizia, cuscinetti, stampi per imbutitura.

---