

## 5 MATERIALI METALLICI E LEGHE

### 5.7 Nichel



Valvola termoionica di potenza.

I minerali di importanza industriale da cui si estrae il Ni sono la [pirrotite](#), costituita da solfuri di ferro, di rame e di nichel, con un contenuto medio di nichel pari al 3% e la [garnierite](#), silicato idrato di nichel e magnesio associato con ossido di ferro.

Il nichel è un metallo duro e tenace, duttile e malleabile, deformabile anche a basse temperature, saldabile, fucinabile, magnetizzabile, inalterabile anche all'aria umida, resistente all'acqua anche marina, poco attaccabile dagli acidi, dai cloruri e dalle sostanze alcaline. Il nichel in catodi, pani, graniglia, dadi, gocce ecc. si classifica (UNI 3353) in due qualità con titolo minimo pari a 98,65% e 99,5%. Per la proprietà di resistenza alla corrosione il nichel puro si usa nella nichelatura, nella monetazione, in apparecchiature chimiche, in anodi e griglie per valvole termoioniche, nelle piastre per accumulatori alcalini (al cadmio-nichel o al ferro-nichel).

### 5.10 Metalli preziosi

#### 5.10.1 Osmio

L'osmio è un metallo brillante e argenteo con un'elevatissima densità e un elevato punto di fusione. Insieme a rutenio, rodio, palladio, iridio costituisce uno dei metalli del cosiddetto [gruppo del platino](#). L'osmio metallico in forma compatta è molto resistente all'attacco degli acidi sia a caldo sia a freddo, e si ossida all'aria solo al di sopra di circa 400 °C, mentre in forma di polvere si ossida all'aria già a 200 °C. Il metallo è poco usato, anche per la difficoltà di lavorazione; il maggiore impiego industriale è come catalizzatore, per esempio come catalizzatore di idrogenazione. Un tempo si poteva trovare all'interno di penne ad elevata qualità, punte di compasso, punte di grammofoni di lunga durata e ingranaggi di orologi, grazie alla sua estrema durezza e resistenza alla corrosione.

In lega con l'iridio o con il platino è utilizzato per parti di apparecchiature (per esempio contatti elettrici) soggette a condizioni di funzionamento molto severe. Gli ossidi di osmio sono altamente tossici. In bassa concentrazione in aria possono causare congestione ai polmoni, danni alla pelle e severo danneggiamento degli occhi.

### 5.10.2 Iridio



Candela in iridio per motori.

L'iridio è un metallo di colore argenteo lucente, con ottime caratteristiche di durezza e tenacità a elevate temperature. È molto resistente all'azione dei reagenti chimici, soprattutto se è in forma compatta: non è attaccato dagli acidi nemmeno a caldo e non si scioglie in acqua regia. Viene attaccato però da alcuni metalli fusi, quali lo zinco, il rame, il magnesio e l'alluminio.

Le applicazioni dell'iridio si basano sulle eccezionali proprietà di resistenza alla corrosione e sulla durezza (anche a elevate temperature) che questo metallo può impartire ad alcune leghe. In lega con il platino (fino al 30% di iridio) è impiegato in gioielleria, per parti di strumenti chirurgici, per contatti elettrici e in generale per parti di apparecchiature soggette a condizioni di funzionamento molto severe. Al giorno d'oggi la richiesta di iridio proviene soprattutto dall'industria elettronica, di automobili e dall'industria chimica, in cui viene usato per rivestire gli elettrodi nei processi di cloro-alcali e come catalizzatore.

Alcune applicazioni sono in cuscinetti per assi e in attrezzatura scientifica o speciale.

### 5.10.3 Platino

Il nome platino deriva dallo spagnolo "platina", che significa "piccolo argento".

Il platino è un metallo bianco-argenteo brillante, malleabile, duttile ed un membro del gruppo 10 della tabella periodica degli elementi. È il terzo in densità, dietro l'osmio e l'iridio e la sua conducibilità elettrica è relativamente bassa. È un metallo nobile, forse il più inerte tra tutti dopo l'iridio. Il platino non è alterato da aria e da acqua, ma si dissolve in acqua regia calda, in acido fosforico e solforico caldi concentrati e in alcali fusi. È resistente quanto l'oro alla corrosione e all'appannamento: non si ossida in aria, non importa quanto forte sia riscaldato. È dotato di un coefficiente di espansione quasi uguale a quello del vetro a soda-calce-silice e quindi è usato per realizzare elettrodi sigillati nei sistemi di vetro. Le miscele gassose di idrogeno e ossigeno esplodono in presenza di fili di platino.



Anelli in platino.

Il platino ha molti usi. Le sue caratteristiche di resistenza all'appannamento e all'usura lo rendono ben adatto per fare gioielli fini. Il platino e le sue leghe sono usati in attrezzi chirurgici, negli utensili da laboratorio, nei cavi elettrici di resistenza e nei punti di contatto elettrico.

È usato (30%) come catalizzatore nelle marmitte catalitiche. Il maggiore uso (50%) del platino è per gioielleria, un altro 20% è usato nell'industria: il platino è usato nell'industria aeronautica chimica, elettrica e del vetro. L'industria del vetro usa il platino per le fibre ottiche e il vetro degli schermi a cristalli liquidi, particolarmente per i

computer portatili. Come metallo non è molto pericoloso, ma i sali di platino possono avere parecchi effetti sulla salute: effetti cancerogeni e mutageni. Le leghe di platino sono meccanicamente più resistenti e più dure del metallo puro e anche meno costose. La lega Pt-Pd (20-30) è usata in oreficeria, con un contenuto di palladio inferiore al 25% la resistenza alla corrosione è paragonabile a quella del platino puro, per cui queste leghe trovano applicazione per anodi insolubili nei processi elettrochimici. Le leghe con l'iridio sono impiegate in gioielleria (5-10% di Ir), nei contatti elettrici e in strumenti medici (10-25% di Ir). Le leghe con il rodio (dal 10 al 40% di Rh) sono impiegate soprattutto per termocoppie e per termistori per ambiente ossidante. Le leghe del platino con 2-8% di tungsteno sono impiegate per gli elettrodi di candele di accensione di motori di aereo e per griglie di tubi radar. Leghe platino-cobalto, fortemente ferromagnetiche, sono impiegate nella fabbricazione di magneti permanenti, mentre la gioielleria e l'odontotecnica utilizzano tuttora notevoli quantità di questo metallo, puro o in lega con oro, argento o altri metalli dello stesso gruppo del platino. Una notevole percentuale della produzione primaria di platino (in particolare nel caso degli impieghi nel settore chimico e in gioielleria) viene recuperata e riutilizzata dopo eventuale raffinazione.

#### 5.10.4 Oro

L'oro è solitamente unito in leghe nei gioielli per dare più resistenza e il termine carato descrive la quantità dell'oro presente: 24 carati è oro puro, 18 carati se è al 75%, 12 se è al 50%. È il metallo più malleabile e più duttile; è un buon conduttore di calore e di elettricità e non viene alterato dall'aria e dalla maggior parte dei reagenti. L'oro è usato come ornamento e in gioielleria, industria del vetro ed elettronica. L'oro da gioielleria può avere diverse sfumature a seconda del metallo con cui è legato (bianco, rosso, blu, verde ecc.). L'oro colloidale è aggiunto al vetro per colorarlo di rosso o porpora e l'oro metallico è applicato in strati sottili sulle finestre di grandi edifici per riflettere il calore dei raggi del sole.

L'elettroplaccatura con oro è usata nell'industria elettronica per proteggere le componenti di rame e migliorare la loro saldabilità.

Le principali leghe sono quelle con rame, nichel, zinco e argento. La presenza di elementi in soluzione solida indurisce l'oro, per cui l'alligazione ne aumenta la durezza e la resistenza all'abrasione. Un effetto collaterale può essere il cambiamento di colore, e questo fatto è ampiamente sfruttato in gioielleria: l'aggiunta di argento schiarisce il colore giallo originale, che passa al giallo verde per diventare poi bianco, quando l'argento raggiunge il 50%. L'aggiunta di rame sposta il colore verso il rossiccio, mentre la lega con l'alluminio, corrispondente all'intermetallico  $\text{AuAl}_2$ , ha un colore viola intenso. A queste leghe può anche essere aggiunto lo zinco, utile come disossidante nella fase di elaborazione del materiale e come elemento che schiarisce le leghe con eccesso di rame rispetto all'argento. Lo zinco è anche usato per produrre le leghe di oro per brasatura, in quanto ne abbassa l'intervallo di fusione. L'oro bianco è ottenuto attraverso l'alligazione con nichel e zinco, cui comunque deve essere aggiunto del rame, per migliorare la lavorabilità. Il riporto di strati sottili può essere attuato mediante placcatura di un substrato metallico con un sottilissimo foglio di oro (puro o in lega), per elettrodeposizione e anche mediante deposizione dal vapore e di sputtering; è largamente impiegato nella fabbricazione di componenti di dispositivi elettronici quali contatti, raccordi, circuiti stampati, schermi termici e riflettenti. In queste applicazioni, che stanno tra l'altro divenendo sempre più importanti nel settore spaziale, si utilizzano soprattutto le ottime proprietà elettriche e ottiche dell'oro, immutabili anche in condizioni ambientali particolarmente severe.

### 5.10.5 Palladio

È un metallo chiaro, grigio-argenteo con una struttura cristallina a facce centrate. È abbastanza malleabile, ed è attaccabile da molti reagenti. È molto resistente alla corrosione in aria e all'azione di acidi a temperatura ambiente; ha inoltre una grande abilità ad assorbire idrogeno (fino a 900 volte il suo volume). A causa della relativa resistenza della corrosione, un importante impiego del palladio è in leghe usate in contatti elettrici a bassa tensione. Quando è finemente diviso, il palladio forma un buon catalizzatore ed è usato per accelerare le reazioni di deidrogenazione e di idrogenazione.

Il palladio è usato estesamente in gioielleria nelle leghe chiamate "oro bianco". Può essere legato al platino o sostituirsi ad esso. È usato in cuscinetti di protezione, molle e rotelle delle bilance e anche per gli specchi in strumenti scientifici: al giorno d'oggi è sempre più usato in apparecchiature elettriche come televisioni a schermo largo, calcolatori e telefoni cellulari, sottoforma di sottili condensatori in ceramica multi-strato. Può causare irritazione di pelle, occhi, tratto respiratorio e può anche portare a sensibilizzazione della pelle. Tutti i composti di palladio dovrebbero essere ritenuti altamente tossici e cancerogeni. Ciononostante il palladio veniva usato un tempo per trattare la tubercolosi con un tenore di 0,065 g/giorno (circa 1 mg/kg).

Il palladio ha un notevole impiego come componente di catalizzatori metallici (frequentemente supportati su materiali ceramici) in vari processi chimici di ossidazione e riduzione. Così per esempio nell'ossidazione dell'ammoniaca ad acido nitrico si impiegano reti catalitiche a base di platino legato con circa il 10% di palladio o di rodio, mentre catalizzatori eterogenei a base di platino e palladio vengono utilizzati nei processi petroliferi di idrocracking, reforming e altri. Un'importante applicazione si ha in campo automobilistico nelle cosiddette marmitte catalitiche, dove il palladio, con il platino e il rodio, costituisce il catalizzatore di ossidazione per l'eliminazione dagli scarichi di idrocarburi incombusti e monossido di carbonio.

Altro settore che utilizza forti quantità di palladio (allo stato puro o in lega con argento, oro, platino, iridio, nichel e rame) è quello elettrico, soprattutto in relais e interruttori per contatti a bassa resistenza e praticamente inalterabili, e nella fabbricazione di circuiti elettronici stampati.



Assieme al platino e al rodio, il palladio è utilizzato come catalizzatore di ossidazione nelle marmitte catalitiche.

### 5.10.6 Argento

L'argento puro è quasi bianco, brillante, morbido, molto duttile, malleabile; è un eccellente conduttore di calore e di elettricità. Ha la maggiore conduttività elettrica di tutti i metalli, ma il suo costo elevato ha impedito che si diffondesse nelle applicazioni elettriche. Non si ossida in aria, ma reagisce con il solfuro di idrogeno presente nell'aria, formando il solfuro di argento (appannamento): ecco perché gli oggetti d'argento hanno bisogno di regolare pulizia. L'argento è stabile in acqua.

È usato principalmente nell'industria elettrica ed elettronica e per consumi interni come posate, gioielli e specchi. L'argento è impiegato anche nell'industria elettrica: i circuiti stampati sono fatti usando le vernici d'argento e le tastiere del calcolatore sfruttano contatti elettrici d'argento. Le proprietà catalitiche dell'argento lo rendono ideale per impiego come catalizzatore nelle reazioni di ossidazione. Altre applicazioni sono in batterie di lunga durata e di grande capacità a base di zinco. I sali d'argento solubili sono mortali.

I composti dell'argento possono essere lentamente assorbiti dai tessuti del corpo, con conseguente pigmentazione bluastra o nerastra della pelle (argiria). L'argento, date le sue caratteristiche di aspetto, di inerzia chimica e di facile lavorabilità, è stato fin dai tempi antichi ed è tuttora largamente impiegato per monete e in oreficeria. In queste applicazioni è solitamente utilizzato in leghe con rame (la lega all'80% di argento e 20% di rame è l'argento a 800 millesimi), oro e talvolta zinco, che risultano più dure e tenaci rispetto all'argento puro. I sali sono impiegati principalmente per scopi farmaceutici e come catalizzatori di sintesi organiche. Altri utilizzi dell'argento, basati sulle sue ottime caratteristiche elettriche e sulla sua resistenza all'ossidazione, si hanno in elettrotecnica per contatti di alta qualità, in avvolgimenti per motori funzionanti a temperature elevate, in rivestimenti inalterabili e conduttori (generalmente su rame). In altri campi vengono largamente usati rivestimenti speculari in argento su vetri, metalli ecc.

Lo ione  $\text{Ag}^+$  ha un effetto di tipo batteriostatico, battericida, astringente e caustico, espliciti dalle varie preparazioni farmaceutiche a base di argento. Il rischio di formazione di composti di S e Ag preclude l'applicazione dell'argento nei circuiti a basso voltaggio e bassa corrente. Di fatto non si usa sotto i 10 V o per perdite superiori i 0,2 V.

### 5.10.7 Rodio

Il metallo è bianco argenteo, ha un punto di fusione più alto e una densità più bassa rispetto al platino. Ha un'alta riflessione ed è duro. A seguito di riscaldamento si trasforma in ossido rosso e a temperature più alte si trasforma di nuovo nell'elemento. Il rodio non è affetto da aria e acqua fino a 600 °C. La maggior parte del metallo (85%) entra nelle marmitte catalitiche delle automobili. L'uso principale del metallo è in leghe con platino e iridio, in cui conferisce una maggiore resistenza a temperature elevate e una migliore resistenza all'ossidazione. In lega con il Pt è usato per resistenze di forni elettrici, per termocoppie, nell'industria vetraria per crogioli a contatto con il vetro fuso e per elettrodi. Il metallo, a causa della relativa luminosità e resistenza all'appannamento, è usato per placcare i gioielli e nei riflettori. È inoltre un catalizzatore molto utile in un certo numero di processi industriali. Tutti i composti di rodio dovrebbero essere considerati altamente tossici e cancerogeni: in particolare danneggiano molto marcatamente la pelle.

### 5.10.8 Rutenio

Il rutenio è un metallo duro e bianco elevato punto di fusione, duro e molto fragile. Non perde di lucentezza in atmosfera a temperatura ambiente, ma si ossida in aria a circa 800 °C. Il metallo non è attaccato da acidi caldi o freddi o da acqua regia calda, ma quando il clorato di potassio è aggiunto alla soluzione, si ossida esplosivamente. Il consumo di rutenio sta continuamente aumentando: il metallo trova impiego nell'industria chimica ed elettronica con quantità più piccole usate nelle leghe. Nell'elettronica è impiegato principalmente nei resistori dei circuiti integrati. Nell'industria chimica è usato negli anodi delle cellule elettrochimiche per la produzione del cloro. Il metallo è usato inoltre come agente indurente in gioielli. I composti del rutenio sono usati per colorare ceramica e vetro. È anche un versatile catalizzatore, usato per esempio nella rimozione di  $\text{H}_2\text{S}$  dalle raffinerie di petrolio e da altri processi industriali, per la produzione di ammoniaca da gas naturale e per la produzione di acido acetico da metanolo. Alcuni complessi del rutenio assorbono la luce dello spettro visibile e in quanto tali trovano impiego nelle tecnologie per l'energia solare. Tutti i composti di rutenio dovrebbero essere considerati come altamente tossici e cancerogeni. I residui di rutenio macchiano la pelle molto marcatamente. Dato il costo elevato e alcune difficoltà che insorgono nella sua lavorazione, allo stato puro il rutenio ha solo limitate applicazioni.

## 5. 11 Metalli refrattari

### 5.11.1 Niobio

Il niobio è un metallo raro, morbido, malleabile, duttile, grigio-bianco con una struttura cristallina cubica a facce centrate. Ha proprietà analoghe a quelle del tantalio. Reagisce velocemente ad alte temperature con ossigeno, carbonio, gli alogeni, azoto e zolfo; deve essere disposto in un'atmosfera protettiva persino a moderate temperature.

Il niobio è importante nella produzione di leghe resistenti ad alte temperature e di acciai inossidabili speciali; grandi quantità di niobio sono usate dall'industria aerospaziale. Le leghe niobio-titanio e niobio-stagno sono usate come cavi per magneti superconduttori in grado di produrre campi magnetici enormemente forti. Il niobio è anche usato nella sua forma pura per strutture acceleranti superconduttive per gli acceleratori di particelle. Le leghe di niobio sono usate negli impianti chirurgici perché non reagiscono con il tessuto umano.

### 5.11.2 Tantalio



Graffe di giunzione in tantalio.

È un elemento relativamente raro, non si trova mai libero in natura, ma sottoforma di composti corrispondenti. Il tantalio è un metallo grigio lucente, duro e molto duttile. Nonostante sia un metallo molto elettropositivo, è quasi immune all'attacco chimico a temperature al di sotto dei 150 °C. Il tantalio è virtualmente resistente alla corrosione grazie a una pellicola di ossido che si forma sulla superficie. Al di sopra di circa 150 °C è attaccato dall'acido solforico concentrato e da altri acidi, dalle soluzioni alcaline concentrate e

dagli alcali fusi, mentre a temperature ancora più elevate reagisce facilmente con l'ossigeno e con gli alogeni. Nonostante il suo alto costo, il tantalio metallico ha impieghi in alcune leghe speciali resistenti alle alte temperature (per esempio la lega con il 10% di tungsteno), allo stato puro nell'industria chimica per rivestimenti di forni e scambiatori di calore che devono operare in ambiente corrosivo acido, nella fabbricazione di condensatori elettrolitici e per applicazioni biomediche (fili per suture, viti e piastre ossee). Composti del tantalio hanno importanti applicazioni in elettronica.

### 5.11.3 Molibdeno (Mo)

Il molibdeno elementare è un metallo grigio-argenteo, e presenta valori particolarmente elevati di temperatura di fusione, densità, durezza, modulo di elasticità e conducibilità elettrica. Ha un alto modulo elastico e soltanto il tungsteno e il tantalio, tra i metalli maggiormente disponibili, hanno punti di fusione più alti. Allo stato compatto si ossida all'aria formando il triossido solo a elevata temperatura; non viene attaccato dagli acidi diluiti e dagli alcali caustici fusi, e resiste inoltre all'attacco della maggior parte dei metalli fusi. Si discioglie invece nell'acqua regia, nelle miscele di acido nitrico concentrato con acido fluoridrico e solforico. Circa l'80% del molibdeno viene utilizzato come componente di leghe ferrose: in particolare negli acciai legati l'aggiunta di molibdeno aumenta la durezza, la resistenza alla corrosione e all'abrasione e la tenacità a caldo. Il molibdeno è un componente indispensabile anche di acciai speciali, quali gli acciai inossidabili al cromo-nichel, gli acciai impiegati per la fabbricazione degli utensili ad alta velocità e le turbine a gas per motori a reazione. Trova quindi applicazione per utensili di acciaio rapido, tubi e valvole di impianti per vapori surriscaldati, punterie di motori a scoppio ecc.). La buona conducibilità elettrica e la sua attitudine con il quarzo di dare delle unioni stagne ed insensibili alle variazioni termiche lo rendono prezioso per le ampole dei raddrizzatori a vapori di mercurio, per le lampade al quarzo ecc.

Viene inoltre largamente impiegato nella tecnica del vuoto come anodo per ampole di emissione, come catodo per ampole a raggi X ecc.

### 5.11.4 Tungsteno



Filamenti di tungsteno per applicazioni sotto vuoto.

Ha la temperatura di fusione superiore a quella di qualsiasi altro metallo, una densità tra le più alte e un modulo di elasticità particolarmente elevato. Il tungsteno è usato nei filamenti di bulbi di lampade incandescenti, e anche per contatti elettrici e elettrodi ad arco. Il tungsteno è usato come alligante dell'acciaio, al quale conferisce grande resistenza. L'utilizzo più consistente è però sottoforma di **carburo di tungsteno** (WC) soprattutto per produrre utensili.



I tubi per l'emissione di raggi-X per uso medico hanno un emettitore in tungsteno e lo schermo usato per vedere i raggi X sfrutta il tungsteno fosfato di calcio e di magnesio per trasformare i raggi X in luce visibile blu. Il tungsteno è usato anche nei microchip e nei cristalli dei display. Tutti i composti del tungsteno sono considerati altamente tossici. La polvere metallica costituisce un pericolo per incendio ed esplosione. Le applicazioni del wolframio sono relativamente recenti, e solo a partire dagli anni '50 hanno assunto una grande importanza.

### 5.11.5 Renio

Il renio è un metallo di colore argento (grigio se in polvere), duttile anche a bassa temperatura, che possiede densità e punto di fusione elevati, nonché una buona conducibilità elettrica anche ad alta temperatura. Il renio è molto duro, resiste alla corrosione ma si appanna lentamente in aria umida. A temperatura ambiente, allo stato compatto, non si ossida all'aria e non viene attaccato dagli acidi, mentre se finemente suddiviso viene attaccato dall'acido nitrico, dall'acqua ossigenata e da altri ossidanti. A temperature elevate reagisce facilmente con l'ossigeno. Nonostante il suo alto prezzo, il renio ha trovato, generalmente in lega con il wolframio o il molibdeno, impieghi in filamenti per l'emissione termoionica, resistenze, contatti, elementi di termocoppie, e in generale per applicazioni dove sono determinanti le sue ottime proprietà meccaniche ed elettriche ad alta temperatura. Allo stato metallico (di solito in lega con il platino) o sotto forma di suoi composti, ha inoltre importanti applicazioni come catalizzatore di reazioni di idrogenazione, cracking, reforming e altre. Il renio è un metallo ideale per l'uso a temperature molto alte, il che lo rende adatto a motori di razzi. È anche usato in termocoppie che possono misurare temperature al di sopra dei 2000 °C e per contatti elettrici che sopportano bene gli archi elettrici. Le leghe renio-molibdeno sono superconduttori alla temperature di 10 K.



Propulsore per razzi in renio.

## 5.12 METALLI BASSO FONDENTI

### Leghe a bassissima temperatura di fusione

INDALLOY	T liquidus (°C)	T solidus (°C)	Composizione %				Peso specifico g/cm <sup>3</sup>
			Ga	In	Sn	Zn	
46L	7,6	6,5	61,0	25,0	13,0	1,0	6,5
51 (eutettico)	10,7	10,7	62,0	21,5	16,0	-	6,5
60 (eutettico)	15,7	15,7	75,5	24,5	-	-	6,35
77	25,0	15,7	95	5	-	-	
14 (metallo puro)	29,7	29,7	100	-	-	-	

### Leghe per saldo brasatura in elettronica

Sn	Ag	Sb	Pb	T liquidus °C	T solidus °C	Utilizzo
95		5		240	234	Brasatura e impianti elettrici, circuiti di raffreddamento frigoriferi.
95	5			245	211	Circuiti elettrici per alta temperatura.
96	3,5			221	221	Eutettico, di impiego comune.
70			30	192	183	Ricopertura e unione di metalli.
63			37	183	183	Eutettico, temperatura di fusione minore tra leghe di saldatura usata in elettronica.
60			40	190	183	Di uso comune per i circuiti stampati.

#### 5.12.1 Zinco e sue leghe

Lo zinco è particolarmente resistente alla corrosione atmosferica dal momento che, a contatto con l'aria, si ricopre di uno strato di ossido; viene quindi utilizzato in un procedimento, detto zincatura a caldo, che consente la protezione di fili e lamiere di ferro in due modi: fisicamente, lo strato zincato ricopre il ferro, isolandolo dall'ambiente circostante; elettrochimicamente, nelle parti in cui manca una piccola parte di rivestimento, con una protezione catodica, con cui protegge il ferro dalle azioni corrosive. Può essere attaccato da acidi. In particolare la **Zama** è una lega di zinco, alluminio, magnesio e rame che ha caratteristiche di durezza, duttilità e resistenza tanto elevate da poter essere utilizzata per la produzione di tacchi a spillo, maniglie, cerniere.