

# Transkriptor

Buongiorno a tutti. ... .. Grazie mille. Ieri abbiamo visto quali erano, quali sono le principali leghe ferrose, quindi acciai, acciai inox, la denominazione, designazione degli acciai e le ghise, fra molto rapidamente le ghise. Oggi finiamo il nostro escursus sui materiali metallici facendo un'altrettanto rapida carrellata su quelli che sono i materiali, le leiche principali, leiche non ferrose e cominciamo appunto dalle leghe a base di rame, anzi rame e sue leghe. Tra le principali leghe metalliche, materiali metallici non ferrosi bisogna per forza annoverare il rame e le sue leghe. Quali sono le caratteristiche principali del rame che non solo storicamente è un importante materiale metallico. Rientra in metalli di transizione e commercialmente, o comunque dal punto di vista applicativo, è considerato da metalli base. Allora, il rame, struttura tipica, struttura cubica a facce centrate, non presenta forme allotropiche, quindi si trova sempre sotto forma di struttura cubica a facce centrate. il che, come ormai sapete, gli conferisce la possibilità di venire deformato molto facilmente, dà un sacco di piani di scivolamento e quindi è un materiale tipicamente molto duttile e malleabile. Inoltre, è un ottimo conduttore termico ed elettrico, è secondo soltanto all'argento e quindi è ampiamente utilizzato proprio per applicazioni in elettronica. Come vedete questa qui, questa tabellina che vi riporta un po' le caratteristiche principali, soprattutto la densità è abbastanza alta, siamo quasi a 9. l'acciaio per riferimento pesa intorno a 7,5-8 quindi è un po' più pesante dell'acciaio con un punto di fusione di 1080° e vi dicevo appunto è particolarmente buono come conducibilità elettrica secondo solo l'argento e analogamente come conducibilità termica per cosa viene utilizzato il rame. Allora, questo grafico a torta ci dà un'idea rapida su quali sono gli ambiti di maggior applicazione di questo materiale. Quello elettrico è effettivamente dalla parte del leone, ma oltre alle applicazioni per impianti elettrici ed elettronici, una grossa fetta del rame viene utilizzata nelle costruzioni, dove nelle costruzioni? Spesso nelle coperture. Questa, non so se qualcuno di Firenze l'ha già riconosciuta, è la chiesa di San Giovanni Battista a Carrinzano, quella sull'autostrada all'uscita di Firenze Nord. È considerata un capolavoro dell'architettura contemporanea, questa struttura a tenda, e vi faccio fare presente che la copertura, il tetto, è fatta con lastre di rame che appaiono verdi. Perché appaiono verdi? Perché il rame per certi aspetti, analogamente a quanto visto ieri con l'acciaio inox, all'aria si altera, si ossida, ma lo strato di alterazione che si realizza spontaneamente all'aria protegge poi il materiale sottostante. A differenza dell'acciaio inox i prodotti di alterazione per rame sono più spessi e non sono soltanto ossidi ma sono ossidi solfaticarbonati e hanno un aspetto verde. Per cui a differenza dell'acciaio inox che faceva uno strato di ossido misti prevalentemente ossido di cromo molto sottili che erano invisibili, in questo caso invece si forma sempre un prodotto d'alterazione però questa volta più spesso e colorato e quindi appare evidente che è cambiata la superficie però poi l'effetto è lo stesso, è il medesimo, protegge il materiale sottostante tanto che il rame effettivamente viene utilizzato per applicazioni esterne, outdoor e questa capacità di formare uno strato visibile si chiama, tecnicamente viene

chiamata patina, si forma una patina protettiva, è uno strato di ossidi che si vede e quindi è un materiale che forma una patina e poi successivamente protettiva, oltre che cambia colore. Lo vedremo poi tra qualche altra settimana, c'è anche un altro materiale metallico, un acciaio di cui non abbiamo parlato ieri, ma lo riprenderemo quando si parlerà di corrosione, che probabilmente conoscete, che è il corten, quell'acciaio che fa una patina rossa il meccanismo è lo stesso ma lo vedremo poi tra un paio di settimane quando si riprenderà una parte di corrosione il cordon è un acciaio patinante si forma uno strato di ossidi in questo caso ossidi e fosfati che proteggono il materiale sottostante lo stesso fa naturalmente il rame esposto all'aria quindi parte elettronica e costruzioni poi ci sono altre di minori applicazioni. Da dove si estrae il rame? Il rame è un risorsa naturale di cui consumo e produzione è cresciuta notevolmente negli ultimi anni, malgrado l'introduzione delle fibre ottiche che per alcune applicazioni hanno sostituito il rame. l'andamento della milioni di tonnellate all'anno di rame, vedete come è cresciuto negli ultimi anni. Tra l'altro la richiesta e la crescita della domanda di rame pone alcune preoccupazioni. Il rame è stato inserito nella lista degli elementi critici dell'Unione Europea perché effettivamente mentre la produzione si sta in qualche modo abbassando o almeno bisogna processare molto più minerale di partenza per ottenere lo stesso rame perché vengono estratti da sorgenti, giacimenti di rame a tenore sempre più basso quindi per ottenere la stessa quantità di rame bisogna impiegare molto più materiale, molta più energia per poter E questo potrebbe portare a un gap significativo della produzione rispetto alla domanda, soprattutto nei prossimi anni. E quindi un materiale abbastanza critico, una risorsa abbastanza critica. Come si estrae il rame? Proprio due parole. Avete già visto il rame metallico, ne ho già parlato, ma ovviamente è un qualche cosa che probabilmente servito agli albori della civiltà. Oggi questo tipo di rame che pure si trova dal punto di vista economico assolutamente irrilevante, di produzione assolutamente irrilevante. Invece il rame ovviamente si ottiene da solfuri, vari tipi di solfuri e qualche ossido, come l'ossido di rame e qualche carbonato in alcuni casi. e non starò troppo a dilungarmi sul processo di estrazione del rame, ma comunque dai solfuri, l'abbiamo già visto, si passa attraverso l'arrostimento dei solfuri a ottenere gli ossidi e poi gli ossidi vengono ridotti in un forno con processo pirotermico. Il processo pirotermico che veniva realizzato e che è stato realizzato soprattutto in epoche passate anche in Toscana, se vi capita di passare ad esempio, ma non è l'unico esempio, se vi capita di passare, di fare la Stratale 441 Massetana, ad esempio, da Siena verso Collonita, passata dopo Rosia, dopo un po' passato Rosia, andando ad esempio verso Massa Marittima, sulla destra potete trovare queste strutture vicino a Boccheggiano, nel Maremma. Queste che cosa sono? Non è una formazione naturale, ma questo qui è il prodotto della lavorazione delle pirite che venivano estratte dalla miniera di Boccheggiano in epoca dalla fine dell'Ottocento fino ai primi del Novecento e praticamente il processo era arrostitimento delle pirite per poi estrarre il rame e questi qui sono gli scarti dell'arrostitimento del minerale e quindi sono rossastri perché sono ricchi in ferro. Il ferro è rimasto qui, non era d'interesse, il minerale d'interesse era il rame e quindi si trovano come prodotti di scarto minerario, li trovate sulla destra seguendo la strada da La Siena a Folloni. Oggi non è più tanto il processo metallurgico, anche perché come vi dicevo il tenore dei minerali si è un po' abbassato, significativamente abbassato, e quindi è principalmente utilizzato un altro processo di

estrarre il rame, piuttosto che il piro metallurgico, quindi andando in qualche modo termicamente a trattare il minerale, Oggi viene fatto il processo idrometallurgico, ovvero tratto con solventi, in particolare con solventi acidi, il minerale, estratto e finemente macinato. Qui c'è una soluzione acida, la soluzione acida apparentemente scioglie gli ossidi, forma ioni rame. I ioni rame vengono La soluzione presente percola attraverso il minerale, ne estrae, fa una specie di estrazione, un po' come se vogliamo fare un paragone molto terra-terra, è un po' come l'estrazione del caffè dalle polveri di caffè. Quando fate il caffè fate passare acqua calda attraverso la polvere di caffè ed estrae la caffeina e gli altri aromi del caffè. Qualcosa di simile può essere fatto con una soluzione acida che scioglie il rame e praticamente ottenete l'estrazione del rame. Dopodiché questa soluzione contenente rame viene messa a contatto con un miscelatore con un solvente che estrae il rame e lascia le acque raffinate. Quindi c'è una concentrazione ulteriormente. da una concentrazione di rame del 0,2-0,3% qui si arriva a una concentrazione sulle acque del 10% e qui si arriva addirittura al 40-50% e quindi si ha sempre la concentrazione materiale. Dopodiché da questo solvente che è immiscibile in acqua qui viene fatto un mescolamento meccanico dalla soluzione accusa gli ioni rame passano nella soluzione del solvente. Dopodiché i due si separano, generalmente il solvente è più leggero e qui c'è il rame che viene estratto e qui ci sono le acque che possono essere riprocessate e rimesse in circolo. Quindi oggi più che altro si ottengono delle soluzioni contenenti rame, rame ione, quindi rame  $2+$ , Il rame  $2+$ , poi, viene ridotto e è ottenuto rame metallico. È rame metallico che però è ancora impuro, è ridotto per via chimica. Ed è tipicamente rame puro a 98,5-99%, che è ancora una purezza troppo bassa. per poter ulteriormente raffinare questo rame minerario, di estrazione mineraria, abbiamo appitato il processo di elettrorefinazione. In cosa consiste il processo di elettrorefinazione? Penso che lo vedrete la prossima settimana a Chimica, un processo elettrochimico, ve lo spiegherà meglio in dettaglio la professoressa Rossi. Però giusto per due parole, per dire un elettrodo costituito da rame in puro e che cosa faccio? Vado ad applicare una differenza di potenziale. Praticamente faccio trasferire gli elettroni da questa parte all'altra parte, semplicemente applicando una differenza di potenziale, una pila, un generatore. Faccio fluire gli elettroni in questa direzione. Quindi che cosa succede? i metalli che stanno in questa parte della fila, questo elettrodo, perdono i loro elettroni, gli elettroni di valenza, ovviamente, non gli elettroni di corno. Quelli spostabili che abbiamo visto sono gli elettroni di valenza, quelli che vanno a costituire il legame chimico, quelli che possono essere scambiati. Quindi, se qui gli elettroni vengono prelevati, si formano degli ioni, rame più di nuovo, che vanno in soluzione. Questi elettroni vengono pompati da qui all'altra parte attraverso un lavoro elettrico. Quindi qua ci saranno un eccesso di elettroni e gli ioni rame potranno andare a ridursi e ritornare rame metallico dall'altra parte. In tutto questo processo che mi costa energia per poter pompare gli elettroni da una parte all'altra, ripradente, che cosa succede? Dissolvo il rame qui e lo riformo rame metallico dall'altra parte. Qual è il guadagno? Il guadagno è che quando si discioglie, si discioglie il rame e tutti gli altri elementi eventualmente presenti. Ci può essere un po' di zinco, ci può essere un po' di ferro, ci può essere un po' di elementi nobili, oltre al rame anche l'argento, l'oro. Qui si disciolgono tutti Mentre regolando il potenziale posso fare in modo che dall'altra parte si riducano soltanto gli ioni rame. E allora che cosa ottengo? Ottengo che da un rame non

particolarmente puro ottengo un rame metallico purissimo. E più quegli elementi che non si riossino vanno a costituire i cosiddetti fanghi anodici. Quindi in questo processo la raffinazione del rame e ottenendo un rame cosiddetto elettrolitico che è al 99,9% di purezza e poi posso raccogliere anche questa roba qua che spesso sono elementi nobili, rame argento, oro o quant'altro, di fanghi anodici, a seconda di quella che era la composizione del rame di quartetto. essenzialmente questo processo mi serve per andare a raffinare il rame, a ottenere un rame più puro di quello di partenza attraverso un processo elettrochimico di dissoluzione e riduzione del metallo. come vi dicevo dai fanghi si possono ottenere a seconda di quelli che sono i fanghi ci sono spesso elementi strani che erano magari presenti in quantità estremamente modeste ma processando grandi quantità di rame si possono estrarre anche questi. In questo modo comunque a parte i fanghi che in questo momento non ci interessano vediamo poi qual è il destino, cosa viene fatto o fare una volta che ho ottenuto del rame purificato elettroliticamente. Allora, una volta ottenuto il rame, tra virgolette, puro, posso fare delle leghe o posso impiegare questo rame anche puro. Come fatto per le leghe di base ferro, anche per le leghe a base rame c'è una codifica. Allora però su cosa si basa questa codifica? Questa codifica è un pochino diversa perché di nuove leghe, di nuovi miscugli a base rame ce ne sono in continuazione. E. Non è solo ferro, carbonio come abbiamo visto e gli acciai. ma effettivamente su questo tipo di leghe sono molto più varie. E allora come si fa a. In. Qualche modo denominarle, ad etichettarle? Allora è stato deciso di denominare così le leghe. Allora se sono rese leghe a base di rame copper c'è una C davanti. C mi dice semplicemente che l'elemento base è il rame copper dopodiché è seguito da un numero questo numero però mi rappresenta soltanto la sequenza mi rappresenta soltanto univocamente un tipo di lega, una composizione che è stata depositata e che cosa vuol dire? Le leghe che vanno da 10.000 a 15.000 sono tutte rame estremamente puro, con piccolissime quantità, che so, di qualche altro metallo, di berniglio, però è rame puro. Hanno un numero che gli è stato assegnato che va da 10.100 a 15.760. Non ci sono tutte, ovviamente. C'è la 10.100, la 10.101, la 10.102, fino a un certo numero. Se ne faccio una nuova, verrà assegnato, una volta depositata questa lega, un nuovo numero, che però sarà compreso tra questi. Questo perché? Perché così, vedendolo subito, vedo che è un 11.000, vuol dire che è un rame ad alta purezza. Se sono gli ottoni, ad esempio, vanno da 21.000 a 28.000. Non ci sono già tutte queste, però so che se faccio un nuovo ottone mi verrà segnato un numero in questo range. Questo sembra contorta come nomenclatura, e un po' effettivamente lo è, però serve per poter facilmente identificare le leghe, ovvero se sono da 10.000 a 20.000 sono leghe con alto contenuto di rame o praticamente rame puro. Gli ottoni hanno da 20.000 a 48.000, di cui da 20 a 30 sono ottoni rame zinco, poi sono ottoni al piombo e poi sono ottoni allo stagno. Ma comunque se rientrano in questi numeri sono ottoni. dal 5.000 dal 50.000 in poi sono bronzi dal 60.000 a 69.900 sono bronzi all'alluminio oppure altre leghe con rame zinco le cupro nickel hanno invece 70.000 quindi Questo mi dice soltanto che sicuramente non posso sapere esattamente che cos'è una lega, però se vedo è una 53.000, è un bronzo al fosforo e piombo. Poi, quando definita era 53.871, C 53.871. Vado a vedermi nella tabella, ma già vedendo i primi due numeri dico sì, quello è un bronzo, oppure se è un 31.000 è un ottone. Il principio è questo. Quindi dividere numericamente le leghe, chiaramente non ci sono tutte, ma nel momento in cui brevetto una

nuova lega al fosforo mi verrà assegnato un numero compreso tra queste. E quindi quella nuova lega sarà identificata con un codice alfanumerico univoco. E che. Sarà ovviamente compreso tra questi, in modo che è un grosso apposto. Non so se questo può essere stato risolutivo, per cui da questi numeri si può risalire attraverso la tabella a qual è la Lega che è stata realizzata. perché così tante leghe? perché ci sono caratteristiche diverse a seconda degli elementi che vado a mettere in lega con il rame vediamo velocemente quelli che sono le principali allora rame elettrolitico quindi quello che ottenevo dal processo elettrolitico vi ha detto è un rame abbastanza puro non ci sono altri elementi in lega se non cosa? ci può rimanere un po' d'ossigeno rame e ossigeno che diagramma di fase avranno. Il rame è metallico, l'ossigeno è invece non metallico, quindi elementi completamente diversi e formano un composto che è l'ossido di rame, ci sono più di un ossido, l'ossido più stabile è il  $\text{Cu}_2\text{O}$  che è l'ossido di rame rameoso il quale si comporta come un composto a sé stante, quindi posso vedere il diagramma di fase tra il rame puro e l'ossido di rame, due, avranno il solido eutettico, solo liquido, liquido più rame, liquido più fase alfa e le due fasi separate. Ovviamente sono completamente diversi e devono separare. E quindi il rame elettrolitico a temperatura ambiente è una miscela di fase alfa rame metallico e c'è dell'ossido di rame, ossido pulce si chiama, è rosso, ossido di rame. Che cosa comporta la presenza di ossido di rame? Ecco che questo tipo di rame, che comunque è un rame molto puro ma c'è un po' di ossigeno e quindi di ossido di rame L'ossido di rame ha una struttura cristallina completamente diversa dal rame, non è solubile al rame e quindi si segrega, forma dei precipitati. Forma questi precipitati che stanno tipicamente sul bordo grano. Se poi questo rame con dell'ossido di rame lo metto a contatto o può venire a contatto magari a temperature. Non. Altissime, ma insomma temperature  $800^\circ\text{C}$  con l'idrogeno che cosa succede? Succede che l'idrogeno va a ridurre il rame e può portare alla formazione di acqua, rame metallico ed acqua. Siccome abbiamo già visto l'idrogeno è un qualche cosa che è molto piccolo e diffonde particolarmente bene. Se riguardate le lezioni sulla diffusione vedete che nelle tabelle che vi ho mostrato l'idrogeno è sempre quello che si muove più facilmente perché è più piccolo. Quindi se io ho una lega di questo tipo e la metto a contatto con un gas contenente idrogeno magari a temperatura elevata avviene questa reazione, avviene questa reazione anche all'interno della struttura metallica. E questo cosa comporta? Comporta che se ho dell'ossido che sta tipicamente sul bordo grano, quest'ossido si va a ridurlo e produce acqua e chiaramente vi aumenta la pressione all'interno del bordo grano e questo può portare alla rottura fragile del mio materiale. è uno dei processi che porta alla rottura fragile di un materiale metallico a seguito della presenza di idrogeno, dell'interazione con l'idrogeno. Rientra nel grosso gruppo di fenomeni che portano a rottura tipo fragile. È un materiale duttile ma può portare a una rottura fragile dovuta all'infragilimento da idrogeno. e come mai l'idrogeno infragilisce, perché l'idrogeno va a ridurre l'ossido di rame eventualmente presente sul vuoto grano portando alla rottura, a diminuire i legami tra grano e grano e quindi portare poi a una rottura più fragile del nostro materiale. Allora, per evitare questo bisogna diminuire il contenuto di ossigeno. se non c'è l'ossido di rame che può essere ridotto e prodotta acqua, vapore acqua o altre temperature, questo fenomeno non si realizza. Allora, e come si fa a ottenere il rame senza ossigeno, oxygen free? Allora, ci sono due metodi. Il primo è quello che si ottiene appunto l'oxygen

free. Come funziona? Devo andare a mettere un riducente che mi si leghi con l'ossigeno e quindi lo tolgo. Un metodo è quello del pining o di andare a mettere il monossido di carbonio. Il monossido di carbonio già l'abbiamo visto che reagisce con l'ossigeno, è un riducente. mi riduce l'ossido di ferro nell'alto forno a ferro metallico. Quindi posso anche pensare di andare a mettere il monossido di carbonio dentro il forno fusorio con il rame elettrolitico e andare a ridurre il contenuto di ossigeno. Oppure l'altro timing che Non è altro che andare a prendere sempre nel forno fusorio, quindi a 1100 gradi, quando il rame è liquido, andare a immergersi un tronco di pino. Tronco di pino perché è ricco di resina e la resina ha un effetto riducente. La resina in parte brucia, produce monossido di carbonio, produce gas che rimescolano la massa liquida e quindi va a ridurre il contenuto di rame. Effettivamente è una cosa abbastanza anche da vedersi, non ho portato un video ma è riprosmato. Il tronco che viene immerso dentro il crociuolo col rame infuso e poi fa tutte le scintille e i vapori è effettivamente una cosa abbastanza impressionante da certe aspetti e comunque si ha la riduzione del rame. In questo modo il rame si riduce e il contenuto di ossigeno di nuovo viene ridotto. Non si toglie tutto l'ossigeno ma si riduce abbastanza significativamente. Proprio per andare a toglierlo tutto completamente si va a mettere un elemento che è particolarmente avido di ossigeno. Avevamo visto ieri la ghisa o l'acciaio che poteva essere calmato. La ghisa o l'acciaio è effervescente quando presenta ancora ossigeno all'interno della sua della massa liquida. Se vado a metterci l'alluminio e il silicio vado a rimuovere questo ossigeno. Allora, con il rame si può usare un principio simile, però ci vuole un elemento ancora più avido di ossigeno rispetto al silicio, all'ossigeno, che è il fosforo. E questo è un processo per cui, abbastanza semplice, perché posso produrre il fosforo di rame solido e Posso andare a mettere questo fosforo di rame dentro il forno fusorio dopo che ho rimosso la maggior parte dell'ossigeno. Per cui il fosforo di rame si decompone, il rame va insieme all'altro rame e il fosforo va a reagire con l'ossigeno andato a formare la nitride fosforica che galleggia e quindi forma una specie di scoria e si può rimuovere e allora a questo punto questo rame è completamente privo di ossigeno. al limite ci rimane un po' di fosforo e questo è un materiale idoneo perché questo per applicazioni in cui può andare a contatto con l'idrogeno o comunque può subire l'infragilimento dell'idrogeno questo qui essendo completamente privo, questa è una microstruttura di un rame deossidato completamente privo di ossigeno non c'è l'ossido più rame e questo non è soggetto a infragilimento dell'idrogeno e quindi ad esempio viene utilizzato per scambiatori di calore o anche per applicazioni elettriche, elettroniche. Quindi queste sono le tre principali categorie di rame puro. Abbiamo visto rame puro, si è puro però c'è possono dare effetti negativi per quanto riguarda l'infragerimento di idrogeno e c'è la possibilità di andare a rimuoverlo. Quanto più lo rimuovo, quanto più cambiano questa sensibilità all'infragerimento, oltre che le proprietà di conduzione termica ed elettrica. E quindi leghe diverse, però sono tutte leghe della serie 10.000, rame puro. Se vado a mettervi elementi altri elementi metallici ottengo le altre leghe, ad esempio gli ottoni. Gli ottoni sono della serie 20.000, quindi sono tipicamente ottenuti con l'aggiunta di zinco. Abbiamo già visto questo è il diagramma zinco-rame, vedete che è abbastanza complesso. Tipicamente l'ottone in uso è un 60-40, quindi siamo 60 di rame, 40 di zinco, siamo su questa composizione qui e vedete che qui è un bifasico. C'è fase alfa e fase beta. Ci sono anche però ottoni monofasici

solo fase alfa che hanno un contenuto di zinco inferiore al 30%. Qual è il vantaggio del rame solo fase alfa o le due fasi? Allora, dal punto di vista estetico, i solo fase alfa sono più rossi. Invece il bel colore tipo oro, tipico dell'ottone, si ottiene con questa composizione qui. Dopo devono diventare più bianchi. oltre che più fragili. Invece queste leghe binarie, quindi con due fasi, più o meno di questa composizione hanno l'ottimale rapporto tra il colore, l'aspetto estetico e la duttilità del materiale. però essendo un materiale bifasico ci sono la fase alfa e la fase beta che hanno caratteristiche diverse e soprattutto hanno caratteristiche, dal punto di vista di corrosione, diverse. Mentre abbiamo visto che il rame è tutto sommato abbastanza resistente alla corrosione lo zinco molto meno e quindi questo tipo di leghe va incontro a fenomeni di corrosione più facilmente che non le leghe monofasiche. è in particolare delle due fasi l'alfa e beta l'alfa è più resistente alla corrosione e la beta meno e quindi la beta si scioglie e l'alfa rimane e quindi rimane sia la perdita dello zinco della fase beta che è ricca in zinco e l'accumulo della fase alfa che invece è ricca in rame si chiama processo di dezincificazione si perde lo zinco e l'ottone da giallo-oro diventa sempre più rossiccio. Questo per quanto riguarda gli ottoni, quindi la serie 2000. Poi, oltre a rame e zinco, spesso sono introdotti anche altri elementi metallici in lega. Ad esempio può essere introdotto il piombo, Penso che forse abbiate sentito gli ottoni al piombo. Perché si mette il piombo? Allora, questo è il diagramma rame-piombo e come vedete è un diagramma che mostra come ci sia una solubilità allo stato liquido, come ci aspettiamo, però c'è la completa insolubilità del piombo nel rame e viceversa del rame nel piombo allo stato solido. Quindi che cosa vuol dire? Che se metto un po' di piombo e poi lo raffreddo in quest'ottone, il piombo si separa dalla fase alfa, fase beta dell'ottone. Infatti va a formare praticamente dei precipitati, delle goccioline che si segregano al bordo grano di piombo. Ma il piombo, come avete già visto, è un materiale tenero, morbido, no? la sua temperatura di ricristallizzazione è ben al di sotto della temperatura ambiente, già sotto lo zero la ricristallizzazione. E quindi che effetto ha? Ha che ci sono queste corcioline di piombo intorno ai grani di fase alfa e fase beta e questo funge da lubrificante per le lavorazioni, ad esempio, artoria. Quindi gli ottoni al piombo si lavorano così come gli acciai al piombo, che hanno lo stesso effetto. Si possono lavorare molto bene al tornio, quindi per la sportazione di cruciolo, proprio perché il piombo in piccole quantità funge da lubrificante allo stato solido. Perché non entra nel reticolo cristallino, rimane esterno contribuisce alla lavorazione, alla facilità dell'asportazione del brucio. Di contro, sapete che il piombo è tossico e quindi un ottone al piombo, soprattutto sulla superficie che è stata lavorata, ha il piombo spalmato, che è l'effetto che ha avuto con il tornio e questo può indurre a fenomeni di tossicità, per cui attualmente soprattutto per applicazioni in che possono andare in contatto con la pelle o con gli alimenti si usa ottoni che non hanno il piombo. E. Quindi normalmente viene aggiunto un elemento simile al piombo che è il bismuto ma che uno costa molto di più ma che dovrebbe avere essere dovrebbe perché ancora non è che ci sono grandissimi studi epidemiologici sull'effetto del bismuto, ma comunque sembra meno tossico del piombo. Quindi gli ottoni senza piombo è perché o non c'è e quindi però si lavorano male, oppure c'è stato messo ad esempio bismuto perventerly, più facilmente lavorabile. Tra gli ottoni legati ad esempio per curiosità c'è quello utilizzato, la lega utilizzata per la produzione degli euro, anzi dei 10, 20 e 50 centesimi di euro che si chiama, è un ottone legato che si chiama Nordic

Gold di cui vi ho riportato la composizione, essenzialmente è rame ma c'è anche zinco e alluminio perché è utilizzato, perché sembra oro e anche questo è molto resistente all'ossidazione. Lo stagno ha l'effetto di andare a formare osseo di stagno sulla superficie che è particolarmente passivante, quindi questo tipo di ottone è un ottone intanto monofasico, ma oltre ad essere monofasico è molto resistente al fenomeno di corrosione. Ottoni, quindi serie da 20.000 a 30.000. Dopo, dicevamo, ci sono i bronzi. Questo è il diagramma stagno-rame, abbastanza complesso come vedete. Lo stagno è meno solubile dello zinco. Rame e zinco sono elementi vicini nella tavola periodica quindi dimensioni abbastanza simili. Lo stagno invece è molto più lontano, dimensioni diverse e come ormai sapete dimensioni diverse portano a una diminuzione della possibilità di andare a sostituirsi nel reticolo cristallino del rame. Quindi ce ne sta, ma ce ne sta poco. fino a un massimo 15% però deforma di più il reticolo e quindi ha un effetto maggiore nel andare a bloccare il movimento delle dislocazioni. Blocca il movimento delle dislocazioni e quindi i bronzi rispetto agli ozoni sono molto più duri così come sono molto più duri anche rispetto al rame puro come ci aspetteremo. I bronzi rispetto a altre leghe di rame sono maggiormente adatte ad applicazioni che possono andare a soggetti ad usura. Sempre i bronzi duri sono quelli in cui vado a mettere, li abbiamo già visti, in parte il berillio. Berillio estremamente poco solubile, piccolino, e quindi molto poco affine al reticolo del rame ma distorcendolo notevolmente aumenta molto la durezza del mio bronzo. Inoltre qui ho riportato il grafico rame-beriglio vedete anche questo è abbastanza complesso ma soprattutto c'è una caratteristica la solubilità del beriglio che è massima a 870°C fino al 2,7% poi diminuisce rapidamente con il diminuire della temperatura. Queste condizioni ci dicono che per esempio qui posso applicare il processo di indurimento per precipitazione. Proprio la condizione ideale tra due cose che sono insolubili a temperatura ambiente e parzialmente solubili invece diventano abbastanza solubili aumentando la temperatura e quindi queste si possono ottenere per applicazione oggetti che effettivamente sono base rame ma molto resistenti, dure e resistenti e infatti sono prodotti ad esempio gli utensili di sicurezza. Utensili di sicurezza come vi avevo già accennato perché hanno caratteristiche simile a quelle degli acciai come durezza ma sono a base rame invece che a base. A. Base acciaio e quindi base ferro e pertanto sono diamagnetici non vengono attirati da un campo magnetico e quindi possono essere utilizzati per applicazioni laddove ci sono forti campi magnetici e non solo di sicurezza anche perché a differenza degli acciai non producono scintille. Cosa sono le scintille? Le scintille sono provocate dall'urto di un qualcosa di duro su qualche cosa di duro che porta alla formazione di schegge piccole che all'aria si bruciano. questa è la scintilla, nel momento in cui volerete produrre una scintilla dovete avere un acciaio duro quindi tipicamente sotto forma di martensite e lo dovete ultare violentemente contro qualcosa di duro tipicamente l'acciarino è acciaio temprato sotto forma martensitica che viene sfregato contro una una selice quindi una una pietra dura. Questo produce la formazione di splinter, di schegge, le quali hanno energia cinetica e all'aria si incendiano. Ma si incendiano perché? Perché il processo di ossidazione del ferro produce energia. Perché il ferro è molto poco nobile e in aria brucia. soprattutto se è ridotto in piccole schegge. Il rame è molto più nobile, il rame non brucia all'aria. Quindi se ho un piccone fatto di lega di rame e questo sbatte contro una roccia silicea, produce sì delle schegge, ma queste schegge non si

incendiano all'aria e quindi non produce scintille. e quindi un piccone di lega, rame e berillio può essere utilizzato anche in ambienti in cui sono presenti ad esempio dei gas o delle miscele incendiari tipo all'interno delle liniere di rame, di carbone con la presenza di gas metallo. E. Questo ne giustifica la fiscitura di utensili di sicurezza. Ok, chiusa questa digressione sulle leghe di l'ultima come nomenclatura, come numero, come codice alfanumerico sono le leghe cuproniche e le alpage, sono quelle fino a 89.000. Le cupronichel sono leghe rame-nickel, diagramma di fase rame-nickel l'abbiamo già visto, Abbiamo visto che, per esempio, in cui c'è completa solubilità allo stato liquido, completa solubilità allo stato solido, non del tutto vero, perché siccome vedete qui c'è un campo di immiscibilità per basse temperature in cui c'è lo splitting, fase alfa, fase alfa 1, alfa 2 sarebbe struttura rame, struttura nickel. Comunque, praticamente questo è un caso in cui c'è la solubilità completa sia allo stato liquido che allo stato solido, e la presenza di nickel aumenta la resistenza alla corrosione, oltre che la durezza. Durezza non tantissima, un po', ma non tantissima, perché non deforma più di tanto, ma aumenta la resistenza alla corrosione. Se vi capita di andare negli Stati Uniti, sono ancora in circolazione le dime, che sono la moneta da 5 centesimi, 10 centesimi di dollaro, non me lo ricordo, Ecco, quella lì è fatta con una lega rame-nickel che è fatta con una lega, appunto, con un'aggiunta di zinco per renderla più simile alla moneta d'argento, mantenendo comunque elevata l'utilità, questa roba molto d'utile, e ha ottenuto questo affaccio, ovviamente, come tutte le monete. Allora direi che per quanto riguarda il rame può bastare velocemente proprio giusto una cosa. Vediamo le leghe di nickel. Allora leghe di nickel ce n'è una commercialmente, a parte lo zinco che viene utilizzato per le zincature degli acciai tipo quella roba lì è tutto acciaio zincato quella delle liniere, delle lega rail ma quella è zinco puro e ha un effetto di proteggere dalla corrosione che vedremo appunto fra un paio di settimane. Le leghe in cui lo zinco viene utilizzato come materiale strutturale ce n'è fondamentalmente solo una che si chiama la lega Zama o meglio ZAMAC che è stata inventata negli Stati Uniti all'inizio del secolo e ZAMA è semplicemente l'acronimo degli elementi che la costituiscono. È una lega date ZINCO quindi ZETA ZINCO, ALLUMINIO, MAGNESIO e RAME CUPFER quindi ZAMAC. Quali sono le caratteristiche di questa lega? basso fondente. Fonde a 410-420°C a seconda del tipo di lega. Chiaramente posso variare la quantità di alluminio e magnesio, cambia un po' ed il rame cambia un po' le proprietà. Quindi ci sono tante lega e zama. Però la temperatura di effusione è bassa, 400°C. Quindi una temperatura di effusione così bassa mi permette di utilizzare metodi di fusione per ottenere oggetti costituiti da questo metallo. Anche perché poi lo zinco, vi ricordo, cristallizza il sistema esagonale e quindi la grande duttilità non ce l'ha. E quindi li ottengo per fusione a temperature basse, posso utilizzare uno stampo in acciaio e quindi questi oggetti si lavorano tipicamente nel presso-fusione. fusi e poi iniettati sotto pressione dentro uno stampo metallico. Il che vuol dire che riesco a fare raffreddamenti rapidi e finitura superficiale buona. E questo vuol dire che posso avere microstrutture fini con finitura superficiale elevata e quindi sono tipicamente oggetti che vanno bene per applicazioni di bigiotteria, delle fibbie, maniglie ma anche parti meccaniche in cui la finitura superficiale deve essere buona la microstruttura omogenea buona e poi se non hanno grandissima resistenza meccanica magari non importa non è che sono soggetti a sollecitazioni particolarmente gravose e quindi in tutte queste applicazioni viene utilizzata

questa tipologia di leghe che si chiama Zama, comunemente nota come Zama. Prima di vedere il leghe leggere farei 5 minuti di pausa.

