

LE LEGHE: [PARTE METALLURGICA]

CONCETTO DI LEGA

(Alloy)

Con il termine lega si definisce un materiale metallico contenente due o più elementi quali componenti. Le leghe possono essere monofasiche o polifasiche in dipendenza degli elementi che le costituiscono e delle loro quantità. I diagrammi di stato sono in grado di dare indicazioni sulle fasi presenti nelle leghe binarie o ternarie, cioè quelle contenenti rispettivamente due o tre elementi. Le leghe hanno in genere caratteristiche e proprietà diverse da quelle degli elementi che le costituiscono.

1.0 LEGHE COMMERCIALI

Gli acciai, leghe ferro-carbonio con l'eventuale aggiunta di altri elementi, rappresentano il gruppo maggiore e, forse, meglio caratterizzato delle leghe commerciali. La definizione tra queste è spesso fatta, per praticità, tra leghe ferrose e non ferrose. In quest'ultimo gruppo vengono classificate le leghe a base di rame, di metalli leggeri (alluminio e magnesio), di metalli bianchi (zinco, piombo, stagno, cadmio, ecc.), di titanio, le superleghe.

1.1 LEGHE COMMERCIALI MONOFASICHE

Molte leghe commerciali sono costituite da un'unica fase in quanto i componenti secondari si presentano dispersi entro il reticolo cristallino dell'elemento principale, cioè nella condizione di soluzione solida. L'ottone è forse la lega più conosciuta e contiene in genere il 70% in peso di rame e il 30% di zinco; l'ottone ha un reticolo fcc, come il rame puro, in quanto gli atomi di zinco sono tali da poter sostituire gli atomi di rame nelle posizioni reticolari, purché non superino il 40% in peso della lega, che rappresenta il limite di solubilità dello zinco nel rame.

L'ottone è tecnologicamente molto interessante per alcune sue caratteristiche: la soluzione solida di rame e zinco è meccanicamente più resistente del rame da solo, e lo zinco è meno costoso del rame; si ha quindi a disposizione una lega meno cara e più resistente, da impiegare al posto del rame tutte le volte che ciò è possibile. Questa riserva è motivata, ad esempio, dalla conducibilità elettrica relativamente bassa dell'ottone, che non può quindi sostituire il rame in molte applicazioni elettriche.

Sono note ed impiegate diverse altre leghe monofasiche come quelle rame-nichel (Cu-Ni), l'argento da conio (Ag + Cu), gli acciai inossidabili e il bronzo.

Per **bronzo** si intende una lega rame-stagno; la denominazione viene usualmente estesa anche a leghe a base di rame che non contengono solo lo stagno come elemento alleghante. Nei bronzi veri e propri lo stagno supera raramente il 14% in peso nei materiali di lavorazione plastica, mentre può raggiungere il 20% nei bronzi da fonderia. Vengono chiamati bronzi di alluminio, bronzi al berillio, bronzi al silicio rispettivamente, delle leghe a base di rame che contengono percentuali di alluminio variabili dal 5 al 12% (ed eventualmente ferro, nichel, manganese, silicio, ecc.), dall'1,9 al 2,15% di berillio (con piccole quantità di cobalto e nichel), dall'1 al 3% di silicio (con piccole quantità di manganese).

1.1.1 ACCIAIO (Steel)

Lega a base di ferro, contenente carbonio in quantità inferiore al 2%. In dipendenza dei trattamenti termici e della quantità di carbonio, quest'ultimo elemento può essere in soluzione solida o presente in una o più fasi secondarie. L'acciaio si può dividere in altre forme quali:

❑ ACCIAI AL CARBONIO (Plain carbon steels)

Leghe di Fe C con piccole aggiunte di altri elementi leganti (acciai alto-legati), ad esempio silicio (acciai calmati) e manganese.

❑ ACCIAI BASSO LEGATI (Low-alloy steels)

Acciai contenenti, oltre al carbonio, altri elementi; come manganese, cromo, nichel, silicio, molibdeno, vanadio complessivamente in misura superiore al 5%.

Gli equilibri tra le fasi sono ancora desumibili in base al diagramma di stato ferro-carbonio.

❑ ACCIAI INOSSIDABILI (Stainless steels)

Acciai fortemente alligati (alto-legati) destinati a impieghi in cui è richiesta la resistenza alla corrosione e/o alla ossidazione. In genere si tratta di leghe contenenti principalmente cromo o cromo più nichel. L'aggiunta di nichel consente di ottenere una struttura cristallina austenitica (cubica a facce centrate), stabile anche a temperatura ambiente, e una buona lavorabilità. Il cromo garantisce invece la resistenza alla corrosione. Gli acciai inossidabili contenenti solo cromo come legante principale hanno struttura ferritica o martensitica.

❑ ACCIAI PER UTENSILI (Tool Steels)

Acciai con alte temperature di rinvenimento (anche superiori a 600 °C); in genere contengono elementi stabilizzanti dei carburi come Cr, Mn, Mo, V, W.

1.1.2 GHISA (Cast iron)

Lega ferro-carbonio, sufficientemente ricca in carbonio per produrre l'eutettico durante la solidificazione. In pratica è generalmente necessario più carbonio di quello che si può sciogliere nella austenite ¹ (> 2%).

1 Fase del ferro, cubica a facce centrate. Nel caso delle leghe ferro-carbonio l'austenite è instabile al di sotto dei 723 °C, per cui si trasforma in ferrite e cementite.

L'aggiunta di alcuni leganti, ad esempio il nichel, può ampliare il campo di stabilità dell'austenite portandolo, per certe concentrazioni di legante, fino a temperatura ambiente.

❑ **GHISA BIANCA**
(*White cast iron*)

Ghisa in cui il carbonio non è presente sotto forma di grafite, ma pressoché tutto come cementite. Tale risultato viene ottenuto o intervenendo sulla composizione (ad esempio mantenendo basso il contenuto di silicio) o aumentando la velocità di raffreddamento.

❑ **GHISA GRIGIA**
(*Gray cast iron*)

Ghisa contenente lamelle di grafite; la presenza di queste ultime impartisce il colore grigio alle superfici di frattura del materiale, da cui prende il nome questo tipo di ghisa.

❑ **GHISA MALLEABILE**
(*Malleable cast iron*)

Ghisa in cui Fe_3C si decompone dopo solidificazione. Non sono presenti lamelle di grafite e il materiale è dotato di una certa duttilità. Sotto questo nome è nota una serie di prodotti siderurgici come la ghisa malleabile a cuore bianco (o ghisa europea), la ghisa malleabile a cuore nero (o ghisa americana), la ghisa malleabile perlitica.

❑ **GHISA NODULARE**
(*Nodular cast iron*)

Ghisa nella quale si formano noduli sferiformi di grafite durante la solidificazione. Per le sue proprietà è anche definita ferro duttile. La struttura di queste ghise è dovuta alla presenza di magnesio.

1.1.3 LEGHE DI RAME

L'importanza storica delle leghe di rame risulta chiaramente dall'impulso che il bronzo, lega Cu-Sn, ha impresso alla civilizzazione nell'età del bronzo. Probabilmente, senza l'intervento concorrenziale del ferro, al bronzo sarebbe poi succeduto l'ottone, lega Cu-Zn.

Le leghe di rame hanno due applicazioni principali:

- 1) come metalli resistenti alla corrosione;
- 2) come materiali adatti alla conduzione elettrica.

Nel primo i bronzi, ancora una volta, svolgono ed hanno svolto un ruolo importante soprattutto in ambiente marino; è invece recente lo sviluppo, per gli stessi scopi, delle leghe Cu-Ni. Nel secondo caso è invece sempre preferibile il rame puro in quanto tutti i possibili leganti intervengono in senso negativo sulla conducibilità elettrica.

Le leghe di rame non presentano la possibilità degli acciai, per quanto riguarda l'introduzione di modifiche strutturali ottenibili con trattamenti termici. L'unica eccezione è costituita dai bronzi al berillio (Cu + Be dal 2 al 6%) che presentano nel diagramma di stato un eutettoide ² simile a quello del sistema Fe-C. Le leghe di rame presentano quindi la possibilità di veder migliorate le loro caratteristiche meccaniche esclusivamente con un opportuno dosaggio degli leganti o con l'incrudimento ³. Le leghe di rame si presentano in genere monofasiche, con un reticolo fcc proprio del rame, e le loro caratteristiche principali sono riportate nella tabella 1

2 Una miscela di fasi la cui composizione è determinata attraverso il punto eutettico nella regione del solido visibile attraverso un diagramma di equilibrio. Il punto eutettico in un diagramma di equilibrio per una soluzione solida è il punto nel quale la soluzione sotto raffreddamento viene convertita a una miscela di solidi.

3 Aumento della resistenza meccanica di un metallo in seguito a una deformazione plastica.

LE LEGHE: [PARTE CHIMICA]

2.0 ANALISI DELLE LEGHE

Dal punto di vista analitico le leghe vengono sottoposte a diversi tipi di prove atte a rilevarne le caratteristiche compositive, nonché la loro attitudine a determinate applicazioni. Queste prove possono essere di tipo *tecnologico, strutturalistico e chimico*.

2.0.1 PROVE TECNOLOGICHE

Queste prove vengono condotte su provini metallici di forme e dimensioni standardizzate ed i risultati relativi vengono quantificati mediante apparecchi di registrazione automatici. Si hanno così dei dati importantissimi che permettono di trarre conclusioni circa l' idoneità della lega per certe applicazioni. Seguono alcune tra le più importanti prove.

☐ RESISTENZA ALLA TRAZIONE

Il provino metallico, di forma cilindrica, viene sottoposto ad uno sforzo di trazione progressivamente crescente in direzione del suo asse. Contemporaneamente il registratore traccia la curva che esprime l'allungamento subito dal provino, in funzione dei carichi applicati. L'esame di tale curva rivela l'esistenza di una prima fase in cui il provino ha un comportamento elastico, in base al quale viene calcolato il *modulo di elasticità*. Segue un periodo in cui le deformazioni acquistano un carattere permanente, cui corrisponde il *carico di snervamento*; infine il provino si spezza e si può quindi calcolare il suo carico di rottura.

☐ RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE

Si sottopone il provino metallico ad un carico di compressione, progressivamente crescente, registrando le deformazioni subite in funzione del carico applicato, fino a rottura.

☐ RESISTENZA ALLA FLESSIONE

Si sottopone il provino metallico ad un carico flettente sino a rottura, registrando, come al solito, le deformazioni subite in funzione del carico.

☐ RESISTENZA ALL'URTO

Questa prova viene eseguita in modi diversi: ad esempio si può colpire il provino con una mazza azionata automaticamente, in modo che la rottura avvenga con un unico colpo. Il lavoro necessario per produrre la rottura viene letto sul quadrante dello strumento e prende il nome di resilienza. Essa misura, in un certo senso, la fragilità del provino.

□ DUREZZA

La durezza viene determinata mediante la misura delle deformazioni superficiali del provino, in seguito a sollecitazione prodotta da una punta di forma appropriata (a sfera, a piramide, a cono).

2.0.2 PROVE STRUTTURISTICHE

Queste prove mirano principalmente ad evidenziare i componenti strutturali delle leghe, allo scopo di fornire un quadro più completo sulla costituzione della lega, che la sola analisi chimica non può dare. Esse vengono effettuate mediante esame, micrografico, eseguito con microscopio ottico od anche elettronico, su provini opportunamente preparati. Si eseguono le seguenti operazioni fondamentali:

□ PULITURA DEL CAMPIONE

Il provino da esaminare viene dapprima spianato su una faccia, la quale successivamente è sottoposta a sgrossamento con tele a smeriglio ed a pulitura con paste abrasive finissime. Molto efficace è anche la pulitura elettrolitica. In ogni caso si ottiene una superficie perfettamente speculare.

□ ATTACCO CHIMICO

Ha lo scopo di evidenziare sulla superficie così preparata, le caratteristiche strutturali che sono l'oggetto di tali prove. L'azione del reattivo può essere di tipo diverso; ad esempio potrà sciogliere più velocemente certi costituenti rispetto ad altri, oppure potrà depositarsi selettivamente su alcuni di essi od ossidarne la superficie, conferendo loro certe colorazioni caratteristiche.

□ ESAME MICROGRAFICO

Viene eseguito mediante apposito microscopio che permette l'osservazione del campione e la contemporanea registrazione fotografica (microscopio metallografico). L'esame è fatto per riflessione, con ingrandimenti che variano tra poche decine di diametri, fino a oltre i mille. In alcuni casi potrà essere richiesta l'illuminazione a contrasto di fase o quella in luce polarizzata. I componenti strutturali della lega si rivelano in questo modo con aspetto caratteristico, che ne permette l'identificazione.

2.0.3 PROVE CHIMICHE

Vengono incluse in questo gruppo tutte le prove eseguite indifferentemente con metodi chimici o fisici, aventi lo scopo comune di stabilire la composizione chimica della lega. Come è noto, queste prove si avvalgono di numerosi metodi di analisi tra cui quelli ottici in assorbimento ed in emissione, quelli polarografici e *quelli chimici tradizionali*. Questi ultimi sono caratterizzati da una buona precisione, ma presentano l'inconveniente di non essere sempre applicabili a bassissime concentrazioni e di richiedere talvolta un tempo considerevole.

□ METODI POLAROGRAFICI

Si prestano particolarmente per la determinazione di tracce. Il tempo da essi richiesto è speso principalmente per la preparazione della soluzione da polarografare, che in qualche caso può risultare laboriosa.

□ METODI COLORIMETRICI E SPETTROFOTOMETRICI

Sono applicabili con ottimi risultati, sia nell'analisi di tracce che di macroquantità. La determinazione è in sé rapidissima, ma ciò che talvolta può richiedere molto tempo è la preparazione delle soluzioni in esame e di riferimento. I metodi suddetti comportano sempre l'attacco chimico del metallo, in quanto la misura viene poi effettuata in soluzione.

□ METODI SPETTROGRAFICI E QUANTOMETRICI

Si ha l'indiscutibile vantaggio di operare sul campione metallico tal quale senza particolare lavori di preparazione (analisi non distruttiva); inoltre, nella versione a lettura diretta, la durata di un'analisi completa, di un numero a piacere di elementi, è al massimo di qualche minuto. Questo fatto, unitamente alla possibilità di esaminare elementi in qualsiasi concentrazione e con buona precisione, fa sì che i metodi e di emissione risultino tra i più congeniali per l'analisi dei metalli.

2.1 CAMPIONAMENTO

Ad eccezione delle determinazioni spettrografiche che vengono eseguite su campioni di lega in blocchetti, gli altri metodi di determinazione richiedono che il campione sia portato in soluzione. Si procede perciò all'attacco chimico che viene condotto sulla lega allo stato di suddivisione grossolana (trucioli, polvere, ecc.). Per le leghe molto fragili si può procedere ad una prima frantumazione, seguita da polverizzazione in apposito mortaio. Più spesso si usano trucioli metallici ottenuti con piallatrici, trapani, torni ed altre macchine. È importantissimo che l'utensile sia stato preventivamente sgrassato con etere e sia costruito con acciaio ad elevata durezza ad esempio Cr-W, o al Cr-W-Co. Le leghe molto dure, ma non sufficientemente fragili da essere polverizzate, dovranno preventivamente essere ricotte. È inoltre consigliabile far lavorare la macchina a velocità ridotta.

Poiché il campione deve al solito rispecchiare la composizione media del prodotto in esame, si dovranno prelevare trucioli da punti diversi del pezzo. Raccogliendo i medesimi sia in superficie che in profondità.

ANALISI DEI BRONZI: PARTE ANALITICA

COMPOSIZIONE STANDARD DEI BRONZI

Cu	70 - 90%
Sn	2,5 - 13%
Pb	0,1 - 10%
Fe	0,03 - 0,9%
Ni	0,2 - 3,5%
Zn	0,03 - 12%
S	0,02 - 0,1%
Sb	0,08 - 0,25%

OPERAZIONI PRELIMINARI

- 1 Controllare che siano disponibili ed eventualmente preparare:
 - H₂SO₄ 10%
 - HNO₃ 2%
 - HNO₃ concentrato 65%
 - H₂SO₄ concentrato 96%
 - H₂SO₄ 2%
 - NH₄Cl solido, puro al 99,5%
 - NH₃ concentrato 20 - 30%
- 2 Controllare la vetreria (comprese le pompe da vuoto)
- 3 Tarare il crogiolo di porcellana a 900 °C fino a peso costante in muffola
- 4 Tarare il Gooch in vetro G5 o G4 a 120 °C in stufa

PREPARAZIONE E PESATA DEL CAMPIONE

Si pesano circa 2,5 g di campione su bilancia tecnica, si sgrassa con etere etilico e si ripesano esattamente circa 2 g su bilancia analitica.

ATTACCO DEL CAMPIONE (sotto cappa)

Al campione posto in un becker di vetro da 100-250 ml, si aggiungono 50 ml di una miscela costituita da 30 ml di HNO₃ e 20 ml di acqua. Si copre il becker con un vetrino da orologio e si lascia reagire a freddo fino a che cessa la reazione (non si sviluppano più vapori nitrosi rossi). Si riscalda su bagno di sabbia (90 °C) riducendo il volume fino a 10-15 ml (fare attenzione che non rimangano residui dei trucioli della lega di partenza).

TARATURA DEL CROGIOLO DI PORCELLANA:

Ogni pesata è stata eseguita dopo essiccamento in muffola a 900 °C (per un ora) su bilancia analitica, che è stata la stessa per tutte le pesate successive.

TARA I Pesata 14,4802 grammi
TARA II Pesata 14,4833 grammi
TARA III Pesata 14,4833 grammi (dopo 7 giorni)

Peso costante a 14,4833 grammi

TARATURA DEL GOOCH:

Ogni pesata è stata eseguita dopo essiccamento in stufa a 120 °C (per un ora) su bilancia analitica, che è stata la stessa per tutte le pesate successive.

TARA I Pesata 21,4322 grammi (non essiccato)
TARA II Pesata 21,1673 grammi (dopo essiccamento)
TARA III Pesata 21,1624 grammi (dopo essiccamento)
TARA IV Pesata 21,1628 grammi (dopo 7 giorni)

Peso costante a 21,1628 grammi

PESATA DEL CAMPIONE: (CAMPIONE N° 7)

La pesata viene fatta con un vetrino di orologio, dopo adeguato processo di pulitura con etere. Dapprima con una bilancia magnetica si approssima il valore che poi viene verificato con una bilancia tecnica (possibilmente la stessa delle pesate precedenti).

TARA VETRINO - bilancia analitica 21,1702 grammi
TARA VETRINO - bilancia analitica 21,0879 grammi
LORDO VETRINO PIU CAMPIONE - bilancia analitica 23,0856 grammi
NETTO CAMPIONE - bilancia analitica **1,9977 grammi**

ANALISI GRAVIMETRICA DELLO STAGNO

PROCEDIMENTO:

Al campione disciolto si aggiungono 70 ml di acqua distillata e si lascia a riposo sempre su bagno a sabbia per 15-30 minuti e comunque fino a che il precipitato (al massimo leggermente giallognolo) sia raccolto sul fondo e la soluzione soprastante completamente chiarificata.

Si filtra per decantazione (filtro a fascia azzurra o analogo), si lava il filtro parecchie volte con acido nitrico al 2% (va eliminata completamente la colorazione verde-azzurra del catione Cu^{++}) e si raccolgono le acque di lavaggio nel filtrato limpido.

Il **filtrato** si essicca in stufa a 100-150 °C, si trasferisce in un crogiolo di porcellana, si incenerisce e si calcina in muffola a 900 °C fino a peso costante.

Si calcola la percentuale di Sn nel campione.

Il **filtrato** con le acque di lavaggio si porta a volume con acqua distillata in un matraccio tarato da 500 ml (**Soluzione I**).

COMMENTO:

- Dal campione trattato con acido nitrico si separa lo stagno come acido metastannico (H_2SnO_3): la reazione è quantitativa in presenza del solo acido nitrico.

- L'acido che si forma ha caratteristiche colloidali per cui occorre un certo tempo di digestione perché il precipitato si raggrumi e si raccolga sul fondo. La diluizione con acqua una volta avvenuto l'attacco completo del campione facilita la precipitazione (diminuisce l'acidità). La sedimentazione successiva a caldo purifica il precipitato dall'assorbimento delle altre specie ioniche presenti in soluzione.

- La calcinazione finale trasforma l'acido metastannico in SnO_2 .

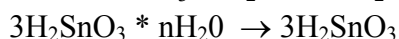
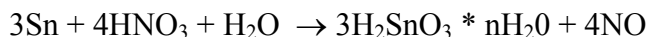
- Alla fine della calcinazione il precipitato deve essere colorato leggermente di giallo, tracce di colorazione rosso e nero verdastro denotano la presenza di Fe e Cu (lavaggi non accurati).

- Per la scelta della carta da filtro consulto il VADEMECUM a pag. 182. A seconda delle particelle e del tipo di precipitato filtrabile sceglierò la riga relativa alla sua sospensione; che è di tipo colloidale (1-2 μm).

Sceglierò poi a seconda del tipo di analisi e delle ceneri relative, la carta da usare; questa sarà la 589/3 (WHATMAN) per analisi quantitative con ceneri dello 0,01% (fascia blu) della S.S.

- Per verificare la presenza di ioni Cu^{++} nelle acque di lavaggio eseguite sullo stagno filtrato si può procedere con un saggio qualitativo con NH_4OH il quale si scioglie in eccesso di reattivo per formazione del complesso tetrammino - rameoso di intenso colore azzurro.

REAZIONI:



OSSERVAZIONI:

Il solido trovato dopo la calcinazione e lasciato in muffola a 900 °C ha evidenziato la presenza di polveri nero - verdastre dovute probabilmente alla presenza di Cu sul filtro precedentemente utilizzato.

Il Cu della filtrazione si è insediato ai bordi del filtro per capillarità rendendone difficile l'eliminazione.

DETERMINAZIONE GRAVIMETRICA DELLO STAGNO

PESO SOSTANZA + CROGIOLO DOPO COTTURA IN MUFFOLA:

La sostanza dopo essere stata scaldata in muffola è stata posta in essiccatore pronta per essere pesata con il crogiolo che la contiene. Le pesate devono essere eseguite fino ad avere un peso costante (può variare soltanto la 4° cifra decimale dopo la virgola). Una volta ottenuto il peso costante si procede alla determinazione della percentuale di Stagno presente nel campione secondo i calcoli seguenti.

(Tutte le pesate sono state eseguite su bilancia analitica)

LORDO I Pesta 14,6048 grammi

LORDO II Pesata 14,6090 grammi

LORDO III Pesata 14,6042 grammi

LORDO IV Pesata 14,6014 grammi

LORDO V Pesata 14,6014 grammi (dopo 7 giorni)

Peso costante a 14,6014 grammi

GRAMMI DI SnO₂:

$$14,6014 \text{ g} - 14,4833 \text{ g} = 0,1181 \text{ g}$$

Sapendo che il P.M del SnO₂ è di 151 u.m.a e che vi è un rapporto 1:1 con lo Sn° si ricavano le moli di SnO₂

$$0,1181 \text{ g} / 151 \text{ g/mol} = 7,8212 * 10^{-4} \text{ mol di SnO}_2$$

$$\text{mol SnO}_2 = \text{mol Sn}$$

GRAMMI DI Sn°:

$$7,8212 * 10^{-4} \text{ mol} * 119 \text{ g/mol (P.M Sn)} = 9,3072 * 10^{-2} \text{ g di Sn}$$

PERCENTUALE DI Sn NEL CAMPIONE:

$$(9,3072 * 10^{-2} \text{ g Sn} / 1,9977 \text{ g totali}) * 100 = \mathbf{4,66 \%}$$

ANALISI GRAVIMETRICA DEL PIOMBO

PROCEDIMENTO:

A 200 ml della soluzione 1 si aggiungono 10 ml di acido solforico concentrato, si riscalda su bagno di sabbia fino a piccolo volume (sviluppo di fumi bianchi).

Si lascia raffreddare a temperatura ambiente, si aggiungono 25 ml di acqua (lentamente sotto cappa a schermo abbassato).

Si aggiungono 50 ml di acqua, si agita e poi si lascia a riposo a freddo fino a sedimentazione del precipitato e chiarificazione (meglio 2-3 gg.).

Si filtra attraverso crogiolo filtrante (Gooch G4 o G5 in vetro), si raccoglie il filtrato in un bicchiere da 400 ml, si lava il precipitato con acido solforico 2% riunendo le acque di lavaggio nel filtrato (**Soluzione 2**).

Una volta terminata la filtrazione sotto vuoto si pone il Gooch in stufa a 120 °C fino a peso costante.

COMMENTO:

Il Pb precipita come solfato in soluzione debolmente acida per acido solforico. Va evitata assolutamente la presenza di altri acidi minerali (aumentano la solubilità del solfato di Pb) e un'acidità troppo elevata (il solfato può trasformarsi in bisolfato $\text{Pb}(\text{HSO}_4)_2$): si porta pertanto a piccolo volume per eliminare tutta l'acidità nitrica e parte quella solforica. Precipitano così anche i sali di Cu e Zn che però si ridisciolgono per semplice diluizione.

Il precipitato è risultato essere colorato di un bianco caseoso e visivamente le particelle dovevano avere dimensioni veramente ridotte tanto da renderne difficile la filtrazione e il loro recupero.

OSSERVAZIONI:

Ho ritenuto necessario pulire il filtro del Gooch dalle eventuali impurità contenute. Secondo metodica ho proceduto nel seguente modo: dapprima lavando con HNO_3 concentrato il filtro poi aggiungendo acqua ho sfruttato la reazione esotermica che, sinergicamente all'acido hanno portato in soluzione le varie microparticelle. Lo stesso processo è stato eseguito con H_2SO_4 concentrato. Terminato il lavaggio ho messo il Gooch in stufa a 120 °C per l'essiccamento.

DETERMINAZIONE GRAVIMETRICA DEL PIOMBO

PESO SOSTANZA + GOOCH DOPO ESSICCAMENTO IN STUFA:

La sostanza dopo essere stata essiccata in stufa è stata posta in essiccatore pronta per essere pesata con il Gooch. Le pesate devono venire eseguite fino a raggiungere un peso costante (può variare soltanto la 4° cifra decimale dopo la virgola). Una volta ottenuto il peso costante si procede alla determinazione della percentuale di Stagno presente nel campione secondo i calcoli seguenti. (Tutte le pesate sono state eseguite su bilancia tecnica).

LORDO I Pesta 21,0700 grammi

LORDO II Pesata 21,0681 grammi

LORDO III Pesata 21,0687 grammi (dopo 7 giorni)

Peso costante a 21,0687 grammi

GRAMMI DI Pb°:

ERRORE: Purtroppo, forse per un errore nella metodica ho rilevato un peso del lordo superiore alla tara. Difatti il lordo pari a 21,0687 grammi è risultato maggiore della tara di 21,1628 grammi. Di conseguenza non è stato possibile calcolare la percentuale gravimetrica del piombo.

OSSERVAZIONI:

Questo errore potrebbe essere dovuto a una sbagliata taratura del Gooch avvenuta a una temperatura inferiore a quella di 120 °C; oppure, una temperatura di essiccamento troppo elevata a portato ad un eccessivo disgregamento del filtrato nelle operazioni finali.

Ma le ipotesi sono tante, e difficilmente si riuscirà a capire il motivo di questo errore (probabilmente una mia imprecisione oppure la sostituzione del mio Gooch con quello di un altro studente e ancora, l'utilizzo di una bilancia diversa da quella usata in precedenza).

DETERMINAZIONE SPETTROFOTOMETRICA DEL PIOMBO

PROCEDIMENTO:

Prima di tutto si deve eseguire la taratura e ottimizzazione dello strumento (secondo l'esempio di pag. 412-413 del libro "Analisi chimica strumentale" Cozzi - Protti vol. B). Successivamente dopo adeguata consultazione del manuale pratico Cook Book si procede alla preparazione della soluzione campione da analizzare con lo **spettrofotometro ad Assorbimento Atomico**.

Il prelievo delle soluzioni campione viene eseguito dalla soluzione 1 e la loro conservazione deve essere fatta in bottigliette di vetro da 100 ml opportunamente lavate, avvinate ed etichettate.

(Per ulteriori informazioni vedere le specifiche allegate).

PREPARAZIONE DELLA SOLUZIONE CAMPIONE

La concentrazione minima analizzabile è stata calcolata considerando la percentuale minima del metallo nella lega del bronzo e si è posto un limite di rilevabilità diverso per ogni elemento da analizzare .

% Pb = 0,1 quindi 0,001 unità percentuali (0,1 / 100)

Limite in ppm = 20

CALCOLI PER LINEARITÀ:

1,9977 g = 1997,7 mg

1997,7 mg * 0,001 = 1,9977 mg

1,9977 mg / 0,5 l = 3,9954 ppm

Questa concentrazione potrebbe, teoricamente, essere utilizzata così, ma nella pratica ho dovuto effettuare una diluizione 1:20 della Soluzione 1.

RISULTATO ANALISI SPETTROFOTOMETRICA DEL PIOMBO:

Assorbanza letta = 0,088 unità

Concentrazione corrispondente = 10,8871 ppm

$$\% \text{ Pb} = \frac{10,8871 \text{ mg/l} * 1/10 * 5/100 * 0,5 \text{ l}}{1997,7 \text{ mg}} = 0,05449 * 100 = \mathbf{5,45 \%}$$

Dove 400/20 è il rapporto di diluizione (Volume finale/Aliquota prelevata) realmente fatto per rientrare nei limiti di Assorbanza ricavati dalla retta di calibrazione. 0,5 è il volume della soluzione (S) iniziale. La soluzione analizzata è stata dapprima preparata con una diluizione 1:10 poi prelevandone 5 ml ho portato a un volume finale di 100 ml.

La percentuale risultata rientra perfettamente nell'intervallo del piombo che segnala una presenza di questa sostanza nei bronzi variabile tra lo 0,1 e il 10 %.

DETERMINAZIONE SPETTROFOTOMETRICA DEL NICHEL

PROCEDIMENTO:

Come per il piombo si eseguono le stesse procedure.
(Per ulteriori informazioni vedere le specifiche allegate).

PREPARAZIONE DELLA SOLUZIONE CAMPIONE

La concentrazione minima analizzabile è stata calcolata considerando la percentuale minima del metallo nella lega del bronzo e si è posto un limite di rilevabilità diverso per ogni elemento da analizzare .

% Ni = 0,2 quindi 0,002 unità percentuali (0,2 / 100)
Limite in ppm = 5

CALCOLI PER LINEARITÀ:

$$1,9977 \text{ g} = 1997,7 \text{ mg}$$

$$1997,7 \text{ mg} * 0,002 = 3,9954 \text{ mg}$$

$$3,9954 \text{ mg} / 0,5 \text{ l} = 7,9908 \text{ ppm}$$

Questa concentrazione non può essere utilizzata così in quanto non rientra nel limite posto in precedenza. Si deve effettuare una diluizione.

RISULTATO ANALISI SPETTROFOTOMETRICA DEL NICHEL:

Assorbanza letta = 0,107 unità
Concentrazione corrispondente = 3,343379 ppm

$$\% \text{ Pb} = \frac{3,343379 \text{ mg/l} * 100/10 * 0,5 \text{ l}}{1997,7 \text{ mg}} = 0,05449 * 100 = \mathbf{0,837 \%}$$

Dove 100/10 è il rapporto di diluizione (Volume finale/Aliquota prelevata) realmente fatto per rientrare nei limiti di Assorbanza ricavati dalla retta di calibrazione. 0,5 è il volume della soluzione (S) iniziale.

La percentuale risultata rientra nell'intervallo del nichel che segnala una presenza di questa sostanza nei bronzi variabile tra lo 0,2 e il 3,5 %.

DETERMINAZIONE SPETTROFOTOMETRICA DELLO ZINCO

PROCEDIMENTO:

Come per il piombo si eseguono le stesse procedure.
(Per ulteriori informazioni vedere le specifiche allegate).

PREPARAZIONE DELLA SOLUZIONE CAMPIONE

La concentrazione minima analizzabile è stata calcolata considerando la percentuale minima del metallo nella lega del bronzo e si è posto un limite di rilevabilità diverso per ogni elemento da analizzare .

% Zn = 0,03 quindi 0,0003 unità percentuali (0,03 / 100)
Limite in ppm = 1

CALCOLI PER LINEARITÀ:

1,9977 g = 1997,7 mg

1997,7 mg * 0,0003 = 0,59931 mg

0,59931 mg / 0,5 l = 1,19862 ppm

Visto che il valore di questa concentrazione non è poi tanto lontano dal limite posto, si potrebbe utilizzare la soluzione così com'è. Nel caso che la misurazione dell'Assorbanza vada fuori scala si diluisce ulteriormente.

RISULTATO ANALISI SPETTROFOTOMETRICA DELLO ZINCO:

Assorbanza letta = 0,138 unità

Concentrazione corrispondente = 0,3784751 ppm

$$\% \text{ Pb} = \frac{0,3784751 \text{ mg/l} * 400/20 * 100/5 * 0,5 \text{ l}}{1997,7 \text{ mg}} = 0,03789 * 100 = \mathbf{3,789 \%}$$

In questa determinazione sono state fatte due diluizioni come si può vedere dai rispettivi rapporti. Dapprima prelevando 20 parti della soluzione 1 e portati a 400, poi prelevando dalla nuova diluizione 5 parti che poi sono state riportate in un altro matraccio da 100 cc. La percentuale risultata rientra nell'intervallo dello Zinco che segnala una presenza di questa sostanza nei bronzi variabile tra lo 0,03 e il 12 %.

DETERMINAZIONE SPETTROFOTOMETRICA DEL FERRO

PROCEDIMENTO:

Come per il piombo si eseguono le stesse procedure.
(Per ulteriori informazioni vedere le specifiche allegate).

PREPARAZIONE DELLA SOLUZIONE CAMPIONE

La concentrazione minima analizzabile è stata calcolata considerando la percentuale minima del metallo nella lega del bronzo e si è posto un limite di rilevabilità diverso per ogni elemento da analizzare .

% Fe = 0,03 quindi 0,0003 unità percentuali (0,03 / 100)
Limite in ppm = 5

CALCOLI PER LINEARITÀ:

$$1,9977 \text{ g} = 1997,7 \text{ mg}$$

$$1997,7 \text{ mg} * 0,0003 = 0,59931 \text{ mg}$$

$$0,59931 \text{ mg} / 0,5 \text{ l} = 1,19862 \text{ ppm}$$

Gli stessi calcoli sono stati eseguiti per lo zinco anche se successivamente sono state fatte diluizioni diverse.

RISULTATO ANALISI SPETTROFOTOMETRICA DEL FERRO:

Assorbanza letta = 0,089 unità

Concentrazione corrispondente = 2,450062 ppm

$$\% \text{ Fe} = \frac{2,450062 \text{ mg/l} * 100/10 * 0,5 \text{ l}}{1997,7 \text{ mg}} = 0,0061322 * 100 = \mathbf{0,613 \%}$$

In questa determinazione è stata fatta una diluizione partendo dalla soluzione 1. Dapprima prelevando 10 cc e portandoli a 100 in matraccio tarato.

La percentuale risultata rientra nell'intervallo del ferro che segnala una presenza di questa sostanza nei bronzi variabile tra lo 0,03 e il 0,9 %.

PRECIPITAZIONE DEL FERRO:

PROCEDIMENTO:

Alla soluzione proveniente dalla precipitazione del piombo (soluzione 2) si aggiungono 4-5 g di cloruro di ammonio, 2-3 ml di acido nitrico concentrato, si riscalda a circa 80 °C e si alcalinizza con ammoniaca concentrata (controllare con pH-metro o cartina che la soluzione raggiunga un valore di pH che varia intorno al 9).

Poi si riscalda su bagno a sabbia (90 °C) per facilitare la flocculazione del precipitato, dopodiché si filtra a caldo con filtro a fascia nera o analogo, raccogliendo il filtrato in un matraccio tarato da 250 ml. Si lava il precipitato con una soluzione ammoniacale al 2,5-3 % facendo particolare attenzione ad eliminare le tracce di soluzione rameosa dalle pareti.

Il **filtrato** si porta a volume con acqua distillata (**Soluzione 3**).

Il **precipitato** si scarica (nella metodica generale è su questo precipitato che si determina il ferro con il metodo Zimmermann¹).

COMMENTO:

Il ferro va comunque separato dalla soluzione, perché interferirebbe nella determinazione dello zinco, che avviene in ambiente ammoniacale (precipitando come idrossido) e in quella iodometrica del Cu (reagisce anche il Fe³⁺).

OSSERVAZIONI:

Durante la flocculazione ho notato la formazione intorno ai bordi del Becker di una pasta gelatinosa che successivamente, durante la precipitazione si è raggrumata nel filtro rendendo difficoltosa la precipitazione. Questa gelatina che aveva una colorazione blu poteva essere dovuta a una reazione secondaria che ha dato luogo a un complesso cupreo-ammoniacale per eccesso di NH₃.

Ho poi aggiunto alla filtrazione dell'acqua calda che ha riportato in soluzione il complesso.

1 Per questo metodo consultare pag. 522-523 del libro di analisi chimica, Crea-Falchet anche se visto lo scarso contenuto di ferro il metodo potrebbe risultare poco accurato.

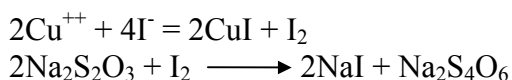
ANALISI VOLUMETRICA DEL RAME

Dalla soluzione proveniente dalla separazione del ferro (soluzione 3) si può effettuare direttamente il dosaggio del rame previa acidificazione dell'ambiente. Si esegue una titolazione iodometrica.

REATTIVI OCCORRENTI:

KI, Na₂S₂O₃, KSCN, Salda d'amido

REAZIONE CONSIDERATA:

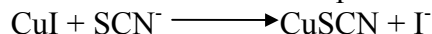


PROCEDIMENTO:

100 ml della Soluzione 3 si mettono in una beuta (munita di tappo) e si aggiungono 3 grammi di KI (esente da iodato). Se la soluzione contiene acido minerale libero, è bene neutralizzare prima l'acidità aggiungendo goccia a goccia una soluzione di ammoniaca fino ad intorbidimento permanente, e quindi di ac. acetico conc. (lieve eccesso).

Si lascia a riposo per 5 minuti, e si titola lo iodio messo in libertà con la soluzione 0,1 N di tiosolfato precedentemente titolata, fino a che il liquido ha assunto un colore giallo chiaro. Si aggiungono adesso 2 ml di salda d'amido e si continua a titolare fino a che il colore da azzurro passa a bianco giallastro. A questo punto si aggiungono 2 g di solfocianuro di potassio o di ammonio puro e si completa goccia a goccia la titolazione dello iodio rimasto adsorbito sulla superficie dello ioduro rameoso bianco.

Si può aggiungere alla soluzione titolata del tiocianato che provoca la seguente reazione:



In seguito a questa reazione lo iodio passa in soluzione e può essere titolato. Bisogna però stare attenti alla quantità di tiocianato aggiunto perché questo tende a ridurre lo iodio.

Si prendono nota dei ml consumati di tiosolfato quanto non vi sono più ioni iodio liberi e quindi non è più presente la colorazione bluastra della soluzione.

Si calcola la % del Cu nel bronzo di partenza.

PROCEDIMENTO TITOLAZIONE TIOSOLFATO:

Una quantità esatta compresa tra 0,15 e 0,3 grammi di Cu elettrolitico purissimo (P.Eq = 63,57), viene attaccata con una miscela acida formata da 20 ml di acqua e 30 ml di HNO₃ conc. Dopo breve riscaldamento su bagno di sabbia per l'eliminazione dei vapori nitrosi. Le operazioni successive vogliono ricreare le condizioni viste per la determinazione precedente. Quindi si alcalinizza con ammoniaca per poi riabbassare il pH con ac. acetico o solforico.

Per il resto della titolazione vedere procedimento precedente.

Si determina il titolo di tiosolfato necessario per la determinazione.

COMMENTO:

In soluzione debolmente acida o neutra gli ioni rameici reagiscono con I⁻ secondo la reazione sopra considerata. L'acidità deve essere mantenuta entro ristretti limiti. A pH elevato la reazione è lenta e la colorazione blu torna a comparire mentre a pH basso si ha l'ossidazione di I⁻ da parte dell'ossigeno dell'aria. L'optimum della reazione si ha verso pH = 3,5; il dosaggio iodometrico avviene con maggiore sicurezza in presenza di acido acetico poiché si opera in un sistema ben tamponato. A questo pH, As⁺⁵ e Sb⁺⁵ non interferiscono; lo ione ferrico, che ossiderebbe I⁻, può venire complessato aggiungendo fluoruro e fosfato.

DETERMINAZIONE VOLUMETRICA DEL RAME

QUANTITÀ IN GRAMMI DI RAME ELETTROLITICO DA PRELEVARE PER LA TITOLAZIONE:

Il calcolo è stato effettuato tenendo conto della purezza dell'elemento e degli equivalenti.

Difatti eq. $\text{Cu}^{++} = \text{eq. S}_2\text{O}_3^-$

Cu elettrolitico puro al 99,8 %

$$\text{eq S}_2\text{O}_3 = 0,1 \text{ eq/l} * 0,03 \text{ l}$$

(0,03 l è la quantità di tiosolfato teoricamente richiesta dalla titolazione sapendo anche che 1 ml di $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1N corrisponde a 0,0064 grammi di Cu

$$0,003 \text{ eq S}_2\text{O}_3 * 64 \text{ g/eq} = 0,192 \text{ g}$$

$$0,192 \text{ g} * 99,8/100 = 0,1916 \text{ g di Cu da pesare}$$

PESATA DEI GRAMMI DI RAME ELETTROLITICO:

Le pesate sono state eseguite su bilancia con un cristallizzatore.

TARA CRISTALLIZZATORE 28,4193 grammi

LORDO CRIST.+ SOSTANZA 28,6635 grammi

NETTO RAME 0,2442 grammi

Questi 0,2442 grammi pesati sono stati attaccati una soluzione dil. 2+3 di acido nitrico conc. (con H_2O distillata).

DETERMINAZIONE TITOLO DI TIOSOLFATO:

Per la titolazione del tiosolfato, secondo metodica, sono stati raccolti i vari dati sotto elencati.

Pesata KI su bilancia analitica 3,0367 grammi

Volume di $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ usati = 29,4 ml

Sapendo che eq Cu = eq $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

$$\text{eq Cu} = \text{g Cu/Peq} \quad 0,2442 \text{ g}/63,5 \text{ g/eq} = 0,0038456 \text{ eq Cu}$$

$$\text{N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \text{eq Cu/ml usati} \quad 3,8456 * 10^{-3} \text{ eq}/0,0294 \text{ l} = \mathbf{0,1308 \text{ N}}$$

Titolo tiosolfato che si utilizzerà per la determinazione volumetrica del rame.

DETERMINAZIONE DEI GRAMMI DI RAME:

Sapendo che gli eq di Cu = eq di Na₂S₂O₃ una volta trovati questi ultimi si risale ai grammi di Cu tenendo conto delle varie diluizioni e prelievi fatti in precedenza.

Volume di Na₂S₂O₃ usati = 32,3 ml (colore bianco della soluzione)

$$\text{eq Cu} = N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 * \text{litri usati} \quad 0,1308 \text{ eq/l} * 0,0323 \text{ l} = 0,004224 \text{ eq}$$

$$4,224 * 10^{-3} \text{ eq} * 63,5 \text{ g/eq} = \mathbf{0,2682} \text{ grammi Cu}$$

$$\% \text{ Cu} = \frac{0,2682 \text{ g} * 250/100 * 500/200}{1,9977 \text{ g}} = 0,8390 * 100 = \mathbf{83,90 \%}$$

La percentuale di rame è stata ricavata tenendo conto dei rapporti di diluizione fatti durante tutto il processo analitico a partire dalla soluzione 1.

DETERMINAZIONE SPETTROFOTOMETRICA DEL RAME

PROCEDIMENTO:

Come per il piombo si eseguono le stesse procedure.
(Per ulteriori informazioni vedere le specifiche allegate).

PREPARAZIONE DELLA SOLUZIONE CAMPIONE

La concentrazione minima analizzabile è stata calcolata considerando la percentuale minima del metallo nella lega del bronzo e si è posto un limite di rilevabilità diverso per ogni elemento da analizzare .

% Cu = 70 quindi 0,7 unità percentuali (70 / 100)
Limite in ppm = 5

CALCOLI PER LINEARITÀ:

$$1,9977 \text{ g} = 1997,7 \text{ mg}$$

$$1997,7 \text{ mg} * 0,7 = 1398,39 \text{ mg}$$

$$1398,39 \text{ mg} / 0,5 \text{ l} = 2796,78 \text{ ppm}$$

Siccome risulta una concentrazione troppo elevata per essere analizzata ho ritenuto necessario fare una diluizione. La diluizione è stata fatta applicando la $M1*V1 = M2*V2$.

$$2796,78 \text{ ppm} * X \text{ ml} = 28 \text{ ppm} * 500 \text{ ml} \quad X = 5,0057 \text{ ml}$$

Questo volume potrebbe andare bene anche se si discosta dal valore limite. Se nella pratica risulta troppo concentrato e la lettura dell'Assorbanza va fuori scala si può procedere ad una ulteriore diluizione.

Nella pratica ho prelevato dalla figlia 14,3 ml calcolati tenendo conto della mia concentrazione finale.

$$28 \text{ ppm} * X \text{ ml} = 4 \text{ ppm} * 100 \text{ ml} \quad X = 14,3 \text{ ml}$$

RISULTATO ANALISI SPETTROFOTOMETRICA DEL RAME

Assorbanza letta = 0.337 unità

Concentrazione corrispondente = 5,2119 ppm

$$\% \text{ Fe} = \frac{5,2119 \text{ mg/l} * 100/14,2857 * 500/5,384 * 0,5 \text{ l}}{1997,7 \text{ mg}} = 0,8480 * 100 = \mathbf{84,8 \%}$$

In questa determinazione i rapporti di diluizione sono stati 2 entrambi eseguiti su volumi prelevati con elevata accuratezza.

La percentuale risultata rientra nell'intervallo del rame che segnala una presenza di questa sostanza nei bronzi variabile tra il 70 e il 90 %.

ANALISI COLORIMETRICA DEL RAME

PROCEDIMENTO:

Si sfrutta la formazione dello ione complesso $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{++}$ presente nella soluzione 3 (colorazione blu intensa), ione formatosi per reazione tra lo ione Cu (II) e NH_4OH . La colorazione blu è molto stabile nel tempo e segue la legge di Lambert Beer per concentrazioni comprese tra 10 e 600 ppm di Cu (II).

La quantità di soluzione 3 da prelevare calcolata sulla base del titolo teorico in Cu (è conveniente considerare il contenuto di rame più basso riportato nella composizione dei bronzi).

I ml prelevati di soluzione 3 vengono portati a 100 ml in matraccio tarato, pronti per l'analisi.

Si calcola la % di Cu.

COMMENTO:

Variazioni ampie della concentrazione di ammoniaca in eccesso possono provocare errori. Interferiscono:

Ione citrato, tiosolfato, cianato ecc., cioè gli ioni che in generale reagiscono con il rame in ambiente alcalino precipitandolo e complessandolo; ioni cromico, ione Ni e Co, per la colorazione che impartiscono alla soluzione.

RETTA DI TARATURA

Preparare una serie di 5 soluzioni standard di Cu (II) (100 ml) a partire da una soluzione madre di 1g/l. L'intervallo di concentrazioni consigliato è tra 50 e 250 mg/l. Le soluzioni standard si preparano nel modo seguente:

Si preleva l'aliquota necessaria, si neutralizza con ammoniaca concentrata (si controlla con una cartina) e si porta a volume con ammoniaca 3 M. La stessa metodica viene eseguita per la preparazione del campione. Preparare anche un bianco.

CALCOLI CONCENTRAZIONE DA RETTA DI TARATURA:

Sapendo che l'equazione della retta è $y = a + b * x$

dove x è la concentrazione

y = all'Assorbanza (A)

b = 0,00112

a = -0,00650

$$x = A - a / b = 0,075 - (- 0,00650) / 0,00112 = 72,7678$$

RISULTATO ANALISI COLORIMETRICA DEL RAME

Assorbanza letta = 0.075 unità

Concentrazione corrispondente = 72,7678 ppm (calcolata tenendo conto della retta di taratura)

$$\% \text{ Fe} = \frac{72,7678 \text{ mg/l} * 100/3,73 * 250/100 * 0,25 \text{ l}}{1997,7 \text{ mg}} = 0,61035 * 100 = \mathbf{61,03 \%}$$

OSSERVAZIONI

Visto il valore ottenuto e confrontato con i valori delle determinazioni precedenti risulta evidente la possibile aberrazione dovuta probabilmente al fatto che l'analisi è stata eseguita a distanza di troppo tempo. La percentuale risultata non rientra nell'intervallo del rame che segnala una presenza di questa sostanza nei bronzi variabile tra il 70 e il 90 %.

RIEPILOGO DATI

% GRAVIMETRICA DELLO STAGNO	4,66
% AA DEL PIOMBO	5,45
% ELETTRODEPOSIZIONE DEL PIOMBO	
% GRAVIMETRICA DEL PIOMBO	ERRORE
% AA DEL FERRO	0,613
% AA DEL RAME	84,8
% ELETTRODEPOSIZIONE DEL RAME	
% COLORIMETRICA DEL RAME	61,03
% VOLUMETRICA DEL RAME	83,9
% AA DEL NICHEL	0,837
% AA DELLO ZINCO	3,789