

**UNIVERSITA' DEGLI
STUDI DI PADOVA**

Facoltà di Ingegneria

**ISTITUTO NAZIONALE
DI FISICA NUCLEARE**

Laboratori Nazionali di Legnaro

Con la Federazione Regionale degli Industriali Veneti

Tesi di MASTER in
**“Trattamenti di Superficie Applicati a Tecnologie
Meccaniche Innovative per l’Industria”**

**CREAZIONE DI UN DATABASE DI ATTACCHI
CHIMICI ED ELETTROCHIMICI
PER IL TRATTAMENTO SUPERFICIALE DI
METALLI E LEGHE AD USO
INDUSTRIALE**

Relatore: prof. V. Palmieri

Candidato: **dott. Vanessa Rampazzo**

N° Matr.: **895964-CM**

Anno Accademico 2002/03

Scopo della tesi

I Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL) sono strutture dedicate allo studio della fisica delle particelle ad alte energie: per effettuare questi studi sono necessarie delle apparecchiature in grado di accelerare le particelle e farle raggiungere le energie richieste per gli esperimenti. Per la costruzione dell'acceleratore ALPI (Acceleratore Lineare Per Ioni) sono state sviluppate negli anni precedenti a questo lavoro presso i LNL molte tematiche, tra cui la pulizia chimica ed elettrochimica del rame per lucidare le cavità superconduttrici.

Ogni componente metallico dopo la lavorazione meccanico viene normalmente sottoposto alla sbavatura meccanica: tuttavia, per materiali avanzati questo trattamento può essere difficile e dispendioso, e la pulizia chimica e elettrochimica può dare finiture migliori a costi inferiori.

La figura 1 mostra una cavità superconduttrice costruita per ALPI, che viene lucidata a specchio dopo il processo di elettropulitura sviluppato negli anni ben precedenti a questo lavoro.



Fig. 1: Cavità superconduttrice elettrolucidata per l'acceleratore ALPI

Precedentemente a questo lavoro di tesi, le tecnologie di pulizia del rame e altri materiali avanzati si sono poi anche dimostrati utili per altre applicazioni INFN, come gli studi sulla fisica del neutrino, che prevedono l'installazione di un complesso rivelatore ultrapulito sotto la montagna del Gran Sasso. La posizione geografica non è scelta a caso: la montagna sovrastante blocca tutte le radiazioni solari tranne il neutrino, che interagisce molto debolmente con la materia. Il rivelatore è così sensibile che la contaminazione residua di elementi radioattivi nell'ordine dei ppb (parti per miliardo) presente nei sostegni di rame e nei cristalli di misura maschera i deboli segnali del neutrino. La figura 2 mostra uno dei rivelatori prima e dopo il trattamento.

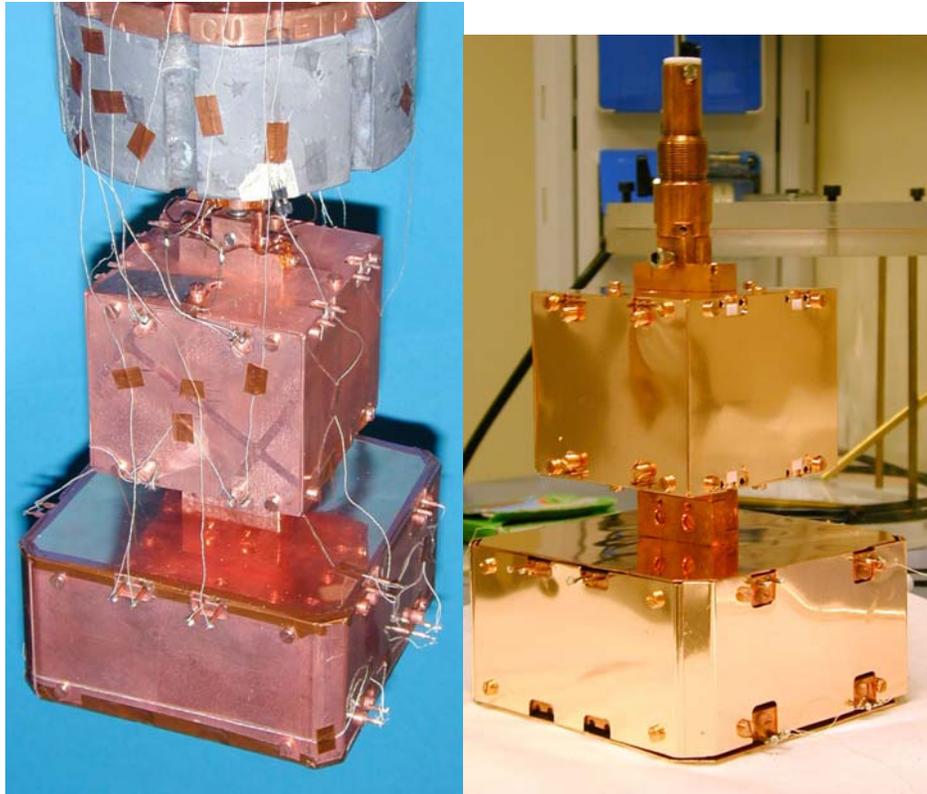


Fig. 2: Rivelatore di neutrini trattato chimicamente: le tecniche di lucidatura studiate per ALPI furono applicate al rivelatore per diminuire la contaminazione

Le tematiche più avanzate nel trattamento delle superfici sono direttamente applicabili alla realtà industriale: a tale scopo l'INFN ha approvato un esperimento, BENHUR 2, dedicato al trasferimento di tecnologie sviluppate nell'ambito degli acceleratori di particelle ai settori dell'industria nazionale low-tech che sono più sensibili all'innovazione tecnologica. I campi principali dove trovano spazio le tecniche di lucidatura sono l'implantologia dentaria, l'occhialeria, l'oreficeria.

In questo contesto, l'Università degli Studi di Padova e l'INFN, in collaborazione con la Federazione Nazionale Industriali Veneti, ha organizzato il Master in Trattamenti di Superficie Applicati a Tecnologie Meccaniche Innovative per l'Industria.

Allo scopo di insegnare le tecniche più vicine alle necessità dell'industria nazionale, sono state insegnate le tecniche utilizzabili sui componenti più estesamente utilizzati da quest'ultima.

Nell'ambito di tale master, la candidata ha appreso metodologie di lavoro quali le tecniche di sbavatura e lucidatura di metalli e leghe, di più ampio e disparato uso industriale.

Le prove di lucidatura chimica e elettrochimica sono state raccolte e organizzate in un database, in modo da fornire le basi per studi successivi su altri materiali correlati a quelli già studiati, ad esempio le leghe commerciali di acciaio, alluminio e titanio.

Le ricette presenti in questo database sono frutto di collaborazioni con industrie esterne: pertanto per ovvi motivi di riservatezza industriale alcune delle composizioni delle soluzioni non sono pubblicabili.

Introduzione alla tecnica di lucidatura elettrolitica

Lo sviluppo delle tecniche di sputtering per ricoprimenti sottili e spessi richiede un'accurata preparazione del substrato, che deve essere liscio e con basse rugosità. I campioni metallici sono solitamente lucidati con sistemi meccanici abrasivi, che deformano plasticamente la superficie dei substrati. Per applicazioni sensibili come le cavità superconduttrici, dove la superficie di rame viene ricoperta con niobio, è fondamentale eliminare lo stato superficiale deformato, che contengono residui degli abrasivi che contaminerebbero il film sovrastante. L'eliminazione dello strato alterato migliora anche la conduzione termica, che risulta ridotta in presenza di zone danneggiate. L'elettrolucidatura permette di eliminare spessori elevati dal substrato, eliminando lo strato deformato e abbassando la rugosità della superficie.

Oltre all'elettrolucidatura si possono scegliere vari tipi di pulizia:

1. Pulizia e lucidatura con abrasivi.
2. Pulizia con solventi: Clorofluorocarboni e anidride carbonica liquida.
3. Pulizia con agenti semi-acquosi: terpeni, alcoli, chetoni, esteri, ammine.
4. Pulizia con ultrasuoni.
5. Saponi e detergenti.
6. Pulizia con panni
7. Fluidi supercritici.
8. Erosione chimica
9. Erosione elettrochimica.
10. Erosione elettrochimica electronless
11. Sbavatura per vaporizzazione laser e impulsi termici.
12. Ricoprimenti removibili.
13. Degassaggio
14. Pulizia reattiva per ossidazione anodica e successiva rimozione di ossido.
15. Pulizia con ozono
16. Pulizia con idrogeno
17. Pulizia e etching reattivo con plasma
18. Erosione con plasma.
19. Erosione per sputtering.
20. Pulizia a fascio ionico

L'elettrolucidatura tuttavia è l'unico metodo che permette di erodere quantità notevoli di materiale, staccando anche 100-200 micron dal substrato. Dopo l'attacco elettrochimico, si può procedere con altri metodi successivi.

Concetti di base di elettrochimica

In una cella elettrochimica avvengono reazioni che coinvolgono scambi di carica: all'anodo si cedono elettroni (reazioni di *ossidazione*) che al catodo si consumano (reazioni di riduzione). Nelle reazioni anodiche il numero di ossidazione aumenta, in questo modo la carica degli ioni cambia, formando nuovi composti e forzando reazioni che non sono spontanee termodinamicamente. Alcuni esempi di reazioni di ossidazione e di riduzione sono elencati di seguito:

Riduzione:

- Corrosione del ferro: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}_2^+ + 2\text{e}^-$
- Corrosione dell'alluminio: $\text{Al} \rightarrow \text{Al}_3^+ + 3\text{e}^-$
- Ossidazione dello ione ferroso: $\text{Fe}_2^+ \rightarrow \text{Fe}_3^+ + \text{e}^-$
- Produzione di ossigeno: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$

Ossidazione

- Riduzione dell'ossigeno: $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$
- Ramatura: $\text{Cu}_2^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$

Nelle reazioni di elettrolucidatura le reazioni anodiche dipendono da molti fattori, tra cui i più importanti sono la natura del metallo da dissolvere, la composizione degli elettroliti, la temperatura, la densità di corrente e l'agitazione. Le reazioni che possono avvenire sono elencate:

1. Trasferimento del metallo nella soluzione come ione complessato.
2. Formazione di film di ossido
3. Produzione di ossigeno
4. Ossidazione di vari composti nella soluzione

L'elettrolucidatura è un particolare caso di corrosione elettrochimica: per questo gli elettroliti utilizzati dovrebbero avere alcune caratteristiche fondamentali.

- Gli elettroliti dovrebbero contenere ioni complessanti, in grado di portare in soluzione il metallo e di mantenerlo in soluzione.
- Gli anioni in soluzione dovrebbero avere grande raggio molecolare e piccola carica.
- Un film viscoso dovrebbe formarsi sulla superficie dell'anodo durante il processo.

La prima elettrolucidatura documentata è datata 1912: il governo imperiale tedesco brevettò una soluzione a base di cianuri per la lucidatura dell'argento. Più che una ricerca mirata alla lucidatura dell'argento, sembra probabile che un'errata disposizione dei poli in un'argentatura abbia portato alla scoperta del processo di levigatura.

Fino al 1935 non vi furono altre scoperte, quando il rame fu elettropulito con successo. Nel 1937 fu la volta dell'acciaio inox. Durante la Seconda Guerra Mondiale furono studiate molte nuove ricette dagli scienziati Alleati e dell'Asse. Dozzine di articoli furono pubblicati da questi dati nell'immediato dopoguerra, di cui uno dei più importanti si deve a Jacquet, che studiò l'elettrolucidatura del rame studiando la curva caratteristica tensione-corrente.

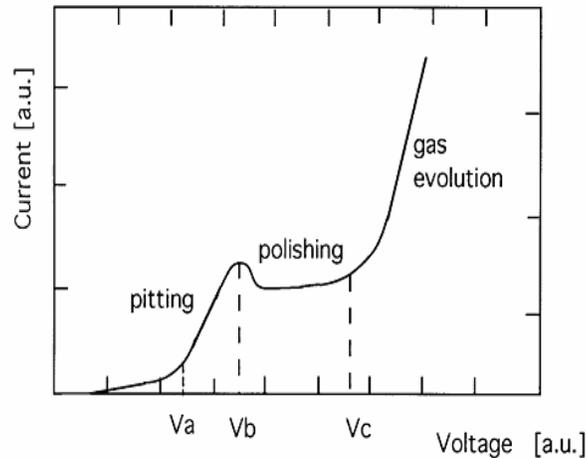


Fig. 3 : Curva caratteristica tensione - corrente

Osservando questa curva egli notò che esistono tre differenti zone che portano a differenti stati della superficie dell'anodo.

ZONA 1: $V_A - V_B$

In questa zona iniziale del grafico la corrente aumenta con la tensione e si forma uno strato scuro, marrone: l'anodo si corrode disuniformemente, presentandosi spesso con pitting. Lo strato scuro si rompe per tensioni maggiori.

ZONA 2 : $V_B - V_C$

Subito dopo V_B appaiono fluttuazioni e una rapida discesa della corrente all'aumentare della tensione, che continua con un plateau fino a V_C . In questa zona del plateau si ottiene la levigatura dell'anodo. Il migliore risultato si ottiene combinando l'effetto di polishing con la formazione delle prime bolle di ossigeno, vicino a V_C .

ZONA 3: $V > V_C$

Dopo V_C la dissoluzione del metallo è accompagnata da bolle di ossigeno: questo porta ancora a una lucidatura, ma spesso le bolle si attaccano alla superficie, portando a una corrosione disuniforme (pitting e striature). Per tensioni molto superiori a V_C la

qualità dell'elettrolucidatura aumenta, perché le bolle si staccano rapidamente dalla superficie.

Durante il processo l'anodo si ricopre di uno strato viscoso blu. L'agitazione diminuisce lo spessore dello strato viscoso, diminuendo contemporaneamente la tensione di lavoro: infatti, lo spazio che gli ioni devono attraversare si riduce, quindi la tensione necessaria per raggiungere l'anodo si abbassa. Secondo Jacquet, è possibile controllare il processo di elettrolucidatura mantenendo una tensione costante, piuttosto che una densità di corrente costante.

La tensione applicata V è una funzione dei potenziali del catodo e dell'anodo, della caduta di potenziale nell'elettrolita $I R_{\text{electr}}$ e della caduta di potenziale nei conduttori $I R_{\text{condu}}$.

$$V = (V_{\text{anodo}} - V_{\text{catodo}}) + I R_{\text{electr}} + I R_{\text{condu}}$$

Tuttavia, V dipende anche da altri parametri, come i potenziali redox degli elettrodi, la concentrazione degli elettroliti, la disposizione degli elettrodi, la loro forma e superficie. Quindi, il potenziale applicato di Jacques può non corrispondere sempre alle migliori condizioni di elettrolucidatura. In alternativa, è possibile controllare il processo non basandosi sul voltaggio applicato ma misurando solo quello dell'anodo, servendosi di un terzo elettrodo di riferimento. Questo elettrodo ausiliario non partecipa alla reazione e serve unicamente come riferimento: un esempio è l'elettrodo saturato al calomelano, utilizzato per misurare i potenziali redox. D'altro canto, i potenziali dell'anodo e del suo riferimento non sono costanti ma cambiano in funzione della composizione dell'elettrolita e del tempo di processo. Per questo, la lettura dell'elettrodo di riferimento va corretta di volta in volta.

Utilizzando l'elettrodo di riferimento, si possono adottare due possibilità: a potenziale costante e a corrente costante.

Nel regime a potenziale costante, il potenziostato è connesso ad anodo e catodo e l'elettrodo di riferimento monitora il potenziale vicino alla superficie del metallo.

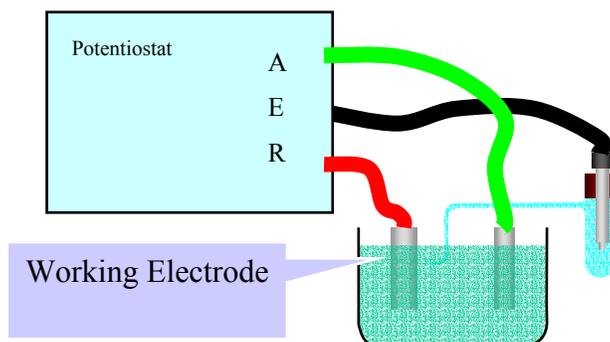


Fig. 4: Regime a potenziale costante

Nel regime a controllo costante, l'elettrodo di riferimento è connesso all'anodo, e funziona solo come riferimento del voltmetro di misura.

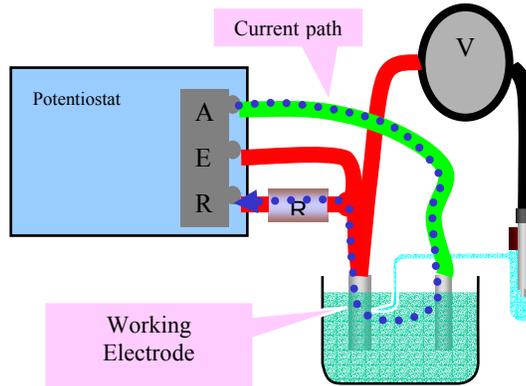


Fig. 5: Regime a corrente costante

Meccanismi del processo di elettrolucidatura

Esistono varie ipotesi sul meccanismo di elettrolucidatura del rame in soluzione di acido fosforico: tutte vertono sull'esistenza del film viscoso blu che si forma sull'anodo.

La prima e più semplice spiegazione risale a Jacquet. Quando una corre passa attraverso l'elettrolita, il film anodico che si forma è più viscoso e più resistivo della soluzione circostante. Poiché l'anodo è rugoso, la resistenza del film sarà massima sulle valli (spessore maggiore) e minima sui picchi (spessore minore). Quindi, i picchi si dissolvono molto più velocemente delle valli, portando ad una generale diminuzione della rugosità della superficie.

Un'altra spiegazione possibile si deve ad Elmore, il quale considera la velocità con cui i prodotti della dissoluzione del metallo (ione metallico complessato) attraversano il film viscoso. Ancora, la velocità di dissoluzione è maggiore sui picchi che non sulle valli.

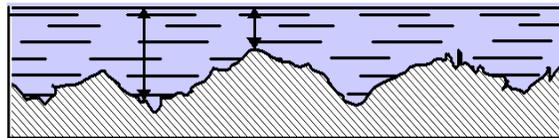


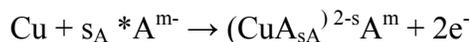
Fig. 6 : Formazione del film viscoso

Le due teorie hanno molto in comune e si basano entrambe sulla presenza del film viscoso: Jacques attribuisce il livellamento a differenze di resistività elettrica, Elmore ai processi diffusivi dei prodotti, dovuti ai gradienti di concentrazione degli stessi.

Tuttavia, la presenza del film viscoso non è sempre necessaria per ottenere una buona lucidatura. Inoltre, nessuno dei due autori spiega l'ossidazione del metallo né la peculiare forma della curva di elettrolucidatura. In pratica non è stata spiegata la natura intrinseca del meccanismo di elettrolucidatura, e questo perché le teorie sono basate su un unico fattore, il film viscoso.

Infatti, il modello di Jacquet non può essere applicato né in condizioni di alto potenziale, molto maggiore di VC, né in caso di forte agitazione. In questo caso, Baumann e Ginzberg considerano la forma del campo elettrico, più intenso sulle punte che non sulle valli. Ancora, la dissoluzione è più veloce sulle punte.

Vediamo più da vicino i processi alla base della dissoluzione del rame:



Il processo ha una soglia data dalla concentrazione critica degli ioni accettori. La velocità di elettrolucidatura è data dalla mobilità degli ioni accettori verso l'anodo. Il gradiente di concentrazione degli accettori è maggiore sui picchi che non sulle valli. L'esistenza di una concentrazione di soglia per il processo spiega intuitivamente la forma della curva di elettrolucidatura: all'inizio il film viscoso non è ancora completamente formato, e la tensione sale con la corrente. Quando il film viscoso si forma, esso aumenta di spessore fino al valore di saturazione VB: in altre parole, la velocità di diffusione degli anioni aumenta con il voltaggio, ma contemporaneamente si formano gli ioni di complessamento del metallo che rendono più spesso e viscoso il film.

I due effetti diffusione ionica / produzione di complessi metallici sono in competizione: al superamento di VB il film viscoso è quasi del tutto formato ma è anche troppo spesso per permettere il passaggio degli anioni. La corrente cala finché la tensione applicata non è tale da permettere il passaggio degli anioni attraverso il film viscoso. Il potenziale anodico aumenta ma la corrente non cambia, e si forma il plateau. La resistività del film è massima a VC, dove c'è il massimo effetto di lucidatura. La corrente aumenta nuovamente con la tensione quando la tensione è sufficientemente alta da permettere agli accettori di tunnelare attraverso lo strato viscoso.

La formazione del plateau è un problema complesso, perché la limitazione del trasferimento di massa apparentemente dipende sia dal metallo sia dall'elettrolita. Uno dei meccanismi proposti spiega la formazione di un plateau che autolimita la corrente con la formazione di uno strato di sali sulla superficie dell'anodo. Quando la solubilità limite del sale viene superata, il sale precipita sulla superficie dell'anodo. Un meccanismo di questo tipo sembra tuttavia inappropriato per le alte velocità di dissoluzione del rame.

Il ruolo dell'elettrolita è stato studiato con l'aggiunta controllata di sali di rame e d'acqua. L'aumento dell'acqua porta una maggiore densità di corrente, mentre un aumento dei sali la decresce. Tuttavia, l'effetto dell'acqua o dei sali non è facilmente attribuibile ad un unico meccanismo: l'acqua agisce sia nella viscosità dell'elettrolita sia nella diffusione degli anioni accettori. Inoltre la dissociazione dell'acido fosforico è maggiore in presenza d'acqua. Se i protoni sono fortemente idratati, è possibile che l'aggiunta di acqua non sia totalmente dedicata a sciogliere i prodotti di dissoluzione metallica.

In aggiunta a ciò i meccanismi di dissoluzione cambiano in presenza di grandi quantità d'acqua: la solubilità dello ione cuprico è molto più bassa nell'acqua che non nell'acido concentrato. La diminuzione della corrente all'aggiunta di sali è solo superficialmente attribuibile a un meccanismo a precipitazione di sali.

Tuttavia, la caduta di corrente può essere spiegata attraverso i cambiamenti delle proprietà di trasporto di corrente dell'elettrolita. Gli ioni cuprici sono probabilmente idratati da cinque-sei molecole d'acqua, quindi l'aumento di sali di rame cambia la

concentrazione dell'acqua, modificando quindi l'elettrolita. Con misure stazionarie V-I su soluzioni modificate il meccanismo di precipitazione di sali diventa indistinguibile da un meccanismo a diffusione di accettori.

Utilizzando la spettroscopia ad impedenza in corrente alternata, Glarum e Marshall hanno fornito prove a favore dei meccanismi basati sugli accettori, dimostrando che le zone viscoso in cui l'acqua viene mancare si comportano come film dotati di spazio di carica.

Basandosi sull'ipotesi degli accettori, Wagner propose il primo modello quantitativo matematico dell'elettrolucidatura, considerando che il profilo di una superficie rugosa fosse assimilabile ad una funzione seno con una lunghezza d'onda **a** e ampiezza **b**.

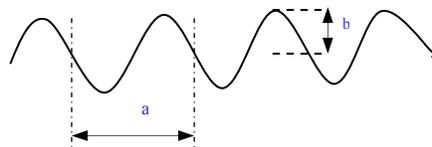


Fig. 7: Rugosità di una superficie schematizzata da una funzione seno con lunghezza d'onda a e ampiezza b

In un processo ideale di elettrolucidatura gli ioni metallici si consumano immediatamente non appena arrivano fuori dal film viscoso di spessore δ . Lo spostamento **u** per una diminuzione da b_0 a **b** al tempo **t** è:

$$u = \frac{\rho a}{2\pi} \ln \frac{b_0}{b} \text{ per } b \ll a, a \ll \delta$$

dove ρ è la densità del metallo. La teoria ha un buon accordo con i dati sperimentali, predicendo una dipendenza lineare tra $\Delta m/A$ vs $\ln b_0/b$.

Non c'è ancora una teoria universalmente valida per la spiegazione del meccanismo di elettrolucidatura, ma molti autori concordano che l'elettrolucidatura sia accompagnata dalla formazione di un film passivo sul metallo. Questo è dovuto alle nuove teorie sulla passivazione dei metalli. Durante il processo il metallo non forma uno stato passivo stabile, a causa della dissoluzione continua indotta dall'elettrolita. Tuttavia, la passivazione sulle valli è più stabile che non sui picchi e questo porta a un livellamento generale della superficie.

Oltre all'osservazione della caratteristica I-V, possono essere separatamente le curve di polarizzazione anodica e catodica contro la densità di corrente. Le curve di polarizzazione anodica hanno una straordinaria somiglianza con le curve di passivazione anodica.

Hoar e Rothwell e altri proposero che l'elettrolucidatura fosse dovuta alla formazione di un film solido di ossido di rame. Utilizzando tecniche di elettroluminescenza è stato osservato un film di ossido sulla superficie. Questo film è

composto da una giunzione semiconduttrice drogata n (Cu_2O) e p (CuO). Questo è un risultato eccezionale, perchè permette di spiegare la peculiare forma della curva di elettrolucidatura con un meccanismo di natura quantistica. Infatti, nessun meccanismo classico se non il tunneling quantistico può spiegare una pendenza negativa sulla caratteristica I-V. Osservando inoltre il grafico I-V di un diodo a effetto tunnel si possono notare molte similarità con la curva di elettrolucidatura, e quindi vi sono notevoli probabilità che la fisica che sta alla base dei due processi sia in realtà la stessa.

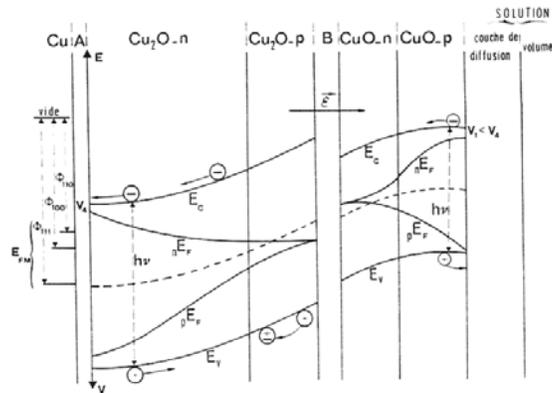


Fig. 8: Schema a bande di un diodo a effetto tunnel

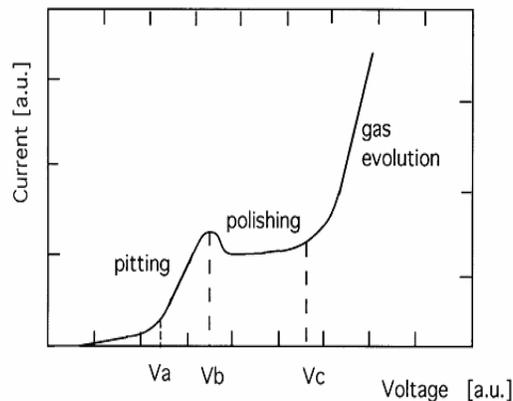


Fig. 9: Curva di elettrolucidatura

La ricerca delle migliori condizioni per l'elettrolucidatura

L'elettrolucidatura si pone come metodo alternativo o complementare ai metodi industriali di lucidatura con abrasivi, sia per applicazioni estetiche come l'occhialeria, sia per implantologia chirurgica, ad esempio impianti dentali o protesi.

Fermo restando che il parametro fondamentale per l'elettrolucidatura è l'utilizzo del plateau, la ricerca delle migliori condizioni di elettrolucidatura considera l'influenza

di altri parametri, come la temperatura, la concentrazione degli acidi, la viscosità e l'agitazione.

La temperatura non modifica l'ampiezza del plateau, ma la densità di corrente, che tende ad aumentare. Anche la concentrazione di acido ha un effetto simile, per cui tende a modificare solo la densità di corrente.

La viscosità è inversamente proporzionale alla densità di corrente, mentre l'agitazione ha l'effetto di assottigliare il film viscoso.

L'agitazione può anche distruggere il film viscoso, rendendo impossibile l'elettrolucidatura. Un'agitazione violenta, per esempio ad ultrasuoni, danneggia il campione. E' un parametro fondamentale soprattutto nella lucidatura di oggetti dalle forme complesse e va calibrato attentamente.

L'elettrolucidatura può essere spezzata in due processi fondamentali: la Macro-EP e Micro-EP, che coinvolgono rispettivamente la macrorugosità e la microrugosità. Tipicamente, la zona di plateau, dove il film cresce, agisce sulla microrugosità, mentre la zona dopo il plateau, ad alte correnti, rimuove il film, agendo sulla macrorugosità. Il metodo proposto da Lee consiste nell'alternare cicli di alta corrente e bassa corrente, in modo da indurre sia lucidatura di microrugosità sia di macrorugosità. Questa tecnica è utile soprattutto se le condizioni di elettrolucidatura sono difficili da trovare, come nel caso di sistemi multifase.

Procedura tecnica

I campioni analizzati e descritti nel database sono stati lucidati utilizzando sia tecniche di elettrochimica, sia per immersione in bagno chimico.

I pezzi sono sempre energicamente sgrassati con ultrasuoni e risciacquati con acqua deionizzata prima di iniziare il processo.

Il sistema di elettrolucidatura utilizzato è composto da un potenziostato che fornisce la tensione all'anodo e al catodo. Il potenziostato è controllato via software, che permette di impostare rampe di potenziale e di registrare in tempo reale la curva caratteristica tensione-corrente. Basandosi sulla curva è possibile stabilire la zona di plateau e posizionarsi su questo. Durante il processo, la curva cambia nel tempo, e ripetendo la rampa di potenziale è possibile individuare il nuovo plateau.

Le configurazioni possibili per i catodi sono di due tipi, e dipendono dal tipo di geometria del campione.

1. A catodo piano
 - 1.1.1. doppio catodo
 - 1.1.2. singolo catodo
2. A catodo cilindrico

I catodi piani e affacciati sono ottimi per campioni planari, mentre per pezzi a simmetria circolare è preferibile il catodo cilindrico.

Il controllo sulla temperatura è fornita da un agitatore magnetico/piastra riscaldante con un feedback di controllo, che garantisce che la temperatura della soluzione sia costante ± 1 °C.

L'agitazione è normalmente fornita dall'ancoretta magnetica, ma in alcuni casi il pezzo stesso è stato messo in rotazione con un agitatore ad asta.

Database di reazioni di lucidatura

Alluminio

Material	N°	P In (g)	V etc (µm/m)	t (m)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolita	V(V)-I(A)	Note successive	Qualità
Alluminio	01	0	0	5	In 25°C 2 min: 40°C	<ul style="list-style-type: none"> • Senza agitazione 		<ul style="list-style-type: none"> • H₃PO₄ 65% • Etanolo 25% • 10%Ac. Acetico 	47 V – 3 A	Piano di lavoro molto esteso in evoluzione continua. A 25° e senza agitazione il punto di lavoro è a V molto alte (47 V e 3A in diminuzione)	No
Alluminio	02	0	0	5	50- 70	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione 		TO BE PATENTED	50 V- 6 A	Superficie speculare con leggero pitting	Si
Alluminio	03	0	0	5	25-55	<ul style="list-style-type: none"> • Senza agitazione • Minimo ben visibile e corrente in diminuzione. • Buona viscosità e poche bolle all'anodo. 		<ul style="list-style-type: none"> • H₃PO₄ conc. : 65% • Etanolo: 25% • Ac. Acetico conc. : 10% 	26 V- 0.86 A	Superficie non speculare. Il processo ha messo in evidenza i segni della lavorazione	No
Alluminio	04	0	0	4	50°- 100°C	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione 		TO BE PATENTED	12.5 V-6 A	Superficie speculare con leggero pitting	Si

Material	N°	P In (g)	V etc (µm/m)	t (m)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitura	V(V)-I(A)	Note successive	Qualità
Alluminio	05	0	0	0	70°C -90°C	<ul style="list-style-type: none"> Senza agitazione Soluzione torbida con bolle 		TO BE PATENTED	Piano di lavoro molto lungo da 7V a 40V.	Superficie non poco speculare con la presenza diffusa di pitting che rende ruvida la superficie.	No
Alluminio	06	0	0	5	70°C	<ul style="list-style-type: none"> Agitazione Bagno termostato 		TO BE PATENTED	16 V-2.4 A	Superficie speculare buona e non si osserva pitting	Si
Alluminio	07	0	0	20	70°C	<ul style="list-style-type: none"> Agitazione Bagno termostato 		TO BE PATENTED	11 V-3.5 A	Superficie molto speculare ma con tracce di pitting specialmente nella zona alta	Si
Alluminio	08	0	0	0	70°C	<ul style="list-style-type: none"> Agitazione Bagno termostato 		<ul style="list-style-type: none"> H₃PO₄ conc. 65% Etanolo: 25% Ac. Acetico conc. : 10% 	Fuori punto di lavoro	Superficie risulta opaca	No
Alluminio	09	0	0	0	70°C	<ul style="list-style-type: none"> Agitazione Bagno termostato 		<ul style="list-style-type: none"> H₃PO₄ conc. : 65% Etanolo: 25% Ac. Acetico conc. : 10% 	Fuori punto di lavoro	Superficie poco speculare con pitting sparso ma molto profondo e marcato	No

Material	N°	P In (g)	V etc (µm/m)	t (m)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitica	V(V)-I(A)	Note successive	Qualità
Alluminio	10	0	0	0	70°C	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione • Bagno • termostato 		<ul style="list-style-type: none"> • H₃PO₄ conc. : 65% • Acetato di etile: 35% 		La superficie risulta poco speculare con tracce di pitting anche se molto fine	No
Alluminio	11	0	0	3	70°C	<ul style="list-style-type: none"> • NO Agitazione • Bagno termostato 		<ul style="list-style-type: none"> • H₃PO₄ conc. : 65% • Acetato di etile: 35% 	6.78 V-0.8 A	La superficie risulta non speculare. Il processo ha creato pitting e messo in risalto la lavorazione	No
Alluminio	12	0	0	4	70°C	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione • Bagno termostato 		TO BE PATENTED	20.4V -7A	La superficie risulta speculare. Non si osservano tracce di pitting.	Si
Alluminio	13	0	0	0	70°C	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione • Bagno termostato 		TO BE PATENTED	10V- 2A	La superficie risulta speculare con tracce di pitting sparso sulla superficie	Si
Alluminio	14	0	0	0	70°C	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione • Bagno termostato 		<ul style="list-style-type: none"> • H₃PO₄ conc. : 90% • Agar Agar: 10% 	Alta corrente, superficie degradata durante il processo.	La superficie risulta corrosa. La bolle si fermano sulla superficie dell'elettrodo causando pitting	No

Material	N°	P In (g)	V etc (µm/m)	t (m)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitica	V(V)-I(A)	Note successive	Qualità
Alluminio	15	0	0	20	70°C	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione • Bagno termostato 		<ul style="list-style-type: none"> • Na₂CO₃ : 15% • Na₂PO₄ :5% • H₂O: 80% 	12V -3.5A	La superficie risulta opaca ma non corrosa	No
Alluminio	16	0	0	5	85°C	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione • Bagno termostato 		<ul style="list-style-type: none"> • H₃PO₄ conc. : 82% • Etile Acetoacetato:18% 	12V - 2.5A	La superficie si degrada durante il processo Superficie opaca	No
Alluminio	17	0	3	9	85°C	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione • Bagno termostato 		<ul style="list-style-type: none"> • H₃PO₄ conc. : 90% • Strip Aid:10% 	<ul style="list-style-type: none"> • A 80°C : 9.89 V- 8.5 A • A 90°C 9.27V 6.5A 	La superficie risulta non lucida, corrosa con evidenti tracce di bolle sulla superficie	No
Alluminio	18	0	0	0	70°C	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione • Bagno termostato 		TO BE PATENTED		La superficie appare speculare ma con molto pitting sulla superficie dovuto allo stazionamento di bolle.	No
Alluminio	19	0	0	10	70°C	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione • Bagno termostato 		TO BE PATENTED	7.5V -3.53A	La superficie è molto speculare e non si osserva pitting o segni di bolle sulla superficie	No

Materiale	N°	P In (g)	V etc (µm/m)	t (m)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitica	V(V)-I(A)	Note successive	Qualità
Alluminio	20	0	0	10	100°C	Agitazione Bagno termostato		TO BE PATENTED	7.4V-3.7A	La superficie risulta speculare pur osservando una micropuntinatura	Si
Alluminio	21	0	0	10	70°C	Agitazione Bagno termostato		TO BE PATENTED	inizio processo 18V - 4A; fine processo ; 9V-2.7A	Superficie molto speculare priva di pitting. Si nota molto bene la zona di maggiore agitazione. Non compaiono macchie scure	Si
Ergal	01	0	0	10	80	Agitazione, catodo cilindrico in inox		TO BE PATENTED	4,41V - 0,938A	Largo plateau; non si lucida bene.	No
Ergal	02	0	0	20	80	Agitazione, catodo cilindrico in inox		TO BE PATENTED	14 V-0,763 A	Corrosione	No
Ergal	03	0	0	0	80	Agitazione , catodo piatto in inox		TO BE PATENTED	4,5V- 1,07 A	Corrosione, superficie scura, grana grossolana	No

Material	N°	P In (g)	V etc (µm/m)	t (m)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitica	V(V)-I(A)	Note successive	Qualità
Anticorodal	04	0	0	0	70	Agitazione , catodo piatto in inox		TO BE PATENTED	<ul style="list-style-type: none"> • 5,79 V-0,775 A 	Superficie lucida, soluzione penetrante	Si
Anticorodal	05	0	0	57	70	Agitazione violenta, catodi doppi piatti inox ravvicinati		TO BE PATENTED	<ul style="list-style-type: none"> • 42 min a 2,81V e 20 A • 1 min a 50A • 14 min a 20 A 	Dopo 45 minuti iniziali si producono scariche. La fase di alta corrente toglie le bave ma deve essere breve per evitare passività	Si

Alpacca

Material	N°	P in (g)	Vel etc (µm/m)	t (m)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettropulitura	V(V)-I(A)	Note successive	Qualità
Alpacca	1			10	25	<ul style="list-style-type: none"> • Senza agitazione • singolo catodo 	TO BE PATENTED	TO BE PATENTED	<ul style="list-style-type: none"> • 2° minimo • 2.8 V - 0.10 A 	Lucido, speculare.	Si
Alpacca	2			10	25	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione, • singolo catodo 	TO BE PATENTED	TO BE PATENTED	<ul style="list-style-type: none"> • 2° minimo • 2.7 V - 0.138 A 	Lucido, ma peggiore del precedente	Si

Argento

Material	N°	Peso In (g)	Vel etc ($\mu\text{m}/\text{min}$)	t (min)	T($^{\circ}\text{C}$)	Note	Bagno chimico	Elettropulitura	V (V) – I (A)	Note successive	Qualità
Argento	01	0	0	10	40	Catodo di titanio platinato		<ul style="list-style-type: none"> • 200 ml H₂O • 380 ml • Etanolo • 400 ml H₃PO₄ 	5V	Lucido	si
Argento	02	0	0	10	25	Non stoccare la soluzione, attenzione alla miscelazione		<ul style="list-style-type: none"> • 800 ml di H₂O • 100 ml di sol. satura di CrO₃ • 45 ml di HCl 		Lucido, lieve pitting	si

Cobalto

Material	N°	Peso In (g)	Vel etc (µm/min)	T (min)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettropulitura	V (V) - I (A)	Note successive	Qualità
Cobalto	1	0	0	10 sec	25	<ul style="list-style-type: none"> Catodo acciaio inox 		<ul style="list-style-type: none"> 600 ml di etanolo 330 ml di HNO₃ 	50	Molto veloce, possibilità di pitting	No
Cobalto	2	0	0	5	25	<ul style="list-style-type: none"> Catodo acciaio inox agitazione 		<ul style="list-style-type: none"> H₃PO₄ 	1,5 V	Lucido	Si
Cobalto	3	0	0	10	25	<ul style="list-style-type: none"> Catodo acciaio inox 		<ul style="list-style-type: none"> 600 ml H₂O 400 ml H₃PO₄ 	2V	Deposito scuro	no
Cobalto	4	0	0	5	25	<ul style="list-style-type: none"> Catodo acciaio inox 		<ul style="list-style-type: none"> 900 ml H₂O 100 ml H₂SO₄ 	40 V	Lucido	si
Cobalto	6	0	0	10	25	<ul style="list-style-type: none"> no agitazione 	<ul style="list-style-type: none"> 40 ml acido lattico 30 ml HCl 5 ml HNO₃ 			Non lucido, striature	no
Cobalto	7	0	0	5	25	<ul style="list-style-type: none"> agitazione 	<ul style="list-style-type: none"> 100 ml H₂O 5 g CrO₃ 			Lucido	si

Cromo

Materiali	N°	Peso In (g)	Vel etc (µm/min)	T (min)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitatura	V (V) - I (A)	Note successive	Qualità
Cromo	1	0	0 10	10	70	<ul style="list-style-type: none"> • Catodo di acciaio inox • agitazione 		<ul style="list-style-type: none"> • 210 ml H₂O • 640 ml HPO₃ • 150 ml H₂SO₄ 	18 V - 1,5 A	Lucido	si
Cromo	2	0	0 10	10	25	<ul style="list-style-type: none"> • Catodo di acciaio inox • agitazione 		<ul style="list-style-type: none"> • 1000 ml H₂O • 100 g KOH 	6V	Pitting	no
Cromo	3	0	0 1	1	25	<ul style="list-style-type: none"> • Catodo di acciaio inox • agitazione 		<ul style="list-style-type: none"> • 875 ml di etanolo • 125 ml H₂SO₄ 	10	Lucido	si
Cromo	4	0	0 10 sec	10	25	<ul style="list-style-type: none"> • Catodo di acciaio inox • agitazione 		<ul style="list-style-type: none"> • 940 ml metanolo • 50 ml H₂SO₄ • 10 ml HF 	50V	Pitting	no
Cromo	5	0	0 2	2	25	<ul style="list-style-type: none"> • Catodo di acciaio inox • agitazione 		<ul style="list-style-type: none"> • 100 ml H₂O • 400 ml acido acetico glaciale • 100 ml CrO₃ 	50 V	Non lucido	no

Ferro

Materiale	N°	Peso In (g)	Vel etc ($\mu\text{m}/\text{min}$)	T (min)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettropulitura	V (V) -I (A)	Note successive	Qualità
Ferro	1	0	0	10	25	<ul style="list-style-type: none"> • catodo in ferro • immersione sotto tensione 		<ul style="list-style-type: none"> • H_3PO_4 	1V	Lucido	si
Ferro	2	0	0	1	25	<ul style="list-style-type: none"> • Catodo in acciaio inox. • Agitazione. • Non conservare la soluzione 		<ul style="list-style-type: none"> • 200 ml etanolo • 100 ml HNO_3 	50V	Lucido	si
Ferro	3	0	0	10	25	<ul style="list-style-type: none"> • Catodo in nichel • agitazione 		<ul style="list-style-type: none"> • 400 ml H_2O • 620 ml CrO_3 	5V	Pitting	no

Ghisa

Materiale	N°	Peso in (g)	Vel et c (mg/min)	t (min)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolituro	V (V) – I (A)	Note successive	Qualità
Ghisa	1	10,2024	17,89	10	29	<ul style="list-style-type: none"> E' ancora visibile la lavorazione al tornio 	<ul style="list-style-type: none"> 90 ml Etanolo 10 ml HNO₃ 			POST-TRATTAMENTO	No
Ghisa	2	17,5883	0,94	10	28	<ul style="list-style-type: none"> Deposito di rame sul pezzo Decappaggio del Cu con 50% di HNO₃ 	<ul style="list-style-type: none"> 25 ml CuSO₄ 50 ml HCl 	25% di H ₂ SO ₄		2 passaggi al mixer con acciaio e polveri POST-TRATTAMENTO	No
Ghisa	3	19,2542	11,93	10	40	<ul style="list-style-type: none"> Poco visibile la lavorazione al tornio 	<ul style="list-style-type: none"> 12 ml di HF 12ml di H₂SO₄ 76 ml di acqua 	Sol. 1) <ul style="list-style-type: none"> 65 ml di H₃PO₄ Sol. 2) <ul style="list-style-type: none"> 25 ml d H₂SO₄ 20 ml H₂O 2) 70% di H₂SO₄ 		1)Zona esposta con zone biancastre 2)Strato scuro POST-TRATTAMENTO	No
Ghisa	4	17,9765	15,97	10	1) 60 2) 20	<ul style="list-style-type: none"> Abbastanza corrosivo, con zone di diversa colorazione 	Sol. 1) <ul style="list-style-type: none"> 10% H₂SO₄ 10% HCl Sol. 2) <ul style="list-style-type: none"> 20% HNO₃ 30% HCl 			POST-TRATTAMENTO	No

Materiale	N°	Peso in (g)	Vel et c (mg/min)	t (min)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolituro	V (V) – I (A)	Note successive	Qualità
Ghisa	5	18,1795	0,45	10	20	<ul style="list-style-type: none"> • Attacco blando • Visibile la lavorazione al tornio 	<ul style="list-style-type: none"> • 15 g/l di HF • 30 g/l di HCl 			POST-TRATTAMENTO	No
Ghisa	6	8,1343	0,78	10	22	Erosione molto bassa, riutilizzato	<ul style="list-style-type: none"> • 20 ml di HCl (37%)+ • 100 ml di Etanolo (95%) 			POST-TRATTAMENTO	No
Ghisa	6	8,1265	4,98	10	34	Granuloso	<ul style="list-style-type: none"> • 20 ml di HCl (37%) • 100 ml di Etanolo (95%) • 5 ml di H₂O₂ (30 vol) 			POST-TRATTAMENTO	No
Ghisa	7	8,0104	4,34	10	50	Corrosione	<ul style="list-style-type: none"> • 20 ml di HCl • 100 ml di Etanolo 			POST-TRATTAMENTO	No
Ghisa	8	3,5315	1,39	10	25	Nessuna formazione di gas corrosione uniforme	TO BE PATENTED			POST-TRATTAMENTO	Si

Materiale	N°	Peso in (g)	Vel et c (mg/min)	t (min)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolituro	V (V) – I (A)	Note successive	Qualità
Ghisa	9	7,4449	120,4 9	10	25	Molto corrosivo, perdita di polvere nera, due pulizie in ultrasuoni con acqua e etanolo	<ul style="list-style-type: none"> • 50 % di acqua • 25% di HF • 25% di HNO₃ 			POST-TRATTAMENTO	No
Ghisa	10	2,9893	6,85	10	25	Aspetto chiaro, patina scura sparita con ultrasuoni	TO BE PATENTED			POST-TRATTAMENTO	Si

Acciaio

Material	N°	P In (g)	Vel etc (mg/min)	t (min)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolituro	V (V) - I (A)	Note successive	Qualità
Acciaio 304	01			10	65	Catodo piatto agitazione		TO BE PATENTED	2,03 V - 0,138A	Ottima lucidatura sul retro e bordi	Si
Acciaio 316	02			10	20	Catodo piatto agitazione		TO BE PATENTED		Solo satinatura, riutilizzato	No
Acciaio 316	03	0		10	90	Catodo piatto agitazione		TO BE PATENTED	6,09V - 4,94A	Lucido, pitting, macchie di acido sulla superficie	No
Acciaio 316	04	0		10	20	Catodo piatto agitazione		TO BE PATENTED		Satinatura	Si
Acciaio 316	05	0		10	50	Catodo piatto agitazione		• H ₃ PO ₄ al 70%	4,83V - 4,86A	Buona lucidatura, pitting	No
Cinturino (316) n°1	01	0		10	90	Catodo piatto, agitazione		TO BE PATENTED		Attenzione al contatto elettrico! Lucido, con puntatura, peggiore sul retro	Si
Cinturino (316) n°2	02	0		20	90	Catodo circolare, agitazione		TO BE PATENTED		Lucido, con qualche puntatura	Si
Cinturino (316) n°3	03	0		0	90	Catodo circolare, agitazione;		TO BE PATENTED		Lucido, con qualche puntatura, qualità inferiore al 2	No

Materiale	N°	P In (g)	Vel etc (mg/min)	t (min)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitatura	V (V) - I (A)	Note successive	Qualità
Cinturino (316)	04	0		10	25	<ul style="list-style-type: none"> • Test di satinatura • agitazione 		<ul style="list-style-type: none"> • 65 ml di H₃PO₄ • 25 ml di H₂SO₄ • 20 ml di acqua 		Non satinato	No
Inox T91	0	0		10	90	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione con ancoretta piccola • catodi doppi in inox 		<ul style="list-style-type: none"> • 34% H₂SO₄ • 40% H₃PO₄ • 26% H₂O • 30 g/l NaCl 	2° minimo a 3,41V	Il pezzo si lucida, ma rimangono macchie gialle e aloni biancastri	No
Inox T91	1	0		10	90	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione con ancoretta piccola • catodi doppi in inox 		<ul style="list-style-type: none"> • 34% H₂SO₄ • 40% H₃PO₄ • 26% H₂O • 30 g/l NaCl 	1° minimo a 2,04V	Pezzo ossidato	No
Inox T91	2	0		10	90	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione con ancoretta lunga • catodi doppi in inox 		<ul style="list-style-type: none"> • 47% H₂SO₄ + 53% H₃PO₄ 	2° minimo a 3,69V	Il pezzo si lucida, con zone residue a grana più grossa sul lato più lontano dal catodo.	No
Inox T91	3	0		10	70	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione con ancoretta lunga • catodi doppi in inox 		<ul style="list-style-type: none"> • 47% H₂SO₄ + 53% H₃PO₄ 	2° minimo a 3,69V	Lucido, ma con una grana residua, uno strato biancastro in superficie e zone gialle sui bordi.	No
Inox T91	4	0		10 +1 0	70	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione con ancoretta piccola • catodi doppi in inox 		TO BE PATENTED	2° minimo a 3,68 V	Il pezzo ha una finitura satinata	Si

Materiale	N°	P In (g)	Vel etc (mg/min)	t (min)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitatura	V (V) - I (A)	Note successive	Qualità
Inox T91	5	0		10	90	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione con ancoretta lunga, • catodi doppi in inox 		TO BE PATENTED	2° minimo a 4.4V	Trattiamo lo stesso campione a 90°C, ma restano ombre biancastre su entrambi i lati	No
Inox T91	6	0		10	90	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione con ancoretta lunga, • catodi doppi in inox 		47% H2SO4 + 53% H3PO4	2° minimo a 4,2V	Il pezzo è lucido ma ha vistose macchie biancastre	No
Inox T91	7	0		10	90	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione, • catodo circolare 		53% H3PO4 +47% H2SO4	2° minimo a 4,4V	Lucido, si vedono ancora ombre bianche sulla superficie	No
Inox T91	8	0		10	90-100	<ul style="list-style-type: none"> • agitazione, • catodo circolare 		H3PO4 65 ml + H2SO4 25 ml +H2O 20 ml	2° minimo a 3,6 V	Il campione ha molte macchie bianche e azzurre, peggiore di quello precedente.	No
Inox T91	9	0		10 +5	90	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione, • catodo circolare 		60% H2SO4 + 40% H3PO4	2° minimo a 3,02 V	Il campione non si lucida, ma mostra segni di corrosione e pitting	No
Inox T91	9	0		10	50	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione, • catodo circolare 		65% H3PO4 + 65% Butanolo	1° minimo a 2,52 V	Il pezzo ha una finitura satinata	Si
Inox T91	9	0		10	80	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione, • catodo circolare 		TO BE PATENTED	1° minimo a 2,49 V	Finitura lucida, con ombre biancastre	Si
Inox T91	9	0		10	80	<ul style="list-style-type: none"> • SENZA AGITAZIONE • catodo circolare 		65% H3PO4 + 65% Butanolo	1° minimo a 2,33 V	Senza agitazione, il pezzo si corrode, formando una grana grossolana	No

Material	N°	P In (g)	Vel etc (mg/min)	t (min)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitica	V (V) - I (A)	Note successive	Qualità
Inox T91	4d	0	2.205	10	90	<ul style="list-style-type: none"> • agitazione con ancoretta lunga • catodi doppi in inox 		47% H2SO4 + 53% H3PO4	2° minimo	L'erosione media calcolata è di 22.05 µm	Si
Inox T91	12 bis	0	1.385	10	90	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione con ancoretta lunga , • catodi doppi in inox 		TO BE PATENTED	2° minimo	L'erosione media è 13.85 µm	Si
Inox Fe/Cr		0					<ul style="list-style-type: none"> • 25% HF • 25% HNO3 • 50% H3PO4 			La reazione non avviene. Il materiale sembra inerte alla soluzione	No
Inox T91	10	0		10	70	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione con ancoretta lunga • catodi doppi in inox 		<ul style="list-style-type: none"> • 47% H2SO4 • 53% H3PO4 	2° minimo a 4.4V	Lucido, ma restano alcune ombre superficiali bianche e zone gialle scure	No
Inox T91	11	0	3.059	10	90	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione con ancoretta lunga • catodi doppi in inox 		TO BE PATENTED	2° minimo	Erosione media è 30.59 µm	Si
Inox T91	12	0		5	90	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione con ancoretta lunga • catodi doppi in inox 		<ul style="list-style-type: none"> • 47% H2SO4 • 53% H3PO4 	2° minimo	La lucidatura dopo 5 minuti non è buona, si notano zone satinata frammiste a zone lucide	No

Material	N°	P In (g)	Vel etc (mg/min)	t (min)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitica	V (V) - I (A)	Note successive	Qualità
Inox T91	4a	0		5	90	<ul style="list-style-type: none"> agitazione con ancoretta lunga catodi doppi in inox 		TO BE PATENTED	2° minimo	Lo strato di resist è stato cotto a temperatura troppo alta, e non si stacca	Si
Inox T91	4b	0		5	90	<ul style="list-style-type: none"> Agitazione con ancoretta lunga catodi doppi in inox 		TO BE PATENTED	2° minimo	I risultati del profilometro sono molto variabili. La superficie originaria non è liscia	Si
Inox T91	4c	0	2.199	10	90	<ul style="list-style-type: none"> Agitazione con ancoretta lunga catodi doppi in inox 		TO BE PATENTED	2° minimo	erosione media di 21.99 µm	Si

Molibdeno

Materiale	N°	Peso In (g)	Vel etc ($\mu\text{m}/\text{min}$)	t (m)	T($^{\circ}\text{C}$)	Note	Bagno chimico	Elettrolitatura	V (V) – I (A)	Note successive	Qualità
Molibdeno	1	0	0	10	25	<ul style="list-style-type: none"> • Catodo di acciaio inox, • agitazione 		<ul style="list-style-type: none"> • 875 ml di etanolo • 125 ml H_2SO_4 	10	Lucido	si
Molibdeno	2	0	0	10	25	<ul style="list-style-type: none"> • Catodo di acciaio inox • agitazione 		<ul style="list-style-type: none"> • 100 ml H_2O • 400 ml acido acetico glaciale • 100 ml CrO_3 	50 V	Non lucido	no

Monel

Materiale	N°	P in (g)	Vel etc (µm/m)	t (m)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitica	V(V)-I(A)	Note successive	Qualità
Monel	1			10	25	<ul style="list-style-type: none"> Catodo inox, senza agitazione 	TO BE PATENTED	TO BE PATENTED	2° minimo 2.04 V- 0.1 A	Curva stabile, reazione lenta. Il pezzo è rosato a causa del rame che si rideposita sulla superficie dopo l'interruzione della tensione applicata	No
Monel	2			10	25	<ul style="list-style-type: none"> Catodo inox, agitazione 	TO BE PATENTED	TO BE PATENTED	2° minimo 2.07 V-0.13 A	Estrazione sotto tensione e lavaggio con etanolo: pezzo lucido, speculare	Si
Monel				10	40	<ul style="list-style-type: none"> Catodo inox agitazione 	TO BE PATENTED	TO BE PATENTED	Fuori plateau 3V	Estrazione sotto tensione, risciacquo con acqua. Buon risultato, ma con pitting	No
Monel				10	40	<ul style="list-style-type: none"> Catodo inox, senza agitazione 	TO BE PATENTED	TO BE PATENTED	Fuori plateau 3V	Estrazione sotto tensione, risciacquo con acqua. Lucido con lievi striature.	Si

Nichel

Material	N°	P In (g)	Vel etc (µm/m)	t (m)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolita	V (V) - I (A)	Note successive	Qualità
Nichel	2	0	0	5	25	<ul style="list-style-type: none"> • Catodo di nichel • immersione sotto tensione 		<ul style="list-style-type: none"> • 400 ml H₂O • 600 ml H₂SO₄ 	3V	Lucido	si
Nichel	3	0	0	30 sec	25	<ul style="list-style-type: none"> • Catodo di nichel, • immersione sotto tensione 		<ul style="list-style-type: none"> • 660 ml etanolo • 330 ml HNO₃ 	50V	scuro, non lucidato	no
Nichel	4	0	0	1	90	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione 	<ul style="list-style-type: none"> • 30 ml HNO₃ • 10 ml H₂SO₄ • 10 ml H₃PO₄ • 50 ml Ac. Acetico glaciale 			Lucido, lieve pitting	si

Niobio

Materiali	N°	Peso in (g)	Vel etc (µm/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolita	V(V) - I(A)	Note successive	Qualità
Niobio	1				25	Ac.Acetico non funziona come ossidante.	<ul style="list-style-type: none"> • 33,3% HF • 33,3% H₃PO₄ • 33,3% Ac.Acetico 			La reazione non avviene	No
Niobio	2				25	Ac.Ossalico non funziona come ossidante.	<ul style="list-style-type: none"> • 33,3% HF • 33,3% H₃PO₄ • 33,3% Ac.Ossalico 			La reazione non avviene	No
Niobio	3				25	Ac.Ascorbico non funziona come ossidante.	<ul style="list-style-type: none"> • 33,3% HF • 33,3% H₃PO₄ • 33,3% Ac. Ascorbico 			La reazione non avviene	No
Niobio	4				25	Dopo 2.5 ore non si nota una significativa variazione di peso o una azione sulla superficie	<ul style="list-style-type: none"> • 50%HF • 50% Ac. Ascorbico 				No

Material	N°	Peso in (g)	Vel etc (µm/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolituro	V(V) - I(A)	Note successive	Qualità
Niobio	5		0.3		25	Durante la reazione non si nota produzione di gas o cambiamento di colore o segno di dissoluzione del metallo	<ul style="list-style-type: none"> • 50% NH₄F • 50% HNO₃ • ([F⁻]=2M) 			Dopo 120min di processo la superficie appariva molto corrosa.	No
Niobio	6				25	Reazione troppo lenta per una valutazione	<ul style="list-style-type: none"> • 33,3% NH₄F • 33,3% HNO₃ • 33,3% H₃PO₄ Sol NH ₄ F =30g/l				No
Niobio	7		0.9		25	La reazione avviene con leggera produzione di gas. La superficie appare lucida e uniforme con una leggera puntinatura	TO BE PATENTED			Sono stati aggiunti 74g con 120cc di acqua pari a 1 moli di F ⁻ . Non è stata usata la stessa concentrazione di F ⁻ (2M) perché la quantità di sale da aggiungere era tale da non essere solubile in acqua.	Si
Niobio	8				25	Il campione ha subito comunque una lucidatura della superficie	TO BE PATENTED				Si

Materiali	N°	Peso in (g)	Vel etc (µm/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolituro	V(V) - I(A)	Note successive	Qualità
Niobio	9				25	La reazione non avviene o è troppo lenta per essere valutata	<ul style="list-style-type: none"> • 50% NH₄F • 50% H₂O₂ [NH ₄ F =30g/l]				No
Niobio	10				25	La concentrazione di F- è stata portata a 1M.	<ul style="list-style-type: none"> • 50% NH₄F • 50% H₂O₂ [F=1M]			Non si osserva reazione di corrosione sulla superficie	No
Niobio	11				70	Reazione molto lenta	<ul style="list-style-type: none"> • 50% NH₄F • 50% H₂O₂ 			Si nota una sensibile variazione di peso sul campione	No
Niobio	12				25		<ul style="list-style-type: none"> • NH₄F • 1HCl [NH ₄ F =30g/l]			La reazione non avviene	No
Niobio	13				25	Reazione troppo lenta per una valutazione.	<ul style="list-style-type: none"> • NH₄F • HCl • H₂O₂ • H₃PO₄ [NH ₄ F =30g/l]			La superficie sembra lucidarsi.	No

Materiali	N°	Peso in (g)	Vel etc (µm/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitica	V(V) - I(A)	Note successive	Qualità
Niobio	14				25	Reazione ancora lenta .	TO BE PATENTED			La superficie sembrerebbe lucidarsi	Si
Niobio	15		0.03		25	Anche con una concentrazione di F- pari a 1M, la reazione è estremamente lenta .	<ul style="list-style-type: none"> • 20% NH₄F • 20% HCl • 40% H₂O₂ • 10% H₃PO₄ [F-=1M]			Si nota una leggera puntinatura sulla superficie	No
Niobio	16				25	La reazione non avviene	<ul style="list-style-type: none"> • NH₄F • HCl • H₃PO₄ [NH ₄ F -=30g/l]				No
Niobio	17				25	Non avviene reazione	<ul style="list-style-type: none"> • HCl 				No
Niobio	18				25	Non avviene reazione. HCl non agisce da complessate e non porta l'ossido in soluzione.	<ul style="list-style-type: none"> • 50% HCl • 50% HNO₃ 				No

Material	N°	Peso in (g)	Vel etc (µm/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitica	V(V) - I(A)	Note successive	Qualità
Niobio	19				25	HCl non agisce da ossidante verso il niobio.	<ul style="list-style-type: none"> • 50% HCl • 50% HF 			Non avviene reazione.	no
Niobio	20				25	PbO ₂ non agisce da ossidante verso il niobio.	<ul style="list-style-type: none"> • NH₄F • HCl • 1 PbO₂ [NH ₄ F =30g/l]			Non avviene reazione.	No
Niobio	21				25	Formazione di ossido colorato che termina il processo		<ul style="list-style-type: none"> • H₃PO₄ • Butil Acetato 		Non si ha processo di elettrolucidatura	No
Niobio	22				25	Il processo termina per formazione di ossido passivante		<ul style="list-style-type: none"> • H₂SO₄ • NaCl 		Non avviene nessuna reazione tranne la formazione iniziale di idrogeno sul catodo.	No
Niobio	23				25			<ul style="list-style-type: none"> • Ac.Ascorbico • +NH₄F • H₃PO₄ 		Si ha anodizzazione della superficie	No

Material	N°	Peso in (g)	Vel etc (µm/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolituro	V(V) - I(A)	Note successive	Qualità
Niobio	24							<ul style="list-style-type: none"> • Ac.Ascorbico • NH₄F • H₃PO₄ • NaF 		Nessuna reazione	No
Niobio	25					La curva I-V si distingue in una zona con le oscillazioni dovute al Ac.OX. e un Plateau a tensione leggermente + alta.		TO BE PATENTED		Su questo punto si ottiene una superficie un poco lucida ma uniforme	Si
Niobio	26							<ul style="list-style-type: none"> • 30g/l Ac.Ossalico • 30%HF 		Si hanno risultati simili alla prova 25, corrosione sui bordi di grano del metallo	No
Niobio	27							<ul style="list-style-type: none"> • 30g/l Ac.Ossalico • 30% HF • 10g/l H₃BO₃ 		Curva e risultati simili alla prova N.25, con superficie meno lucida.	No
Niobio	28							<ul style="list-style-type: none"> • 65% H₃PO₄ • 15% H₂SO₄ • 20% H₂O 		La reazione si ferma per anodizzazione della superficie	No

Materiali	N°	Peso in (g)	Vel etc (µm/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitica	V(V) - I(A)	Note successive	Qualità
Niobio	29		5 µm/min					TO BE PATENTED		Posizionandosi sul secondo punto della curva si ottiene una superficie molto lucida.	Si
Niobio	30					Sono stati aggiunti 74g con 120cc di acqua pari a 1 moli di F-. Non è stata usata la stessa concentrazione di F- (2M) perché la quantità di sale da aggiungere non è solubile in acqua.		<ul style="list-style-type: none"> • 30g/l Ac.Ossalico • 30% NH₄F • 10g/l H₃BO₃ • 15% H₃PO₄ [F-]=1M		Inizialmente si nota la una curva con due minimi ed un lungo plateau. La reazione si ferma quasi subito, per la passivazione della superficie anodica.	No
Niobio	31							<ul style="list-style-type: none"> • 30g/l Ac.Ossalico • 30% HCl • 30g/l NH₄F 		Si forma scaglie di ossido sulla superficie.	no
Niobio	32							<ul style="list-style-type: none"> • 40g/l HBF₄ • 30% H₃PO₄ • 30% H₂O 		Non funziona (probabilmente non c'è HF libero neppure dopo il riscaldamento della soluzione).	No

Material	N°	Peso in (g)	Vel etc (µm/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitica	V(V) - I(A)	Note successive	Qualità
Niobio	33					La soluzione funziona molto bene. Durante il processo la corrente e la tensione si mantengono basse e stabili. Non si ha una forte produzione di idrogeno.		TO BE PATENTED		La superficie risulta lucida e speculare e priva di pitting. Inoltre la soluzione è molto “penetrante” agendo anche dalla parte opposta del catodo senza una visibile caduta di tensione	Si
Niobio	34							<ul style="list-style-type: none"> • 90% H₃PO₄ • 10% HF 		La soluzione non funziona	No
Niobio	35					Alte correnti e potenziali. Plateau inesistente. Solo una piccola zona con oscillazioni.		<ul style="list-style-type: none"> • 30% H₃PO₄ • 30% HF • 40% H₂O 		La superficie risulta corrosa.	No
Niobio	36							TO BE PATENTED		Correnti e tensioni più basse. E’ comparso il plateau, e le condizioni di lavoro sono stabili	Si

Material	N°	Peso in (g)	Vel etc (µm/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitica	V(V) - I(A)	Note successive	Qualità
Niobio	37							TO BE PATENTED		Le condizioni non sono variate dalla prova precedente.	Si
Niobio	38				25			<ul style="list-style-type: none"> • 30% HF • 40% H₂O • 30% Ac.Lattico 		La soluzione non funziona	No

Oro

Materiale	N°	P in (g)	Vel etc (mg/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitatura	V(V)-I(A)	Note successive	Qualità
Lamina	1	3,1572	118,35	10 + 4	25	<ul style="list-style-type: none"> senza agitazione catodo di Ti platinato 		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		corroso con pitting, ma non lucidato	No
Lamina 1	2	1,5002	500,06	3	25	<ul style="list-style-type: none"> senza agitazione catodo di TI platinato 		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		poca corrosione a punti	No
Lamina 1	3	0 0		3	25	<ul style="list-style-type: none"> senza agitazione catodo di TI platinato 		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		corrosione scarsissima	No
Lamina 1	4	0 0		3	25	<ul style="list-style-type: none"> senza agitazione catodo di TI platinato 		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		poca corrosione a punti	No
Lamina 1	5	0 0		10	25	<ul style="list-style-type: none"> senza agitazione catodo di TI platinato 		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		corrosione a puntini	No

Materiale	N°	P in (g)	Vel etc (mg/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitatura	V(V)-I(A)	Note successive	Qualità
Lamina 1	6	0 0		10	25	<ul style="list-style-type: none"> • senza agitazione • catodo di TI platinato 		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		corrosione	No
Lamina 1	7	0 0		10	25	<ul style="list-style-type: none"> • senza agitazione 		TO BE PATENTED		satatura	Si (satura)
Lamina 1	8	0 0		10 + 10	50	<ul style="list-style-type: none"> • catodo inox 		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		ri-deposito di colore rossiccio	No
Lamina 1	9	0 0		10	25	<ul style="list-style-type: none"> • senza agitazione • catodo inox 		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		corrosione uniforme	No
Lamina 1	10	0 0		10	50	<ul style="list-style-type: none"> • senza agitazione 		TO BE PATENTED		lucido	Si
Lamina 1	11	0 0		10	60	<ul style="list-style-type: none"> • senza agitazione 		TO BE PATENTED		parzialmente lucido	Si

Materiale	N°	P in (g)	Vel etc (mg/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolituro	V(V)-I(A)	Note successive	Qualità
Lamina 1 Au 24k	12	0 0		10	50	• senza agitazione		TO BE PATENTED		lucido	Si
Lamina 1 Au 24k	13	0 0		3	25	• senza agitazione • catodo inox		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		la soluzione conduce poco	No
Lamina 2 Au 24k	14	0 0		10	50	• senza agitazione		TO BE PATENTED		speculare	Si
Cassa Au 18k	15	17,906 0		10	50	• senza agitazione • catodo doppio inox • collegamento con inonel		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		copertura biancastra sul pezzo	No
Cassa Au 18k	16	0 0		5	25	• senza agitazione • catodo doppio inox • collegamento con filo di rame		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		lucidatura del rame	No
Cassa Au 18k	17	0 0		10	25	• senza agitazione • catodo doppio inox		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		immersione di mezza fibbia, patina biancastra	No

Materiale	N°	P in (g)	Vel etc (mg/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolituro	V(V)-I(A)	Note successive	Qualità
Cassa Au 18k	18	0 0		5	50	<ul style="list-style-type: none"> senza agitazione catodo doppio inox 		TO BE PATENTED		Il pezzo è più chiaro, conserva in parte la lavorazione meccanica	No
Cassa Au 18k	19	0 0		5	50	<ul style="list-style-type: none"> senza agitazione catodo doppio inox collegamento con niobio 		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		nessuna lucidatura, risciacquo con etanolo	No
Cassa Au 18k	20	0 0		5	50	<ul style="list-style-type: none"> senza agitazione catodo doppio inox collegamento con niobio 		TO BE PATENTED		Il pezzo si lucida in parte risciacquo con etanolo	No
Cassa Au 18k	21	0 0		15	70	<ul style="list-style-type: none"> agitazione catodo doppio inox collegamento con niobio 		TO BE PATENTED		Lucido, con qualche macchia risciacquo con etanolo	Si
Cassa Au 18k	22	17,5635	11,36	10	70	<ul style="list-style-type: none"> agitazione collegamento con niobio 		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		patina biancastra	No
Cassa Au 18k	23	17,4271	1340,54	5	25	<ul style="list-style-type: none"> agitazione 		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		Formazione di una patina scura e pitting	No

Materiale	N°	P in (g)	Vel etc (mg/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitatura	V(V)-I(A)	Note successive	Qualità
Cassa Au 18k	24	0 0		3	70	• agitazione		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		La soluzione non si discioglie	No
Cassa Au 18k	25	0 0		15	70	• agitazione		TO BE PATENTED		Il pezzo è buono, lucido, con pitting dovuto ai precedenti processi.	Si
Cassa Au 18k	26	0 0		15	70	• agitazione		RICHIESTA DI RISERVATEZZA		Formazione accentuata di pitting.	No
Cassa Au 18k	27	0		21 ore	25	• agitazione				Lucidatura meccanica con "Turbula"	Si
Cassa Au 18k	28	0 0		20+20	70	• agitazione		TO BE PATENTED	1° minimo	Il pezzo è lucido e speculare, ma rimane in parte la grana dei pitting precedenti	Si
Pendente a cuore Au14k	29	0 0		10	70	• agitazione		TO BE PATENTED	2° minimo	Il pezzo è incrostato di una patina scura, e punteggiata di grigio	No

Material	N°	P in (g)	Vel etc (mg/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettropulitura	V(V)-I(A)	Note successive	Qualità
Catena	30	11,6547	0	3+7+25+8	70	• agitazione		TO BE PATENTED	2° minimo	Molto buono: si utilizza il secondo minimo, ma è l'unico caso in cui viene bene.	Si
Montatura Au-Ti	31	0	0	15+15+10 +20+5+10 +10+10	70	• agitazione		TO BE PATENTED	2° minimo	Imperfezioni visibili al SEM come incrostazioni.	no
Clip per penna	32	0	0	15+10+10	70	• agitazione ancoretta piccola		TO BE PATENTED	1° minimo.	Pezzo grezzo di fusione. Il risultato è buono lucido con imperfezioni dovute al substrato.	Si
Anello	33	0	0	20+10+5	70	• agitazione ancoretta lunga		TO BE PATENTED	1° minimo.	Pezzo grezzo di fusione. Il risultato è buono lucido con imperfezioni dovute al substrato.	Si

Material	N°	P in (g)	Vel etc (mg/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolituro	V(V)-I(A)	Note successive	Qualità
Cassa n°2	34	0 0		<ul style="list-style-type: none"> • 30 min con 2° minimo • 15 min con 1° minimo • 15 min con 1° min 	70	<ul style="list-style-type: none"> • agitazione 		TO BE PATENTED	1°minimo.	Molto buono.	si

Rame

Material	N°	Peso In (g)	Vel etc (µm/min)	t (min)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolita	V (V) – I (A)	Note successive	Qualità
Rame	1	0	0	10	25	<ul style="list-style-type: none"> Catodo di rame, immersione sotto tensione 		<ul style="list-style-type: none"> 700 ml H₃PO₄ 300 ml H₂O 	1,5V	Lucido, risciacquo in sol. di decappaggio	si
Rame	2	0	0	15	25	<ul style="list-style-type: none"> Catodo di rame immersione sotto tensione 		<ul style="list-style-type: none"> 300 ml H₂O 670 ml H₃PO₄ 100 ml H₂SO₄ 	2V	Lucido	si
Rame	3	0	0	10 sec	25	<ul style="list-style-type: none"> Catodo di alluminio, immersione sotto tensione 		<ul style="list-style-type: none"> 100 ml H₂O 1g CrO₃ 	15V	scuro, non lucidato	no
Rame	4	0	0	1	25	<ul style="list-style-type: none"> Catodo di inox, immersione sotto tensione 		<ul style="list-style-type: none"> 594 ml etanolo 406 ml H₃PO₄ 	10V	Lucido, lieve pitting	si

Materiale	N°	Peso In (g)	Vel etc (µm/min)	t (min)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitatura	V (V) – I (A)	Note successive	Qualità
Rame	5	0	0 2	25		• Catodo di inox		<ul style="list-style-type: none"> • 500 ml H₂O • 100 ml glicole di etilene • 400 ml H₃PO₄ • 20 g acetato di ammonio 	12V	non lucido	no
Rame	6	0	0 3	80		• agitazione	<ul style="list-style-type: none"> • 25 ml H₃PO₄ • 25 ml di Ac. Acetico glaciale • 25 ml HNO₃ 			lucido	si
Rame		0	0 1	80		• agitazione	<ul style="list-style-type: none"> • 65 ml Ac. Acetico glaciale • 27 ml H₃PO₄ • 6 ml HNO₃ 			lucido, ma con forte pitting	si
Rame		0	0	5		• agitazione, rimozione dell'ossido prima dell'immersione con 10% HF	<ul style="list-style-type: none"> • 35 ml H₂O • 40 ml HNO₃ • 25 g CrO₃ 			Lucido, ma molto dipende dal trattamento preliminare	si

Renio

Material	N°	PIn (g)	Vel etc ($\mu\text{m}/\text{min}$)	T (min)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitica	V (V) – I (A)	Note successive	Qualità
Renio	1	0	0	10	2	<ul style="list-style-type: none"> • Catodo di acciaio inox • immersione sotto tensione 		<ul style="list-style-type: none"> • 500 ml H₂O • 100 ml di glicole di etilene • 400 ml H₃PO₄ • 20 g acetato di ammonio 	50 V	Parzialmente lucidato	no

Silicio

Materiale	N°	P in (g)	Vel etc ($\mu\text{m}/\text{min}$)	T (s)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettropulitura	V (V) - I (A)	Note successive	Qualità
Silicio	2	0	0	5 - 10	25	<ul style="list-style-type: none"> • agitazione 	<ul style="list-style-type: none"> • 25 ml HNO₃ • 15 ml HF • 15 ml Ac. Acetico glaciale 			Lucido con pitting residuo	Si
Silicio		0	0		25	<ul style="list-style-type: none"> • agitazione 	<ul style="list-style-type: none"> • 3-4 gocce di Br₂ • 20 ml HNO₃ • 5 ml HF 			parzialmente lucido	no

Stagno

Materiali	N°	Peso In (g)	Vel etc (µm/min)	T (min)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolita	V (V) – I (A)	Note successive	Qualità
Stagno	2	0	0	60	40	<ul style="list-style-type: none"> • Catodo di acciaio 		<ul style="list-style-type: none"> • 780 ml H₂O • 200 ml acido fluoroborico • 20 ml H₂SO₄ 	15V	Molto veloce, reazione violenta. Lucido con pittig	si
Stagno	3	0	0	1	25	<ul style="list-style-type: none"> • agitazione • catodo di rame 		<ul style="list-style-type: none"> • 100 ml H₂O • 20 g KOH 	5 V	parzialmente lucido, con striature	no

Acciaio Thyrotherm

Materiale	N°	P In (g)	Vel etc (mg/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettropulitura	V (V) - I (A)	Note successive	Qualità
Acciaio Th.	01	0		5	90	<ul style="list-style-type: none"> • Due cicli di disossidazione a 20 V prima di avere E.P. • Agitazione 		<ul style="list-style-type: none"> • 65 ml di H₃PO₄ • 25 ml H₂SO₄ • 20 mlH₂O 	3° minimo	Superficie scura, non lucidata.	No
Acciaio Th.	02	0		10	90	<ul style="list-style-type: none"> • Due cicli di disossidazione a 20 V prima di avere E.P. • Agitazione 		<ul style="list-style-type: none"> • 65 ml di H₃PO₄ • 25 ml H₂SO₄ • 20 mlH₂O 	2° minimo	Scuro, non lucidato, patina di ossido nero	No
Acciaio Th.	03	0		5	90	<ul style="list-style-type: none"> • Agitazione. 		<ul style="list-style-type: none"> • 47% H₂SO₄ • 53% H₃PO₄ 		Nessun risultato. Scarica della corrente sul dado di tenuta e non sul pezzo.	No
Acciaio Th.	03 bis	0		10	90	<ul style="list-style-type: none"> • Immerso solo per metà 		<ul style="list-style-type: none"> • 47% H₂SO₄ • 53% H₃PO₄ 	3° min	La parte interna dell'anello sembra più lucida,quella esterna meno	No

Materiali	N°	P In (g)	Vel etc (mg/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolitica	V (V) - I (A)	Note successive	Qualità
Acciaio Th.	04	0			75	<ul style="list-style-type: none"> Pulizia conalconox in ultrasuoni per 15 min. Agitazione 		<ul style="list-style-type: none"> 47% H₂SO₄ 53% H₃PO₄ 		L'immersione nella soluzione passiva il pezzo, che si annerisce e non reagisce dopo vari cicli di disossidazione a 50 V	No
Acciaio Th.	05	0			75	<ul style="list-style-type: none"> Pulizia con Rodastel e ultrasuoni. Immersione sotto tensione Agitazione 		<ul style="list-style-type: none"> 47% H₂SO₄ 53% H₃PO₄ 	2° minimo	Pezzo lucido ma scuro.	No
Acciaio Th.	06	0	15		75	<ul style="list-style-type: none"> Pulizia con Rodastel e ultrasuoni. Immersione sotto tensione Prima risciacquo con etanolo con acqua. Agitazione 		TO BE PATENTED	2° minimo 3.6 V e 1.3 A	Pezzo lucido e chiaro. Critica l'agitazione.	Si
Acciaio Th.	07	0	15		90	<ul style="list-style-type: none"> Pulizia Rodastel e ultrasuoni. Immersione sotto tensione. Risciacquo prima con etanolo poi acqua deionizzata 		<ul style="list-style-type: none"> 47% H₂SO₄ 53% H₃PO₄ 	2° minimo	Alta agitazione con agitatore ad asta: il pezzo è scuro,pessimo	No

Materiali	N°	P In (g)	Vel etc (mg/min)	t (m)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettrolituro	V (V) - I (A)	Note successive	Qualità
Acciaio Th.	08	0				<ul style="list-style-type: none"> • Catodo cilindrico, • Senza agitazione 		TO BE PATENTED	2°minimo	Pezzo lucido con aloni gialli	Si
Acciaio Th.	08 bis	0	30 sec	35			TO BE PATENTED			Lucido senza aloni	Si

Titanio

Materiale	N°	P in (g)	Vel etc (mg/min)	t (min)	T (°C)	note	Bagno chimico	Elettropulitura	I(A)- V (V)	note successive	Qualità
Titanio	0			10	25	nessuna erosione	<ul style="list-style-type: none"> • 6g di metabisolfito di sodio • 2 g di acido sulfammico • 100 ml di acqua 			nessun risultato	No
Vite in Ti	0	0,1012	1,4	1	50		TO BE PATENTED			Finitura lucida	Si
Titanio	3	1,6831	22	15 sec	20	Superficie ricristallizzata all'origine	TO BE PATENTED			attacco visibile sui bordi lucidi	Si
Titanio	4	1,5560	864	30 sec	20	Superficie ricristallizzata all'origine	TO BE PATENTED			attacco visibile sui bordi lucidi	Si
Titanio	5	2,4597	5,2	60 sec	50	Superficie ricristallizzata all'origine	TO BE PATENTED			attacco visibile sui bordi lucidi	Si

Materiali	N°	P in (g)	Vel etc (mg/min)	t (min)	T (°C)	note	Bagno chimico	Elettrolita	I(A)- V (V)	note successive	Qualità
Titanio	6	1,8438		10	90			<ul style="list-style-type: none"> • 65 ml di H₃PO₄ • 25 ml di H₂SO₄ • 20 ml di H₂O 		anodizzazione	No
Titanio	7	1,8598		10	25			<ul style="list-style-type: none"> • 90% H₂SO₄ • 10 % HF 	30V-0,04A	Parzialmente lucidato, non sul retro	No
Titanio	7	1,8598		10	25	anodizzazione, riutilizzo del pezzo		<ul style="list-style-type: none"> • 70% H₂SO₄ • 30 % Etanolo 			No
Titanio	8	1,6094		10	25			TO BE PATENTED	29 V - 0,038 A	Parzialmente lucidato	Si
Titanio	9	5,2800	49,18	7	55	Poca agitazione	TO BE PATENTED			Levigato	Si
Titanio	10	4,9893	54,25	6	25	Agitazione		TO BE PATENTED	25V – 5/6 A	Lucido a specchio, macchie di acido sulla superficie	Si

Materiale	N°	P in (g)	Vel etc (mg/min)	t (min)	T (°C)	note	Bagno chimico	Elettropulitura	I(A)- V (V)	note successive	Qualità
Titanio	11			10	25			TO BE PATENTED		Levigato, lucido sui bordi e sul menisco della soluzione	Si
Titanio	12	4,9217	9,755	20	20	Campione laminato.	TO BE PATENTED			Non è ben lucidato.	No
Titanio	13			10	25	Campione graffiato		TO BE PATENTED	Primo plateau, basse correnti		Si
Titanio	15			10	25 - 100	La soluzione si scalda a circa 100°C.		TO BE PATENTED		Buona lucidatura nonostante graffi profondi	Si

Titanio Sinterizzato

Materiali	N°	P in (g)	Vel etc (mg/min)	T (°C)	t (m)	Note	Bagno chimico	Elettropulitura	V(V)-I(A)	note	Qualità
Titanio Sinter.	1			60	1' 30"	<ul style="list-style-type: none"> • Pezzo ricavato da barra estrusa • Sinter. da nanopolveri a caldo 	TO BE PATENTED	TO BE PATENTED		Molto corrosivo, chiaro.	No
Titanio Sinter.	2			60	5	<ul style="list-style-type: none"> • Pezzo ricavato da barra estrusa • Sinter. da nanopolveri a caldo 	TO BE PATENTED	TO BE PATENTED		Chiaro poco corrosivo.	No
Titanio Sinter.	3			40	10	<ul style="list-style-type: none"> • Pezzo ricavato da barra estrusa • Sinter. da nanopolveri a caldo 	TO BE PATENTED	TO BE PATENTED	Primo minimo 3.26 V	Poco corrosivo, più chiaro. Riutilizzato	No
Titanio Sinter.	4			40	9	<ul style="list-style-type: none"> • Pezzo ricavato da barra estrusa • Sinter. da nanopolveri a caldo 	TO BE PATENTED	TO BE PATENTED	Primo minimo	Lucido sui bordi, lucido sulla faccia ma con grana grossa	Si

Materiale	N°	P in (g)	Vel etc (mg/min)	T (°C)	t (m)	Note	Bagno chimico	Elettropulitura	V(V)-I(A)	note	Qualità
Titanio Sinter.	5			65	20	<ul style="list-style-type: none"> • Pezzo ricavato da barra estrusa • Sinter. da nanopolveri a caldo 	TO BE PATENTED	TO BE PATENTED	Primo minimo	Prova a lunga durata: lucido sui bordi ma grana ancora grossolana sulle facce: peggiore del precedente	No
Titanio Sinter.	6			40	5	<ul style="list-style-type: none"> • Pezzo ricavato da barra estrusa • Sinter. da nanopolveri a caldo 	TO BE PATENTED	TO BE PATENTED		Soluzione molto aggressiva: corrosione	No
Titanio Sinter.	7			20	10	<ul style="list-style-type: none"> • Pezzo ricavato da barra estrusa • Sinter. da nanopolveri a caldo 	TO BE PATENTED	TO BE PATENTED	Curva stabile, largo plateau.	Parzialmente lucidato, macchie gialle sui bordi.	No
Titanio Sinter.	8			80-87		<ul style="list-style-type: none"> • Pezzo ricavato da barra estrusa • Sinter. da nanopolveri a caldo 	TO BE PATENTED	TO BE PATENTED	a) 11V 2,2A b) 28V- 7/9A	Lucido sui bordi, molto corroso dietro	No

Tungsteno

Material	N°	Peso In (g)	Vel etc (µm/min)	t (min)	T (°C)	Note	Bagno chimico	Elettropulitura	V (V) - I (A)	Note successive	Qualità
Tungsteno	1	0	0	10	25	<ul style="list-style-type: none"> • Catodo di acciaio inox, • agitazione 		<ul style="list-style-type: none"> • 1000 ml H₂O • 100 g KOH 	6V	Lucido	Si

Zinco

Materiale	N°	P In (g)	Vel etching (µm/min)	t (min)	T(°C)	Note	Bagno chimico	Elettropulitura	V (V) – I (A)	Note successive	Qualità
Zinco	1	0	0	1	25	<ul style="list-style-type: none"> Catodo di Ti platinato immersione sotto tensione 	<ul style="list-style-type: none"> 100 ml H₂O 20 g CrO₃ 		60	Lucido	si
Zinco	2	0	0	60	25	<ul style="list-style-type: none"> Catodo di acciaio 	<ul style="list-style-type: none"> 50 ml H₃PO₄ + 50 ml etanolo 		5V	Lucido, ma reazione molto lenta	si
Zinco	3	0	0	15	25	<ul style="list-style-type: none"> Reazione lenta, il film che si forma si scioglie con acqua 	<ul style="list-style-type: none"> 100 ml H₂O 5 ml HNO₃ 20 g CrO₃ Na₂SO₄ 			scuro, non lucidato	no
Zinco	4	0	0	10	25	<ul style="list-style-type: none"> Agitazione 	<ul style="list-style-type: none"> 1000 ml H₂O 200 g di sodio dicromato 7 ml H₂SO₄ 			Lucido, lieve pitting	si

Conclusioni

Durante questa tesi di master, sono state studiate e approfondite le tecniche di lucidatura elettrolitica e chimica di svariati materiali, applicati in molti campi, come l'implantologia dentaria, l'occhialeria, l'oreficeria. Queste prove sono state raccolte in un database, che fornirà la base per studi successivi su altri materiali e leghe.

L'implantologia dentaria utilizza il titanio, materiale anallergico, leggero e molto resistente sia chimicamente che meccanicamente. In figura 3 è visibile il risultato forse più interessante di questo elaborato: la sbavatura di un perno moncone per implantologia dentaria.

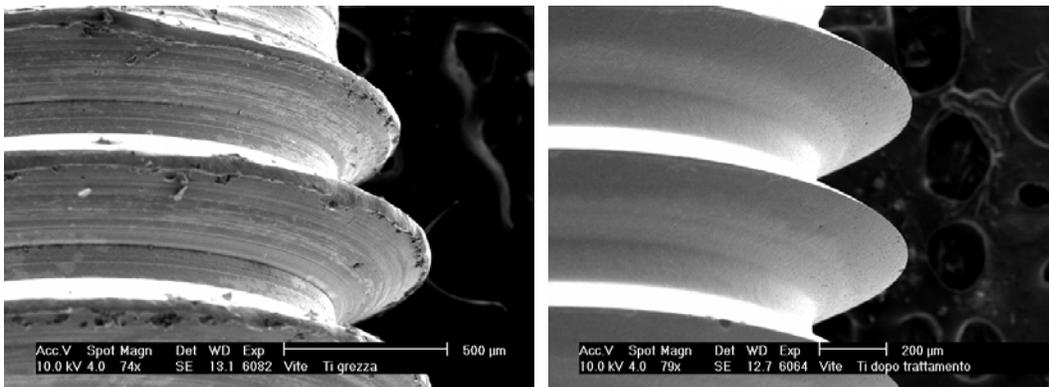


Fig. 10: Perno per implantologia dentaria prima e dopo il trattamento di sbavatura

Le tecniche di sbavatura su perni moncone in titanio danno risultati irraggiungibili con le normali tecniche meccaniche. La rapidità del processo (meno di 2 secondi) e la possibilità di trattare simultaneamente centinaia di pezzi rendono questa tecnologia ancora più appetibile.

Oltre che con materiali avanzati, sono state effettuate prove richieste sia dal settore dell'occhialeria, sia dall'oreficeria, in crisi per l'agguerrita concorrenza delle industrie cinesi, indiane e turche.

Le prove di fattibilità fatte su stanghette di occhiali in lega (alpaca e monel) sono molto interessanti: la differenza con l'attuale trattamento di spazzolatura manuale è il maggiore grado di finitura superiore anche nei punti più difficili e la velocità del processo, che ha come ulteriore vantaggio la possibilità di trattare molti pezzi simultaneamente.



Fig. 11: Stanghette in alpaca prima e dopo il trattamento.

Nel campo dell'oreficeria sono stati trattati con successo gioielli in oro 18 carati, visibili in figura 5.



Fig. 12: Catena d'oro 18 carati grezza e lucidata

Il trattamento proposto è esente da cianuri, che è invece è estesamente utilizzato dall'industria orafa, con tutti i problemi connessi al trattamento e smaltimento di questi bagni. La semplicità e l'innovazione proposti da questo trattamento chimico hanno suscitato grande interesse nelle industrie orafe del vicentino.

SOMMARIO

Scopo della tesi	1
Introduzione alla tecnica di lucidatura elettrolitica	4
Concetti di base di elettrochimica	5
Meccanismi del processo di elettrolucidatura	8
La ricerca delle migliori condizioni per l'elettrolucidatura	11
Procedura tecnica	12
Database di reazioni di lucidatura	14
Alluminio	15
Alpacca	21
Argento	22
Cobalto	23
Cromo	24
Ferro	25
Ghisa	26
Acciaio	29
Molibdeno	34
Monel	35
Nichel	36
Niobio	37
Oro	46
Rame	53
Renio	55
Silicio	56
Stagno	57
Acciaio Thyrotherm	58
Titanio	61
Titanio Sinterizzato	64
Tungsteno	66
Zinco	67
Conclusioni	68
SOMMARIO	70