

ALLEGATO A -DESCRIZIONE DEI TRATTAMENTI GALVANICI¹

SOMMARIO:

PREMessa	3
1. PREPARAZIONE O PRETRATTAMENTO	5
1.1 Pretrattamenti meccanici	5
1.2 Montaggio	5
1.3 Pretrattamenti chimici	5
1.3.1 <i>Decapaggio acido</i>	6
1.3.2 <i>Sgrassatura chimica</i>	7
1.3.3 <i>Sgrassatura elettrochimica</i>	7
1.3.4 <i>Sgrassatura chimica a ultrasuoni</i>	7
2. ELETTRODEPOSIZIONE	7
2.1 Ramatura	8
2.1.1 <i>Ramatura alcalina</i>	8
2.1.2 <i>Ramatura acida</i>	8
2.1.3 <i>Ramatura al pirofosfato</i>	8
2.1.4 <i>Ramatura al fluoroborato</i>	8
2.2 Nichelatura	9
2.2.1 <i>Nichelatura opaca</i>	9
2.2.2 <i>Nichelatura semilucida</i>	9
2.2.3 <i>Nichelatura lucida</i>	9
2.2.4 <i>Nichelatura satinata</i>	10
2.2.5 <i>Nichelatura nera o a canna di fucile</i>	10
2.3 Cromatura	11
2.4 Zincatura	12
2.4.1 <i>Zincatura acida</i>	13
2.4.2 <i>Zincatura alcalina senza cianuri</i>	13
2.4.3 <i>Zincatura alcalina con cianuri</i>	13
2.5 Argentatura	14
2.6 Doratura	14
2.7 Ottonatura	15
2.8 Lega stagno/cobalto	15
2.9 Bronzatura	16
2.10 Cadmatura	16
2.11 Ossidazione anodica dell'alluminio	17
2.12 Altri processi non elettrochimici	18
2.12.1 <i>Metallizzazione plastiche</i>	18

¹ Tratto da Piano di prevenzione mirato alla riduzione dei rischi professionali nel comparto galvaniche nel territorio Nord - Orientale, ARPA Piemonte, ASL VCO, ASL NO.

2.12.2	<i>Mordenzatura</i>	18
2.12.3	<i>Sensibilizzazione e attivazione</i>	19
2.12.4	<i>Metallizzazione chimica</i>	19
3.	FINITURA	20
3.1	Cromatazione	20
3.2	Fosfatazione	20
3.3	Elettrolucidatura dell'acciaio	21

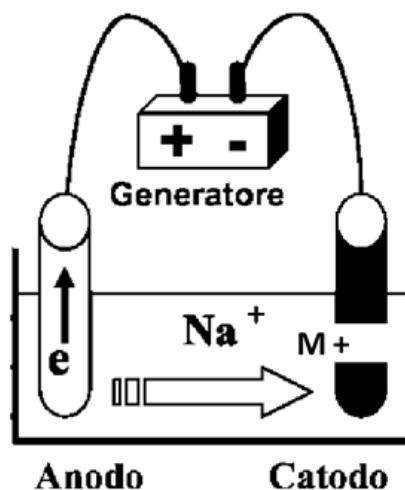
PREMESSA

Il rivestimento delle superfici metalliche può avere differenti scopi: conferire agli oggetti particolari caratteristiche di durezza, di resistenza all'usura e alla corrosione, oltre a quello ornamentale. Il ciclo di lavoro, che è in funzione del tipo di materiale da trattare e delle caratteristiche che deve avere il pezzo dopo il trattamento, presenta alcune differenze che si esplicano soprattutto nelle caratteristiche dei bagni e degli impianti.

Possiamo distinguere innanzitutto tra cicli di galvanostegia e di galvanoplastica, che si differenziano per il materiale che viene rivestito. Nel primo caso si tratta di oggetti metallici, di solito in lega o acciaio, nel secondo caso di superfici non conduttrici, come oggetti di legno, plastica, forme di cera, ecc.

L'elettrodepositazione di metalli e leghe consiste nell'elettrolisi di una soluzione acquosa i cui componenti principali sono i sali del metallo impiegato per il rivestimento. Il processo di deposizione avviene generalmente in una vasca, che costituisce il cosiddetto bagno galvanico, contenente una soluzione acquosa del sale del metallo da depositare, dove sono immersi due elettrodi: il catodo, costituito dall'oggetto da ricoprire e l'anodo che può essere costituito dal metallo che deve essere depositato o da un altro metallo inerte o da grafite.

Mediante un generatore viene imposta ai due elettrodi una differenza di potenziale. In queste condizioni i cationi del metallo da depositare si muoveranno verso il catodo (caricato negativamente), mentre gli anioni si muoveranno verso l'anodo (caricato positivamente). In tal modo il catodo viene lentamente ricoperto da un sottile strato metallico.



La deposizione di un metallo su substrati diversi risale a tempi remoti.

Col passare dei secoli le tecniche di galvanizzazione si sono sempre più evolute e migliorate, fino ad ottenere prodotti le cui proprietà superficiali risultano notevolmente migliorate sotto l'aspetto estetico, meccanico, elettrico e di resistenza alla corrosione. Se dalle ricerche archeologiche le origini dell'arte galvanica sembrano risalire a circa 3000 anni fa, solo dopo la scoperta della pila, ad opera di Alessandro Volta, è possibile datare l'inizio dell'era della deposizione elettrolitica dei metalli.

L'arte galvanica vera e propria nacque senza dubbio ad opera del chimico italiano Luigi Valentino Brugnatelli, il quale, alcuni mesi dopo la formidabile scoperta di Volta, effettuava le prime elettrodepositazioni di argento, zinco, mercurio e rame. A partire dalla seconda metà dell'Ottocento, l'elettrodepositazione trova nuove possibilità di sviluppo, grazie all'impiego dei generatori di corrente continua di tipo elettromagnetico ed all'introduzione di una strumentazione più sofisticata.

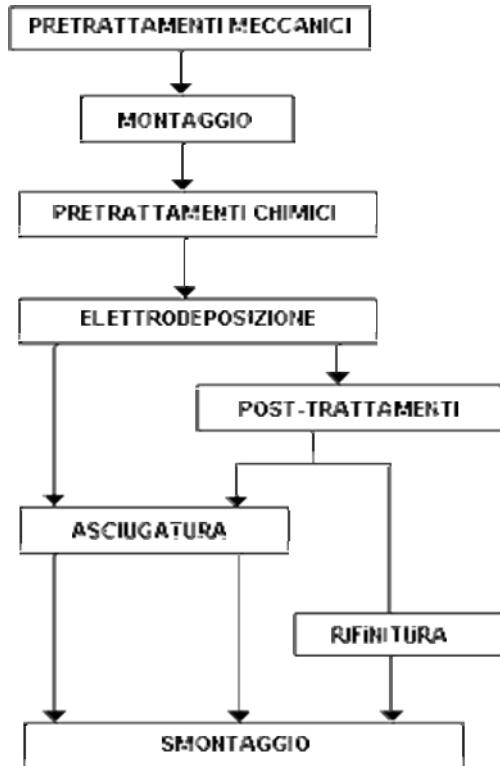
In linea generale il ciclo lavorativo dell'industria galvanica può essere suddiviso in tre fasi principali:

1. preparazione o pretrattamento

2. trattamento di elettrodepositazione

3. finitura

Il diagramma di flusso (fonte I.S.P.E.S.L) delle varie lavorazioni può essere così sintetizzato:



Oltre alle vasche in cui avvengono i processi di trattamento, sia chimici sia di elettrodepositazione, sono presenti vasche di:

- "neutralizzazione", per neutralizzare il pH dei pezzi da trattare prima dell'immersione in un bagno con caratteristiche differenti (ad esempio dopo il trattamento di sgrassatura e prima del bagno di nichelatura in ambiente acido);
- "recupero", dove si raccoglie la maggior parte della soluzione di trattamento che i pezzi tendono a trattenere;



Foto 1 - Rotobarili in una vasca di nichelatura.

- "risciacquo", per pulire ulteriormente i pezzi dalle soluzioni di trattamento.

Nei paragrafi seguenti saranno descritti brevemente i singoli trattamenti, associati alle sostanze maggiormente utilizzate.

Nell'allegato C ritroveremo le classificazioni delle sostanze utilizzate per i bagni galvanici e nell'allegato F2, le classificazioni con composizioni specificate per le varie tipologie di bagni identificate nella presente linea guida.

1. PREPARAZIONE O PRETRATTAMENTO

Per **preparazione** s'intende l'esecuzione sul materiale di partenza delle **operazioni meccaniche e chimiche** che lo rendono adatto alla successiva elettrodepositazione.

1.1 Pretrattamenti meccanici

Il pretrattamento meccanico ha lo scopo di ottenere superfici metalliche omogenee e non porose, impiegando macchinari che asportano gli strati superficiali di ossidazione o eventuali irregolarità superficiali. Tali operazioni, che comprendono la sabbiatura, la burattatura, la molatura, la lucidatura, non sono state prese in considerazione in questo progetto di comparto.

1.2 Montaggio

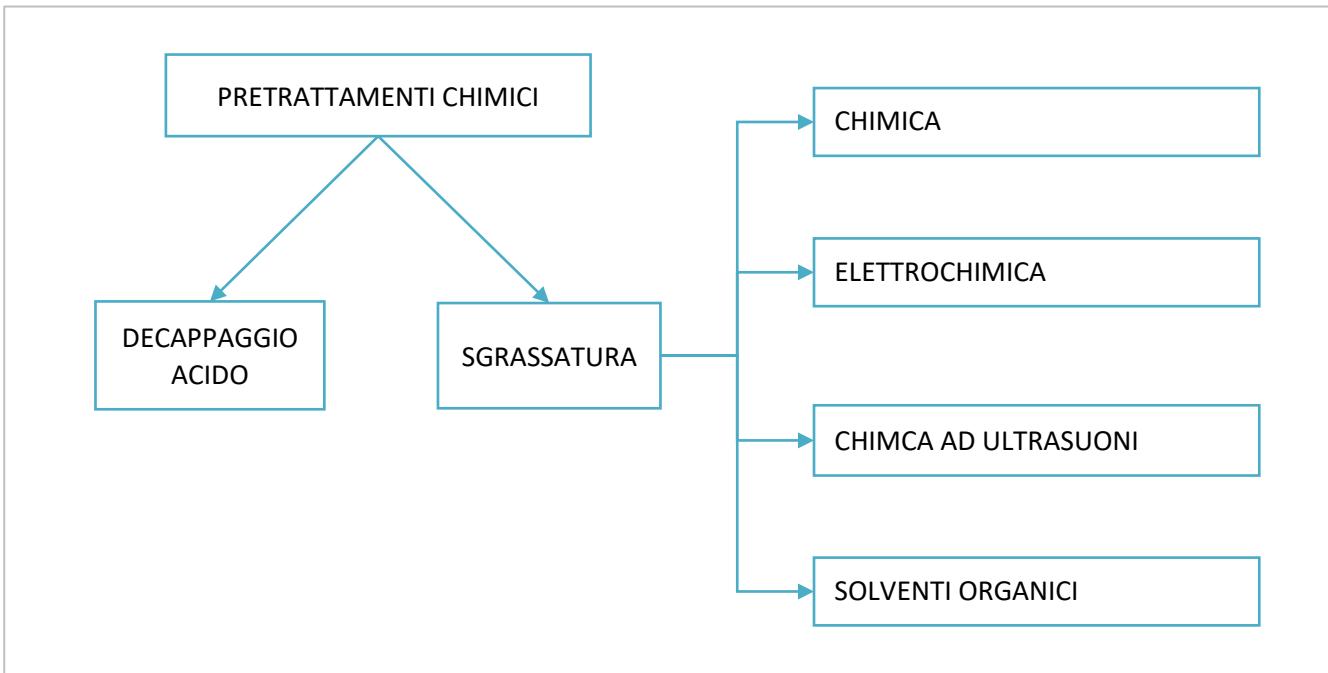
Successivamente al pretrattamento meccanico vi è la fase di montaggio (o carico pezzi) che consiste nell'inserimento dei particolari sui telai, operazione esclusivamente manuale.

Talvolta i pezzi da sottoporre a elettrodepositazione sono collocati, invece che sui telai, in contenitori definiti "rotobarili". In questi casi l'operazione di carico e/o scarico dei pezzi può essere automatizzata o semiautomatica.

1.3 Pretrattamenti chimici

Dopo la fase di montaggio e prima dell'elettrodepositazione, i pezzi subiscono pretrattamenti utilizzando differenti prodotti chimici. La scelta del tipo di trattamento dipende da vari parametri quali:

- tipo di metallo da rivestire;
- forma dei pezzi;
- impurità presenti sui pezzi;
- scopo del rivestimento.



I tipi di pretrattamenti chimici possono essere divisi in:

- decapaggio acido;
- sgrassatura chimica;
- sgrassatura elettrochimica;
- sgrassatura chimica ad ultrasuoni;
- sgrassatura con solventi organici.

La sgrassatura con solventi organici non è mai stata riscontrata nelle aziende del comparto, perciò, non sarà di seguito descritta.

Nella maggior parte dei casi l'immersione dei telai nelle vasche di sgrassatura chimica, elettrochimica e ad ultrasuoni avviene mediante paranchi.

1.3.1 Decapaggio acido

Questo trattamento ha lo scopo di rimuovere gli ossidi e gli altri sali insolubili impiegando degli acidi. La scelta dell'acido e delle modalità di impiego (percentuale di diluizione, miscelazione di più acidi insieme, temperatura di impiego) sono in funzione del metallo da decapare. Per esempio, le superfici di ferro sono generalmente trattate con acido solforico diluito, mentre per il rame e le sue leghe è necessario ricorrere a miscele di acido solforico e nitrico. Alla miscela per il decapaggio sono aggiunte piccole quantità (0.05%-0.1%) di inibitori; si tratta di sostanze organiche che agiscono attenuando l'attacco dell'acido sulla superficie metallica.

Dopo il decapaggio si procede ad un abbondante lavaggio dei pezzi in acqua, che passano, poi, in una soluzione neutralizzante e vengono quindi nuovamente risciacquati. Il decapaggio acido è un'operazione associata normalmente a trattamenti galvanici di zincatura e non è presente negli impianti di nichelatura-cromatura.

Principali sostanze utilizzate nel decapaggio acido

- acido cloridrico	HCl	EC 231-595-7	CAS 7647-01-0
- acido solforico	H ₂ SO ₄	EC 231-639-5	CAS 7664-93-9
- acido nitrico	HNO ₃	EC 231-714-2	CAS 7697-37-2

1.3.2 Sgrassatura chimica

Ha la funzione di asportare le sostanze grasse ed eventuali residui organici; inoltre, attiva la superficie metallica per la successiva elettrodepositazione. Il forte effetto sgrassante è determinato dall'azione sinergica della temperatura e del potere emulsionante del bagno. La soluzione generalmente contiene idrossido di sodio, tensioattivi contenenti fosfati e/o carbonati, con una temperatura di esercizio tra i 40 °C e gli 80 °C.

1.3.3 Sgrassatura elettrochimica

Nei bagni di sgrassatura elettrochimica i pezzi sono collegati al catodo o all'anodo ed il trattamento si chiamerà, a seconda dei casi, "sgassatura catodica" o "sgassatura anodica". In entrambi i casi si ha uno sviluppo di gas (idrogeno o ossigeno). Spesso si induce una forte agitazione meccanica del bagno per facilitare il distacco dei grassi dalla superficie del pezzo ed il rinnovo della soluzione.

Nella sgrassatura catodica, a parità di condizioni, si sviluppa H₂ in quantità doppia rispetto allo sviluppo di O₂ sull'anodo, rendendo così questo tipo di sgrassatura più efficiente. Talvolta quest'operazione è anche detta "sgassatura fine", in quanto ha la capacità di rimuovere dal metallo le ultime tracce di grasso. I bagni contengono sali alcalini, generalmente fosfati, carbonati, silicati, oltre ad idrossido di sodio. L'utilizzo di sali di cianuri alcalini è sempre meno frequente. Tale trattamento è eseguito ad una temperatura compresa tra i 20°C e i 40 °C.

1.3.4 Sgrassatura chimica a ultrasuoni

La sgrassatura chimica può essere eseguita altresì con l'impiego di ultrasuoni per ottenere una maggiore azione pulente. In questo tipo di trattamento i lavoratori sono esposti anche ad un rischio fisico particolarmente rilevante rappresentato dal rumore che però non è stato indagato in questo progetto.

Principale sostanza utilizzata nelle sgrassature

- idrossido di sodio	NaOH	EC 215-185-5	CAS 1310-73-2
----------------------	------	--------------	---------------

2. ELETTRODEPOSIZIONE

L'elettrodepositazione è la fase fondamentale del trattamento galvanico, in cui l'oggetto viene sottoposto ad una serie di rivestimenti metallici (in genere uno o due ed uno di finitura). Viene eseguita in una cella elettrolitica alimentata da basse tensioni (6 - 12 V) ed elevate intensità di corrente (fino a 3000 A). Sul pezzo metallico da rivestire, che funziona da catodo, si depositano i cationi metallici, che acquistando elettroni dall'anodo si trasformano in atomi metallici.

L'elettrodepositazione consente di migliorare le proprietà meccaniche e di resistenza alla corrosione, nonché le caratteristiche estetiche, di materiali poco nobili utilizzati per produrre beni di largo consumo, come ad esempio rubinetti, valvole, viti.

2.1 Ramatura

La ramatura è un trattamento galvanico che serve a migliorare la resistenza dei prodotti e la duttilità delle superfici. Inoltre il rame costituisce un ottimo strato intermedio per una successiva nichelatura, zincatura oppure argentatura. La ramatura è utilizzata anche nei trattamenti di metallizzazione delle plastiche (ramatura acida).

Due sono le tipologie di soluzioni di ramatura più utilizzate: quelle basiche al cianuro e quelle acide al solfato.

Limitate applicazioni hanno ottenuto i bagni al pirofosfato e quelli al fluoroborato.

2.1.1 Ramatura alcalina

La ramatura al cianuro, malgrado la sua pericolosità, è comunque molto importante in operazioni galvaniche sia per trattamenti di “aggancio” sia per depositi a spessore.

I bagni sono caratterizzati da un elevato potere penetrante e possono essere applicati direttamente ad acciai e leghe di zinco (zama, cioè zinco alluminio) a differenza dei bagni acidi.

Il sale di partenza, per la formazione del bagno, è il cianuro di rame (CuCN) che deve essere complessato con NaCN o, talvolta KCN , per ottenere un complesso solubile in acqua. La forma complessa più importante è rappresentata da $\text{K}_2\text{Cu}(\text{CN})_3$ o $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{CN})_3$.

La temperatura del bagno è mantenuta tra 45°C e 50 °C.

2.1.2 Ramatura acida

I bagni di ramatura acida sono costituiti essenzialmente da rame solfato ed acido solforico ed hanno purtroppo un basso potere penetrante che rende impossibile la deposizione diretta su acciaio e ferro. Per questo motivo deve essere applicato prima un film di rame da un bagno al cianuro dopodiché il pezzo viene trasferito nel bagno acido dove si potrà ottenere lo spessore desiderato.

Esiste la possibilità di depositare un flash di rame chimico direttamente su ferro utilizzando una soluzione acida di solfato rameico in presenza di un inibitore come la acetiltiourea. Si ottiene un film aderente senza l’uso di bagni al cianuro.

2.1.3 Ramatura al pirofosfato

Le soluzioni dei bagni al pirofosfato contengono rame pirofosfato $\text{Cu}_2\text{P}_2\text{O}_7$ e $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$. In soluzione il rame è presente prevalentemente come anione $\text{Cu}(\text{P}_2\text{O}_7)_2^{6-}$. Come nel caso dei bagni al cianuro il complessante pirofosfato deve essere presente in eccesso. Assieme ai due sali base vengono aggiunti altri componenti per migliorare le proprietà del deposito ed aumentare la velocità di deposizione. Questi includono ammoniaca, nitrati, acidi alifatici ed altri agenti organici. La presenza di ammoniaca e composti organici quali ossalati e citrati aumenta la lucentezza del deposito.

Le soluzioni al pirofosfato necessitano di una vigorosa agitazione altrimenti si forma un film scuro non aderente che diminuisce la densità di corrente operativa. Può essere utilizzata l’agitazione meccanica anche se è preferibile quella con aria. La ramatura al pirofosfato ha un potere penetrante simile a quello dei bagni al cianuro.

2.1.4 Ramatura al fluoroborato

Il rame fluoroborato ha una elevata solubilità; le soluzioni basate su questo sale possono contenere una concentrazione doppia di rame rispetto a quelle al solfato. A causa delle elevate densità di corrente utilizzate e della elevata efficienza catodica, normalmente il 100%, il bagno è utilizzato per l’elettroformatura dove è richiesta una rapida deposizione di grossi spessori.

I bagni al fluoroborato producono una grana fine, un deposito livellato, ma la presenza di piombo in soluzione anche in piccole concentrazioni può causare opacità. Questo può essere eliminato con l'aggiunta di acido solforico che precipita il piombo come solfato.

Principali sostanze utilizzate nella ramatura alcalina

- cianuro di rame	CuCN	EC 208-883-6	CAS 544-92-3
- cianuro di sodio	NaCN	EC 213-030-6	CAS 143-33-9
- cianuro di potassio	KCN	EC 205-792-3	CAS 151-50-8

Principali sostanze utilizzate nella ramatura acida

- acido solforico	H ₂ SO ₄	EC 231-639-5	CAS 7664-93-9
- solfato di rame	Cu SO ₄	EC 231-847-6	CAS 7758-98-7

Principali sostanze utilizzate nella ramatura al pirofosfato

- rame pirofosfato idrato	Cu ₂ P ₂ O ₇ x XH ₂ O	CAS 304671-71-4
- potassio pirofosfato	K ₄ P ₂ O ₇	EC 230-785-7
- ammoniaca	NH ₃	EC 215-647-6

Principali sostanze utilizzate nella ramatura al fluoroborato

- rame tetrafluoroborato	Cu(BF ₄) ₂	CAS 314040-98-7
- acido tetrafluoroborico	HBF ₄	EC 240-898-3
- acido borico	H ₃ BO ₃	EC 233-139-2

2.2 Nichelatura

È il trattamento di elettrodepositazione più utilizzato, in quanto serve sia come preparazione per le successive deposizioni (cromatura, argentatura, doratura) sia come finitura a spessore. I bagni più utilizzati sono quelli acidi, contenenti come prodotti principali cloruro di nichel, solfato di nichel, acido borico. Questo tipo di trattamento è detto bagno di Watts.

I trattamenti di nichelatura si suddividono in:

2.2.1 Nichelatura opaca

In genere è il primo trattamento di elettrodepositazione, a bassa tensione e bassa intensità, prima di deposizioni più corpose. È il classico bagno di Watts senza additivi. I componenti principali sono: cloruro di nichel, solfato di nichel e acido borico; la temperatura di processo è di circa 50-55°C; l'agitazione dei bagni si ottiene con aria insufflata.

2.2.2 Nichelatura semilucida

È un trattamento intermedio per aumentare la resistenza meccanica del particolare in lavorazione. La composizione del bagno è simile a quella della nichelatura opaca con aggiunta di additivi specifici per ottenere una deposizione con caratteristiche specifiche (detta "colonnale" in gergo tecnico) e per migliorare il grado di lucentezza e la resistenza alla corrosione. La temperatura di processo è di circa 45-55°C; l'agitazione dei bagni si ottiene meccanicamente o con aria insufflata.

2.2.3 Nichelatura lucida

Si utilizzano sostanze splendogene o brillantanti. Gli splendogeni si distinguono in primari e secondari e possono essere organici o inorganici. Nei bagni di nichelatura lucida talvolta viene anche utilizzata, come additivo per migliorare la lucentezza del nichel, formaldeide diluita. La temperatura di esercizio è solitamente tra i 55°C ed i 60 °C. L'agitazione dei bagni è ad insufflazione d'aria o meccanica e, nella maggioranza dei casi, si sfrutta il movimento ondulatorio della barra catodica (telaio); in questi casi sovente vengono aggiunti al bagno dei tensioattivi. Gli anodi sono contenuti in cestelli anodici in titanio rivestiti da sacchetti filtranti in materiale plastico (meraclon).



Foto 2 - Cestelli anodici in una vasca di nichelatura

2.2.4 Nichelatura satinata

Due sono le tipologie di nichelatura satinata.

La nichelatura Nichel Matt (o nichel Velour) a base di cloruro di nichel, solfato di nichel, acido borico; temperatura di processo: 50-55°C, agitazione con aria insufflata.

La nichelatura satinata classica utilizza gli stessi componenti ma più concentrati, con aggiunta di additivi satinanti specifici, i quali sono dei prodotti a componente organica che si degradano durante l'elettrodepositazione.

2.2.5 Nichelatura nera o a canna di fucile

A scopo esclusivamente decorativo è eseguita la nichelatura nera. I bagni in questo caso contengono, oltre al solfato di nichel ed additivi a base di solfato di ammonio, solfato di zinco e solfocianuro di sodio. La temperatura di esercizio dei bagni è variabile dai 45 °C ai 50 °C.

Principali sostanze utilizzate nella nichelatura opaca, semilucida, lucida, satinata

- cloruro di nichel	NiCl ₂	EC. 231-743-0	CAS 7718-54-9
- cloruro di nichel esaidsrato	NiCl ₂ x 6H ₂ O		CAS 7791-20-0
- solfato di nichel	NiSO ₄	EC 232-104-9	CAS 7786-81-4
- solfato di nichel esaidsrato	NiSO ₄ x 6H ₂ O		CAS 10101-97-0
- acido borico	H ₃ BO ₃	EC 233-139-2	CAS 10043-35-3
- acido solforico	H ₂ SO ₄	EC 231-639-5	CAS 7664-93-9
- formaldeide	HCHO	EC 200-001-8	CAS 50-00-0

2.3 Cromatura

Questo trattamento trova largo impiego, sia per ottenere caratteristiche estetiche particolari (cromo lucido decorativo), sia per migliorare le qualità fisiche e meccaniche (cromatura dura o a spessore), conferendo ai pezzi resistenza alle sollecitazioni meccaniche.

Nei bagni di cromatura il cromo è presente nella sua forma esavalente in soluzione acida per acido solforico. In genere vengono impiegati due tipi cromatura:

- **DURA O A SPESSORE:** bagno concentrato in cui il cromo, come triossido di cromo, è presente in concentrazione di circa 400 g/l. In questo caso la deposizione superficiale di cromo varia da 0,5-5 µm. La temperatura del bagno varia da 55°C a 65 °C. La cromatura dura o a spessore consiste in una maggiore deposizione di cromo sulla superficie dei pezzi da trattare. Normalmente si esegue per particolari meccanici destinati ad applicazioni che comportano una forte usura, come, ad esempio i pistoni dei motori a scoppio, i rulli tipografici. Tale trattamento galvanico, però, attualmente è poco diffuso.
- **CROMATURA LUCIDA DECORATIVA:** bagno diluito in cui il cromo, come triossido, è presente in concentrazione di circa 250 g/l. La temperatura di esercizio varia da 30°C a 40°C. Normalmente la cromatura è successiva alla fase di nichelatura, tranne che per la cromatura a spessore dell'acciaio. Per entrambe le categorie del bagno, sia "decorativo", sia "a spessore", si possono usare elettroliti a base di cromo esavalente oppure trivale. Storicamente, a partire dalla seconda metà dell'Ottocento, si sono affermati i bagni a base di CrVI, poiché presentano sensibili vantaggi rispetto a quelli che utilizzano cromo trivale: costi inferiori, minore sensibilità alle variazioni delle condizioni di processo, ridotta microporosità superficiale. Inoltre, il processo può essere svolto con continuità e senza interruzioni: Nei bagni di cromo trivale, infatti, durante l'elettrodepositazione si forma cromo esavalente, che pregiudica la qualità del deposito, obbligando perciò a fermate periodiche della produzione per la sua rimozione.

Come è noto, il cromo esavalente è una sostanza molto pericolosa per le sue caratteristiche tossicologiche sia per l'uomo (cancerogeno certo) sia per l'ambiente. Al contrario, lo ione trivale del cromo risulta non cancerogeno e meno tossico per l'ambiente. Per questo motivo, nel caso dei trattamenti di tipo decorativo, i processi che utilizzano il cromo trivale cominciano ad essere impiegati in sostituzione di quello esavalente.



Foto 3 - Vasca di cromatura

Nelle aziende inserite nel comparto galvanico non è mai stato riscontrato l'utilizzo di CrIII per trattamenti di cromatura. Gli anodi impiegati nelle vasche di cromatura sono costituiti da materiali insolubili, di piombo oppure di grafite, e l'efficienza catodica è piuttosto bassa, poiché non supera il 20%.

Quindi oltre l'80% della corrente elettrica è consumato per il processo catodico concorrente nello sviluppo di idrogeno gassoso, con conseguente formazione di aerosol che veicola micro-goccioline di soluzioni di cromo esavalente. Per questo motivo è fondamentale la presenza di aspirazioni localizzate sulle vasche di cromatura.

È indispensabile, inoltre, l'utilizzo di sistemi che limitino la diffusione di aerosol, tipo gli schiumogeni antifumo, a base di tensioattivi fluorurati, o le palline galleggianti, sparse sulla superficie del bagno. Trattandosi di un processo che impiega anodi insolubili, la cromatura richiede il reintegro periodico dell'anidride cromica, che può essere manuale o automatizzato.

Principali sostanze utilizzate nella cromatura

- acido solforico	H_2SO_4	EC 231-639-5	CAS 7664-93-9
- anidride cromica	CrO_3	EC 215-607-8	CAS 1333-82-0
- sodio bisolfito	$NaHSO_3$	EC 231-548-0	CAS7631-90-5
- tensioattivi fluorurati ²			

2.4 Zincatura

La zincatura è un trattamento indispensabile per la protezione dei materiali ferrosi contro la corrosione atmosferica. Le produzioni si suddividono principalmente in due tipologie di trattamento:

² Si ricorda art. 4 paragrafo 1 lettera b) e la voce relativa ai PFOS, dell'allegato I parte A del Regolamento (UE) 1021/2019 sugli inquinanti organici persistenti (POPs) che permette l'utilizzo di PFOS in abbattitori di nebbie per la cromatura dura (con CrVI) a carattere non decorativo in sistemi a ciclo chiuso alle condizioni previste dal regolamento stesso.

- zincatura rotativa a barile, per la minuteria metallica
- zincatura a telaio, per i pezzi di grosse dimensioni o delicati da trattare

Lo zinco forma molti sali solubili e, sotto determinate condizioni, può essere elettrodepositato da soluzioni acide (al solfato, fluoborato, cloruro, solfamato, ecc.) e da soluzioni alcaline (al cianuro, pirosolfato, zincato, etanolamine, ecc.).

I rivestimenti elettrolitici di zinco possono essere migliorati nell'aspetto e nel potere protettivo con un trattamento finale di "passivazione", che consiste, nei casi più frequenti, in un trattamento di cromatazione.

Il grande sviluppo della produzione di manufatti zincati (impiegati soprattutto nell'industria dell'auto) ha fatto sì che aumentasse la diffusione di questo tipo di trattamento galvanico. I bagni di zincatura possono essere preparati a partire da sfere o piastre metalliche di zinco. Si suddividono in:

2.4.1 Zincatura acida

I bagni acidi al solfato di zinco sono tra quelli più usati, in particolare per la zincatura di filo e nastro di ferro o di acciaio. Questi bagni possono contenere acido solforico libero (per aumentare la conducibilità dell'elettrolita e migliorarne il potere penetrante), oppure zinco cloruro in acido cloridrico, o acido acetico.

2.4.2 Zincatura alcalina senza cianuri

Le soluzioni contengono zincato sodico Na_2ZnO_2 , idrossido di sodio, idrossido di potassio e carbonato di sodio.

2.4.3 Zincatura alcalina con cianuri

Questo processo, detto anche zincatura lucida, non è mai stato osservato nel comparto. Normalmente la composizione è costituita da cianuro di sodio, zinco e idrossido di sodio.



Foto n. 4: linea di zincatura

Principali sostanze utilizzate nella zincatura

- zinco	Zn	EC 231-175-3	CAS 7440-66-6
- solfato zinco	ZnSO_4		CAS 7446-20-0
- cloruro di zinco	ZnCl_2	EC 231-592-0	CAS 7646-85-7
- acido solforico	H_2SO_4	EC 231-639-5	CAS 7664-93-9
- idrossido di sodio	NaOH	EC 215-185-5	CAS 1310-73-2

- idrossido di potassio	KOH	EC 215-181-3	CAS 1310-58-3
- cianuro di sodio	NaCN	EC 205-599-4	CAS 143-33-9

2.5 Argentatura

L'argentatura galvanica è impiegata soprattutto a scopo decorativo, o funzionale nell'industria elettronica, per la sua eccellente conducibilità elettrica. I componenti principali delle soluzioni di argentatura sono i complessi di argento e i cianuri liberi, ampiamente utilizzati poiché consentono di ottenere rivestimenti sottili di metalli pregiati.

La temperatura di esercizio dei bagni è quella ambiente.

Prima del trattamento di argentatura vero e proprio, è utile un'operazione di **preargentatura**, della durata di pochi secondi, che consiste nell'immergere gli oggetti da ricoprire in una soluzione in cui il contenuto di ioni Ag^+ liberi è più basso (silver strike) e quello degli ioni CN^- più alto, rispetto ai bagni di argentatura.

Principali sostanze utilizzate nell'argentatura				
- idrossido di sodio	NaOH	EC 215-185-5	CAS 1310-73-2	
- idrossido di potassio	KOH	EC 215-181-3	CAS 1310-58-3	
- cianuro di sodio	NaCN	EC 205-599-4	CAS 143-33-9	
- cianuro di potassio	KCN	EC 205-792-3	CAS 151-50-8	
- cianuro di argento	AgCN	EC 208-048-6	CAS 506-64-9	
- cianuri complessi di argento e potassio				
- argento carbonato	AgCO_3	EC 203-590-3	CAS 534-16-7	
- argento (II) ossido	AgO	EC 215-098-2	CAS 1301-96-8	
- argento (I) ossido	Ag_2O	EC 243-957-1	CAS 20667-12-3	
- argento	Ag	EC 231-131-3	CAS 744-22-4	

2.6 Doratura

La doratura è impiegata per nobilitare oggetti prodotti con materiali poco pregiati. Il rivestimento ottenuto con il trattamento di doratura è molto sottile ma sufficientemente protettivo e conferisce alle superfici colorazioni particolari. Essa è impiegata anche nella produzione di circuiti stampati, contatti elettrici, semiconduttori e riflettori. Gli spessori ottenuti variano da un minimo di 0,01 μm , per scopi decorativo-protettivi, fino a 1000 μm per oggetti elettronici.

I bagni di doratura sono di due tipi:

- **acidi**: per bagni funzionali (schede elettroniche) e a spessore
- **alcalini**: per trattamenti decorativi a basso spessore, cui seguono, di solito, verniciature protettive

I Componenti dei bagni di doratura sono: fosfato di sodio, cianuro d'oro (I) complesso. In entrambi i casi la temperatura di esercizio è 55-60°C.

Principali sostanze utilizzate nella doratura

- cianuro complesso di oro (I)	AuCN	EC 236-623-1	CAS 13453-07-1
- cianuro d'oro di potassio	KAu(CN) ₂	EC 237-748-4	CAS 13967-50-5
- fosfato di sodio	Na ₃ PO ₄	EC 231-509-8	CAS 7601-54-9
- sodio metabisolfito	Na ₂ S ₂ O ₅	EC 231-673-0	CAS 7681-57-4
- acido citrico	C ₆ H ₈ O ₇	EC 201-069-1	CAS 77-92-9
- acido tartarico	C ₄ H ₆ O ₆	EC 201-766-0	CAS 87-69-4

2.7 Ottonatura

L'ottonatura è una finitura galvanica che prevede la creazione di un substrato di nickel, sul quale si fissa successivamente la lega di ottone. Si esegue su materiali ferrosi o di ottone.

L'elettrodepositazione dell'ottone (lega di rame e zinco) si effettua in bagni alcalini al cianuro, contenenti complessi di rame e zinco [K₂Cu(CN)₃, Na₂Cu(CN)₃, K₂Zn(CN)₄, Na₂Zn(CN)₄], carbonati. Gli anodi sono di ottone e per un buon funzionamento è necessario che il rame e lo zinco che si dissolvano corrispondano a quelli che si depositano sul catodo. La temperatura di esercizio del bagno è variabile dai 30 °C ai 50 °C.

Principali sostanze utilizzate nell'ottonatura

- cianuri complessi di rame	Na ₂ Cu(CN) ₃		
- cianuri complessi di zinco	Na ₂ Zn(CN) ₄		
- cianuri complessi di potassio			
- cianuro di potassio	KCN	EC 205-792-3	CAS 151-50-8
- cianuro di sodio	NaCN	EC 205-599-4	CAS 143-33-9

2.8 Lega stagno/cobalto

Viene depositato per via elettrochimica un rivestimento protettivo e/o decorativo costituito da uno strato di Nichel ricoperto da uno strato di stagno-cobalto (eventualmente da uno strato di vernice protettiva cataforetica). Tale processo elettrolitico è anche denominato "Zartan" (da cui zartizzazione) è adatto a trattamenti in rotobarile per minuteria metallica, particolari per elettrodomestici e per l'industria automobilistica, ma anche per l'industria elettrotecnica e elettronica (circuiti stampati) e come rifinitura di plastiche metallizzate.

In molte applicazioni può sostituire i rivestimenti del cromo, possedendo lo stesso potere riflettente, notevole durezza e ottima penetrazione per pezzi di sagome complicate. Per tale ragione tale trattamento è anche noto col nome "Chromeless" ovvero "senza Cromo". Questa denominazione sottolinea che il trattamento considerato è sostitutivo della cromatura. Tale definizione può trarre in inganno, facendo supporre che il processo sia meno pericoloso dal punto di vista del rischio chimico. Al contrario il cobalto e i suoi sali sono considerati agenti cancerogeni dalla CEE e dai maggiori enti internazionali per la classificazione delle sostanze in base agli effetti sulla salute. La temperatura di processo è 60-70°C.

Principali sostanze utilizzate per il trattamento lega stagno

- solfato stannoso	SnSO ₄	EC 231-302-2	CAS 7488-55-3
- cobalto acetato tetraidrato	Co(CH ₃ CO ₂) ₂ ·4H ₂ O		CAS 6147-53-1
- cobalto bi acetato	Co(CH ₃ CO ₂) ₂	EC 200-755-8	CAS 71-48-7
- sali di cobalto			

2.9 Bronzatura

Procedimento elettrolitico per il deposito di lega di rame-stagno-zinco. I trattamenti di bronzatura hanno trovato largo impiego nel settore decorativo (bigiotteria, occhialeria) soprattutto per le caratteristiche di brillantezza delle superfici trattate, che si presentano di colore giallo, nel caso di spessori maggiori, o bianco a medio-basse densità. Il deposito di bronzo bianco può essere lasciato ultimo strato in quanto resistente alla corrosione, oppure può essere ricoperto da un adeguato spessore di metallo prezioso. In virtù della buona resistenza alla corrosione, la bronzatura costituisce una valida alternativa alla nichelatura.

Principali sostanze utilizzate nella bronzatura

- cianuro rameoso	CuCN	EC 208-883-6	CAS 544-92-3
- cianuro di zinco	Zn(CN) ₂	EC 209-162-9	CAS 557-21-1
- cianuro di sodio	NaCN	EC 205-599-4	CAS 143-33-9
- sale di Rochelle (sodio potassio tartrato)		EC 205-698-2	CAS 6381-59-5
- carbonato di sodio	NaCO ₃	EC 207-838-8	CAS 497-19-8
- ossido di cadmio	CdO	EC 215-146-2	CAS 1306-19-0
- stannato sodico	Na ₂ SnO ₃ ·3H ₂ O	EC 234-724-5	CAS 12209-98-2
- pirofosfato di sodio tetrabasico	Na ₂ H ₂ P ₂ O ₇		CAS 7722-88-5
- citrato di sodio			CAS 6132-04-3
- cianuro di potassio	KCN	EC 205-792-3	CAS 151-50-8

2.10 Cadmiatura

La *cadmiatura* è impiegata per applicazioni speciali, come ad esempio particolari di organi di macchine in movimento (settore aeronautico). La cadmiatura si esegue solo per via elettrolitica.

Per le proprietà estetiche, il cadmio può anche essere impiegato in alternativa all'argento. I componenti principali dei bagni al cianuro sono i complessi del cadmio, i cianuri di sodio e di potassio liberi, l'idrossido di sodio oppure di potassio. La temperatura di processo è di 20°C.

Principali sostanze utilizzate nella cadmiatura

- cianuro di sodio	NaCN	EC 205-599-4	CAS 143-33-9
- cianuro di potassio	KCN	EC 205-792-3	CAS 151-50-8
- cianuro di cadmio	Cd(CN) ₂	EC 208-829-1	CAS 542-83-6
- idrossido di sodio	NaOH	EC 215-185-5	CAS 1310-73-2
- idrossido di potassio	KOH	EC 215-181-3	CAS 1310-58-3
- cadmio	Cd	EC 231-152-8	CAS 7440-43-9

2.11 Ossidazione anodica dell'alluminio

Chiamata anche anodizzazione, effettua una trasformazione elettrochimica della superficie di alluminio creando uno strato di ossido estremamente duro e compatto. Gli oggetti da trattare devono essere completi di ogni lavorazione meccanica e di ogni rifinitura prima del trattamento e la superficie deve essere preventivamente pulita ed adeguatamente preparata. Successivamente si collegano i pezzi all'anodo di una cella elettrolitica, contenente una soluzione diluita di acido solforico o cromico od ossalico. In tal modo la superficie del pezzo di alluminio viene attaccata ottenendo così un consistente aumento dello spessore dello strato di ossido con conseguente aumento della sua efficacia. Con questo tipo di trattamento è, pertanto, possibile ottenere proprietà isolanti, o di resistenza all'usura. Inoltre, poiché si opera in soluzione acquosa, all'anodo si forma in realtà idrato di alluminio che è un materiale molto poroso ed ha, quindi, un'elevata capacità di assorbimento; questa può essere sfruttata per impregnare la superficie del pezzo con materie coloranti.

L'anodizzazione differisce da altri trattamenti quali verniciatura, cromatura, poiché mentre tutti questi trattamenti sono un riporto di materiali diversi sul materiale base, l'anodizzazione è una vera e propria modifica della superficie del metallo stesso.

I più importanti processi di ossidazione anodica sono tre:

- all'**acido solforico**, è attualmente quello più diffuso e produce strati bianchi di ossido traslucido e duro, adatto a successive applicazioni di vernice
- all'**acido cromico**, è stato il primo ad essere applicato e produce strati piuttosto sottili, semipachi e vetrosi, che possiedono ottima resistenza alla corrosione
- all'**acido ossalico**, viene adoperato soprattutto per produrre strati assai duri, spessi e particolarmente atti all'isolamento elettrico

L'anodizzazione si effettua solitamente in vasche munite di sistema di raffreddamento, infatti è importante mantenere la temperatura del bagno intorno ai 22°C. Normalmente l'agitazione dei bagni è effettuata mediante insufflazione d'aria.

Il trattamento di anodizzazione dell'alluminio è molto usato per produrre pezzi di grosse dimensioni (infissi, tapparelle, mobili, particolari per l'industria aeronautica, ecc.). Per tale motivo le linee di anodizzazione presentano vasche di notevoli dimensioni, il che comporta una maggiore aerodispersione di sostanze inquinanti nell'ambiente.

Principali sostanze utilizzate nella ossidazione anodica dell'alluminio

- acido solforico	H_2SO_4	EC 231-639-5	CAS 7664-93-9
- anidride cromica	CrO_3	EC 215-607-8	CAS 1333-82-0
- acido ossalico	$(COOH)_2$	EC205-634-3	CAS 144-62-7

2.12 Altri processi non elettrochimici

2.12.1 Metallizzazione plastiche

L'industria dei trattamenti delle superfici ha visto svilupparsi in modo sempre più crescente i processi di metallizzazione delle materie plastiche. Grazie allo sviluppo delle resine ABS (copolimeri a base di acrilonitrile, butadiene e stirene) sono sempre più numerose le applicazioni tecnologiche per produrre oggetti in plastica rivestiti in metallo.

Le resine ABS, rispetto alle altre materie plastiche, presentano il vantaggio di non esigere alcuna preparazione meccanica, come la sabbiatura o la pomiciatura.



Foto n. 5: metallizzazione chimica di placche per interruttori

2.12.2 Mordenzatura

Il trattamento chimico definito mordenzatura (o condizionatura), che consiste nell'ossidazione dei doppi legami del butadiene, permette all'ABS di presentare una superficie modificata e adatta all'ancoraggio di un sottile strato di metallizzazione.

I tipi di soluzioni di mordenzatura sono fondamentalmente tre:

- a base di sola anidride cromica
- miscela di acidi solforico e cromico
- soluzioni ternarie a base di acidi solforico, fosforico e cromico

La temperatura di esercizio varia da 60 a 68°C, l'agitazione dei bagni si ottiene per insufflazione d'aria.

Dopo la mordenzatura seguono un lavaggio e quindi un bagno di neutralizzazione e riduzione del cromo esavalente residuo. Normalmente si tratta di soluzioni a base di acido cloridrico, ferro(II), oppure idrazina o perossido di idrogeno (a temperatura ambiente).

2.12.3 Sensibilizzazione e attivazione

Consiste in un primo deposito metallico sulla superficie dell'oggetto in materiale plastico. Normalmente si tratta di due trattamenti chimici in successione i cui componenti fondamentali delle soluzioni sono:

- bagno sensibilizzazione (o prepalladio): cloruro stannoso biidrato($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) acido cloridrico conc. temperatura 25-30°C
- bagno attivazione (o palladio): cloruro palladioso (PdCl_2) acido cloridrico conc. temperatura 25-30°C

Entrambi i bagni sono dotati di agitazione meccanica.

2.12.4 Metallizzazione chimica

Poiché le materie plastiche non sono conduttrici, da principio occorre depositare per via chimica un metallo che serva da substrato iniziale e funzionale ai depositi successivi ottenuti per via elettrolitica. La deposizione chimica o metallizzazione chimica si può ottenere con i seguenti trattamenti:

- **ramatura chimica**, soluzione a base di solfato di rame, sale di Seignette, idrossido di sodio, formaldeide; la temperatura di processo è 20-50°C, pH 10,5 – 12,5
- **nichelatura chimica acida**, detta anche metallizzazione all'ipofosfato acido, consiste in una soluzione a base di: solfato di nichel, acetato di nichel, sodio ipofosfato e come complessati: acido glicolico, citrico e pirofosfato; la temperatura di processo è 60-70°C, pH 5,0-6,0
- **nichelatura chimica alcalina**, detta anche metallizzazione all'ipofosfato alcalino, i componenti del bagno sono: solfato di nichel, sodio ipofosfato, ammoniaca; la temperatura di processo è 30-50°C, il pH 8-10.

Una volta che le materie plastiche sono rese conduttrici mediante metallizzazione chimica seguiranno trattamenti di deposizione elettrolitica non differenti sostanzialmente da quelli eseguiti su particolari metallici.

Principali sostanze utilizzate nella metallizzazione plastiche				
- acido solforico	H_2SO_4	EC 231-639-5	CAS 7664-93-9	
- anidride cromica	CrO_3	EC 215-607-8	CAS 1333-82-0	
- acido ossalico	$(\text{COOH})_2$	EC205-634-3	CAS 144-62-7	
- acido fosforico	H_3PO_4	EC 231-633-2	CAS 7664-38-2	
- acido cloridrico	HCl	EC 231-595-7	CAS 7647-01-0	
- cloruro palladioso	PdCl_2		CAS 4647-10-1	
- cloruro di nichel	NiCl_2	EC. 231-743-0	CAS 7718-54-9	
- solfato di nichel	NiSO_4	EC 232-104-9	CAS 7786-81-4	
- acetato di nichel	$\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$		CAS 6018-89-9	
- sodio ipofosfato	$\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$		CAS 123333-67-5	
- ammoniaca	NH ₃	EC 231-635-3	CAS 7664-41-7	

3. FINITURA

3.1 Cromatazione

La cromatazione, o passivazione cromica, è un processo che normalmente segue la zincatura, ma può anche essere applicata su depositi di cadmio, alluminio, rame, ottone, bronzo, argento e magnesio. Questa operazione aumenta la resistenza dei particolari metallici agli agenti atmosferici (da qui il nome di passivazione), ma altresì costituisce un supporto ideale per assicurare l'adesione ai strati successivi di vernici.

A seconda delle soluzioni di trattamento, si possono ottenere colorazioni iridescenti, gialle, azzurre, bronze, oliva, nere ecc. Una vasta gamma di finiture, più o meno estetiche e protettive, si possono ottenere variando la composizione di base, innalzando il contenuto cromico, o modificando i valori di pH.

La cromatazione non è un processo elettrochimico, bensì esclusivamente chimico; si ottiene per immersione in soluzioni di acido cromico, acido solforico e cromo trivale a temperatura ambiente.

Principali sostanze utilizzate nella cromatazione			
- acido solforico	H_2SO_4	EC 231-639-5	CAS 7664-93-9
- anidride cromica	CrO_3	EC 215-607-8	CAS 1333-82-0
- bicromato di potassio	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	EC 231-906-6	CAS 7778-50-9
- bicromato di sodio biidrato	$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 2\text{H}_2\text{O}$	EC 234-190-3	CAS 7789-12-0
- bicromato di sodio	$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	EC 234-190-3	CAS 10588-01-9
- sali di cromo (III)			
- sodio bisolfito	NaHSO_3	EC 231-548-0	CAS 7631-90-5

3.2 Fosfatazione

La fosfatazione (detta anche bonderizzazione o granodizzazione) è un trattamento che consente di ottenere un deposito protettivo superficiale efficace contro la corrosione e l'ossidazione di particolari anche non ferrosi quali zinco, magnesio, alluminio. Si tratta di uno strato di fosfati fortemente aderente al metallo base. Normalmente il trattamento avviene per immersione o per spruzzatura. Questa fase può anche essere eseguita anche dopo la sgrassatura. La fosfatazione oltre ad essere un trattamento antiruggine è un ottimo ancoraggio per materie plastiche o vernici.

Si possono distinguere e classificare diversi tipi di rivestimenti di fosfatazione a seconda della natura dei bagni e del metallo da rivestire. Tra questi citiamo i più utilizzati:

- ⇒ **fosfatazione al manganese**, utilizzo di bagni a base di acido fosforico, carbonato di manganese, carbonato di zinco, acetato di sodio. Oppure, si può utilizzare una miscela fosfatante contenente fosfato biacido di manganese, nitrato di bario, solfato di manganese, solfato o carbonato di rame. Si opera ad una temperatura di 90 - 95°C per circa dieci minuti, dopodiché gli oggetti sono risciacquati e, quindi, trattati con una soluzione passivante a base di **acido cromico**.
- ⇒ **fosfatazione allo zinco**, è la più usata e si effettua, in genere, su acciaio. Il bagno contiene acido fosforico, ossido di zinco nitrito sodico; oppure si può utilizzare una ricetta "accelerante", che contiene: acido fosforico, carbonato di zinco, carbonati di manganese, di nichel o di cobalto, nitrato

di sodio. La temperatura è compresa tra 60 e 98°C. Questo trattamento può avvenire per immersione o a spruzzo; normalmente è seguito da una **passivazione cromica**.

Principali sostanze utilizzate nella fosfatazione al manganese, rame e zinco

- acido fosforico	H ₃ PO ₄	EC 231-633-2	CAS 7664-38-2
- carbonato di manganese	MnCO ₃	EC 209-942-9	CAS 598-62-9
- carbonato di zinco	ZnHCO ₃	EC 222-477-6	CAS 3486-35-9
- acetato di sodio	CH ₃ COONa	EC 204-823-8	CAS 127-09-3
- nitrato di bario	Ba(NO ₃) ₂	EC 233-020-5	CAS 10022-31-8
- solfato di manganese	MnSO ₄ ·H ₂ O		CAS 10034-96-5
- solfato di rame	Cu SO ₄	EC 231-847-6	CAS 7758-98-7
- ossido di zinco	ZnO	EC 215-222-5	CAS 1314-13-2
- nitrito di sodio	NaNO ₂	EC 231-555-9	CAS 7632-00-0
- carbonato di nichel	NiCO ₃	EC 222-068-2	CAS 3333-67-3
- nitrato di sodio	NaNO ₃	EC 231-554-3	CAS 7631-99-4
- carbonato di cobalto	Co(CO ₃) ₂	EC 208-169-4	CAS 513-79-1

3.3 Elettrolucidatura dell'acciaio

L'elettrolucidatura è un processo elettrochimico che consiste in un'asportazione selettiva di materiale dalla superficie del pezzo. Il procedimento si ottiene mediante immersione in soluzione chimica di acidi forti, la cui azione, unitamente a quella della corrente elettrica, porta ad una asportazione controllata delle rugosità presenti sul metallo.

L'elettrolucidatura agisce in modo differenziato sullo strato superficiale di un oggetto, più intensamente dove il materiale presenta irregolarità. Il risultato finale è l'ottenimento di una superficie omogenea, perfettamente levigata e brillante, anche per oggetti con sagome complesse, per i quali la tradizionale lucidatura a spazzola e abrasivi non è sufficiente o si rivela inattuabile.

Il bagno di elettrolucidatura è una soluzione acida ad altissimo peso specifico e bassa conducibilità. Per effetto del passaggio di corrente si verifica il procedimento opposto a quello dell'elettrodepositazione. Avviene cioè una lieve asportazione superficiale (dell'ordine di 1µm ogni 30 minuti di trattamento) che permette di ottenere un effetto di lucentezza.

Principali sostanze utilizzate nell'elettrolucidatura dell'acciaio

- acido fosforico	H ₃ PO ₄	EC 231-633-2	CAS 7664-38-2
- acido solforico	H ₂ SO ₄	EC 231-639-5	CAS 7664-93-9
- acido nitrico	HNO ₃	EC 231-714-2	CAS 7697-37-2
- acido perclorico	HClO ₄	EC 231-512-4	CAS 7601-90-3
- anidride acetica	(CH ₃ CO) ₂ O	EC 203-564-8	CAS 108-24-7
- acido citrico	C ₆ H ₈ O ₇	EC 201-069-1	CAS 77-92-9