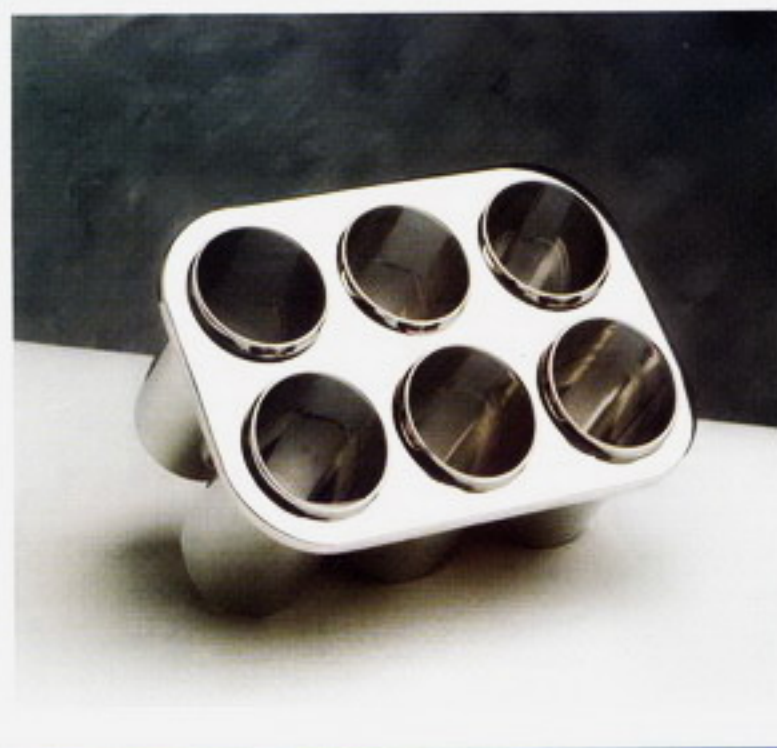


IMPIANTI<sup>®</sup>  
**Promite**

**OLTRE LE MIGLIORI ASPETTATIVE  
NELLA FINITURA DELLE SUPERFICI**



*Negli ultimi anni la **PROMITE Impianti**, per soddisfare le esigenze del mercato, ha deciso di sviluppare la propria attività di Service.*

**L'attività di Service in:**

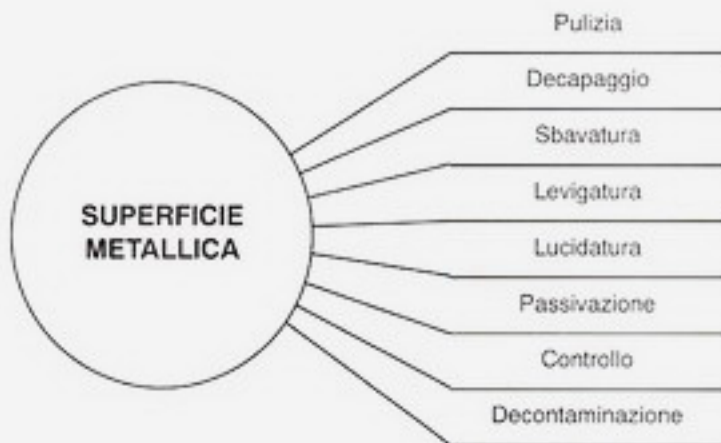
- 1.** Esecuzione di lavori di decapaggio, sbavatura, lucidatura elettrochimica, passivazione e decontaminazione su particolari complessi e/o delicati (tubazioni, scambiatori di calore, condensatori, evaporatori, reattori, serbatoi, valvole raccordi, pezzi di grandi e/o piccolissime dimensioni) (settori: farmaceutico, chimico, alimentare, elettronico, alto vuoto, cartario, nucleare, ecc.).
- 2.** Assistenza tecnica al Cliente per le fasi di pulizia (la conoscenza dei meccanismi di adesione consente di scegliere i migliori sistemi per una pulizia adeguata).
- 3.** Assistenza tecnica al Cliente per l'eventuale monitoraggio dell'impianto al fine di controllare la buona resistenza alla corrosione e di verificare le prestazioni tecnologiche nel tempo.



## ATTIVITA' DELLA PROMITE

La PROMITE Impianti si occupa di pianificazione delle superfici metalliche con tecnologie proprie.

### ATTIVITA' INDUSTRIALI



**TRATTAMENTI SUPERFICIALI:  
COME - QUANDO - PERCHE'**

Resistenza alla corrosione, passività nei confronti dei prodotti trattati e agevole pulizia. Questi gli elementi chiave da considerare fin dalle fasi di preventivazione e progettazione di apparecchiature industriali.

La scelta di un acciaio inossidabile austenitico è fatta solitamente per assicurare ad una costruzione un buon comportamento alla corrosione, una passività verso ciò che deve contenere ed un'agevole pulizia.

Proprietà espresse così semplicemente sottintendono talvolta altre come: sterilità, assenza di reazioni di ossidazione, assenza di reazioni di parete, uniformità di parete, uniformità di comportamento nel tempo, ecc.

Queste prestazioni sono in genere ottenibili a patto di rispettare semplici regole, quali:

- scelta appropriata del materiale;
- progettazione adeguata della costruzione;
- realizzazione corretta della costruzione;
- trattamento delle superfici corretto e finalizzato ai risultati da ottenere;
- controllo finale della costruzione e dei trattamenti.

L'esperienza va mostrando sempre più che il costo globale della costruzione è il minore possibile solo se si tiene conto di tutti i fattori fin dall'inizio; ciò significa anche che è opportuno stabilire già in fase di preventivazione e progettazione come effettuare i trattamenti superficiali che assicurano le proprietà finali richieste dall'utente.

Con questo articolo ci proponiamo di fornire agli interessati un quadro chiaro di ciò che si intende per trattamenti superficiali e quali implicazioni questi trattamenti possano avere sui risultati che si vogliono ottenere.

**CONSIDERAZIONI  
METALLURGICHE (1)**

La struttura degli acciai inossidabili austenitici è alla base del loro impiego. Anche minime variazioni microstrutturali hanno una considerevole influenza sul comportamento alla corrosione nei più diversi ambienti. Pertanto queste variazioni strutturali possono avere una enorme importanza non solo in relazione all'applicazione finale, ma anche in relazione ai trattamenti superficiali a cui il manufatto dovrà essere sottoposto (si potrebbero infatti verificare fenomeni di corrosione anche durante questi trattamenti superficiali).

E' opportuno quindi tenerne conto e, come affermano le buone regole, si deve conoscere per evitare. I fenomeni strutturali da evitare sono:

- *ingrossamento del grano* (permanenza eccessiva a temperatura elevata, dovuta non solamente a saldatura o trattamenti termici, ma

anche a deformazioni o lavorazioni meccaniche).

- *precipitazione di carburi* (temperatura, tempo di permanenza e contenuto di carbonio sono i tre fattori che influenzano il fenomeno; si può intervenire anche scegliendo materiali a bassissimo tenore di carbonio o stabilizzanti oppure effettuando un trattamento termico di solubilizzazione).
- *formazione di fase sigma* (composizione, temperatura e tempo di permanenza sono i tre fattori che possono influenzare il fenomeno, che per altro è meno rilevante dei primi due negli acciai austenitici).

Prestare un'adeguata attenzione a questi problemi, consentirà poi di evitarne altri, con i relativi costi, in sede di trattamento superficiale del manufatto, per non parlare di quelli che potrebbero intervenire nell'impiego finale.

**FENOMENI  
DI CORROSIONE**

Gli acciai inossidabili austenitici hanno la caratteristica di presentare superficialmente uno strato di ossido di cromo (formatosi all'aria o prodotto artificialmente) molto sottile



ed invisibile che protegge il materiale dagli attacchi dell'ambiente; questa resistenza dipende dalla percentuale di cromo e di nichel, nonché dalla presenza di alcuni altri alliganti come ad esempio il molibdeno. La resistenza alla corrosione è invece diminuita dal manganese, che talvolta sostituisce il nichel; effetto negativo ha pure il carbonio al di sopra di certi valori (0,05%) in caso di trattamenti termici, saldature o sollecitazioni elevate (in questi casi si trova talvolta impiegato il titanio o il niobio come stabilizzante).

Quando è impedita la formazione di questo strato di ossido di cromo o quando questo viene continuamente distrutto, gli acciai inossidabili austenitici si corrodono.

I tipi di corrosione riscontrabili sono:

- corrosione uniforme;
- corrosione galvanica;
- corrosione interstiziale;
- corrosione puntiforme (va-  
iolatura o *pitting*);
- corrosione sotto sforzo  
(*stress corrosion*);
- corrosione intercristallina;
- ossidazione da eterogeneità;
- corrosione per fatica, ecc.

Per poter utilizzare bene la resistenza alla corrosione degli acciai inossidabili, è necessario:

- conoscere i tipi di corrosione possibili e le loro cause;
- scegliere le leghe adatte per ogni applicazione pratica;
- far attenzione alla progettazione corretta del manufatto per evitare situazioni che possono essere causa di corrosione;
- effettuare trattamenti superficiali adeguati al manufatto e mantenerlo metallurgicamente pulito.

In tab. 1 vediamo per ogni tipo di corrosione come si possa limitarla o impedirla.

I trattamenti superficiali degli acciai austenitici, qualora sia-

no-presenti le condizioni in cui si può verificare un tipo di attacco corrosivo e qualora non vengano effettuati in condizioni controllate, possono condurre attacchi superficiali localizzati o diffusi dei manufatti.

Lo scopo invece dei trattamenti superficiali è quello di conferire, tra l'altro, all'acciaio inossidabile le migliori condizioni per resistere alla corrosione.

Uno dei compiti dell'esperto di trattamenti superficiali è proprio quello di evidenziare eventuali condizioni anomale dei manufatti in modo da consentire al costruttore di porvi rimedio in tempo, prima cioè che il manufatto venga definitivamente impiegato.

Sono state effettuate molte ricerche con lo scopo di chiarire l'influenza della finitura superficiale sulla resistenza alla corrosione. Una ricerca recente (2) evidenzia la pericolosità delle lavorazioni meccaniche superficiali nel caso dell'AISI 304, mentre un'altra (3) fornisce dati comparativi per l'AISI 316 stabilizzato al titanio (v. Fig. 1).

#### INTERAZIONI ACCIAIO INOSSIDABILE - AMBIENTE

Le interazioni tra un manufatto e l'ambiente avvengono tramite la sua superficie.

Di solito chi sceglie un manufatto in acciaio inossidabile ha l'esigenza di minimizzare queste reazioni; ciò corrisponde a:

- scegliere il tipo di acciaio inossidabile adatto;
- garantirsi la purezza della superficie;
- passivarne la superficie;
- avere la minima superficie (più compatta e chiusa possibile).

Le interazioni possibili sono:

- scambio di materia di tipo chimico (corrosione, reazione con depositi (6), ecc.);

- scambio di materia di tipo fisico (polarizzazione, adsorbimento, desorbimento, ecc.);

- scambio di materia fisico-chimico;

Problemi di qualità e di funzionalità fanno sì che queste interazioni debbano essere in massima parte evitate in moltissime industrie (farmaceutica, elettronica, chimica, cartaria, nucleare, del vuoto, alimentare, ecc.).

#### QUALIFICAZIONE DELLE SUPERFICI DELLE COSTRUZIONI IN ACCIAIO INOSSIDABILE

Poiché i problemi che affliggono gli utilizzatori dei manufatti in acciaio inossidabile sono:

- corrosione
- pulizia
- incrostazioni
- effetto parete
- cessione,

l'esperienza ha indotto a qualificare le superfici sulla base delle proprietà che minimizzano tali problemi e cioè:

- potenziale elettrochimico (grado di nobiltà = misura della resistenza alla corrosione);
- rugosità (Ra, Rt, Rz);
- forma del microprofilo (= compattezza);
- struttura cristallina superficiale;
- inclusioni eterogenee;
- grado di pulizia;
- passività.

Allo stato attuale non esiste ancora una normativa da tutti riconosciuta. I vari utilizzatori industriali, a seconda delle diverse esigenze, hanno messo a punto o definito criteri di controllo per l'accettazione dei manufatti.

Le società più all'avanguardia nel settore dei trattamenti superficiali stanno effettuando uno sforzo di ricerca applicata per la definizione di parametri, metodi e criteri di controllo che possano venire accettati e normalizzati.





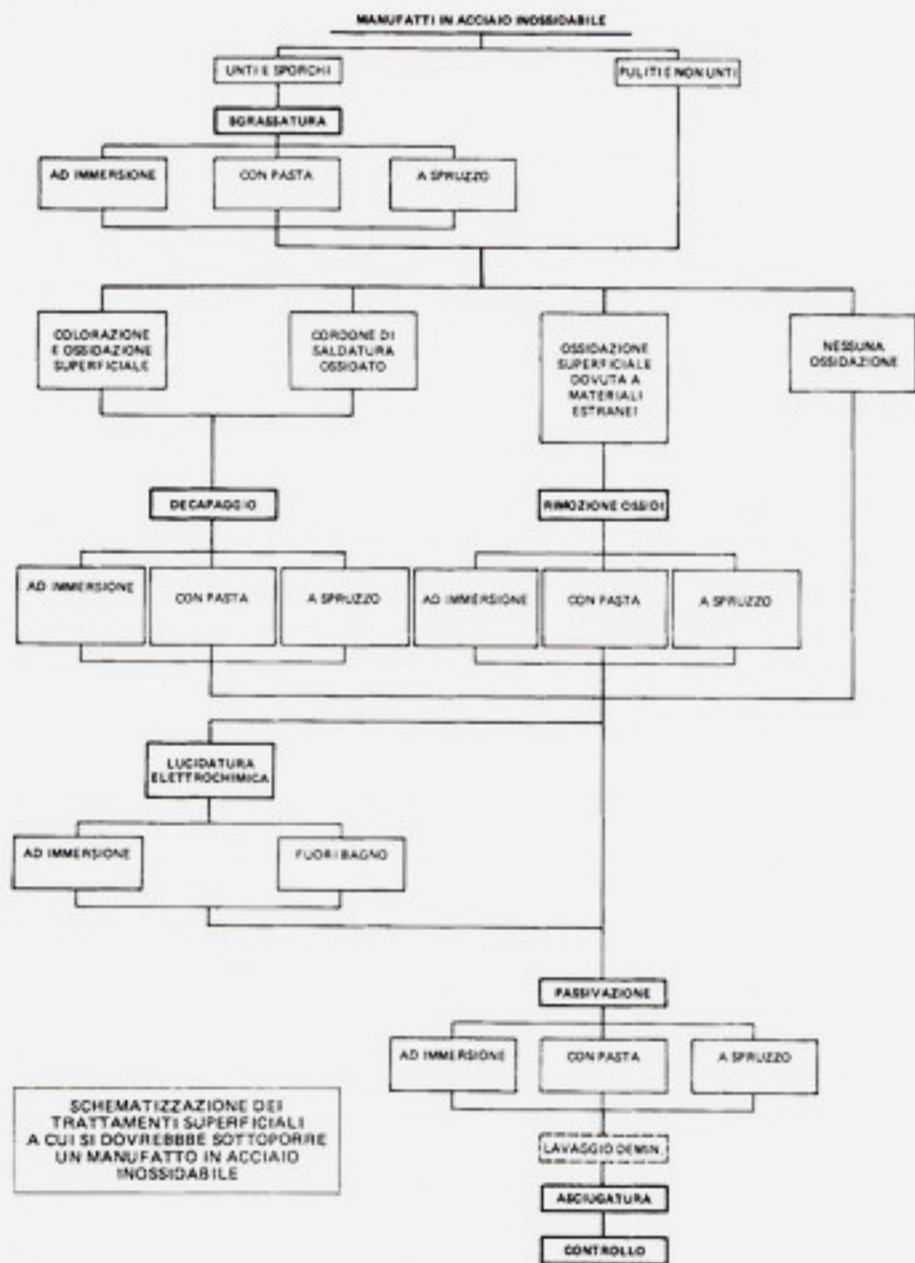


Fig. 2 - Schematizzazione dei trattamenti superficiali a cui dovrebbe sottoporre un manufatto in acciaio inossidabile (5).



## TRATTAMENTO SUPERFICIALE DEGLI ACCIAI INOSSIDABILI AUSTENITICI

A seconda dell'impiego del manufatto è necessario un certo trattamento superficiale.

Come si rileva dalla Fig. 2 è almeno necessaria in ogni caso la passivazione, che per la verità avviene lentamente anche all'aria. Una buona e sicura passivazione è però sempre necessaria prima dell'impiego del manufatto, per cui è consigliabile assicurarsi che sia presente almeno con un controllo.

Normalmente si impiega un metodo semplice e rapido, alla portata di tutti gli operatori. I casi più frequenti di manufatto da trattare sono quelli di costruzioni saldate, per le quali è d'obbligo il decapaggio dei cordoni di saldatura.

La molatura dei cordoni è assolutamente da evitare in tutte quelle applicazioni in cui non si vuol correre il rischio di avere problemi di corrosione sotto sforzo.

Il decapaggio delle superfici si effettua di solito anche per eliminare ogni pericolo di eterogeneità incluse (ciò può derivare dalle lavorazioni), mentre la rimozione di ossidi superficiali si effettua in genere solo in caso di semplici problemi di estetica. Il metodo più diffuso di decapaggio è quello con la pasta, perché è il più semplice e non richiede costose attrezzature. La pasta più consigliabile è una sospensione perché in tal caso il liquido agisce totalmente ed alla fine tutto l'acido in essa contenuto ha reagito con la superficie metallica.

Altri metodi di decapaggio sono quello ad immersione chimica o elettrolitica (questo per applicazioni speciali) ed a spruzzo (si presta ad elevate produzioni ed automazioni). La lucidatura elettrochimica

(4) è stata inizialmente impiegata per surrogare la lucidatura manuale o a macchina di tipo meccanico con lo scopo di controllare qualità e costi (caffetterie, bacinelle per gelaterie, ecc.), ma successivamente, in seguito ad un maggior approfondimento delle proprietà delle superfici lucidate elettrochimicamente, è stata via via sempre più impiegata in settori d'avanguardia.

Oggi la lucidatura elettrochimica contribuisce a risolvere problemi in settori ad elevato contenuto tecnologico come quello farmaceutico (6), chimico, nucleare, elettronico, cartario, dell'alto vuoto, alimentare, biochimico, medico, ecc. ed è un trattamento fondamentale per tutti i manufatti in acciaio inossidabile destinati a questi settori.

Naturalmente, più sofisticato è il trattamento, più costose sono le attrezzature ed i controlli con cui si deve operare, e di conseguenza più raffinata la tecnologia impiegata dagli operatori.

Ritornando allo schema dei trattamenti proposto, è opportuno non considerare con leggerezza il problema del lavaggio finale, fondamentale per non lasciare residui sulla superficie, che altrimenti risulterebbe macchiata e non adeguata alle esigenze. Analoghe considerazioni valgono per l'asciugatura. Per quanto concerne il controllo del trattamento, a seconda delle prescrizioni questo può essere semplicemente visivo oppure più complesso come vedremo al prossimo paragrafo.

### CONTROLLI FINALIZZATI

A nostro avviso il primo controllo, da fare sempre, è quello di passivazione della superficie. E' estremamente semplice perché impiega solo due reattivi e nessuna attrezzatura particolare. Tutti gli altri controlli

sono decisamente più complessi perché richiedono l'impiego di attrezzature costose e di personale specializzato e non sono pertanto alla portata della maggior parte degli operatori.

I controlli sono da mettere in relazione alle prestazioni del manufatto e quindi al capitolato del cliente; generalmente si effettuano rilievi delle proprietà indicate precedentemente, anche se sovente non viene richiesto il controllo di tutte le proprietà citate.

Nella norma, nei settori più sofisticati si lavora su campioni standard di superfici di partenza; su parte di questi campioni vengono effettuati i trattamenti superficiali; prima e dopo il trattamento del manufatto si effettuano i rilievi concordati tra cliente e fornitore; questi rilievi devono corrispondere a quelli effettuati sui campioni standard. Altri controlli sono quelli sulla resistività dell'acqua di lavaggio, conteggi di particelle, ecc.

### NORME ANTINFORTUNISTICHE E PRECAUZIONI

Tutti o quasi i prodotti impiegati per il trattamento delle superfici di acciaio inossidabile contengono acidi forti. Pertanto per evitare pericolose ustioni è necessario acquistare prodotti di cui vengano fornite le norme di impiego e di sicurezza e seguirle scrupolosamente.

### PROBLEMI ACCESSORI: TRATTAMENTO ACQUE DI LAVAGGIO ED ELIMINAZIONE FANGHI

Dopo ogni trattamento è assolutamente necessario lavare con acqua di rete il manufatto, per evitare che rimangano tracce di acidi o di metalli sulla superficie.



Come si rileva dalla Tab. 2 non è possibile scaricare queste acque senza averle preventivamente trattate in modo da neutralizzarle e da decantare i sali insolubili e gli idrati in esse contenuti.

La neutralizzazione dei prodotti sul manufatto è assolutamente sconsigliabile perché riprecipiterebbe gli ossidi idrati sulla superficie metallica compromettendone la purezza, e quindi anche il risultato del trattamento superficiale stesso.

I fanghi, dopo filtrazione, vanno inviati alle apposite discariche o consegnati alle ditte autorizzate al loro ritiro.

## CONCLUSIONE

Come si è visto, gli aspetti da considerare nel caso dei trattamenti superficiali degli acciai inossidabili austenitici sono molteplici ed i risultati sono molto sovente legati alla collaborazione tra progettazione, costruzione, trattamenti superficiali ed utenza finale.

Per i problemi più complessi è opportuno rivolgersi agli specialisti, mentre nella maggior parte dei casi i costruttori stessi possono operare utilizzando le informazioni ed i prodotti reperibili sul mercato.

Tabella 2 - Caratteristiche acque

Materiale/Proprietà	Acqua di lav.	Acqua scaricabile (Legge 319)	
		Tab. A	Tab. C
pH	5-5,5	5,5-9,5	5,5-9,5
Materiali sedimentabili	1.000 ml/l	0,5 ml/l	2 ml/l
fluoruri	130 mg/l	6 mg/l	12 mg/l
cromo III	20 mg/l	2 mg/l	4 mg/l
nicel	10 mg/l	2 mg/l	4 mg/l
ferro	80 mg/l	2 mg/l	4 mg/l



## LUCIDATURA ELETTROCHIMICA DI SUPERFICI METALLICHE

Questo procedimento risulta affidabile per migliorare, in una sola fase, le caratteristiche funzionali di un gran numero di superfici.

Tra gli utilizzi industriali di tale tecnica si evidenziano quelli nel settore farmaceutico, della carta e nucleare.

Un pezzo entra in contatto con l'ambiente circostante soprattutto attraverso la sua superficie.

Le caratteristiche superficiali, a prescindere da densità, conducibilità e carico di rottura, determinano in modo preminente il comportamento funzionale.

Per quanto riguarda le superfici metalliche, bisogna citare come elementi determinanti la topografia, la struttura cristallina, la composizione dei materiali e lo stato energetico degli strati vicini alla superficie.

Il miglioramento qualitativo di una superficie metallica avviene principalmente grazie alla scelta di un materiale di base pregiato o grazie alla possibilità di riportare un rivestimento che corrisponda alle esigenze.

Un ulteriore passo è rappresentato dalla lucidatura elettrochimica che offre per molte problematiche un'altra possibilità interessante sia dal punto di vista economico che tecnico, per migliorare la qualità superficiale di un pezzo, asportando gli strati danneggiati dalle lavorazioni e meno pregiati in confronto al materiale di base.

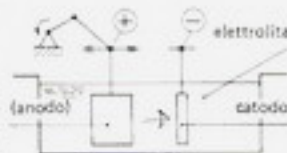
Le qualità superficiali del materiale di base vengono così utilizzate inalterate e contemporaneamente le superfici vengono ottimizzate nel loro aspetto topografico ed energetico.

### INFORMAZIONI BASE SULLA LUCIDATURA ELETTROCHIMICA

La lucidatura elettrochimica secondo le norme DIN 8590 fa parte dei procedimenti di finitura che asportano materiale con passaggio di elettricità ed è descritto nelle norme VDI 3401 foglio 2.

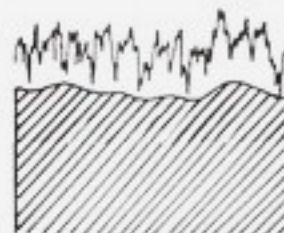
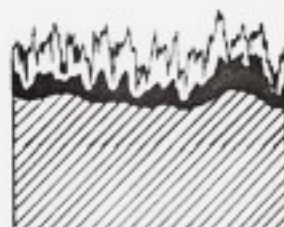
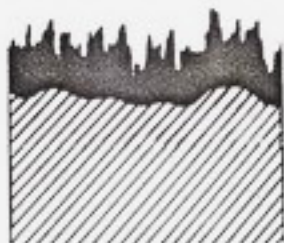
Il principio della lucidatura elettrochimica è il contrario di quello della deposizione galvanica.

Consiste in una asportazione di materiale con dissoluzione selettiva della superficie del pezzo inserita anodicamente entro un elettrolita, sotto l'azione di una fonte esterna di corrente.



Cella di lucidatura

La dissoluzione del metallo avviene in condizioni geometricamente spiananti senza attacco intergranulare e senza effetti meccanici, termici o chimici sul materiale.



*Rappresentazione schematica che mostra il livellamento progressivo di una superficie metallica sottoposta a lucidatura elettrochimica.*



Rilievi del diagramma di rugosità di un laminato a caldo satinato con grana 120 al procedere dell'operazione di lucidatura elettrochimica.

GREZZA 120

Dopo 5' - 15 Amin/dmq

Dopo 10' - 15 Amin/dmq

Dopo 15' - 15 Amin/dmq

PERTHOMETER

PERTHOMETER

PERTHOMETER

PERTHOMETER

PRUEFER :  
DATUM : 10-3-82  
WERKSTUECK :  
TASTER : RHTF - SN

PRUEFER :  
DATUM : 23-3-82  
WERKSTUECK :  
TASTER :

PRUEFER :  
DATUM : 10-5-82  
WERKSTUECK :  
TASTER : RATE

PRUEFER :  
DATUM : 27-6-82  
WERKSTUECK :  
TASTER : RHTF - SN

LT : 15,00 mm  
λ : 2,50 mm

LT : 15,00 mm  
λ : 2,50 mm

LT : 15,00 mm  
λ : 2,50 mm

LT : 15,00 mm  
λ : 2,50 mm

RMAX : 15,71 μm  
RZ : 14,01 μm  
RA : 1,81 μm  
RT : 16,12 μm

RMAX : 7,97 μm  
RZ : 7,32 μm  
RA : 1,04 μm  
RT : 8,40 μm

RMAX : 6,47 μm  
RZ : 5,56 μm  
RA : 0,78 μm  
RT : 6,92 μm

RMAX : 4,44 μm  
RZ : 3,91 μm  
RA : 0,62 μm  
RT : 5,22 μm

PROFIL P

PROFIL P

PROFIL P

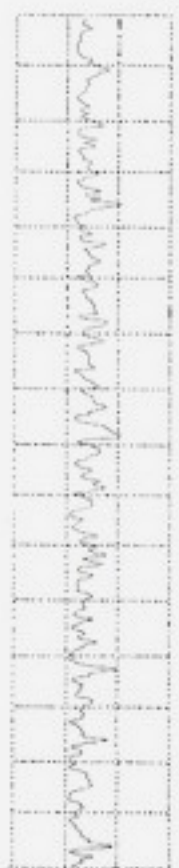
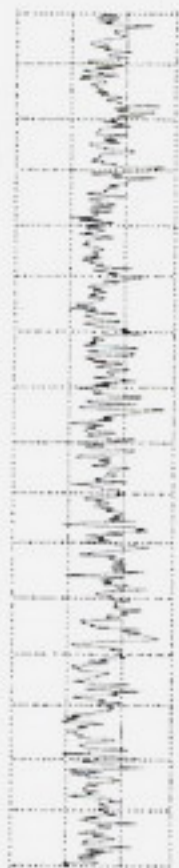
PROFIL P

↑ 10 mm : 250 μm  
→ 10 mm : 5,00 μm

↑ 10 mm : 250 μm  
→ 10 mm : 5,00 μm

↑ 10 mm : 250 μm  
→ 10 mm : 5,00 μm

↑ 10 mm : 250 μm  
→ 10 mm : 5,00 μm





Superficie decapata



Superficie decapata e lucidata elettrochimicamente



Superficie satinata 320 grit



Superficie satinata e lucidata elettrochimicamente

Sotto l'effetto della corrente di lucidatura l'elettrolita, durante il procedimento di lucidatura, forma sulla superficie dei pezzi il cosiddetto film di lucidatura, uno strato povero d'acqua, viscoso, con elevata resistenza alla diffusione (1).  
Punte di rugosità con dimensioni inferiori allo spessore del film di lucidatura, vengono preferibilmente asportate e da questo risulta una levigatura ed un livellamento in campo micro.

Strutture macroscopiche vengono levigate ed arrotondate sulla superficie, ma non livellate. Lo spessore degli strati da asportare con la lucidatura elettrochimica è esattamente riproducibile mediante densità di corrente e tempo di

lavorazione ed in pratica è circa  $5 - 50 \mu\text{m}$ .

La maggior parte dei metalli e delle leghe tecnicamente utilizzabili possono venir trattati con la lucidatura elettrochimica, operazione in cui solitamente si impiegano elettroliti costituiti da miscele di acidi minerali concentrati.

Le condizioni di lavorazione, la costruzione degli impianti e le attrezzature corrispondono più o meno a quelle impiegate in galvanotecnica.

### PROPRIETA' FUNZIONALI DELLE SUPERFICI LUCIDATE ELETTRICAMENTE

#### Caratteristiche delle superfici

La lucidatura elettrochimica elimina strati superficiali danneggiati e resi impuri da materiali estranei unitamente alle tensioni ed alle microcricche in essi contenute, in modo che la superficie finale sia costituita dalla struttura di base pura e non danneggiata del materiale di volta in volta in questione.

La superficie lucidata elettrochimicamente è metallicamente pura, levigata e compatta in campo micro ed inoltre rivela uno sviluppo notevolmente ridotto in confronto alle superfici trattate meccanicamente.

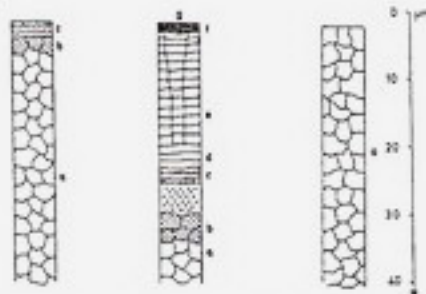


Fig. 1 - Effetto della lavorazione sullo strato superficiale con materiale 1.4301 (J. Wulff, *The metallurgy of surface finish*). Legenda: a - austenite; b - austenite e ferrite deformata a freddo; c - ferrite deformata a freddo; d - ferrite deformata a freddo e austenite deformata; e - austenite deformata; f - grani fortemente deformati con inclusioni di ossidi; g - ossidi diversi. Da sinistra a destra: lappato, rettificato, lucidato elettrochimicamente.



### Estensione reale della superficie di acciaio inossidabile



1 cm<sup>2</sup> di superficie geometrica ideale (proiezione)



ca. 2,5 cm<sup>2</sup> di superficie lucidata elettrochimicamente



ca. 17 cm<sup>2</sup> di superficie levigata meccanicamente con grana 240

Tale superficie si trova ad un livello di energia potenziale basso e di regola è esente da tensioni locali di trazione e compressione.

In campo macro è contraddistinta da una certa ondulazione residua, la cui dimensione dipende dallo stato iniziale delle superfici, dalla durezza della lucidatura elettrochimica e dalla finezza della struttura cristallina.

Questa ondulazione residua di solito non è significativa per il comportamento funzionale delle superfici, ma dà tuttavia una falsa immagine della qualità superficiale, se per la sua definizione vengono indicati esclusivamente i valori di rugosità. Questi rappresentano dati geometrici e non sono determinanti per il confronto del comportamento funzionale delle superfici, che sono state ottenute con procedimenti differenti.

Il grado di lucentezza delle superfici lucidate elettrochimicamente è di regola più elevato di quello delle superfici lucidate meccanicamente, tuttavia - a causa della ondulazione residua - non si ha un effetto di lucentezza a specchio, ma una riflessione leggermente diffusa.

Le superfici lucidate elettrochimicamente sono esenti in tutta la loro estensione, anche nelle zone più difficilmente accessibili, da bave, lamelle e bavette incluse e microcricche.

#### Miglioramento delle caratteristiche funzionali delle superfici

Tenendo presente l'argomento principale e la molteplicità dei casi in cui la lucidatura elettrochimica viene impiegata per migliorare le caratteristiche tecniche superficiali, dobbiamo sottolineare che ci è im-

possibile in questa sede trattare esaurientemente tutti gli aspetti della questione.

Il seguente elenco di miglioramenti tecnici ottenuti per mezzo della lucidatura elettrochimica non vuol essere una delimitazione, ma un incentivo alla ricerca di ulteriori soluzioni applicative in problemi concreti con questo tipo di trattamento.

Abbiamo pertanto effettuato una scelta e deciso di esaminare più da vicino i miglioramenti riguardanti resistenza alla corrosione, passività, pulizia, formazione di depositi, citando esempi pratici di applicazioni.

Con la lucidatura elettrochimica si diminuisce l'usura sulle superfici di scorrimento e negli accoppiamenti di materiale metallo/plastica.

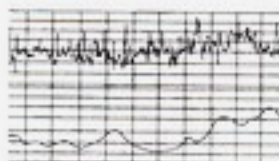


Fig. 2 - Rilievo del profilo superficiale di una superficie lucidata con grana 400 (sopra) e di una superficie lucidata con grana 120 e quindi lucidata elettrochimicamente (sotto) con uguali valori  $R_a$  e  $R_z$ .



Inoltre la lucidatura elettrochimica viene impiegata per aumentare la resistenza a fatica grazie all'eliminazione dell'origine delle cricche, per ridurre le perdite per irradiazione negli assorbitori solari o scambiatori di calore, per diminuire le perdite di temperatura nei gas liquidi, per migliorare le caratteristiche elettriche nella tecnica dell'alta frequenza, per eseguire il pretrattamento prima di processi di deposizione galvanica, chimica o fisica, per migliorare le caratteristiche tecniche di brasatura e saldatura ed anche per migliorare la velocità di degasaggio negli impianti sotto ultravuoto.

Un settore molto importante di applicazione per la lucidatura elettrochimica è rappresentato dalla sbavatura fine di superfici e spigoli nel campo della meccanica di precisione, nella costruzione di macchine, nell'elettrotecnica, nell'idraulica e nell'industria pneumatica (3).

Più avanti vengono descritti alcuni esempi di miglioramenti qualitativi che si possono ottenere con la lucidatura elettrochimica e che sono significativi particolarmente per il miglioramento delle qualità funzionali delle superfici di acciaio inossidabile.

#### RESISTENZA ALLA CORROSIONE E PASSIVITÀ

Le superfici lucidate elettrochimicamente, a causa dell'eliminazione di elementi locali come impurità, difetti strutturali e tensioni, hanno la miglior resistenza alla corrosione possibile per il materiale di volta in volta impiegato.

Durante la lucidatura elettrochimica sulla superficie dei pezzi si libera ossigeno, che si

arricchisce nel film di lucidatura e porta alla formazione di strati passivi contenenti ossidi subito dopo aver disinserito la corrente di lucidatura.

Per i vari materiali non sussiste il pericolo dell'infragilimento da idrogeno, poiché per tutta la durata del procedimento la superficie dei pezzi non viene a contatto con l'idrogeno.

La lucidatura elettrochimica crea specialmente sulle superfici di acciaio inossidabile le premesse ideali per una formazione dello strato passivo, in cui un leggero arricchimento degli elementi di lega Cromo e Nichel sulla superficie lucidata rappresenta un ulteriore vantaggio.

L'elevata passività delle superfici lucidate elettrochimicamente porta alla soppressione delle reazioni catalitiche delle superfici metalliche con i mezzi circostanti ed i fenomeni negativi da ciò risultanti.

Specialmente nel campo della chimica dei polimeri, della biochimica, della farmaceutica e della tecnica nucleare l'elevata purezza e passività delle superfici lucidate elettroliticamente è di determinante importanza. Come per esempio per le esigenze più elevate riguardo alla corrosione e passività delle superfici vogliamo citare la tecnica medica. Qui solo con la lucidatura elettrochimica si possono ottenere la necessaria resistenza alla corrosione per lungo tempo e la tollerabilità (il non-rigetto) dei tessuti alle protesi metalliche interne ed agli impianti.

#### PULIZIA E FORMAZIONE DI DEPOSITI

I procedimenti di adesione, che influenzano grandemente la pulizia e la formazione di depositi, vengono determinati non tanto dalla struttura ma-

croscopica della superficie quanto dalla microstruttura e dallo stato energetico dello strato del materiale superficiale.

Il livellamento e la compattezza in campo micro, unitamente ad una drastica diminuzione della superficie reale e del contenuto energetico potenziale, conferiscono alle superfici lucidate elettrochimicamente un comportamento favorevole ineguagliabile per quanto riguarda la pulizia ed il suo mantenimento.

Non ci sono praticamente possibilità di "ancoraggio" per i depositi e quindi la formazione degli stessi viene o impedita dall'inizio oppure i depositi che si formano in seguito a condizioni sfavorevoli vengono eliminati senza lasciar residui con una spesa limitata.

L'impiego di superfici lucidate elettrochimicamente porta vantaggi in tutti quei casi in cui la formazione di depositi crea problemi e la pulizia veloce ed ineccepibile è un fattore necessario per il cambio di prodotti oppure quando la massima pulizia e la sterilità rappresentano la premessa necessaria al mantenimento della qualità del prodotto.

#### Esempi scelti dall'industria

#### LUCIDATURA ELETTROCHIMICA COME TECNICA CHE MINIMIZZA FENOMENI D'INCROSTAZIONE

Importanza dello stato energetico superficiale.

Se confrontiamo due tubazioni allo stesso livello energetico, una con rugosità Ra 2,3 micron ed una con rugosità Ra 0,23 micron, si vede che un prodotto pulente come un tensioattivo cationico lascia nella prima tubazione un residuo di



1 mg/mq e nella seconda un residuo di 0,5 mg/mq; ciò significa che pur riducendo la rugosità di 10 volte il residuo superficiale si riduce solamente della metà.

Diverso è il caso invece di tubazioni con differente livello energetico; si è potuto rilevare che, se prendiamo due tubazioni, una con differenza di potenziale 540 mV ed una con differenza di potenziale 100 mV, a parità di Ra, si passa da un residuo di tensioattivo cationico pari a 10 mg/mq ad un residuo pari a 0,5 mg/mq.

Ciò indica quanto significativo possa essere il livello energetico dei materiali agli effetti del fenomeno di adesione ed in ultima analisi a quello di incrostazione.

La lucidatura elettrochimica è la tecnica che consente di ottenere superfici con il minimo livello energetico possibile e quindi che minimizza i fenomeni di incrostazione.

Da qui derivano le molteplici applicazioni nell'industria dei polimeri (reattori), nell'industria chimica ed alimentare (scambiatori, concentratori), nell'industria farmaceutica, elettronica e nucleare.

#### LUCIDATURA ELETTROCHIMICA NELL'INDUSTRIA DELLA CARTA

La formazione di depositi comporta per le macchine della carta difetti e diminuzione della qualità della carta. La lucidatura elettrochimica delle superfici a contatto con il materiale di produzione impedisce efficacemente la formazione di depositi con il risultato che pur ottenendo qualità di carta costantemente elevate si possono realizzare velocità di produzione di circa il 10% superiori, riduzione del livello di

scarti, riduzione dei tempi persi per fermate, ecc.

Sulla base di questi risultati i produttori leader di macchine per la carta a livello mondiale provvedono a far trattare elettrochimicamente i componenti dei loro impianti che possono essere lunghi fino a 12 m.

La liscivia nera, un prodotto di scarto, della produzione di cellulosa, viene concentrata in scambiatori di calore a fascio tubiero prima della combustione per risparmiare energia.

Nel caso di scambiatori di calore con superfici trattate chimicamente o meccanicamente si hanno notevoli problemi a causa delle formazioni di depositi, che richiedono regolarmente pause per la pulizia e portano ad un maggiore consumo d'energia. L'impiego di tubi lucidati elettrochimicamente limita molto la formazione di depositi ed in impianti che funzionano ormai da cinque anni è stato possibile ammortizzare la spesa in

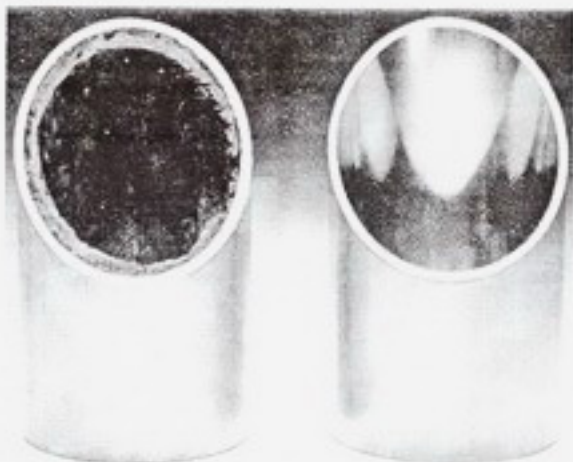
circa sei mesi con il solo risparmio energetico (5).

#### LUCIDATURA ELETTROCHIMICA NELL'INDUSTRIA FARMACEUTICA

In impianti di produzione degli emo-derivati si sono avuti scarti a causa di contaminazione da elementi pirogeni. Si è potuto stabilire che con il sistema automatico di pulizia gli impianti produttivi venivano disinfettati fra una carica e l'altra, ma i depositi di batteri già morti non venivano risciacquati ed asportati completamente dalle superfici.

Infezioni secondarie derivanti dall'aria portavano alla decomposizione di questi depositi e, in seguito, alla contaminazione delle cariche successive.

Per quanto concerne la durata della pulizia nel tempo sono state realizzate innumerevoli prove sul comportamento di materiali differenti, sottoposti a diversi trattamenti superficiali; queste prove hanno por-



Tubo lucidato meccanicamente, incrostato.

Tubo lucidato elettrochimicamente, che non si incrosta e riduce i problemi di adesione.



tato all'introduzione generalizzata di superfici di acciaio inossidabile pregiato lucidate elettrochimicamente. Il comportamento di tali superfici anche dopo anni di impiego non ha creato problemi di alcun tipo (6).

Un ulteriore caso risolto brillantemente con la lucidatura elettrochimica in campo farmaceutico è rappresentato dall'inquinamento particolare che si riduce da 10 a 40 volte rispetto a quello verificatosi in apparecchiature finite meccanicamente.

#### LUCIDATURA ELETTROCHIMICA NELLA TECNICA NUCLEARE

Ultimamente la lucidatura elettrochimica ha guadagnato un crescente interesse come nuovo procedimento per la soluzione di una serie di impellenti problemi nell'industria nucleare. A questo proposito bisogna suddividere la problematica in due direzioni e cioè la lucidatura elettrochimica come trattamento preliminare delle superfici per il miglioramento del loro comportamento funzionale e come procedimento impiegato per la decontaminazione di superfici metalliche contaminate dalla radioattività.

Per tutte e due le applicazioni sono state elaborate le linee generali da più di 20 anni sia in Germania che in Francia ed il loro impiego industriale è stato esaurientemente descritto (7).

L'impiego di superfici lucidate elettrochimicamente negli impianti nucleari porta ad una inferiore contaminazione radioattiva durante il funzionamento limitando o riducendo i depositi di particelle radioattive.

I depositi contaminati di superfici lucidate elettrochimicamente

vencono eliminati con un costo notevolmente inferiore rispetto a quello necessario nel caso di superfici trattate diversamente. In linea di principio questo corrisponde al miglioramento anche prima accennato delle caratteristiche di pulizia e del suo mantenimento.

Prove del Batelle-Institute hanno indicato che il grado di contaminazione delle superfici lucidate elettrochimicamente rispetto a quelle decapate raggiunge circa il 10% e solo con un semplice lavaggio può essere diminuito del 70% (8). All'inizio dell'anno 1983 nella centrale nucleare di Grafenheinfeld già funzionante si è proceduto alla lucidatura elettrochimica del rivestimento in acciaio inossidabile del bacino di immagazzinamento degli elementi impiegando una nuova tecnica "in situ" su una striscia larga 80 cm nella zona di oscillazione dello specchio di acqua con lo scopo di limitare l'attività sulla parete e di impedirne il passaggio nell'atmosfera.

Analogo trattamento è stato realizzato anche in altre centrali nucleari (Philippsburg, Trillo, ecc.). Inoltre, nella centrale di Trillo, si è provveduto a lucidare elettrochimicamente l'intera cavità del reattore; ciò consente di ridurre le dosi di radioattività a cui è soggetto il personale durante la fermata ed a rendere più rapido l'intervento globale con una riduzione del tempo di fermata stesso.

Altri interventi del genere sono in programma a breve termine in altre centrali nucleari. La lucidatura elettrochimica è stata inoltre applicata per assicurare una migliore resistenza alla corrosione intergranulare sotto stress in diversi elementi primari.

Nel luglio 1985 è entrato in servizio a Culham/Gran Bretagna il Joint European Torus, brevemente chiamato Jet.

Questo progetto della comunità europea rappresenta l'impianto attualmente più grande per la ricerca sulla fusione secondo il principio Tokamak. Tutta la parete interna del Torus fatta di Inconel è stata lucidata elettrochimicamente per ridurre le interazioni fra parete e plasma e per minimizzare le impurità del plasma nonché la sollecitazione del rivestimento del Torus.

La lucidatura elettrochimica rappresenta un procedimento affidabile per la decontaminazione di superfici metalliche contaminate radioattivamente. L'eliminazione degli strati di materiale contaminati, vicini alla superficie, elimina contemporaneamente le contaminazioni radioattive, che vengono assorbite dall'elettrolita.

L'effetto del campo elettrico e del film di lucidatura impedisce affidabilmente anche negli elettroliti molto caricati una retrodiffusione di attività dagli elettroliti alla superficie già decontaminata. Pertanto le superfici metalliche possono essere completamente decontaminate anche nel caso di elettroliti molto caricati; è sufficiente impiegare il procedimento in maniera corretta (9).

Grazie alla lucidatura elettrochimica pezzi completamente decontaminati possono essere riparati o mandati a rottame senza pericoli di alcun genere. L'impiego di elettroliti speciali ed il procedimento di eliminazione dell'elettrolita rendono possibile la riduzione al minimo dello scarto radioattivo e dei problemi conseguenti al condizionamento ed immagazzinamento finale.



La decisione sul tipo di lucidatura elettrochimica da impiegare di volta in volta dipende dal materiale da trattare e dal fatto che il pezzo debba essere poi riutilizzato o mandato a rottame. Nella Repubblica Federale Tedesca sono stati effettuati due grandi lavori a dimostrazione della validità della lucidatura elettrochimica come procedimento di decontaminazione.

Nella centrale nucleare di Gundremmingen vengono completamente decontaminati e mandati a rottame 100 t di pezzi selezionati dalla zona del settore ormai fermato Gundremmingen I. Nel reparto di controllo della Ditta KWU a Karlsruhe vengono completamente decontaminati e mandati a rottame 10 t di telai per l'immagazzinaggio degli elementi di combustibile provenienti dalla centrale nucleare di Biblis.

altri procedimenti di finitura superficiale.

Questa complessità dell'impiego del procedimento ha come conseguenza che nel campo della lucidatura elettrochimica si ha poca letteratura che possa essere d'aiuto per la soluzione di problemi concreti. Accanto ad applicazioni semplici, in generale di tipo estetico, alla portata di molti operatori, si hanno oggi applicazioni per le quali la tecnologia ha compiuto e compie ogni giorno progressi notevoli.

In questi casi la soluzione più semplice ed economica è quella di prospettare il problema a ditte specializzate che operano da molto tempo nel settore.

#### LUCIDATURA ELETTROCHIMICA NELL'INDUSTRIA ELETTRONICA

Le più recenti innovazioni in questo settore per la produzione di microchips rendono assolutamente necessaria l'eliminazione di particelle di dimensioni submicroniche.

Questo risultato si ottiene oggi con notevole sicurezza solo con tecniche di lavorazione che impiegano gas, solventi e acque demineralizzate trasportate entro tubazioni, serbatoi e componenti lucidati elettrochimicamente.

#### OSSERVAZIONI FINALI

La soluzione di problematiche speciali per mezzo della lucidatura elettrochimica richiede solitamente un adattamento del procedimento alle altre condizioni, perché la struttura del materiale e le precedenti fasi di lavorazione influenzano i risultati ottenibili molto di più di quanto non avvenga con



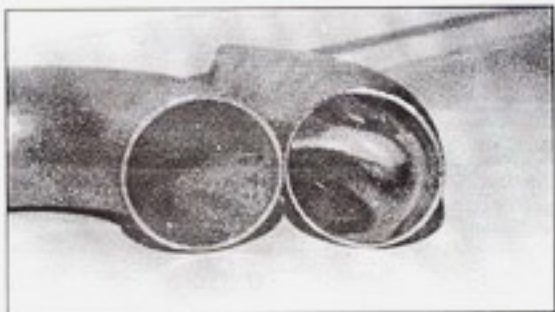


Foto di un gomito per tubazioni di gas tecnici (elettronica)

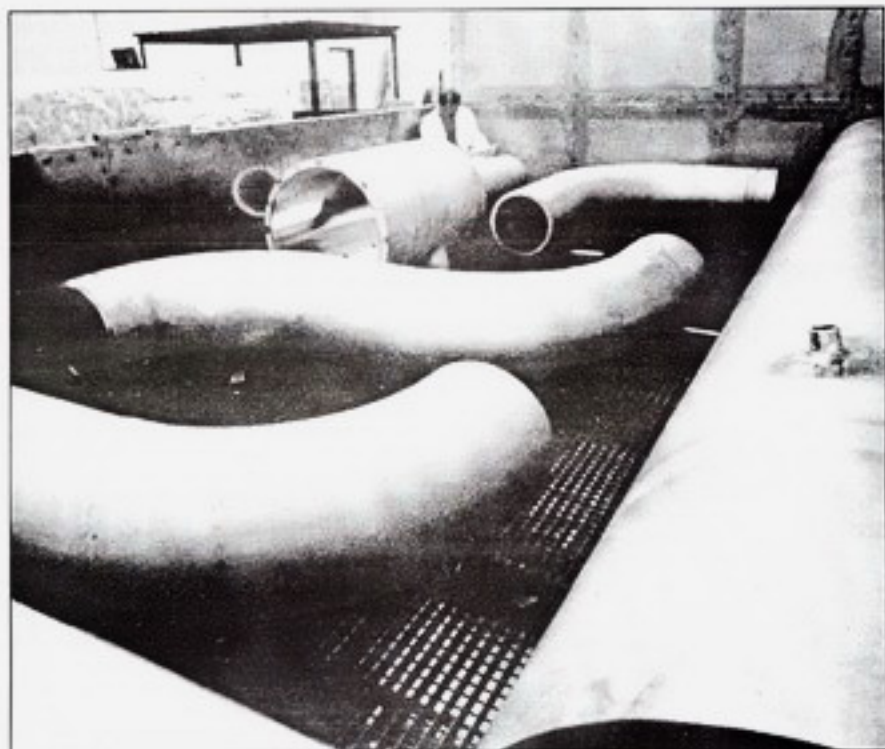


Foto di tubazioni di un circuito primario di una centrale nucleare



Rilievi su un gomito di un circuito per gas tecnici (elettronica)

Hommel Tester  
T1000

Dat : 17-6-'86  
Nr : curva decapeta  
lato A

Lt = 4,8 mm  
Lc = 0,8 mm  
Ra = 02,14  $\mu$ m  
Rz = 12,62  $\mu$ m  
Rm = 17,52  $\mu$ m

→ 5  $\mu$ m      2000  
↓ 250  $\mu$ m    40

Hommel Tester  
T1000

Dat : 18-6-'86  
Nr : curva lato A  
dopo 600 Amin/dm<sup>2</sup>

Lt = 4,8 mm  
Lc = 0,8 mm  
Ra = 00,52  $\mu$ m  
Rz = 01,46  $\mu$ m  
Rm = 01,90  $\mu$ m

→ 5  $\mu$ m      2000  
↓ 250  $\mu$ m    40

Hommel Tester  
T1000

Dat : 17-6-'86  
Nr : curva decapeta  
lato B

Lt = 4,8 mm  
Lc = 0,8 mm  
Ra = 01,54  $\mu$ m  
Rz = 09,86  $\mu$ m  
Rm = 13,44  $\mu$ m

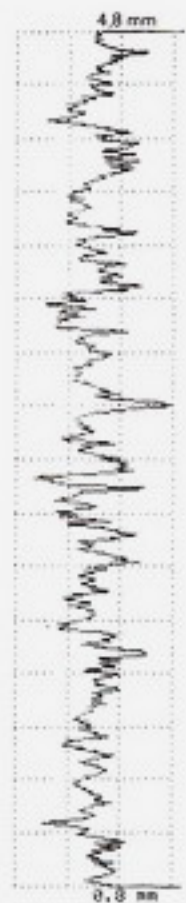
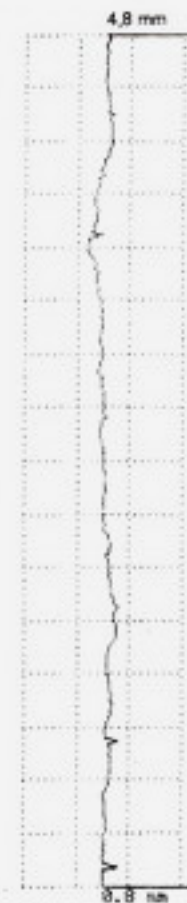
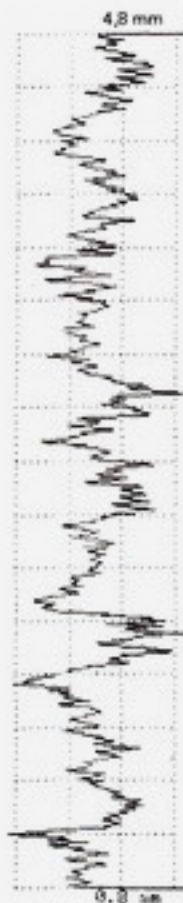
→ 5  $\mu$ m      2000  
↓ 250  $\mu$ m    40

Hommel Tester  
T1000

Dat : 18-6-'86  
Nr : curva lato B  
dopo 600 Amin/dm<sup>2</sup>

Lt = 4,8 mm  
Lc = 0,8 mm  
Ra = 00,36  $\mu$ m  
Rz = 01,50  $\mu$ m  
Rm = 01,86  $\mu$ m

→ 5  $\mu$ m      2000  
↓ 250  $\mu$ m    40



## LUCIDATURA ELETTROLITICA NEL CASO DI SUPERFICI DI AMBIENTI STERILI

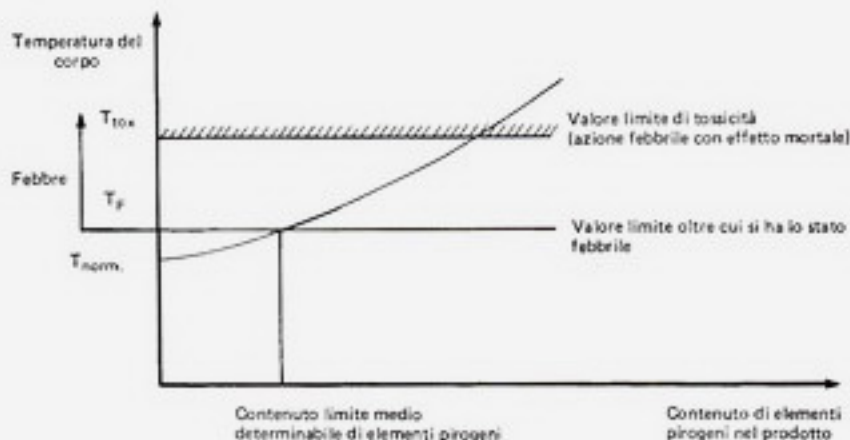
Una pulizia eseguita in modo efficace ed affidabile, fra un ciclo di produzione e l'altro, rappresenta la premessa necessaria per evitare la contaminazione delle cariche di produzione successive. Spesso si sottovaluta la grande influenza della qualità della superficie per quanto riguarda il problema della pulizia. Di conseguenza si hanno risultati insoddisfacenti nonostante si sostengano costi complessivamente molto elevati.

La tecnica medica, l'industria farmaceutica e determinati campi dell'industria alimentare hanno sempre maggiori esigenze per quanto riguarda la resistenza alla corrosione, la sterilità e la pulizia delle superfici impiegate, che di solito sono realizzate in acciaio inossidabile di diversi tipi.

Le esigenze più elevate per

quanto riguarda la purezza e l'assenza di germi sono quelle valide per la produzione di inoculanti e soluzioni per flebo. Le impurezze presenti in prodotti del genere finiscono direttamente nel corpo e nella circolazione dei pazienti e scatenano reazioni di rigetto sotto forma di febbre o shock, che a volte possono avere effetti anche letali.

Come misura di riferimento per gli inoculanti e le soluzioni per flebo viene indicato, negli esempi citati, l'effetto febbrile (pirogenicità), che scatenata, a seconda del contenuto di impurezze, elementi pirogeni che provocano la febbre (v. fig. 1).



Il pericolo principale delle impurezze deriva non tanto dall'utilizzo di prodotti iniziali impuri quanto dalla contaminazione dei prodotti durante il processo di produzione, a causa di un focolaio di infezione all'interno dell'impianto di produzione. I processi di produzione delle sostanze in questione non hanno solitamente un funzionamento continuo bensì discontinuo.

Una pulizia adeguata in modo efficace ed affidabile, fra un ciclo di produzione ed il successivo, rappresenta la premessa necessaria per evitare la contaminazione delle cariche di produzione successive.

Il problema di una pulizia è da considerare nei suoi 6 aspetti principali, ognuno dei quali deve essere affrontato in modo ottimale per assicurare un buon risultato:

- forma costruttiva dei componenti dell'impianto senza angoli morti ed interstizi affinché ogni punto della superficie sia raggiungibile in modo equivalente agli effetti del processo di pulizia;
- impiego di materiali adeguati che resistano all'azione dei prodotti ed alle sollecitazioni dei processi di pulizia, senza subire un decadimento qualitativo;
- realizzazione tecnicamente ineccepibile dell'impianto (ad es. cordoni di saldatura);
- impiego di prodotti chimici di pulizia con efficacia ottimale per quanto riguarda la disinfezione e la pulizia;
- superfici levigate e compatte che impediscano al massimo l'adesione di impurezze e garantiscano il distacco completo dei depositi.

Il successo del procedimento di pulizia dipende da questi 6 aspetti; ciò significa che la

non completa realizzazione di uno solo di questi 6 punti rende impossibile una perfetta pulizia finale, pur impiegando la tecnologia più costosa nella realizzazione degli altri.

Nella pratica si è notato che di solito si spende molto per i primi 5 punti, mentre spesso si sottovaluta notevolmente la grande influenza della qualità della superficie.

Di conseguenza si hanno risultati insoddisfacenti nonostante si sostengano costi complessivamente molto elevati.

Un produttore di emoderivati (plasma sanguigno), in collaborazione con la Poligrat, Società che si occupa di tecnologie chimiche ed elettrochimiche per le superfici metalliche, ha effettuato innumerevoli prove per determinare una qualità ottimale delle superfici per quanto riguarda il comportamento alla pulizia.

Nell'applicazione quotidiana si è potuto constatare che la difficoltà non consisteva nel far morire in maniera affidabile i batteri ma nel portare via dalla superficie i depositi di batteri già morti senza lasciare residui. I depositi residui di batteri già morti sono formati da composti di tipo albumina e solitamente aderiscono tenacemente al loro piano di appoggio.

Dopo il processo di pulizia, e prima dell'inizio della produzione, ha luogo una infezione secondaria di questi depositi causata dai batteri viventi che si trovano nell'aria ambiente. Questi batteri si moltiplicano molto velocemente a bianco d'uovo sui depositi e con i loro prodotti di trasformazione della materia causano, mediante elementi pirogeni, l'inquinamento della successiva carica di produzione.

Fra tutti i materiali esaminati,

l'acciaio inossidabile ha mostrato le caratteristiche di gran lunga migliori. Le superfici smaltate rivelano cricche capillari in cui si insediano colonie di batteri irraggiungibili dai lavaggi. I materiali plastici non resistono nel tempo contro le sollecitazioni dovute all'azione dei prodotti e dei procedimenti di pulizia.

I risultati delle prove che riportiamo mostrano che il comportamento alla pulizia delle superfici di acciaio inossidabile viene notevolmente influenzato dalla finitura della superficie.

#### CRESITA DEI BATTERI

Per determinare la velocità di crescita dei batteri in relazione al tipo di finitura superficiale è stata eseguita la prova indicata di seguito. Cassette piane ed aperte in acciaio inossidabile con questi tipi di finitura superficiale:

- laminata a freddo e decapata chimicamente;
  - levigata meccanicamente con grana 400;
  - levigata meccanicamente con grana 240 e quindi lucidata elettroliticamente
- sono state sottoposte al seguente procedimento:
- copertura dei fondi delle cassette con albume;
  - pulizia delle cassette secondo il regolare programma di pulizia;
  - copertura dei fondi delle cassette con soluzione nutritiva;
  - mantenimento delle cassette nell'apposita incubatrice a 10 °C, 15 °C e 30 °C con tempi diversi;
  - conteggio dei batteri con microscopio su 1 cm<sup>2</sup> di superficie definita.



Il risultato è rappresentato nella fig. 2 e mostra che sulle superfici lucidate elettrochimicamente si hanno velocità di crescita dei batteri significativamente inferiori rispetto alle superfici decapate e levigate meccanicamente. A 15 °C, e con un tempo di rigenerazione di 30 min, la crescita dei batteri sulla superficie lucidata elettroliticamente è inferiore 10.000 volte rispetto alla superficie decapata e 60 volte rispetto alla superficie levigata meccanicamente.

### FORMAZIONE DI ELEMENTI PIROGENI

La fig. 3 mostra la formazio-

ne di elementi pirogeni sull'acciaio inossidabile in funzione dello stato superficiale con l'impiego del regolare programma di pulizia (CIP). L'andamento delle curve mostra la distribuzione statistica della frequenza (dispersione) della qualità di pulizia raggiunta nel programma di prova.

Il risultato mostra chiaramente che solo con una lucidatura elettrolitica, sufficiente ed adeguata, si assicura che la formazione di elementi pirogeni resti comunque al di sotto del valore limite che provoca la febbre. Nel caso della superficie trattata in modo ancora insufficiente con 100 A

min/dm<sup>2</sup> la pirogenicità resta sotto il minimo di tossicità letale ma nella maggior parte dei casi si ha manifestazione febbrile.

Nel caso delle superfici decapate e levigate con grana 400 il contenuto di pirogeni resta nel campo della manifestazione febbrile elevata, con mortalità al 50% delle cavie, mentre nel caso delle altre superfici la mortalità delle cavie è del 100%.

Fig. 2

Crescita di batteri sull'acciaio inossidabile in funzione dello stato di finitura superficiale, tempo e temperatura di incubazione.

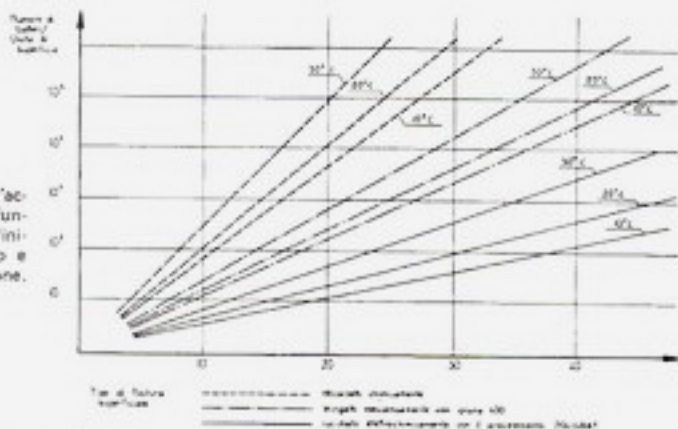
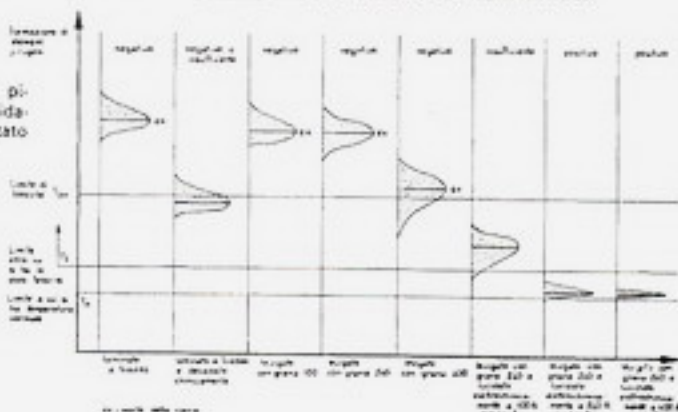


Fig. 3

Formazione di elementi pirogeni su acciaio inossidabile in funzione dello stato di finitura superficiale.



## CONCLUSIONE

Come conseguenza di questa prova, la lucidatura elettrolitica secondo il procedimento Poligrat è stata resa obbligatoria nelle specifiche impianta-

tistiche di questa società e le apparecchiature di produzione preesistenti sono state lucidate elettrochimicamente, in loco, con una spesa piuttosto elevata.

I costi sopportati per la lucidatura elettrochimica sono stati ammortizzati in pochi mesi riducendo le spese di pulizia ed elevando la qualità dei prodotti.

### L'ADESIONE DELLE PARTICELLE SULLE SUPERFICI DIPENDE DA:

1) DIMENSIONE REALE DELLA SUPERFICIE  
( $R_a$ ,  $R_m$ ,  $R_z$  + microrugosità)


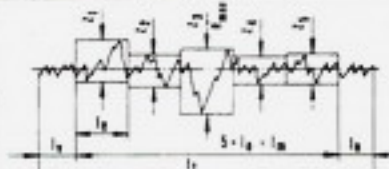
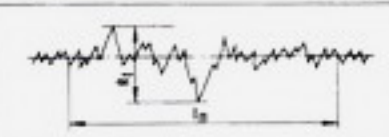

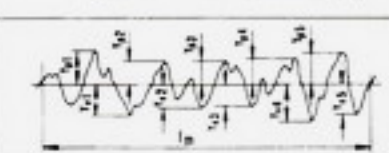
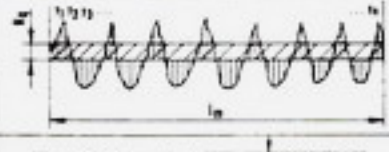
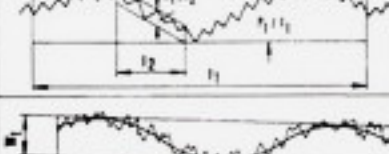

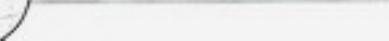
2) STRUTTURA GEOMETRICA DELLA SUPERFICIE  
(microrugosità, anfratti, ecc.) (topografia)

3) CONDIZIONI ENERGETICHE DELLA SUPERFICIE;  
LE PARTICELLE ADERISCONO PER:

- Forze di capillarità
- Forze di Van der Waals
- Forze elettrostatiche
- Forza peso

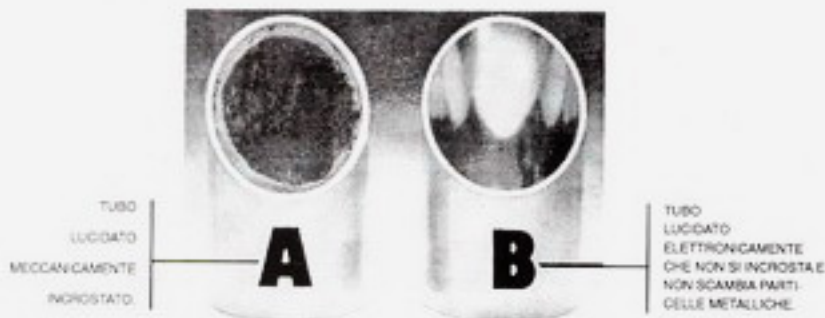


# I PARAMETRI SUPERFICIALI DIN-ISO CON HOMMEL TESTER

Simbolo	Denominazione	Norma	Definizione	Rappresentazione
$R_a$	Rugosità media aritmetica	DIN 4761-1 Progetto ISO 4191-1 Progetto	$R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m}  z(x)  dx$ Media aritmetica di tutte le deviazioni del profilo da una linea di riferimento ideale, in senso assoluto, entro la lunghezza di misura $l_m$ .	
$R_z$ DIN	Profondità media	DIN 4768 ISO 4191-1	$R_z = \frac{1}{5} (z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5)$ Media aritmetica delle ampiezze, misurate entro cinque lunghezze di base adiacenti del profilo, tenute secondo DIN 4768 (eq. 1).	
$R_{max}$	Massima profondità singola		Altezza massima, entro la lunghezza di misura $l_m$ , del profilo totale.	
$R_t$ ( $R_{p1}$ ) ( $R_{v1}$ )	Profondità massima	DIN 4762-1 Progetto ISO 4191-1 Progetto	Deviazione da una tangente al picco e a valle, angolare e diritto, entro la lunghezza di misura del profilo totale.	
$R_p$	Altezza massima	DIN 4762-1 Progetto ISO 4191-1 Progetto	Altezza della massima elevazione, entro una valle, del profilo totale.	
$R_{pm}$	Altezza media		$R_{pm} = \frac{1}{5} \cdot (R_{p1} + R_{p2} + \dots + R_{p5})$ Media aritmetica delle elevazioni, misurate entro 5 lunghezze di base adiacenti, del profilo totale.	
$R_z$ ISO	Media delle profondità	DIN 4762-1 Progetto ISO 4191-1 Progetto	$R_z = \frac{1}{5} \left( \frac{z_1}{1.25} + \frac{z_2}{1.25} + \frac{z_3}{1.25} + \frac{z_4}{1.25} + \frac{z_5}{1.25} \right)$ Media delle cinque deviazioni maggiori, sulla base media e delle cinque profondità maggiori entro la lunghezza di misura.	
$R_q$	Rugosità media quadratica	DIN 4762-1 Progetto ISO 4191-1 Progetto	$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} z^2(x) dx}$ Media quadratica di tutte le deviazioni del profilo, entro la lunghezza di misura.	
$R_t$	Profondità del profilo	DIN 4771	Altezza del picco, non totale, entro la lunghezza di riferimento $l_r$ , sul lato della valle, misurato ortogonalmente a un angolo $\theta$ .	
$W_t$	Profondità dell'ondulazione	DIN 4774 Progetto	Profondità del profilo, totale della superficie, entro la lunghezza di base $l_b$ .	



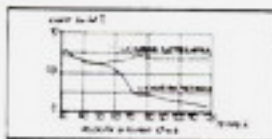
# L'EVIDENZA DEI FATTI



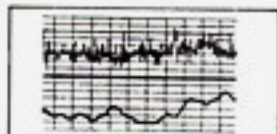
**Il sistema PROMITE di lucidatura ELETTROCHIMICA, basato su:**

- 1) eliminazione microrugosità
- 2) miglioramento resistenza corrosione
- 3) influenza sui procedimenti di adesione, portando al minimo il livello di energia potenziale dello strato superficiale

**RISOLVE OGNI VOSTRO PROBLEMA DI CESSIONE  
DI PARTICELLE O DI INCROSTAZIONE.**



Andamento del coefficiente di scambio termico in seguito alla formazione di incrostazioni per un tubo lucidato meccanicamente ed un tubo lucidato elettrochimicamente.



Diagrammi dei profili reali di una superficie trattata meccanicamente (sopra) e di una superficie trattata elettrochimicamente (sotto) con uguali valori di rugosità  $R_1$  ed  $R_2$ .







VIA MONGIBELLO, 89/D - ZONA INDUSTRIALE - PIANO TAVOLA - BELPASSO (CT)  
TEL. 095/ 71.32.511 - FAX 095/ 71.32.759  
[Promite@Dim.Tel.nti.it](mailto:Promite@Dim.Tel.nti.it)