

Il controllo  
dei processi  
galvanici

Preparazione:  
il lavaggio con  
ultrasuoni

Deposizione:  
raddrizzatori e  
alimentatori a  
impulsi



**Corso AIFM - AIM -EFUN**

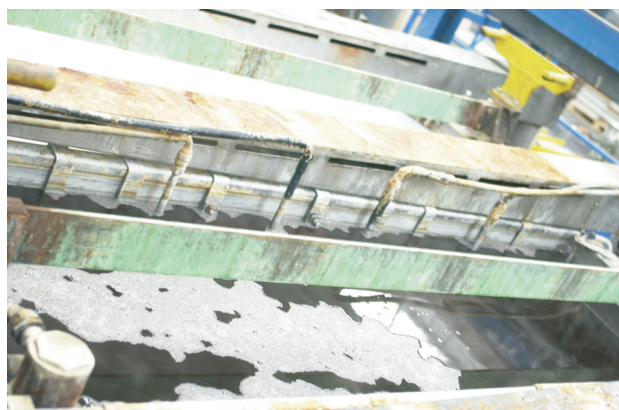
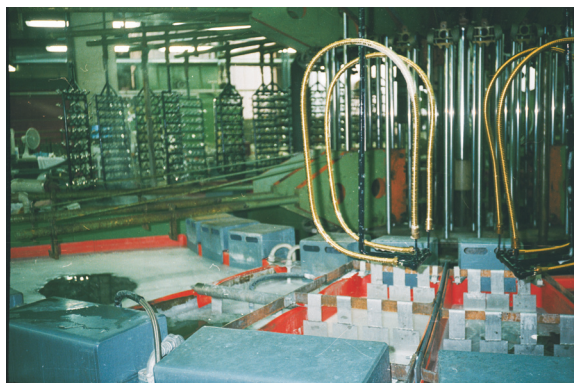
**Sede AIM Via Turati  
novembre 2006  
Giorgio Krüger**

## Indice degli argomenti

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>pag. 6</b>
1.3.1.	Preparazione	pag. 7
1.3.2.	Risciacqui intermedi	pag. 7
1.3.3.	Risciacqui finali	pag. 8
1.3.4.	Asciugatura finale	pag. 8
1.4.1.	Impianti a passo	pag. 8
1.4.2.	Impianti programmabili	pag. 8
<b>2.</b>	<b>I TERMOREGOLATORI</b>	<b>pag. 10</b>
Fig. 1	Termoregolatore elettronico digitale	pag. 10
<b>3.</b>	<b>GLI AMPERORAMETRI</b>	<b>pag. 13</b>
Fig. 2	Ampèrorometro digitale con totalizzatore	pag. 13
Fig. 3	Schema di collegamento di un amperometro a due raddrizzatori	pag. 14
Fig. 4 -	Tabella per raddrizzatori con shunt diverso da 60 mV.	pag. 15
Fig. 5	Schema di montaggio degli apparecchi con pompa dosatrice	pag. 16
3.3.1.	Riempimento del fustino	pag. 17
3.3.2.	Impostazione del programmatore	pag. 17
3.3.3.	Uso del totalizzatore	pag. 17
3.3.4.	Taratura del programma impostato	pag. 17
3.3.5.	Analisi del bagno	pag. 18
3.3.6.	Il contenuto è diminuito	pag. 18
3.3.7.	Il contenuto è aumentato	pag. 18
Fig. 6	Pompa dosatrice per additivi	pag. 19
<b>4.</b>	<b>I pH-METRI</b>	<b>pag. 23</b>
Fig. 7	Misuratore elettronico digitale di pH	pag. 23
<b>5.</b>	<b>I MISURATORI DI REDOX</b>	<b>pag. 26</b>
<b>6.</b>	<b>I MISURATORI DI CONDUCIBILITA'</b>	<b>pag. 26</b>
<b>7.</b>	<b>LA PROTEZIONE DELLA VASCA</b>	<b>pag. 27</b>
Fig. 8	Schema di un impianto di protezione anodica della vasca	pag. 27
<b>8.</b>	<b>IL LAVAGGIO CON ULTRASUONI</b>	<b>pag. 30</b>
8.1.1.	Unità radianti	pag. 31
8.1.2.	Frequenza di funzionamento	pag. 31
Fig. 9 -	Principio di funzionamento e nomenclatura di una vasca a ultrasuoni	pag. 31
8.1.3.	Trasduttori magnetici	pag. 32
8.1.4.	Trasduttori piezoelettrici	pag. 32
Fig. 10 -	Principio di funzionamento di un trasduttore magnetostrittivo.	pag. 32
8.1.5.	Generatori elettronici	pag. 33
Fig. 11 -	Principio di funzionamento di un trasduttore piezoelettrico.	pag. 33
Fig. 12 -	Esplosione di un trasduttore piezoelettrico.	pag. 33
8.1.6.	Modulazione	pag. 34
Fig. 13 -	Aspetto del pannello frontale del generatore	pag. 34
Fig. 14 -	Dimensionamento impianto a ultrasuoni per impianto a braccia.	pag. 36
Fig. 15 -	Dimensionamento impianto a ultrasuoni per impianto a carro.	pag. 36
<b>9.</b>	<b>LE APPLICAZIONI DEGLI ULTRASUONI</b>	<b>pag. 40</b>
9.3.1.	Il lavaggio degli oli leggeri	pag. 42
9.3.2.	Il lavaggio delle paste di lucidatura	pag. 42
9.3.3.	I risciacqui con ultrasuoni	pag. 42
9.3.4.	Gli ultrasuoni nella zincatura	pag. 42
9.3.5.	Gli ultrasuoni nella cromatura	pag. 43
Fig. 16	Schema di una lavatrice a solventi classici	pag. 44
<b>10.</b>	<b>Il lavaggio sulla linea galvanica</b>	<b>pag. 46</b>
10.1.1.	Effetto bagnante	pag. 46
10.1.2.	Effetto emulsionante	pag. 46
10.1.3.	Effetto solubilizzante	pag. 46
10.1.4.	Effetto saponificante	pag. 46
10.1.5.	Effetto disperdente	pag. 47
10.1.6.	Effetto complessante	pag. 47
10.2.1.	Movimentazione dei pezzi	pag. 47
10.2.2.	Aria insufflata	pag. 47

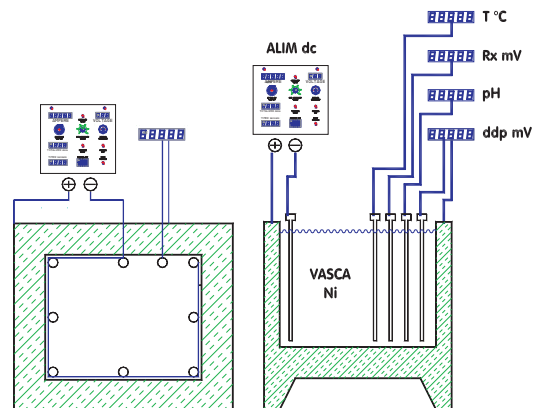
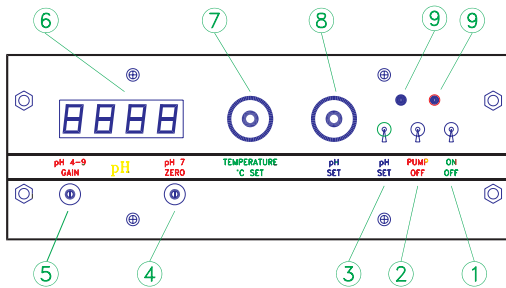
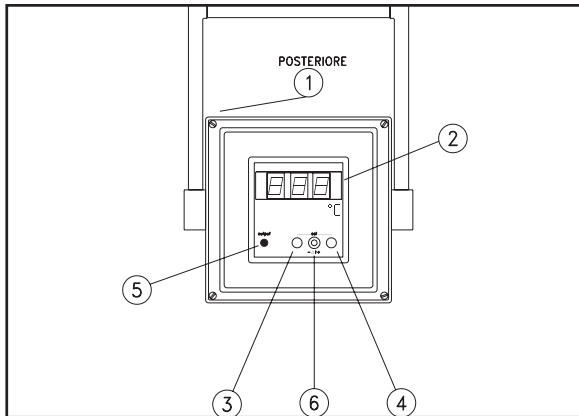


10.2.3.	Pompe di ricircolo	pag.	47
10.2.4.	Pompaggio ad alta pressione	pag.	48
10.3.1.	Preparazione dell'ottone	pag.	49
10.3.2.	Preparazione del ferro	pag.	50
10.3.3.	Preparazione della zama	pag.	51
10.3.4.	Preparazione dell'alluminio	pag.	51
<b>11.</b>	<b>I raddrizzatori: chi sono e a cosa servono</b>	<b>pag.</b>	<b>54</b>
	Schema di funzionamento e collegamenti di una vasca di elettrodeposizione	pag.	54
<b>12.</b>	<b>LE DIVERSE TECNOLOGIE</b>	<b>pag.</b>	<b>56</b>
Fig. 18	Forma dell'onda di uscita dei diversi tipi di raddrizzatori	pag.	56
<b>13.</b>	<b>GLI ALIMENTATORI A IMPULSI</b>	<b>pag.</b>	<b>60</b>
Fig. 19	Differenza di grana tra depositi: a sinistra con corrente continua, a destra con impulsi	pag.	60
Fig. 20	Pannello di controllo di un alimentatore a impulsi completo con tutte le possibili opzioni	pag.	61
Fig. 21	Particolare della regolazione della percentuale dell'impulso	pag.	62
Fig. 22 -	Tampone con anodo di grafite e cuffia	pag.	63
<b>14.</b>	<b>PER UNA CORRETTA INSTALLAZIONE</b>	<b>pag.</b>	<b>64</b>
	Schema di funzionamento e collegamenti di una vasca di elettrodeposizione	pag.	64
Fig. 24 -	Schema di montaggio degli apparecchi con pompa dosatrice	pag.	65
<b>15.</b>	<b>GLI AMPERORAMETRI</b>	<b>pag.</b>	<b>66</b>
Fig. 25 -	Particolare Ampèreminutometri	pag.	66
<b>16.</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>pag.</b>	<b>67</b>





# IL CONTROLLO DEI PROCESSI GALVANICI



# 1. INTRODUZIONE

---

Si sente molto spesso dire: “I trattamenti galvanici sono in estinzione...” ma questa è un’affermazione assolutamente errata, anzi, più avanza la tecnologia, più importanza hanno i trattamenti superficiali.

Certo alcuni trattamenti, tipo la cromatura dei paraurti delle auto, sono scomparsi, ma numerosi sono i nuovi mercati, sia tecnici che decorativi: per esempio, nessuno avrebbe pensato, dieci anni fa, che si potessero consumare, in una sola linea galvanica dedicata alla doratura di bottoni di plastica, più di 20 Kg di oro al mese.

Molte sono le “isole felici” dove si può lavorare bene, con un buon margine: per fare un altro esempio sembra che tutte le guide dei vetri delle vetture Honda saranno trattate con un rivestimento di nichel - PTFE electroless.

Altri nuovi settori stanno aprendosi in questo momento, nel tentativo di eliminare componenti dannosi alla salute dell’uomo, come il nichel e il cad-

mio: sicuramente i primi che riusciranno ad essere produttivi, avranno un notevole sviluppo.

Rimangono poi i mercati di alta diffusione e alti quantitativi, come la zincatura e la cromatura, nei quali è più difficile sopravvivere se non ci si adegua rapidamente ai requisiti qualitativi richiesti e se non ci si riunisce in Associazioni in modo da evitare un dannoso, quanto inutile, ribasso dei prezzi.

Sarà poi sempre più indispensabile adeguarsi alle norme ecologiche, attualmente in evoluzione e non sempre corrette; anche in questo caso delle Associazioni potenti potrebbero aiutare i galvanici e portare la loro voce alle autorità politiche, come avviene già in ogni altra categoria.

È inoltre indispensabile migliorare la formazione degli operatori con corsi di aggiornamento periodici, congressi e pubblicazioni. Questo dovrebbe essere il compito principale di una buona Associazione.

## 1.1. La qualità

---

Com’è noto ci sono due sistemi per ottenere un qualsiasi prodotto con la massima qualità possibile:

- \* controllare che ogni singolo pezzo prodotto risponda ai requisiti qualitativi richiesti e scartare quindi i pezzi non conformi,
- \* controllare opportunamente il ciclo produttivo in modo che tutti i pezzi prodotti rispondano ai requisiti qualitativi richiesti.

Dopo numerosi anni di applicazione del primo si-

stema, si sta ora cercando di passare al secondo che, tra l’altro, dovrebbe risultare notevolmente più economico, nella misura in cui si riesce ad acquistare la sicurezza necessaria per abolire il primo sistema.

Il ciclo produttivo non comprende solo il processo di fabbricazione, ma anche tutti i cosiddetti “servizi” che contribuiscono alla produzione del pezzo: gestione dei semilavorati in entrata, suddivisione in lotti, gestione dei lotti in uscita, gestione del magazzino, gestione dell’archivio ...

## 1.2. Il processo galvanico

---

Contribuiscono alla definizione del processo galvanico e quindi in maniera determinante alla bontà del risultato finale le seguenti voci:

- \* sequenza del ciclo operativo e relativi tempi
- \* impianti di produzione, cioè la linea (automatica o manuale che sia)
- \* attrezzature ausiliarie: ultrasuoni, raddrizzatori, pompe, dosatori...
- \* prodotti chimici utilizzati
- \* impianti di trattamento acque
- \* impianti di smaltimento rifiuti

Risulta molto difficile controllare un processo





quando è stata mal definita la sequenza operativa (il cosiddetto ciclo), o quando non si possono avere

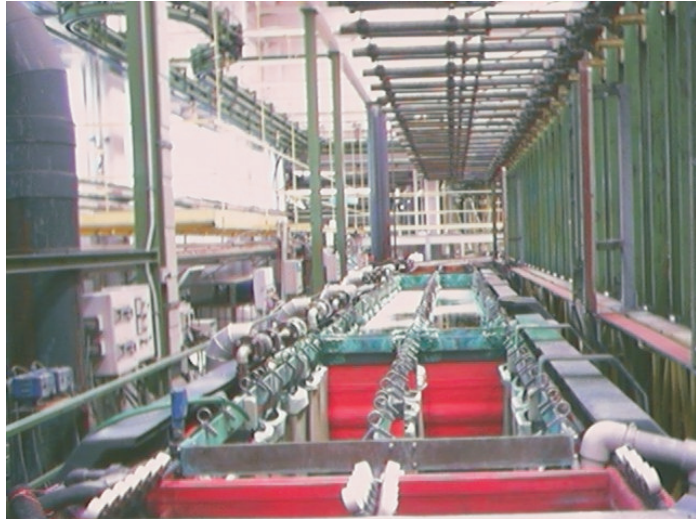
dei risciacqui efficienti per inadeguatezza degli impianti di trattamento acque.

### 1.3. Il ciclo operativo

Un corretto ciclo operativo rappresenta sempre una scelta tanto importante quanto difficile e non è mai troppo il tempo dedicato alla sua definizione prima della costruzione dell'impianto galvanico. Troppo spesso si sente dire: "...se ci avessi pensato prima avrei messo una vasca in più per ..."

Purtroppo, in sede di definizione di un ciclo per un nuovo impianto, non sempre sono coinvolti contemporaneamente tutti i diversi responsabili del buon funzionamento dell'impianto. E' inutile trattare separatamente col fornitore dei prodotti, con quello dell'impianto e quello della depurazione: le decisioni e le responsabilità devono essere prese collegialmente da tutti .

Dare dei suggerimenti dettagliati per i diversi cicli esula da questo lavoro, ma ci limiteremo a dare dei suggerimenti generici, validi per tutti i cicli di deposizione.



#### 1.3.1. Preparazione

Non trascurare la fase di preparazione iniziale: è quasi sempre consigliabile avere una vasca di pre-ammollo, eventualmente a più posizioni, per permettere una permanenza minima dei pezzi di 5 - 6 minuti a 60 - 80 °C.

Devono poi seguire una o più posizioni, a secondo dell'inquinamento dei pezzi, di lavaggio con ultrasuoni, sempre a una temperatura di 60 - 80 °C. Si può poi passare alle sgrassature elettrolitiche,

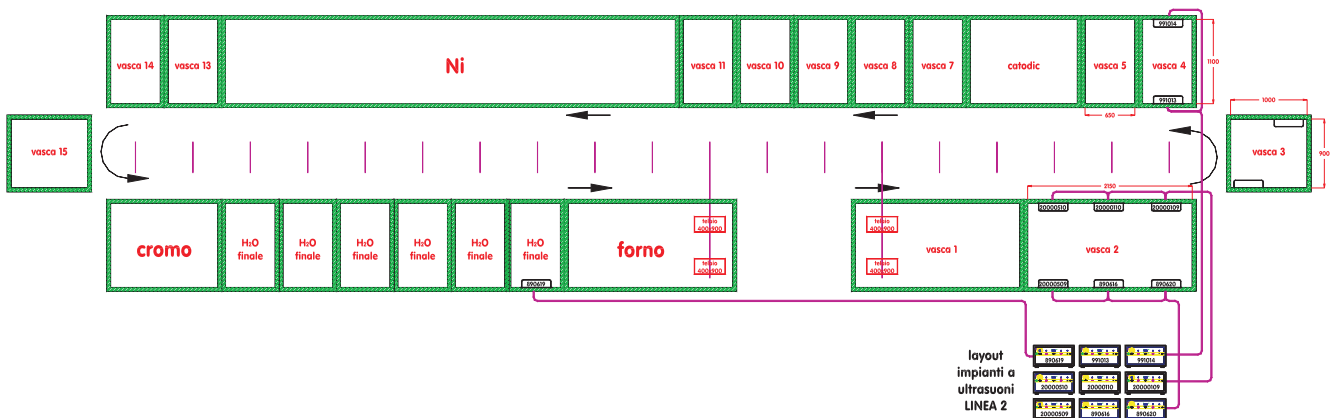
in molti casi senza alcun risciacquo intermedio. Un buon lavaggio ad ultrasuoni dà sempre un notevole margine al trattamento, senza doversi eccessivamente preoccupare delle condizioni di inquinamento dei pezzi.

Se si devono trattare metalli base diversi prevedere cicli indipendenti per i diversi metalli in modo da poter ottimizzare le soluzioni detergenti

#### 1.3.2. Risciacqui intermedi

Dimensionare opportunamente il numero di risciacqui intermedi, spesso responsabili di indesiderate passivazioni. Tenere anche conto del tipo di trascinamento per definire la qualità dell'acqua da utilizzare: per esempio un risciacquo tra nichel e cromo sarà sempre carico dei tensioattivi che

compongono i cosiddetti "brillantanti" e non sarà quindi possibile riciclarlo con uno scambio ionico, anche se preceduto da un filtro a carboni che per loro natura non sono rigenerabili ma, dopo aver assorbito una certa quantità di tensioattivi devono essere smaltiti



### 1.3.3. Risciacqui finali

Curare particolarmente i risciacqui finali prima dell'asciugatura. Un sufficiente numero di vasche di risciacquo in contro corrente, eventualmente con ultrasuoni, permette spesso di eliminare noiose macchiature dovute al trascinamento dei bagni. Un buon impianto di demineralizzazione sulle acque finali diminuisce i fastidiosi depositi di calcare.

### 1.3.4. Asciugatura finale

Dimensionare opportunamente l'asciugatura finale, tenendo presente che occorre rimuovere ogni goccia d'acqua prima di procedere al riscaldamento dei pezzi.

Il riscaldamento produce infatti la rapida evaporazione della goccia d'acqua che lascerà inevitabilmente una macchia, per quanto sia pulito l'ultimo risciacquo.

Se invece le gocce d'acqua vengono rimosse con



aria fredda, il forno dovrà solo asciugare il velo uniforme di umidità rimasta sul pezzo.

## 1.4. L'impianto galvanico

Anche su questo argomento è difficile dare delle norme generiche, ma alcune considerazioni sono dettate dall'esperienza.

E' inutile, anzi dannoso, cercare un impianto spaziale con multiprogrammazione, riconoscimento visivo, diagnosi via modem e altri giocattoli,

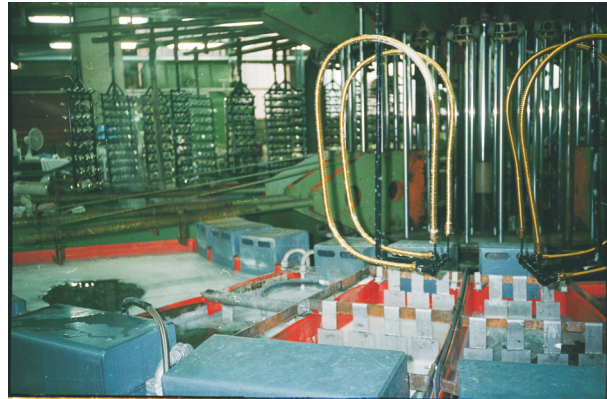
quando serve un impianto che farà sempre la stessa finitura, sempre sulla stessa tipologia di pezzi.

Porre invece più attenzione nella scelta dei controlli e nella affidabilità dell'impianto. Ricordarsi che più un sistema è complicato, meno è affidabile. Esistono due tipologie di impianti automatici

### 1.4.1. Impianti a passo

Tutti i telai vengono estratti insieme dalle varie vasche e avanzano di una posizione prima di essere immersi nella vasca successiva. Quando il tempo di permanenza in vasca deve superare il tempo di ciclo si fanno delle vasche multiple da cui il telaio non esce, ma avanza di una posizione.

Questo tipo di impianto non è, evidentemente, molto flessibile, ma assicura una notevole produzione in rapporto al costo e all'area occupata, è consigliabile per chi ha un solo materiale da trattare con un unico ciclo di finitura; in queste ipotesi la qualità finale del prodotto è garantita.



### 1.4.2. Impianti programmabili

Detti anche a carro ponte: uno o più carri ponte estraggono e trasferiscono i telai nelle diverse vasche, in base a un programma definito dall'utente. Palesemente la flessibilità è massima: ciascun telaio può seguire il ciclo più idoneo, si possono saltare vasche, si possono stabilire tempi di sgocciamento diversi per ogni vasca.

Tale tipo di impianto è raccomandato per chi ha diversi materiali da trattare, magari con diverse finiture

Su tale tipo di impianto sono assolutamente da evitare le vasche di deposizione multiple: ogni barra deve avere la sua vasca, il suo raddrizzatore, i suoi strumenti di controllo, la sua pompa filtro.

## 1.5. Le attrezzature ausiliarie

La qualità di questi apparecchi ha spesso una notevole influenza sul risultato finale, anche se in genere si pensa che tutti i raddrizzatori o tutte le pompe o tutti i dosatori siano uguali.

Un impianto a ultrasuoni perfettamente funzionante garantisce una buona preparazione ed evita molti problemi difficilmente identificabili. Un alimentatore a impulsi, per esempio, permette, in alcuni depositi, una uniformità di spessore e di colore non ottenibile con altri sistemi.



## 1.6. Grandezze controllabili

Le grandezze misurabili e quindi controllabili in una linea galvanica sono le seguenti:

- \* livello del liquido nelle vasche
- \* temperatura
- \* pH
- \* potenziale di ossidoriduzione (redox)
- \* conducibilità (Siemens) e il suo inverso la resistività (Ohm)
- \* tensione (Volt)
- \* corrente (Ampère)
- \* passaggio di corrente (Ampèreora)

## 1.7. Taratura degli apparecchi

Indipendentemente dalla qualità degli apparecchi di controllo scelti bisogna prevedere una scheda per la loro taratura periodica e, specialmente, non trascurare di fare questa operazione agli intervalli di tempo stabiliti.

Conviene effettuare questa taratura con frequenza almeno settimanale per gli elettrodi di misura del pH e con frequenza almeno mensile per le altre sonde. Bagni particolarmente sensibili alle variazioni dei parametri di funzionamento, come il nichel electroless, possono richiedere una frequenza di taratura degli apparecchi di controllo ancora superiore.

La scheda di taratura, una per ogni apparecchio, deve identificare lo strumento, la linea e la vasca su cui è applicato e deve riportare il costruttore dell'apparecchio, il modello, il numero di serie e la frequenza di taratura stabilita. Sul retro della scheda ci dovrebbero essere riportate le modalità di taratura dello strumento. L'operatore dovrà compilare poi la scheda con la data, le misure prima e dopo la taratura ed eventuali annotazioni come la sostituzione della sonda o la variazione di altri parametri operativi.

Per quanto sia elevata la qualità di un apparecchio elettronico, la misurazione dei parametri viene effettuata da delle sonde di misura che, oltre ad avere per loro intrinseca costruzione una certa deriva, sono permanentemente a contatto con dei liquidi non proprio gradevoli. Al contrario l'elettronica, se mantenuta pulita e in un ambiente senza presenza di condensa, ha una notevole affidabilità.

Conviene comunque, anche per rispettare le norme ISO 9000, prevedere una revisione e taratura annuale dell'apparecchio effettuata direttamente dal costruttore o da un Ente di controllo.





## 2. I TERMOREGOLATORI

Pur essendo i più semplici ed economici apparecchi di controllo non godono della meritata diffusione. Essi misurano e controllano la temperatura della vasca di processo, parametro che deve essere mantenuto costante se si vogliono ottenere dei buoni risultati.

Occorre termostatare non solo le vasche di deposizione, ma anche tutte le vasche contenenti pro-

dotti chimici, come per esempio le sgrassature chimiche, a ultrasuoni ed elettrolitiche ed inoltre alcuni risciacqui che possono essere critici.

Ci sono diversi tipi di termoregolatori, ma gli unici affidabili sono quelli elettronici digitali con termoresistenza Pt100. Descriviamo i comandi e la terminologia relativa a questo tipo di apparecchi.

### 2.1. Comandi dei termoregolatori

#### Display temperatura

Indica in °C la temperatura rilevata dalla sonda. Pigiando l'interruttore |3| indica la temperatura di set point, cioè la temperatura programmata con la manopola |4|.

#### Visualizzazione del set point

Pigiando questo interruttore si visualizza sul display la temperatura del set point, temperatura che si può variare con la manopola |4|. Rilasciando l'interruttore sul display resta visualizzata la temperatura attuale del bagno.

#### Regolazione del set point

Pigiare il tasto |3| e osservare sul display la temperatura impostata. Per aumentarla ruotare la manopola |4| in senso orario, per diminuirlo in senso antiorario.

#### Spia riscaldamento in funzione

Indica che la temperatura del bagno è scesa sotto il valore di set point e quindi che il termoregolatore ha acceso le resistenze di riscaldamento.

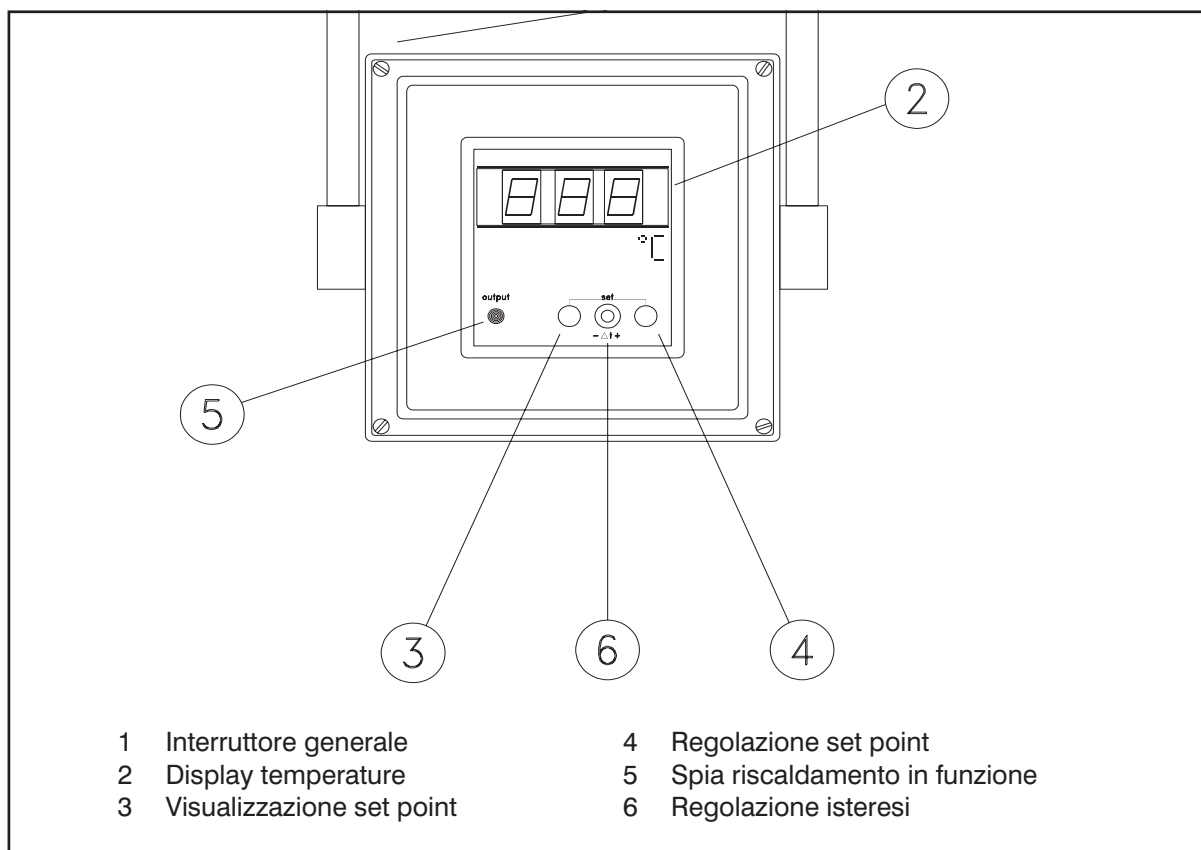


Fig. 1 Termoregolatore elettronico digitale



## 2.2. Regolazione isteresi

Il termoregolatore accende il riscaldamento quando la temperatura scende sotto la temperatura impostata; chiamiamo questa temperatura  $T_1$ . Quan-

do la temperatura del liquido sale oltre la temperatura impostata il termoregolatore spegne il riscaldamento; chiamiamo questa temperatura  $T_2$ .

### Si chiama isteresi del sistema l'intervallo $T_2 - T_1$

Una isteresi troppo bassa, cioè tendente a zero, provoca una oscillazione del sistema, perchè il termoregolatore continua ad accendere e spegnere il riscaldamento.

Una isteresi troppo alta diminuisce la precisione

del sistema.

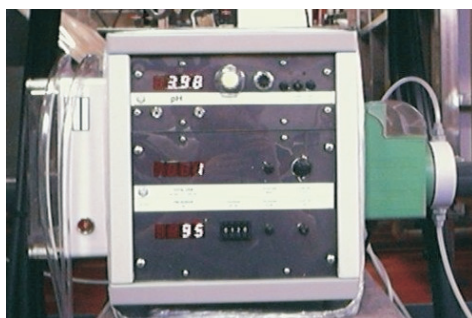
Questa regolazione è normalmente già stata effettuata in sede di collaudo dell'apparecchio, da parte del fabbricante

## 2.3. Taratura di un termoregolatore

- Estrarre la sonda dalla vasca e ripulirla accuratamente
- Riempire un bicchiere con dei cubetti di ghiaccio, prodotti con acqua distillata, e lasciare che si sciogla il ghiaccio fino a che il liquido raggiunga un'altezza di 10 centimetri
- Riempire un bicchiere con dell'acqua distillata e metterlo su un fornello finchè raggiunge l'ebollizione
- Immergere la sonda nel primo bicchiere e aspettare alcuni minuti finchè la temperatura indicata dal display si è stabilizzata: è necessario aspettare alcuni minuti prima che la sonda arrivi in temperatura a causa dell'inerzia termica del materiale del rivestimento.
- Regolare il trimmer di zero fino a leggere sul display 0.00 °C
- Immergere la sonda nel psecondo bicchiere e aspettare alcuni minuti finchè la temperatura indicata dal display si è stabilizzata: è necessario aspettare alcuni minuti prima che la sonda arrivi in temperatura a causa dell'inerzia termica del materiale del rivestimento.
- Regolare il trimmer del guadagno finchè si abbia sul display la lettura della temperatura di ebollizione dell'acqua.
- Ripetere le due tarature fino ad avere esatte ambedue le letture.

### !! ATTENZIONE !!

la temperatura di ebollizione dell'acqua varia con l'altezza sul livello del mare in base alla formula  
 $100 - 0.00333 \times m \text{ } ^\circ\text{C}$   
dove m è l'altezza sul livello del mare misurata in metri.  
A 500 m l'acqua bolle a 98.3 °C





### 3. GLI AMPERORAMETRI

Questi apparecchi (Fig. 2) dal costo contenuto sono molto affidabili, anche se non hanno ancora la diffusione che si meritano: sembra incredibile ma alcuni vogliono la multiprogrammazione dell'impianto con riconoscimento automatico

delle barre o la diagnosi via modem di non si sa bene cosa e poi preferiscono aggiungere mane e sera qualche boccale di brillantante al bagno, prima di scolarsi quelli di birra. Questi apparecchi misurano il prodotto:

*Ampère x unità di tempo*

Dato che in un qualunque bagno elettrolitico la quantità di metallo depositata è proporzionale a questa grandezza, essi indicano:

- \* la quantità di metallo depositata
- \* il consumo complessivo di metallo
- \* il consumo di additivi (brillantanti)

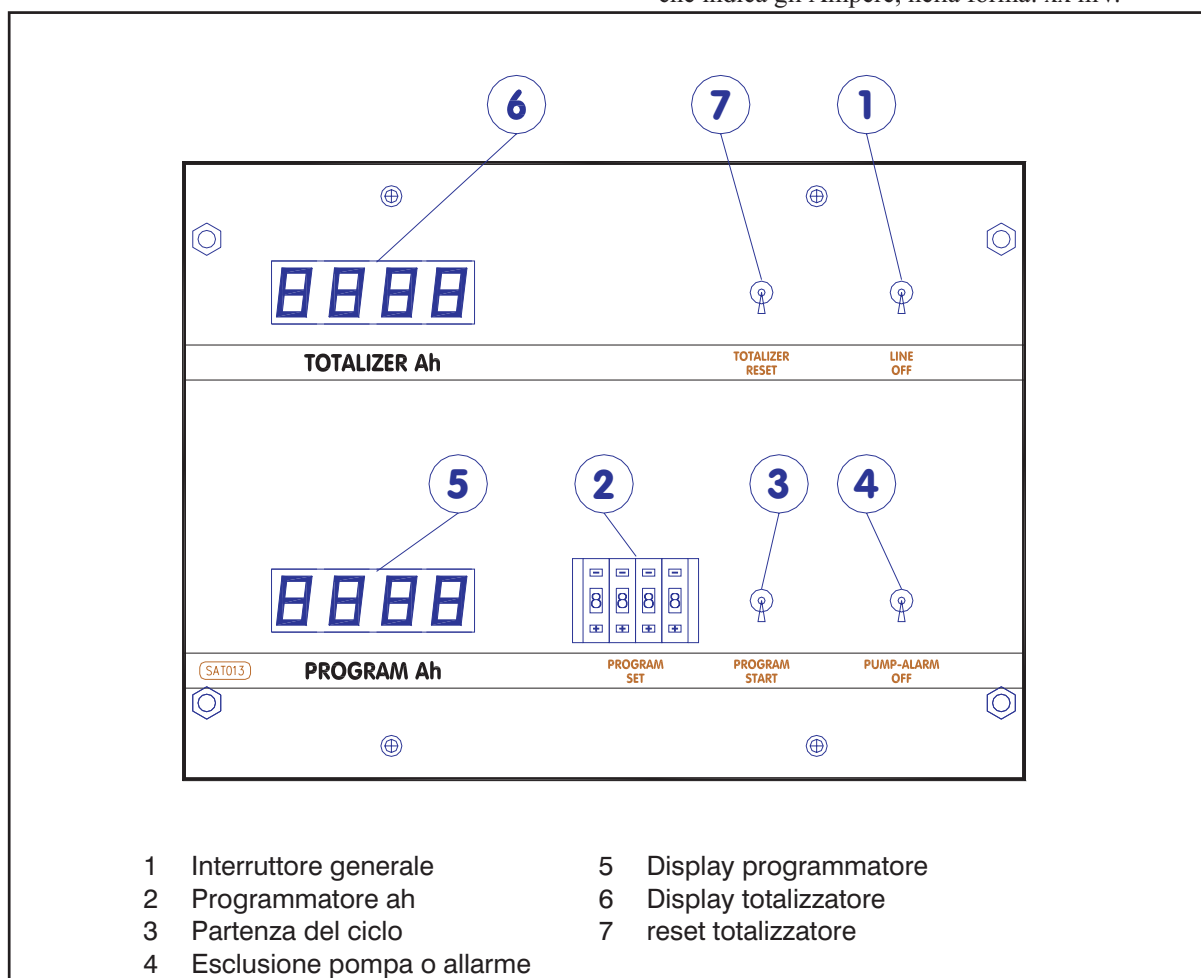
Questi dati sono indispensabili per la gestione e il controllo di tutte le vasche in cui si svolge un processo di elettrolisi.

L'installazione di questi apparecchi è molto semplice, basta collegarli allo shunt del raddrizzatore,

(Fig. 3), o eventualmente a uno shunt addizionale posto sulla barra catodica.

Occorre poi impostare sul programmatore dei valori di shunt, posto in genere sul retro dell'apparecchio, la corrente di fondo scala del raddrizzatore: per esempio per un raddrizzatore da 2500 A impostare 25.

Ciò vale per i raddrizzatori che hanno uno shunt da 60 mV, cioè per la maggior parte dei nuovi raddrizzatori. Alcuni raddrizzatori, specialmente di vecchia data, hanno lo shunt con una diversa tensione di uscita. In genere la tensione di shunt è scritta sullo shunt e sul quadrante dello strumento che indica gli Ampère, nella forma: xx mV.



**Fig. 2** Ampèroametro digitale con totalizzatore

Consultare quindi la tabella della Fig. 4 per impostare il valore corretto, per esempio con uno shunt da 25 mV su un raddrizzatore da 3000 A impostare 72.

Nel caso si debba installare un Ampèrorametro con pompa dosatrice, rispettare i livelli indicati nella Fig. 5, per permettere alla pompa dosatrice di lavorare nelle migliori condizioni.

Gli Ampèrorametri e gli Ampèreminutametri vengono generalmente usati con le seguenti funzioni:

- \* interrompere la deposizione, specialmente in depositi di preziosi, al raggiungimento del deposito desiderato

- \* collegato a una pompa dosatrice permette di dosare i brillantanti in bagni di metalli non preziosi
- \* sempre collegato a una pompa dosatrice permette di dosare i brillantanti e il metallo consumato nei bagni di metalli preziosi



### 3.1. Per interrompere la deposizione

Spesso l'apparecchio è usato per spegnere il raddrizzatore di un bagno di deposizione al raggiungimento del deposito desiderato, specialmente in bagni di metalli preziosi.

In questo caso impostare sul programmatore [2] il numero di Ampèreminuti desiderati, introdurre i pezzi nella vasca e pigiare l'interruttore [3] "PROGRAM START"

L'apparecchio imposterà sul display [5] il numero di Ampèreminuti programmato e darà al raddrizzatore il segnale di accensione.

Si vedrà successivamente, al passare della corrente nel bagno, il display [5] decrescere dal numero impostato fino a 0000. A questo punto l'apparecchio darà al raddrizzatore il segnale di spegnimento e si potranno estrarre i pezzi dalla vasca.

Introdurre un nuovo telaio e pigiare [3] "PROGRAM START", si sarà così sicuri di ottenere lo stesso deposito che si era avuto precedentemente.

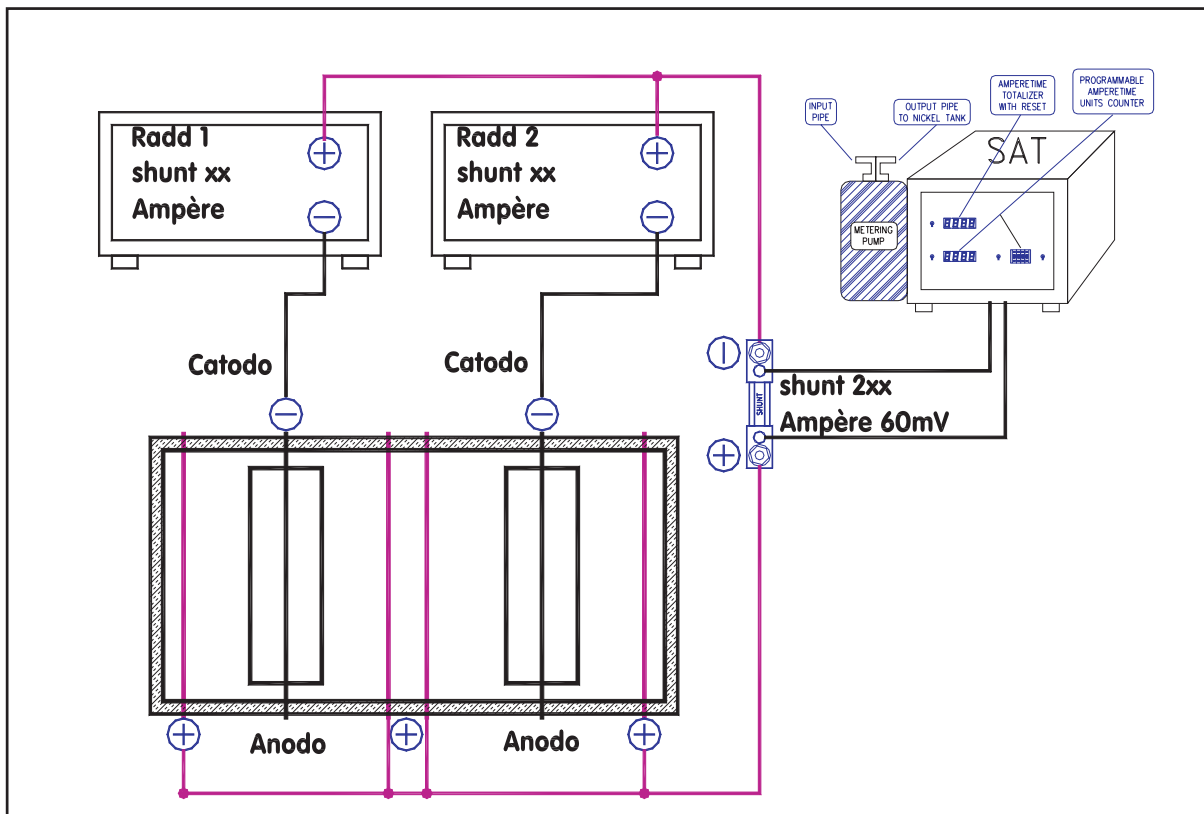


Fig. 3 Schema di collegamento di un amperometro a due raddrizzatori

AMPER E FONDO SCALA	VALORE SHUNT 60 mV	VALORE SHUNT 55 mV	VALORE SHUNT 50 mV	VALORE SHUNT 45 mV	VALORE SHUNT 40 mV	VALORE SHUNT 35 mV	VALORE SHUNT 30 mV	VALORE SHUNT 25 mV	VALORE SHUNT 20 mV	VALORE SHUNT 15 mV	VALORE SHUNT 10 mV
100	-	-	-	-	-	-	1	1	1	2	3
100	1	1	1	1	2	2	2	2	3	4	6
200	2	2	2	3	3	3	4	5	6	8	12
300	3	3	4	4	5	5	6	7	9	12	18
400	4	4	5	5	6	7	8	10	12	16	24
500	5	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30
600	6	7	7	8	9	10	12	14	18	24	36
700	7	8	8	9	11	12	14	17	21	28	42
800	8	9	10	11	12	14	16	19	24	32	48
900	9	10	11	12	14	15	18	22	27	36	54
1000	10	11	12	13	15	17	20	24	30	40	60
1200	12	13	14	16	18	21	24	29	36	48	72
1500	15	16	18	20	23	26	30	36	45	60	90
2000	20	22	24	27	30	34	40	48	60	80	-
2500	25	27	30	33	38	43	50	60	75	99	-
3000	30	33	36	40	45	51	60	72	90	-	-
3500	35	38	42	47	53	60	70	84	99	-	-
4000	40	44	48	53	60	69	80	96	-	-	-
4500	45	49	54	60	68	77	90	99	-	-	-
5000	50	55	60	67	75	86	99	-	-	-	-
5500	55	60	66	73	83	94	-	-	-	-	-
6000	60	65	72	80	90	99	-	-	-	-	-
6500	65	71	78	87	98	-	-	-	-	-	-
7000	70	76	84	93	99	-	-	-	-	-	-
7500	75	82	90	99	-	-	-	-	-	-	-
8000	80	87	96	99	-	-	-	-	-	-	-
8500	85	93	99	-	-	-	-	-	-	-	-
9000	90	98	99	-	-	-	-	-	-	-	-

Fig. 4 - Tabella per raddrizzatori con shunt diverso da 60 mV.



### 3.2. Dosatore in bagni di nichel, rame, zinco

Normalmente i produttori di additivi per bagni galvanici prescrivono di aggiungere un certo quantitativo di prodotto ogni 10.000 Ampèrora: ammettiamo per esempio 4 litri, ovvero 4000 cc.

AmMESSO di aver tarato la pompa per dosare 50 cc, come è tarata in fabbrica, basterà dividere la quantità totale di prodotto da aggiungere per la quantità di prodotto dosato dalla pompa dosatrice:

$$4000 \text{ cc} : 50 \text{ cc} = 80 \text{ pompate}$$

e si otterrà il numero totale di pompate da effettuare ogni 10.000 Ampèrora. Dividendo ora 10.000 Ampèrora per il numero di pompate da effettuare:

$$10000 : 80 = 125 \text{ Ampèrora}$$

Si otterrà il numero di Ampèrora tra due dosate successive. Questo numero è da impostare sul programmatore |2| delle figura 2.

Fare poi eseguire un'analisi dal fornitore del bagno per assicurarsi dell'esatto dosaggio e, in caso

di dosaggio scarso, **diminuire** il numero impostato, per esempio da 125 a 120. In caso di dosaggio eccessivo **aumentare** invece il numero impostato, per esempio da 125 a 130.

### 3.3. Dosatore in bagni di metalli preziosi

Spesso l'apparecchio è usato per reintegrare il consumo di metallo e di additivi in un bagno di doratura, e in tal caso è, in genere, tarato in Ampèr-

minuti. In questo caso procedere come sotto descritto.

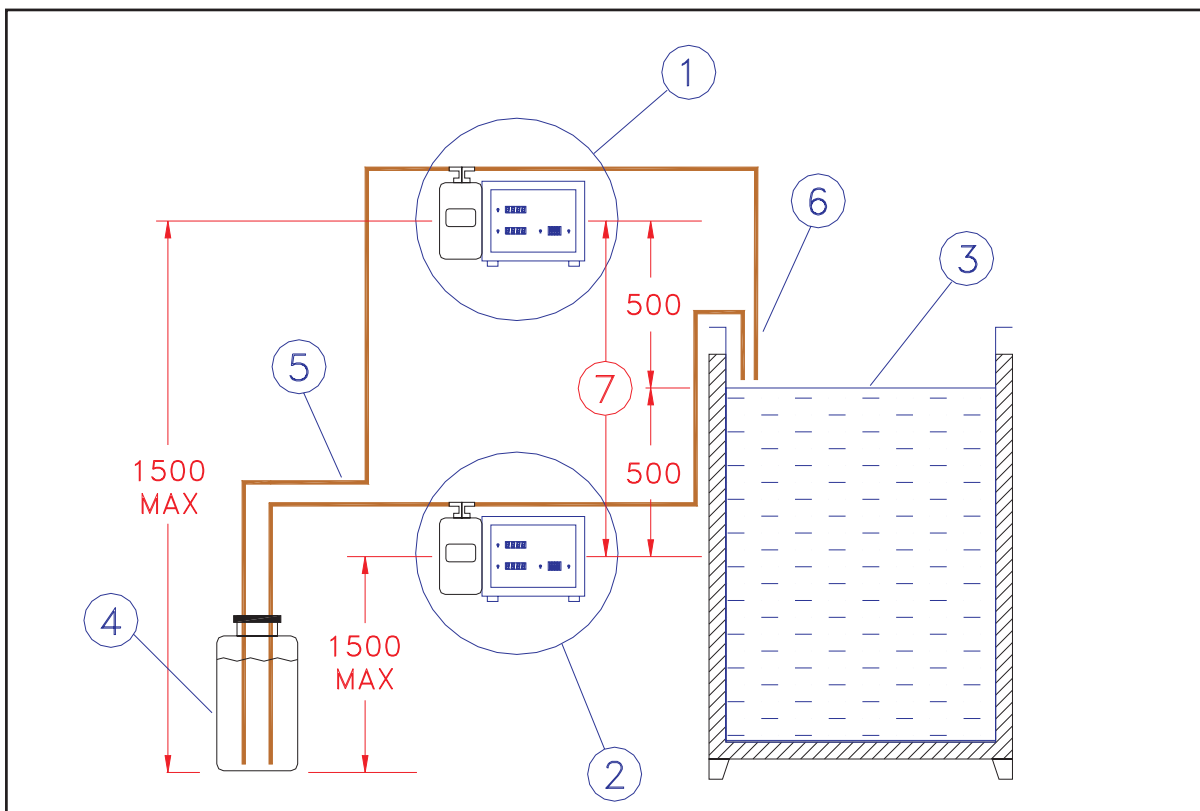


Fig. 5 Schema di montaggio degli apparecchi con pompa dosatrice

### 3.3.1. Riempimento del fustino

Mettere 2 litri di acqua demineralizzata calda, nel fustino del dosatore e scioglierci 100 g di sali d'oro, mescolando accuratamente in modo da non avere residui sul fondo del fustino. Aggiungere l'additivo fornito dal produttore del bagno, sempre mescolando accuratamente. Portare poi il

contenuto del fustino a 5 litri, aggiungendo acqua demineralizzata e mescolando sempre accuratamente.

A questo punto abbiamo una soluzione contenente 20 g/litro di sali d'oro e la pompa dosatrice, tarata per dosare 50 cc, doserà 1 g di sali d'oro per ogni pompata, infatti:

$$\begin{aligned} 5.000 \text{ cc} : 50 \text{ cc} &= 100 \text{ pompate} \\ 100 \text{ g} : 100 \text{ pompate} &= 1 \text{ g per pompata} \\ 1 \text{ g} &= 1000 \text{ mg sali Au} = 680 \text{ mg Au metallo} \end{aligned}$$

### 3.3.2. Impostazione del programmatore

A questo punto, in base alle informazioni del produttore del bagno di doratura si saprà il consumo medio, o **RENDIMENTO**, del bagno, valore che, normalmente, oscilla tra 15 e 25 mg di Au metallo per Ampèreminuto. Consideriamo, per esempio, che questo valore sia di 20 mg

Ciò significa che per ogni Ampèreminuto che passa nel bagno si depositano 20 mg di Au metallo. Basterà ora dividere il contenuto di una pompata (680 mg di Au) per il rendimento del bagno (20 mg/Amin) e si saprà ogni quanti Ampèreminuto effettuare il dosaggio:

$$(1) \quad 680 \text{ mg Au metallo} : 20 \text{ mg} = 34 \text{ Ampèreminuto}$$

Impostare quindi sul programmatore [2] della fig. 2 il valore 34: il programmatore azionerà la pom-

pa dosatrice ogni 34 Ampèreminuto aggiungendo quindi al bagno 680 mg di Au metallo.

$$34 \text{ Ampèreminuto} \times 20 \text{ mg.} = 680 \text{ mg}$$

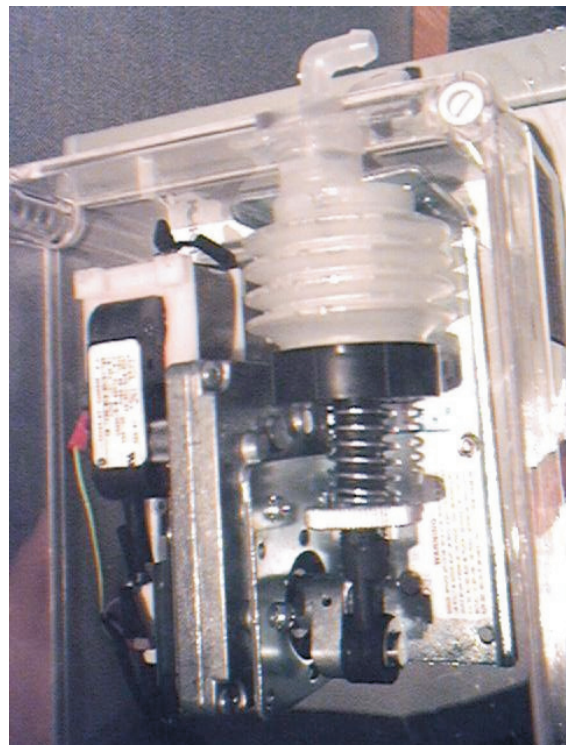
### 3.3.3. Uso del totalizzatore

Se il Vostro apparecchio è munito di totalizzatore riempite con tutti i dati una tabella sul tipo di quella allegata in fondo al presente manuale ogni volta

che avrete consumato tutto il contenuto del fustino: Vi sarà utile per conoscere l'effettivo consumo del bagno e il consumo complessivo del mese.

### 3.3.4. Taratura del programma impostato

Il consumo medio del bagno fornito dal produttore è sempre un valore approssimato e può variare in funzione di molti parametri, come la temperatura, la tensione di funzionamento, il rapporto superficie anodica/catodica. Sarà quindi utile procedere ad una taratura del sistema nel modo sotto descritto.



### 3.3.5. Analisi del bagno

Eseguire un'analisi del bagno al momento dell'installazione dell'apparecchio. Ammettiamo

per esempio che il contenuto di Au metallo in vasca sia di

$$0,2 \text{ g/litro} = 200 \text{ mg/litro}$$

Regolare l'apparecchio come sopra descritto, per esempio a 34 scatti (rendimento del bagno 20 mg/Ampèreminuto), far passare nel bagno qualche migliaio di Ampèreminuto, per esempio 5.100, e fare una nuova analisi del bagno. Ci sono tre possibilità:

- \* il contenuto di Au metallo è ancora 200 mg/litro: la taratura di 34 Ampèreminuto è esatta e non va più ritoccata;
- \* il contenuto di Au metallo in vasca è diminuito, per esempio sia di 150 mg/litro
- \* il contenuto di Au metallo in vasca è aumentato, per esempio sia di 240 mg/litro

### 3.3.6. Il contenuto è diminuito

Ammettiamo che la vasca abbia una capacità di 1.000 litri e che l'analisi abbia dato un contenuto

di 150 mg/litro, allora il metallo consumato in vasca sarà:

$$(200 \text{ mg/l} - 150 \text{ mg/l}) \cdot 1000 \text{ litri} = 50 \text{ g}$$

Il metallo che è stato dosato in vasca dall'apparecchio è:

$$5.100 \text{ Amin totali} : 34 \text{ Amin programmati} = 150 \text{ pompate} \\ 150 \text{ pompate} \cdot 680 \text{ mg per pompata} = 102 \text{ g}$$

Il metallo totale consumato dal bagno sarà

$$102 \text{ g dosati} + 50 \text{ g consumati in vasca} = 152 \text{ g totali}$$

Questo vuol dire che il bagno in 5.100 Ampèreminuti ha depositato 152 g di Au metallo quindi la reale efficienza del bagno sarà

$$152 \text{ g} : 5.100 \text{ Amin} = 30 \text{ mg per Ampèreminuto}$$

quindi in base alla formula (1) il nuovo valore da impostare sul programmatore [2] della figura 2

$$680 \text{ mg (contenuto di una pompata)} : 30 \text{ mg} = 23 \text{ Ampèreminuto}$$

A questo punto il dosatore farà una pompata di 50 cc contenente 1 g di sali d'oro pari a 680 mg di Au metallo ogni 23 Amin, quindi 222 pompate in

5.100 Ampèreminuto per un totale di 222 g di sali d'oro pari a 151 g di metallo.

### 3.3.7. Il contenuto è aumentato

Ammettiamo sempre che la vasca abbia una capacità di 1.000 litri e che l'analisi abbia dato un con-

tenuito di 240 mg/litro; allora il metallo aumentato in vasca sarà:

$$(240 \text{ mg/l} - 200 \text{ mg/l}) \cdot 1.000 \text{ litri} = 40 \text{ g}$$

Il metallo che è stato dosato in vasca dall'apparecchio è

$$5.100 \text{ Amin totali} : 34 \text{ Amin programmati} = 150 \text{ pompate}$$

$$150 \text{ pompate} \times 680 \text{ mg/pompate} = 102 \text{ g}$$

Il metallo totale consumato dal bagno sarà

$$102 \text{ g dosati} - 40 \text{ g aumentati in vasca} = 62 \text{ g totali}$$

Questo vuol dire che il bagno in 5.100 Amin ha depositato 62 g di Au metallo, quindi la reale efficienza del bagno sarà

$$62 \text{ g} : 5.100 \text{ Amin} = 12,2 \text{ mg per Ampèreminuto}$$

quindi in base alla formula (1) il nuovo valore da impostare sul programmatore [2] delle figure 5 - 6 sarà

$$680 \text{ mg (contenuto di una pompata)} : 12,2 = 57 \text{ Ampèreminuti}$$

A questo punto il dosatore farà una pompata di 50 cc, contenente 1 g di sali d'oro pari a 680 mg di Au metallo ogni 57 Ampèreminuti, quindi 90 pompa-

te in 5.100 Ampèreminuti per un totale di 90 grammi di sali d'oro, pari a 62 grammi di Au metallo.

### 3.4. Taratura di un Ampèroametro

- \* Prendere un cilindro graduato da 100 cc e, agendo sulla ghiera 15 della pompa dosatrice, regolare la portata della pompa, normalmente tarata a 50 cc.
- \* Collegare un millivoltmetro di precisione allo shunt del raddrizzatore e, facendo passare

nel bagno una corrente costante, lasciare contare lo strumento per almeno 300 secondi. Controllare nel frattempo che la tensione letta sul millivoltmetro sia costante.

- \* Calcolare la corrente media in base alla seguente formula, dove  $I_{max}$  è la corrente

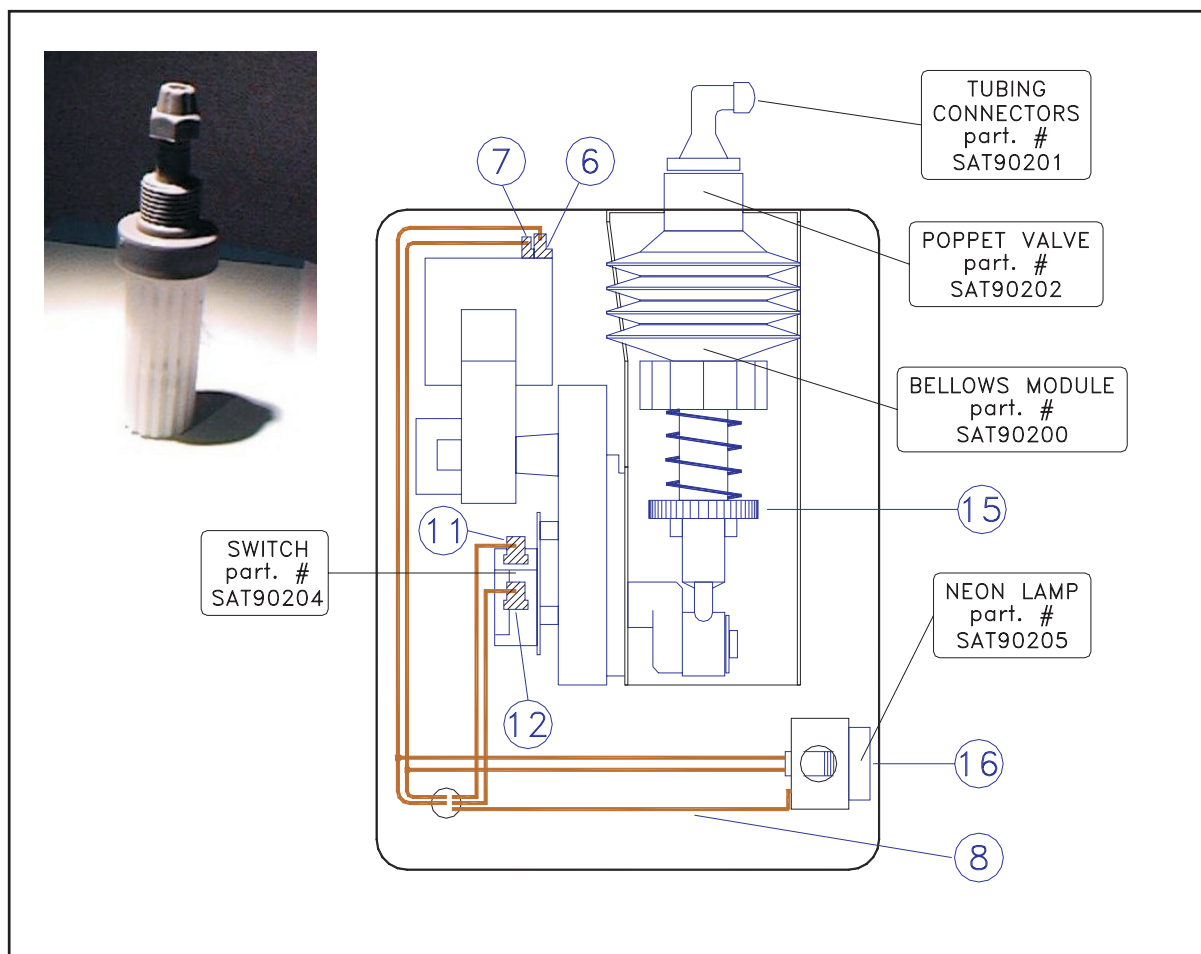


Fig. 6 Pompa dosatrice per additivi



massima di targa del raddrizzatore e  $V_0$  i mV medi letti sul millivoltmetro.

$$I = I_{max} * V_0 / 60$$

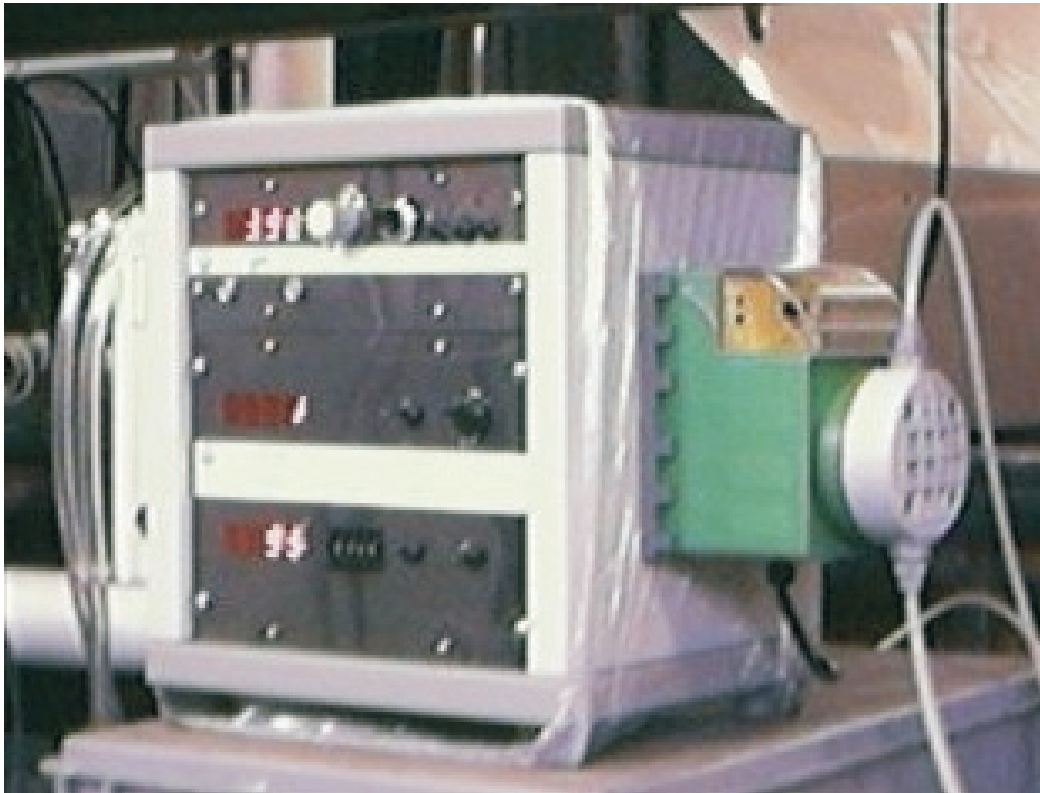
- \* Verificare la lettura dell'Ampèreametro in base alla seguente formula, dove #Ah è il

numero di Ampèreora contati nell'intervallo di tempo t, misurato in secondi:

$$\#Ah = I * t / 3600$$

- \* Se #Ah è inferiore al valore teorico agire sul regolatore dello shunt impostando un valore di shunt maggiore del valore precedente, se #Ah è superiore impostare un valore inferiore di shunt

- \* Verificare il dosaggio della pompa dosatrice con un cilindro graduato e, se necessario, regolare la portata agendo sulla ghiera zigrinata che limita la corsa del soffiello. (15).



APPARECCHIO	AMPÈREORAMETRO	LINEA	
MODELLO	SAT01320	VASCA	
COSTRUTTORE	EFG KRÜGER	MATRICOLA	
INDIRIZZO	VIA ALGHERO 12 - MILANO ITALY	Comp. dosato	
TEL / FAX	**39 02 27000951 / 27000991	Dosaggio cc/Aora	
FORNITORE BAGNO		Sigla Bagno	
INDIRIZZO		analisi ogni A ora	
tel / fax			

data	Aora / min	operatore	note
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			

**SCHEDA AMPÈREORA BAGNO  
MESE ANNO**

APPARECCHIO	AMPÈROAMETRO				LINEA	
MODELLO	SAT01320				VASCA	
COSTRUTTORE	EFG KRÜGER				MATRICOLA	
INDIRIZZO	VIA ALGHERO 12 - MILANO ITALY				ANNO COSTRUZ.	
TEL. / FAX	**39 02 27000951 / 27000991				FREQUENZA DI TARATURA	MENSILE
DATA	A ora		cc dosatore		OPERATORE	NOTE
	VALORE MIS.	VALORE IMPOST.	VALORE MIS.	VALORE IMPOST.		

**SCHEDA DI TARATURA AMPÈROAMETRO  
STRUMENTI DI CONTROLLO QUALITÀ ANNO .....**

## 4. I pH-METRI

Il pH indica il grado di acidità di una soluzione e può variare da 0 a 14.00 pH. Una soluzione con pH 7.00 si dice neutra, una soluzione con pH compreso tra 0 e 7.00 acida e se ha il pH compreso tra 7.00 e 14.00 si chiama basica.

Quasi tutti i bagni galvanici variano i parametri di deposizione al variare del pH ed è quindi particolarmente importante mantenere costante questa

grandezza se si vogliono avere risultati di buona qualità e costanti nel tempo.

I pHmetri oggi sono tutti elettronici e hanno un display digitale che permette di leggere i decimi o meglio ancora i centesimi di pH. Spesso hanno delle soglie, cioè permettono di programmare dei valori di pH, superato i quali vengono azionati degli allarmi o delle pompe dosatrici.

### 4.1. Taratura di un pH-metro

I pHmetri sono ormai degli apparecchi molto affidabili, specialmente quelli digitali, ma non altrettanto si può dire degli elettrodi di misura, comunemente chiamati sonde, che vivono a contatto di liquidi spesso aggressivi e caldi.

Gli elettrodi devono essere di buona qualità ed è indispensabile controllati periodicamente con le soluzioni tampone. In ogni caso hanno una vita limitata a sei mesi - un anno, a secondo della temperatura di impiego.

Controllare frequentemente i cavi e le spine di giunzione tra apparecchio ed elettrodo, pulirli accuratamente e proteggerli dall'umidità.

Quando l'elettrodo non viene usato per un certo periodo di tempo, pulirlo accuratamente e mante-

nerlo immerso in una soluzione KCl a temperatura ambiente.

Procedere con cadenza settimanale, o più frequentemente se l'elettrodo viene usato in condizioni limite, alla taratura nel modo illustrato nella scheda tecnica di taratura

Spesso i pHmetri vengono utilizzati per azionare delle pompe dosatrici che aggiungono soluzioni correttive del pH. In questi casi conviene che la soluzione venga immessa nelle immediate vicinanze dell'elettrodo, in modo da essere subito avvertita dal pHmetro che smetterà immediatamente di dosare fino a quando l'aggiunta non si sarà mescolata col restante liquido della vasca. Si eviterà così il pericolo di un sovra dosaggio.

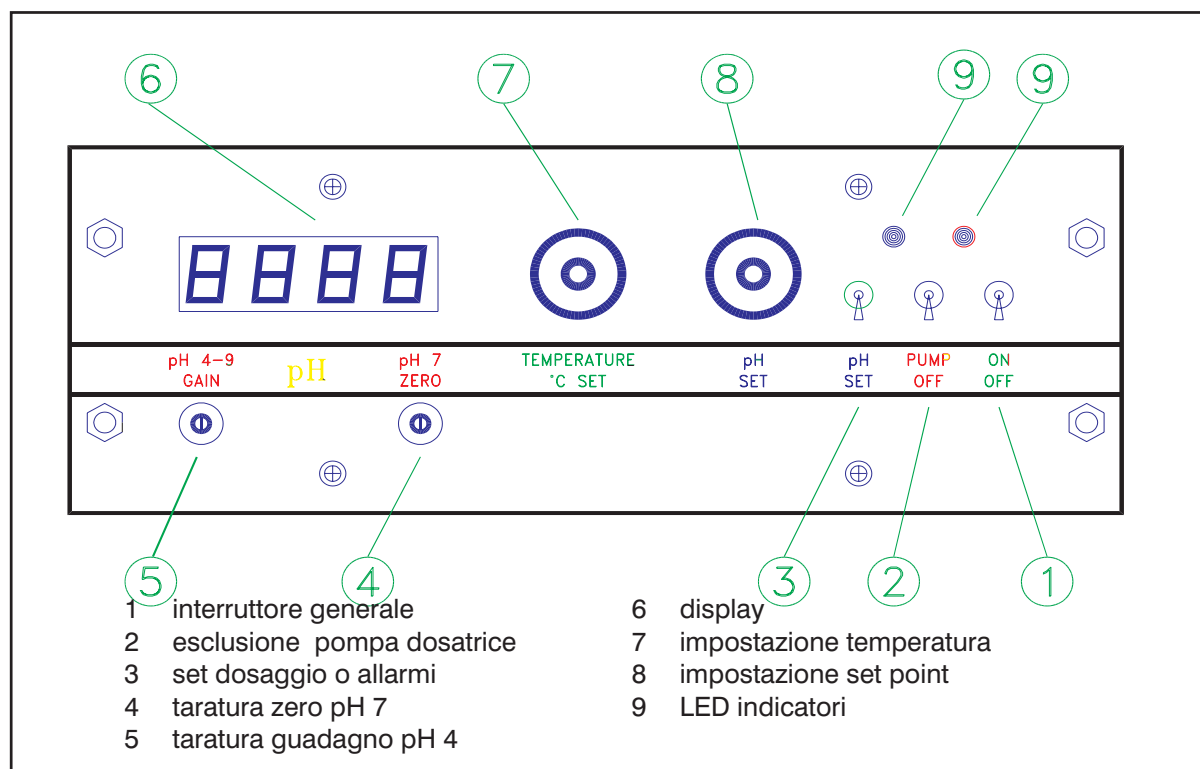


Fig. 7 Misuratore elettronico digitale di pH

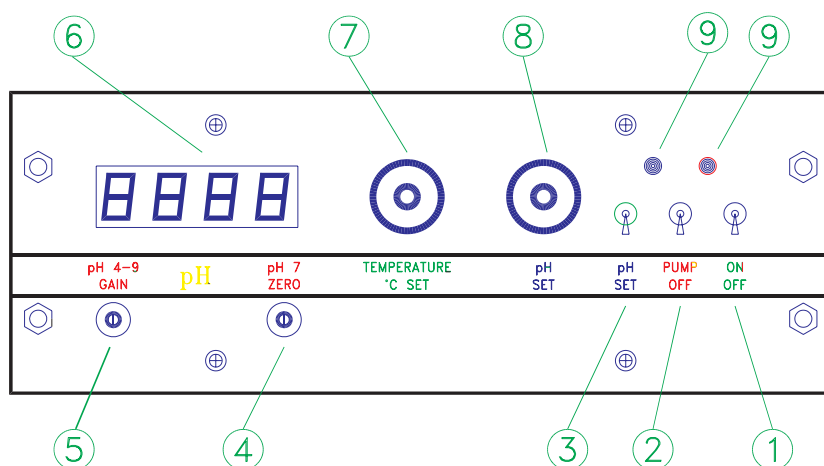


APPARECCHIO	pH-metro				LINEA	
MODELLO	SPH04002				VASCA	
COSTRUTTORE	EFG KRÜGER				MATRICOLA	
INDIRIZZO	VIA ALGHERO 12 - MILANO ITALY				ANNO COSTRUZ.	
TEL. / FAX	**39 02 27000951 / 27000991				FREQUENZA DI TARATURA	settimanale
DATA	pH 7 zero		pH 4 gain		OPERATORE	NOTE
	VALORE MIS.	VALORE IMPOST.	VALORE MIS.	VALORE IMPOST.		

**SCHEDA DI TARATURA pHmetro  
STRUMENTI DI CONTROLLO QUALITÀ ANNO .....**

## TARATURA DI UN pH-METRO

- preparare due bicchieri con dentro 10 cc di soluzione tampone a pH 4 e a pH 7
- preparare un becker da un litro pieno di acqua pulita
- portare il regolatore di temperatura del pHmetro alla temperatura ambiente
- immergere l'elettrodo nel becker per un certo tempo in modo da portarlo alla temperatura ambiente
- asciugare l'elettrodo e porlo nel tampone a pH 7
- regolare il corrispondente potenziometro del pHmetro fino a leggere 7.00 sul display
- sciacquare l'elettrodo nel becker
- asciugare l'elettrodo e porlo nel tampone a pH 4
- regolare il corrispondente potenziometro sul pHmetro fino a leggere 4.00 sul display
- sciacquare l'elettrodo e ripetere il tampone a pH7 e a pH 4 fino a che non sono richieste più regolazioni
- gettare le soluzioni tampone utilizzate
- la vita delle soluzioni tampone è limitata sostituirle con cadenza annuale



- |   |                            |   |                          |
|---|----------------------------|---|--------------------------|
| 1 | interruttore generale      | 6 | display                  |
| 2 | esclusione pompa dosatrice | 7 | impostazione temperatura |
| 3 | set dosaggio o allarmi     | 8 | impostazione set point   |
| 4 | taratura zero pH 7         | 9 | LED indicatori           |
| 5 | taratura guadagno pH 4     |   |                          |

## 5. I MISURATORI DI REDOX

Il misuratore di redox, Rxmetro, indica quanto una soluzione sia ossidante o riducente. Questo apparecchio è molto simile a un misuratore di pH, tanto che alcuni pHmetri hanno anche la possibilità di misurare, ovviamente con un'apposita sonda, il fattore Rx.

Il campo di misura è normalmente compreso tra -2000 mV e +2000 mV, a valori negativi corrisponde una soluzione riducente, a valori positivi una ossidante.

La misura di questa grandezza è molto importante, oltre che negli impianti di depurazione, anche nei bagni catalitici, come nel caso del nickel chimico, che possono variare il loro potenziale durante il funzionamento.

Utilizzando questi apparecchi delle sonde simili a quelle per la misura del pH, richiedono le stesse cure e tarature di un misuratore di pH.

## 6. I MISURATORI DI CONDUCEBILITA'

In una soluzione gli ioni disciolti permettono il passaggio della corrente elettrica. Questi apparecchi misurano quanta corrente elettrica possa passare attraverso un liquido.

Ovviamente nell'acqua perfettamente distillata il passaggio di corrente è praticamente nullo e si avrà una conducibilità molto bassa.

$$\text{resistività} = 1/\text{conducibilità}$$

La resistività si misura in Ohm e normalmente si usa il multiplo MOhm.

La misura della conducibilità non serve solo per il controllo delle acque demineralizzate, ma in molti casi può dare delle utili indicazioni sulle condizioni di un bagno galvanico.

La conducibilità si misura in Siemens e normalmente viene usato il sottomultiplo micro Siemens.

Molto spesso però si prende in considerazione la grandezza inversa alla conducibilità, cioè la resistività di una soluzione. Esiste quindi la seguente relazione:

Anche per questi apparecchi gli elettrodi vanno frequentemente controllati, a meno che non si disponga di uno di quei nuovissimi apparecchi che utilizzano una sonda non a contatto col liquido.



## 7. LA PROTEZIONE DELLA VASCA

Negli anni 90, per la prima volta negli USA, è stato introdotto un sistema di protezione anodica della vasca di nichelatura, in modo da formare uno strato di passivazione, simile peraltro a quello creato dall'acido nitrico, sulla lamiera di acciaio inossidabile della vasca.

In pratica si crea, con un buon alimentatore elettronico, una differenza di potenziale tra la vasca e degli opportuni catodi, isolati dalla vasca. Si verrà così a creare un passaggio di corrente, opportunamente controllato, che tenderà a passivare la lamiera della vasca e a depositare una piccola quantità di nichel sui catodi; ma siccome la passivazione dipende dalla differenza di potenziale e non dalla quantità di corrente che passa, si potrà tenere quest'ultima a dei valori così bassi da consumare una quantità trascurabile di nichel. Studiando e posizionando opportunamente i catodi

di si potranno proteggere anche le tubazioni, gli scarichi e lo scambiatore di calore dell'impianto.

Per stabilire quale sarà la ddp ottimale si utilizza, come elettrodo di riferimento, un catodo simile a quelli che creano lo strato di passivazione. Questo riferimento sarà collegato a un preciso voltmetro digitale che permetterà di conoscere la ddp tra vasca ed elettrodo. A secondo della geometria della vasca la ddp ottimale sarà compresa tra 0.4 e 0.8 V. Tenendo sotto controllo il valore della ddp si avranno inoltre interessanti indicazioni su:

- \* contenuto di Ni in vasca
- \* condizioni generali del bagno
- \* indesiderato contatto tra un pezzo e la parete della vasca

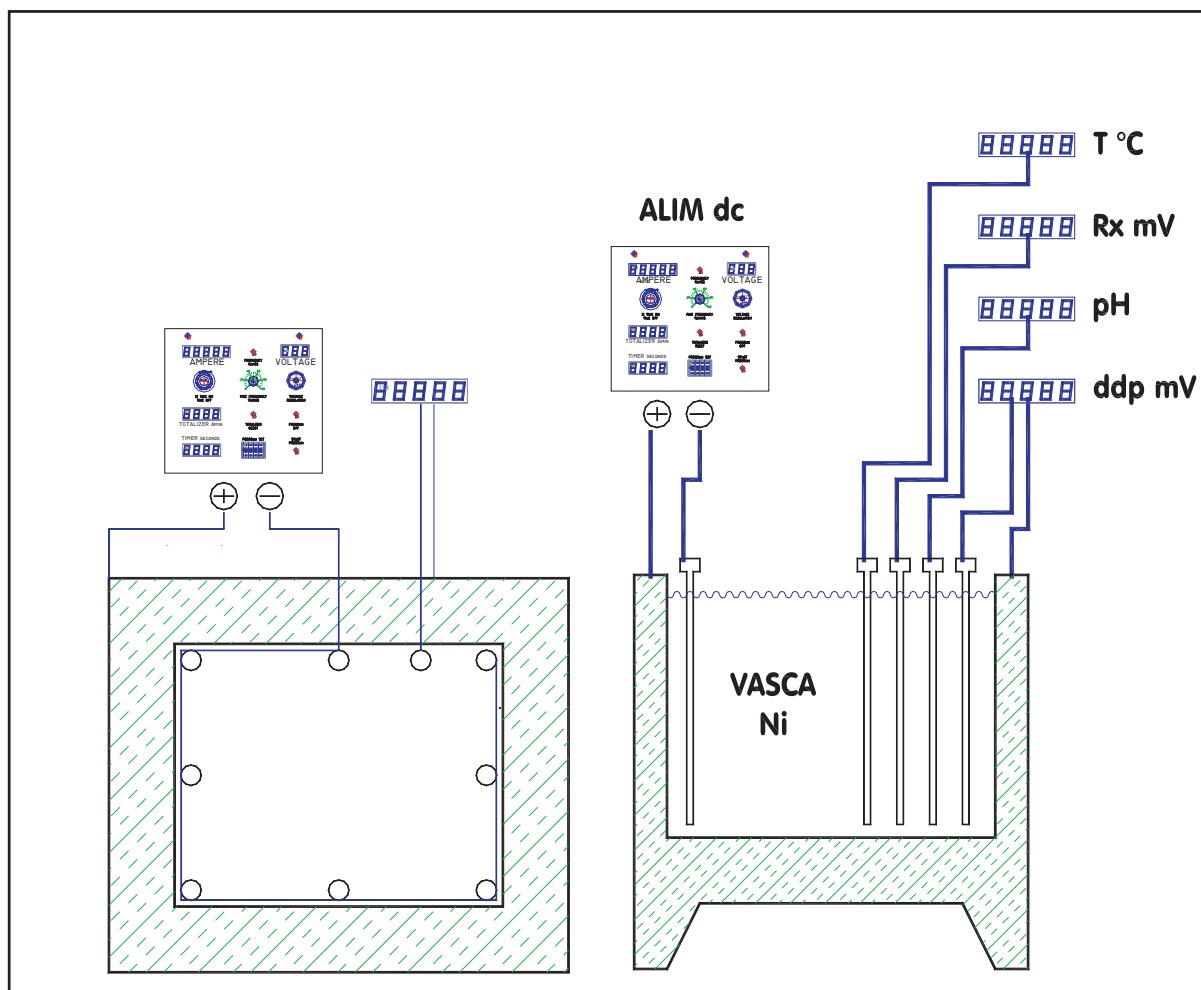


Fig. 8 Schema di un impianto di protezione anodica della vasca



**Note:**

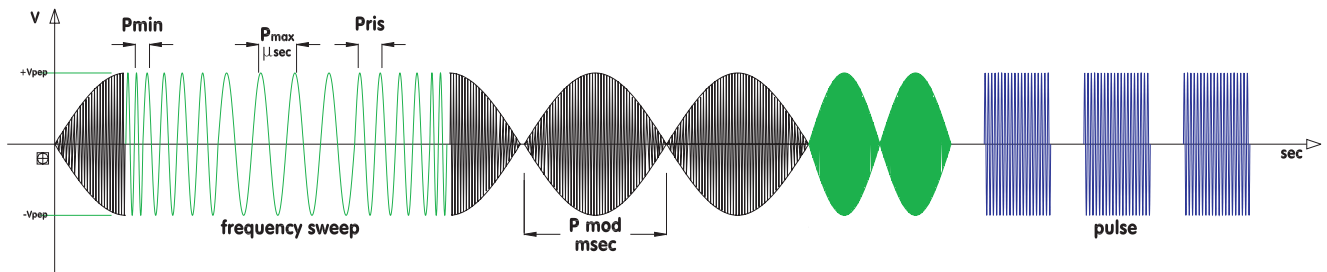
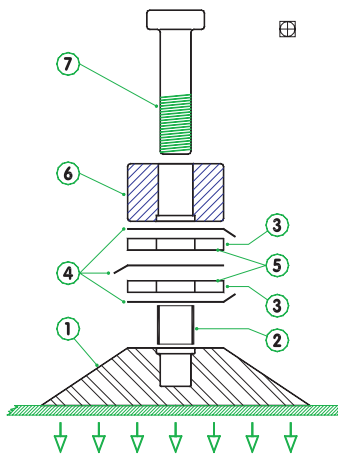
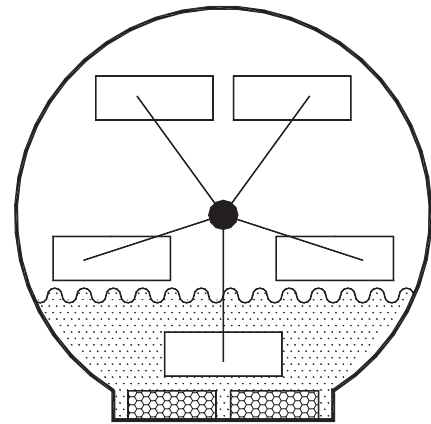


Lined area for notes, consisting of multiple horizontal red lines.



**Novembre 2006 © Giorgio Krüger - email: [gk@sdkappa.com](mailto:gk@sdkappa.com)**

Krüger srl - Via Alghero 12 - 20128 MILANO - ITALY - ☎ +39 02 27000951



# Il lavaggio con ultrasuoni



## 8. IL LAVAGGIO CON ULTRASUONI

Gli ultrasuoni forniscono un'efficace azione di asportazione del contaminante dalla superficie del pezzo da lavare mediante la generazione nel liquido di lavaggio, solvente o detergente, di onde acustiche ad alta frequenza che hanno questi tre effetti:

- \* **degasificazione** completa del liquido per renderlo omogeneo e permettergli di trasmettere le onde acustiche (un gas, comprimendosi, le attenua)

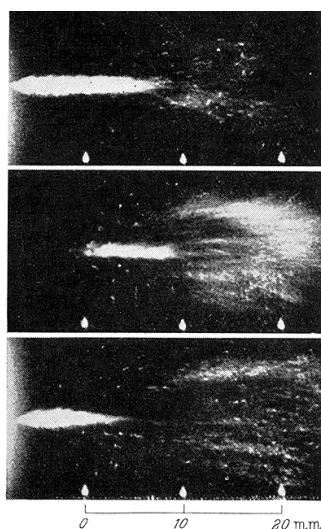


Figure 18. Three successive frames of multiple bursts in aerated water. The dense cloud of bubbles is probably caused by multiple bursts occurring before and during the exposure (after G. W. WILLARD<sup>8</sup>, Courtesy of Bell Telephone Laboratories Inc., New York)

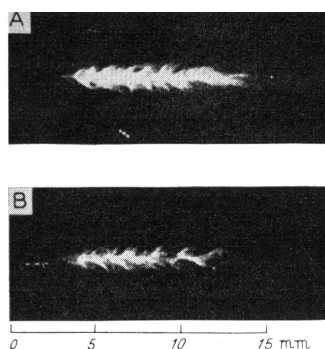
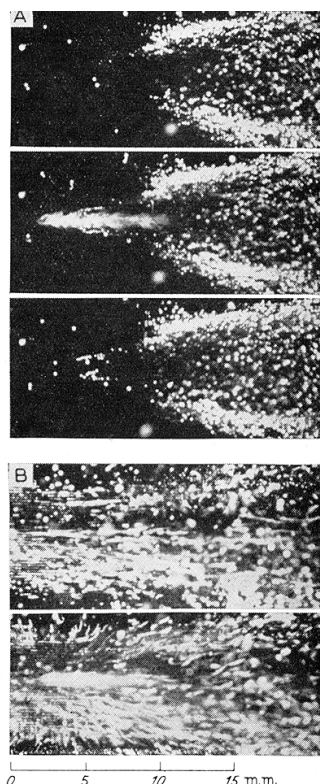
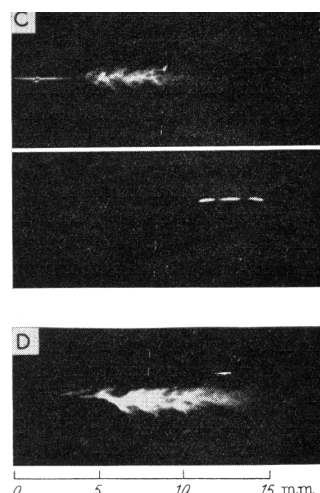


Figure 16. Cavitation bursts and bubble motion in degassed water. The bubble appears as three dots or dashes due to three illuminations per exposure. (C) shows two consecutive frames (after G. W. WILLARD<sup>8</sup>, Courtesy of Bell Telephone Laboratories Inc., New York)



- \* aumento notevole della **capillarità** che permette l'introduzione del liquido in tutte le parti nascoste, nei fori ciechi e nelle anfrattuosità del pezzo da lavare
- \* formazione di bolle di **cavitazione** che accelerano l'attività chimica del prodotto detergente ed esercitano un'azione meccanica sulla superficie del pezzo, facilitando il distacco dell'inquinante e la sua dispersione nel liquido. Questo fenomeno inizia solo quando si sono completati i due effetti precedenti.

Ovviamente è determinante l'ottimizzazione chimica e fisica del liquido di lavaggio, sia esso un detergente che un solvente. È indispensabile quindi controllare:

- \* **la temperatura** che deve essere mantenuta lontano dal punto di ebollizione, perchè in tale stato si ha la formazione continua di bolle di vapore e gli ultrasuoni quindi sarebbero sempre nella fase di degassaggio. Temperatura consigliata per un detergente 50 - 70 °C, per un solvente tra i 20 e i 40 °C al disotto del punto di ebollizione,
- \* **la densità** che deve essere la più bassa possibile, compatibilmente con l'azione detergente del prodotto, per diminuire l'assorbimento delle onde acustiche,
- \* **l'acidità**, particolarmente per i solventi, deve essere mantenuta al giusto valore per evitare possa dissociarsi e diventare particolarmente corrosivo per i pezzi e per l'impianto,
- \* **l'inquinamento** del prodotto detergente va continuamente tenuto sotto controllo e, nel caso di un detergente è meglio sostituire il prodotto piuttosto che rinforzarlo, mentre nel caso di un solvente occorre sostituirlo quando l'acidità scende sotto il pH consigliato.

Quando si verificano tutte queste condizioni ha inizio il fenomeno della cavitazione che si sviluppa specialmente sulla superficie dell'oggetto da lavare e fornisce una sufficiente agitazione dell'interfaccia liquido - contaminante così da accelerare la solubilizzazione del contaminante solubile e da fornire la necessaria energia per rompere i legami ionici e meccanici che legano il contaminante non solubile alla superficie dell'oggetto.

## 8.1. Principio di funzionamento

Generando in un liquido delle vibrazioni a una frequenza ultrasonica di 20 - 40 kHz, cioè delle onde di pressione e depressione che si ripetono 20 - 40 mila volte al secondo, si producono migliaia di microscopiche bollicine di vapore che continuano a gonfiarsi fino a raggiungere dimensioni visibili, cioè dell'ordine del millimetro.

Ma a un certo punto queste bollicine collassano, cioè implodono, poichè la loro pressione interna è minore di quella del liquido, e così producono, nelle loro immediate vicinanze, delle onde di pressione dell'ordine del migliaio di atmosfere. Questo fenomeno, detto "CAVITAZIONE", dura, dalla formazione delle bollicine alla loro implo-

sione, qualche decimillesimo di secondo e si ripete in continuazione.

La cavitazione, pur essendo più o meno distribuita in tutto il liquido, è maggiore nei punti in cui si vengono a creare delle discontinuità, per esempio alla superficie del liquido (discontinuità liquido - aria) o sulla superficie di un oggetto immerso nel liquido (discontinuità liquido - oggetto). (Fig. 1) Si verrà così a creare una zona di cavitazione molto più intensa intorno all'oggetto da lavare che sarà circondato da migliaia di bollicine che, implodendo, esercitano un martellamento a livello quasi molecolare rimuovendo ogni impurità anche se trattenuta in fori o porosità della superficie.

### 8.1.1. Unità radianti

Per generare nel liquido le vibrazioni ultrasoniche che stanno alla base di tutto il fenomeno descritto, si usano delle *UNITÀ RADIANTI* ermetiche, immerse nel liquido, contenenti dei trasduttori elettro-acustici che trasformano in vibrazioni acustiche, cioè meccaniche, le onde elettriche prodotte da un GENERATORE ad alta frequenza. (Fig. 1) In pratica i trasduttori sono degli altoparlanti studiati per diffondere onde acustiche in un liquido invece che nell'aria. E, come gli altoparlanti trasformano in onde sonore nell'aria le onde elettriche prodotte da una radio, così i trasduttori tra-

sformano in onde sonore nel liquido le onde elettriche prodotte dal generatore.

Le unità radianti immergibili possono essere immerse in qualsiasi vasca e, collegate mediante un cavo al generatore, trasformano la vasca in una lavatrice a ultrasuoni. È quindi possibile utilizzare vasche già esistenti, sostituire comodamente sia la vasca che l'unità radiante, aggiungere nuove unità aumentando così la potenza degli ultrasuoni in vasca.

### 8.1.2. Frequenza di funzionamento

I migliori impianti a ultrasuoni possono essere forniti, a scelta, con due frequenze di funzionamento: 23 - 25 kHz oppure 40 kHz. Alla frequenza

maggiore si hanno delle bolle di cavitazione più piccole e più diffuse che permettono un lavaggio più delicato dei pezzi; inoltre a questa frequenza

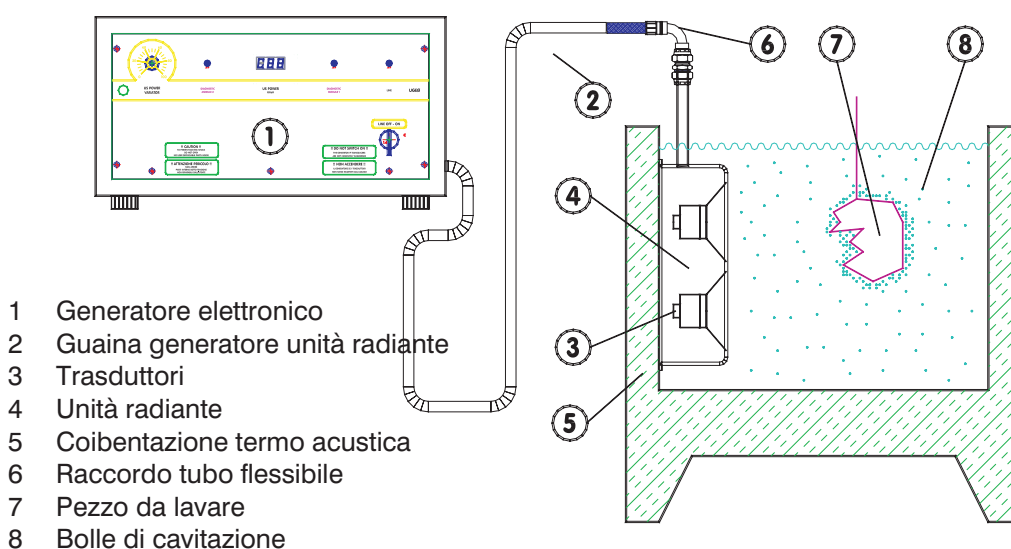


Fig. 9 - Principio di funzionamento e nomenclatura di una vasca a ultrasuoni



la rumorosità dell'impianto è inferiore. In linea di massima un impianto funzionante a 40 kHz richiede una potenza specifica (Watt/litro) maggiore del 20 - 30% rispetto a un impianto funzionante a 23 kHz.

Alla frequenza di 23 kHz le bolle di cavitazione sono di maggiori dimensioni e permettono un miglior lavaggio di particolari massicci e pesanti, pur con una rumorosità superiore ad un impianto a 40 kHz.

### 8.1.3. Trasduttori magnetici

Sfruttano la proprietà del nichel laminato di variare le sue dimensioni quando è sottoposto a un campo magnetico, fornitogli da un avvolgimento alimentato dal generatore. Se il campo magnetico è alternato a 20 kHz, le estremità del trasduttore vibrano a 20 kHz. Praticamente è costruito come un trasformatore, ma con i fogli del pacco distanziati tra loro di qualche millimetro; i lamierini sono poi incollati, di testa, alla parete radiante. (Fig. 2)

#### Vantaggi dei trasduttori magnetostrittivi:

- \* costo ridotto
- \* generatore più economico
- \* semplicità di progettazione.

#### Svantaggi dei trasduttori magnetostrittivi:

- \* efficienza di conversione intorno al 60%
- \* fragilità dell'incollaggio
- \* disuniformità di radiazione.
- \* massima frequenza di funzionamento 20 kHz: inoltre tale frequenza è difficilmente raggiungibile e questi impianti funzionano generalmente intorno ai 18 kHz, presentando una notevole rumorosità. (7.1.6)
- \* impossibilità di essere alimentati con corrente modulata: risulta così più facile la formazione di onde stazionarie che riducono l'azione di lavaggio. (1.1.6)

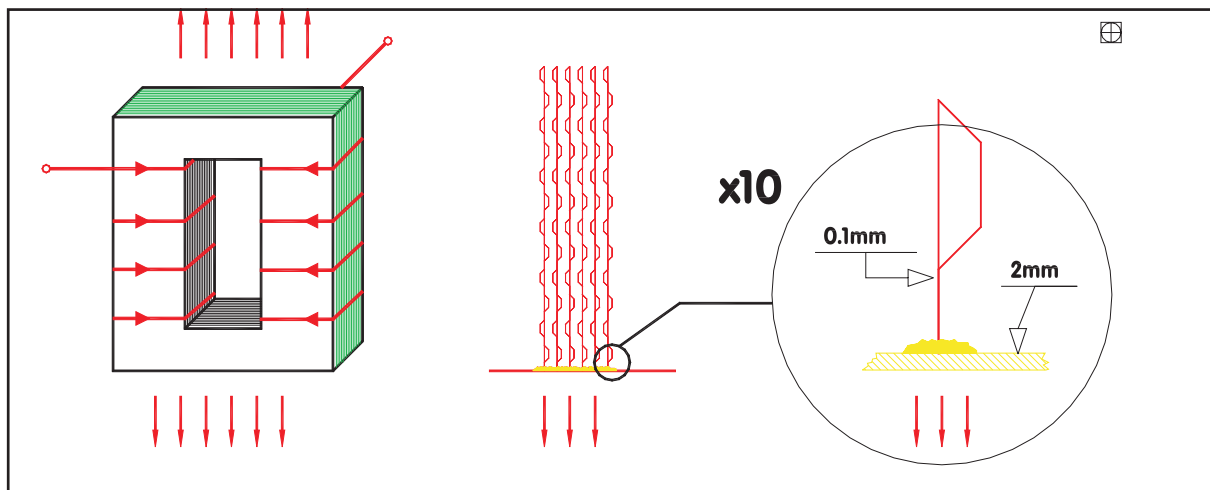


Fig. 10 - Principio di funzionamento di un trasduttore magnetostrittivo.

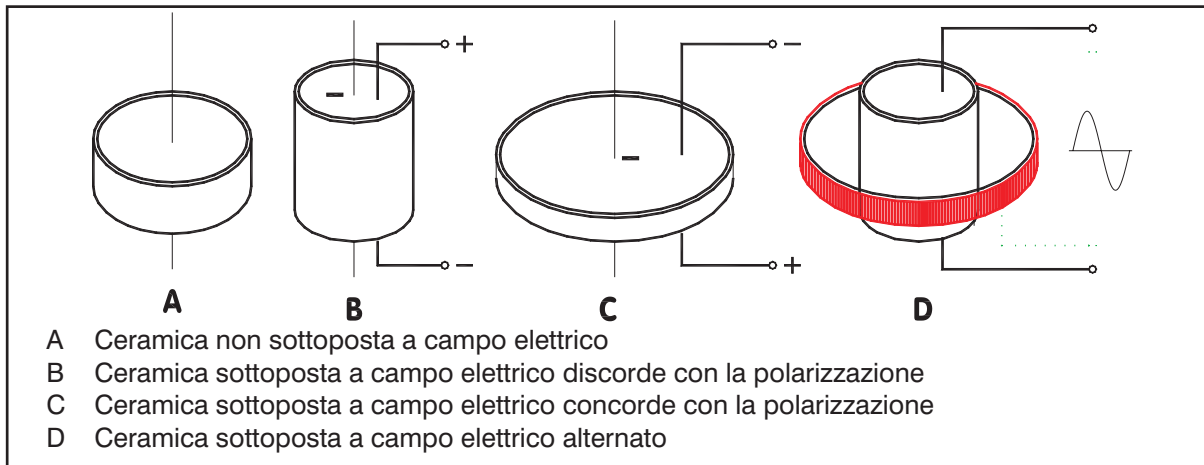
### 8.1.4. Trasduttori piezoelettrici

Sfruttano la proprietà di ceramiche, opportunamente composte, sinterizzate e polarizzate, di variare le loro dimensioni quando sono sottoposte a un campo elettrico applicato loro da due sottili fogli di argento. Si accorciano se la differenza di potenziale è concorde col verso di polarizzazione e si allungano se è opposta. (Fig. 3)

Sottoposte a un campo alternato a 20 kHz, che passa cioè da positivo a negativo 20.000 volte al secondo, le ceramiche si allungano e si accorciano 20.000 volte al secondo e la loro superficie vibra a 20 kHz.

L'ampiezza di queste vibrazioni è dell'ordine del decimo di micron; per aumentarla le ceramiche vengono compresse tra due blocchi di metallo, dimensionati in modo da poter vibrare a una sola determinata frequenza. (Fig. 4)

Quando la frequenza a cui le ceramiche vengono fatte vibrare è uguale a quella propria dei blocchi di metallo, le facce esterne del sistema così formato vibrano con un'ampiezza molto maggiore a una frequenza che viene chiamata "frequenza di risonanza del trasduttore". Questa frequenza di risonanza, purtroppo, non è solo una costante di progetto, ma varia del 10 - 15% al variare delle condizioni che si presentano nella vasca: quantità



**Fig. 11 - Principio di funzionamento di un trasduttore piezoelettrico.**

e temperatura del liquido, natura del pezzo da lavare, additivi di lavaggio... .

Si può facilmente intuire la difficoltà di progetto e di ottimizzazione di un simile trasduttore, che, oltre a tutto, andrà anche alimentato a una frequenza variabile automaticamente al variare delle condizioni di carico.

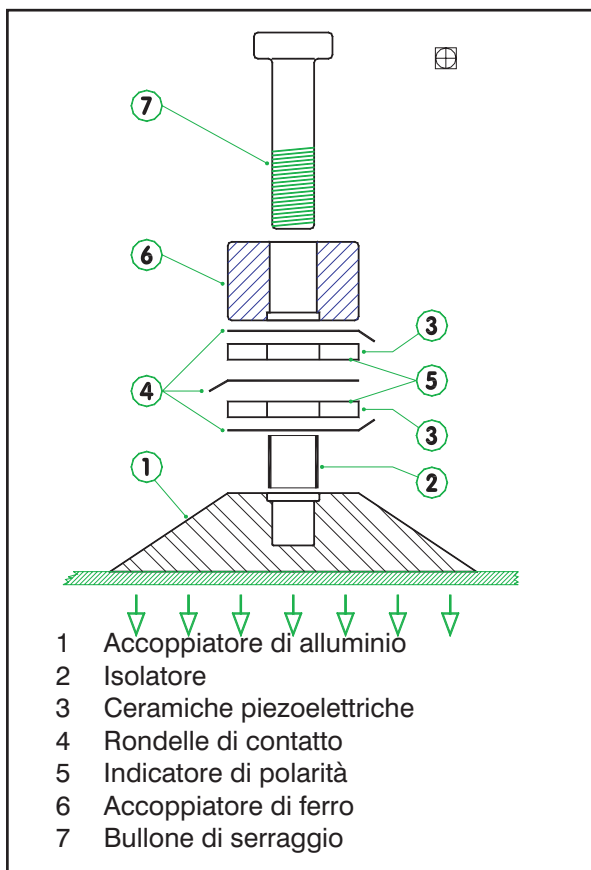
Praticamente un trasduttore piezoelettrico è formato da una o più ceramiche compresse tra due blocchi di metallo, uno dei quali è incollato alla parete radiante. (Fig. 4)

**Vantaggi dei trasduttori piezoelettrici:**

- \* efficienza di conversione maggiore del 90%
- \* notevole uniformità di radiazione
- \* possibilità di funzionare a 40 kHz
- \* grande superficie d'incollaggio
- \* notevole affidabilità

**Svantaggi dei trasduttori piezoelettrici:**

- \* difficoltà di progetto
- \* maggior costo del trasduttore
- \* maggior costo del generatore



**Fig. 12 - Esploso di un trasduttore piezoelettrico.**

**8.1.5. Generatori elettronici**

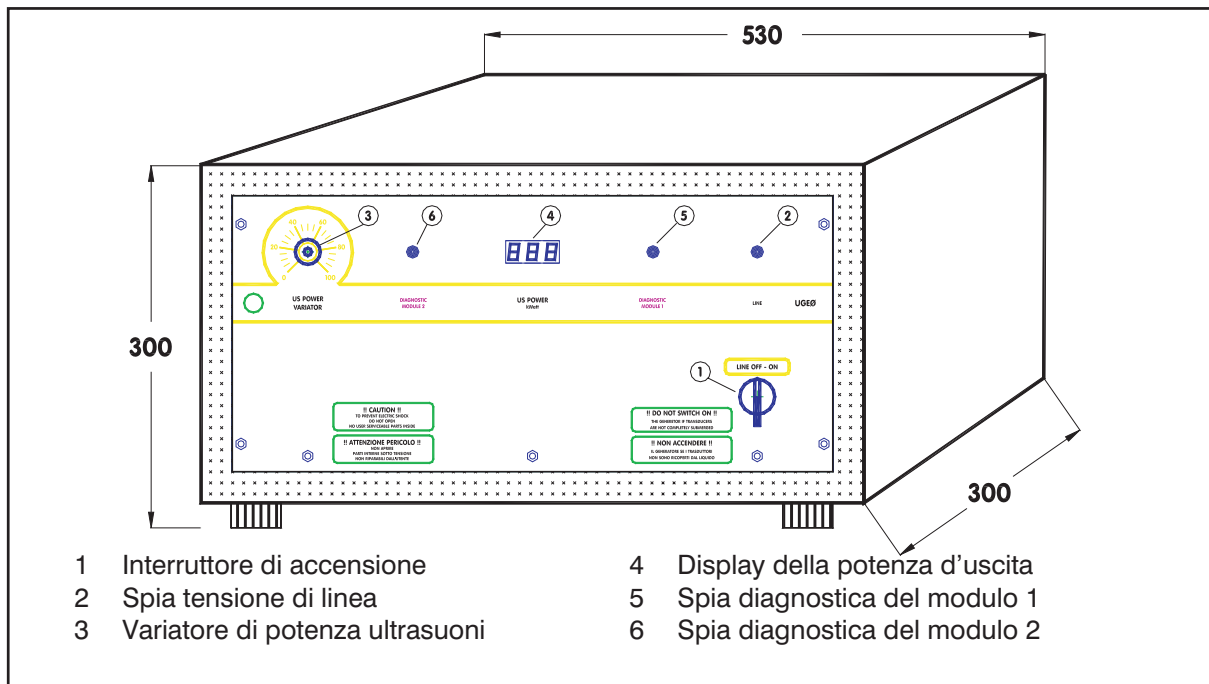
Il generatore elettronico ha il compito di fornire all'unità radiante una corrente alternata alla frequenza richiesta dai trasduttori.

Una volta venivano costruiti con transistor o con valvole o addirittura con gruppi motore alternatore ad alta frequenza; oggi sono costruiti, quasi tutti, con transistor.

I generatori più moderni riescono persino a commutare alla tensione di rete, evitando così i trasformatori di alimentazione ed avendo

un'efficienza maggiore del 95% con un fattore di potenza praticamente unitario.

Un buon generatore deve poi essere in grado di seguire automaticamente le variazioni di frequenza dovute al variare del carico, in modo da alimentare sempre alla frequenza adatta i trasduttori che possono così lavorare nelle condizioni di massima efficienza. Deve essere inoltre protetto per



**Fig. 13 - Aspetto del pannello frontale del generatore**

non danneggiarsi se, inavvertitamente, lo si accende a vasca vuota, senza carico o col carico in corto circuito.

È infine molto utile la presenza di un variatore della potenza d'uscita, con relativo Wattmetro, per potersi adeguare alle diverse condizioni operative..

Il Wattmetro, o delle opportune spie diagnostiche, sono indispensabili poi nel caso di installazioni multiple, per una esatta diagnosi del buon funzionamento dell'impianto. Quando si hanno 10 o 20 generatori è impossibile accorgersi a "orecchio" che un impianto non funziona.

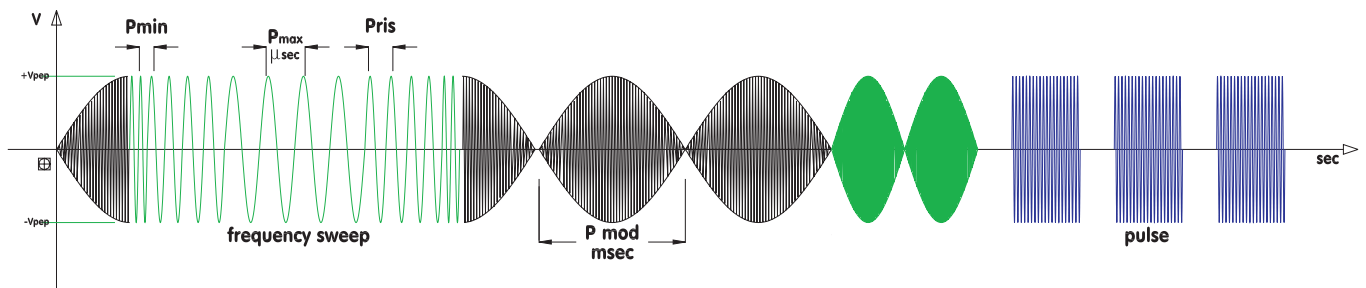
### 8.1.6. Modulazione

Per evitare che nel liquido di lavaggio si vengano a creare delle condizioni stazionarie che causerebbero delle disuniformità di cavitazione, si è trovato vantaggioso modulare al 50% l'ampiezza delle vibrazioni. In altre parole, viene fornita al trasduttore una potenza  $P$  per un certo intervallo di tempo  $t$ , una potenza zero per un intervallo di tempo  $t$  uguale al precedente, poi di nuovo una potenza  $P$  e così via.

I generatori più evoluti hanno invece una modulazione sinusoidale: si fa crescere cioè la tensione e

corrente d'uscita con un andamento sinusoidale. La sinusoide di involuppo ha una frequenza di 50 Hz. (Fig. 5) In questo caso ovviamente il generatore deve essere in grado di fornire una potenza per quattro volte maggiore di quella continua.

Si è constatato che il lavaggio di un impianto a ultrasuoni così fatto è uguale a quello di un impianto, non modulato, di potenza quattro volte maggiore. Notevole è quindi il risparmio energetico



## 8.2. Dimensionamento dell'impianto

A secondo delle esigenze, cioè del grado di inquinamento e del materiale dei pezzi e del tempo di lavaggio richiesto, occorrono da 4 a 50 W per litro di liquido. Generalmente le unità radianti sono disposte sulle pareti laterali della vasca, possibilmente contrapposte per ottimizzare il lavaggio.

Per un corretto dimensionamento dell'impianto occorre tenere ben presente che i trasduttori accoppiano al liquido delle onde di compressione e decompressione planari, quindi con un angolo di apertura molto limitato. Occorre perciò che la superficie delle unità radianti sia praticamente uguale alla superficie del telaio che occorre lavare.

## 8.3. Caratteristiche della vasca di lavaggio

Il rumore prodotto da un impianto a ultrasuoni è in massima parte provocato da risonanze e subarmoniche della vasca di lavaggio che deve essere costruita con i seguenti accorgimenti:

- \* costruzione delle pareti interne con acciaio inossidabile AISI 316
  - \* coibentazione termoacustica, sulle pareti e sul fondo della vasca, con pannelli di poliuretano espanso ad alta densità da 100 mm di spessore
  - \* costruzione delle pareti esterne, del bordo della vasca e dell'eventuale coperchio con pannelli di un materiale plastico, come polipropilene o PVC di spessore opportuno, per evitare le vibrazioni di questi particolari
- \* assenza, all'esterno della vasca, di parti metalliche collegate alle pareti interne della vasca: esse possono trasmettere rumorose vibrazioni.
  - \* Rubinetto di scarico a sfera di opportune dimensioni
  - \* Feritoie di troppo pieno da collegare eventualmente a un opportuno disoleatore.





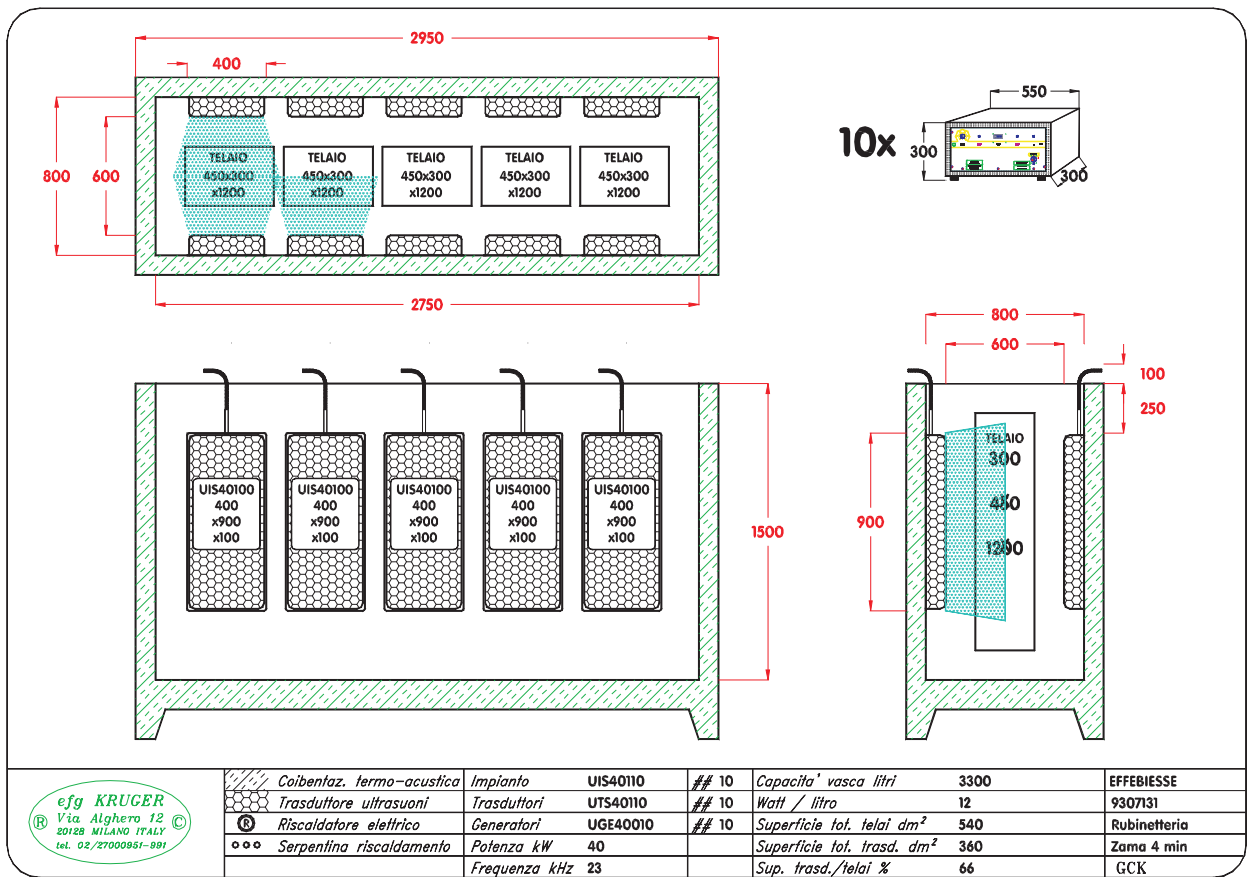


Fig. 15 - Dimensionamento impianto a ultrasuoni per impianto a carro.

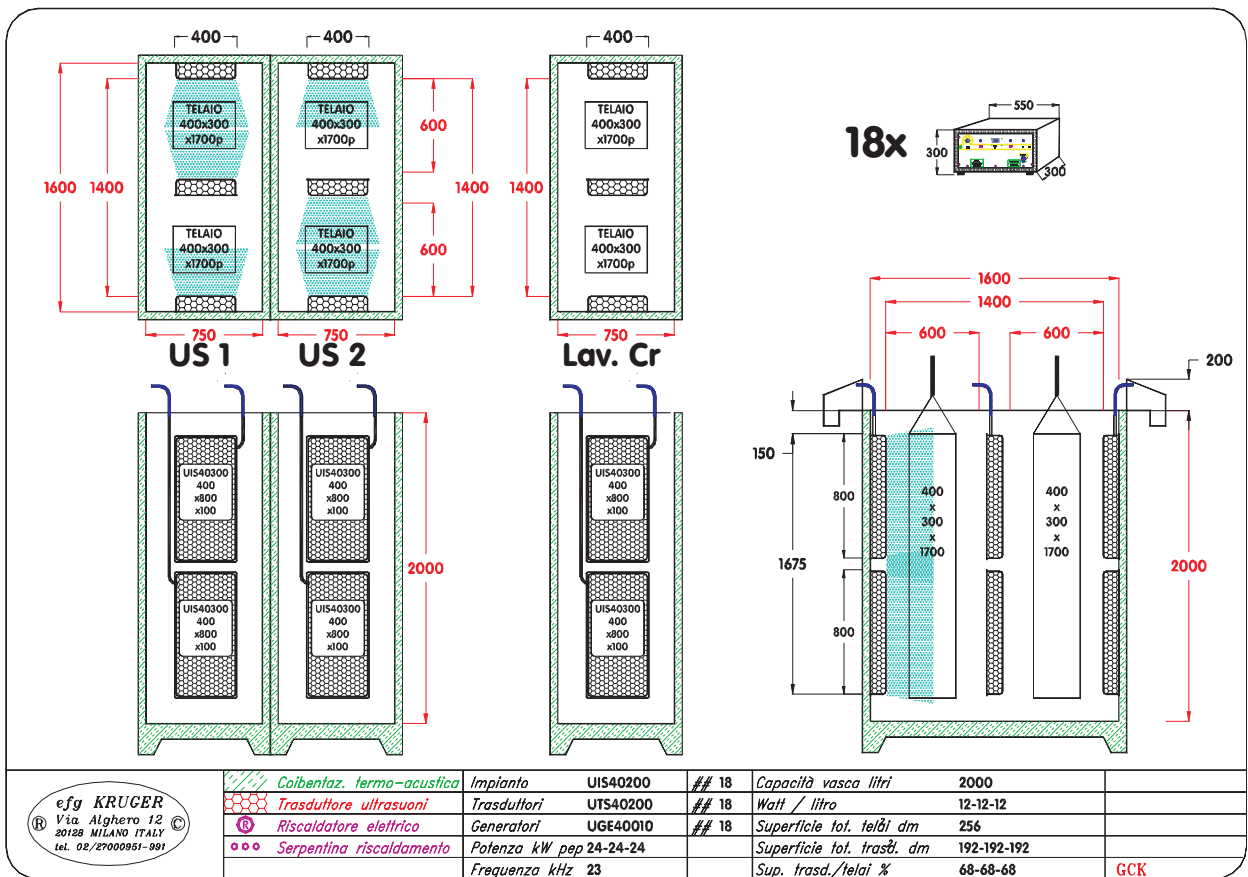


Fig. 14 - Dimensionamento impianto a ultrasuoni per impianto a braccia.



## 8.4. Avviamento dell'impianto

Se sono già state eseguite le altre istruzioni generali preliminari all'avviamento dell'impianto di lavaggio, procedere, come segue, al collaudo dell'impianto a ultrasuoni, altrimenti consultare il fabbricante dell'impianto di lavaggio

Assicurarsi che sia chiuso il rubinetto di scarico della vasca che contiene l'impianto a ultrasuoni.

Riempire col liquido previsto (acqua o detergente o solvente) la vasca che contiene l'impianto a ultrasuoni fino a raggiungere il livello previsto dal fabbricante dell'impianto di lavaggio

**\*\*\* ATTENZIONE \*\*\***  
**I TRASDUTTORI DEVONO SEMPRE ESSERE COMPLETAMENTE COPERTI DAL LIQUIDO DI LAVAGGIO**  
**IL FUNZIONAMENTO CON TRASDUTTORI PARZIALMENTE O COMPLETAMENTE SCOPERTI DAL LIQUIDO PUO' PROVOCARE DEI GRAVI DANNI AI TRASDUTTORI**

Accendere, se previsto, il riscaldamento della vasca che contiene l'impianto a ultrasuoni

Verificare che l'interruttore di accensione dei generatori sia spento, cioè che abbia la leva in posizione verticale.

Verificare sul retro del generatore la tensione di alimentazione prevista e, se corretta, collegare la spina del generatore alla rete elettrica. In caso di dubbio verificare con un tester che la tensione di rete sia uguale a quella del generatore.

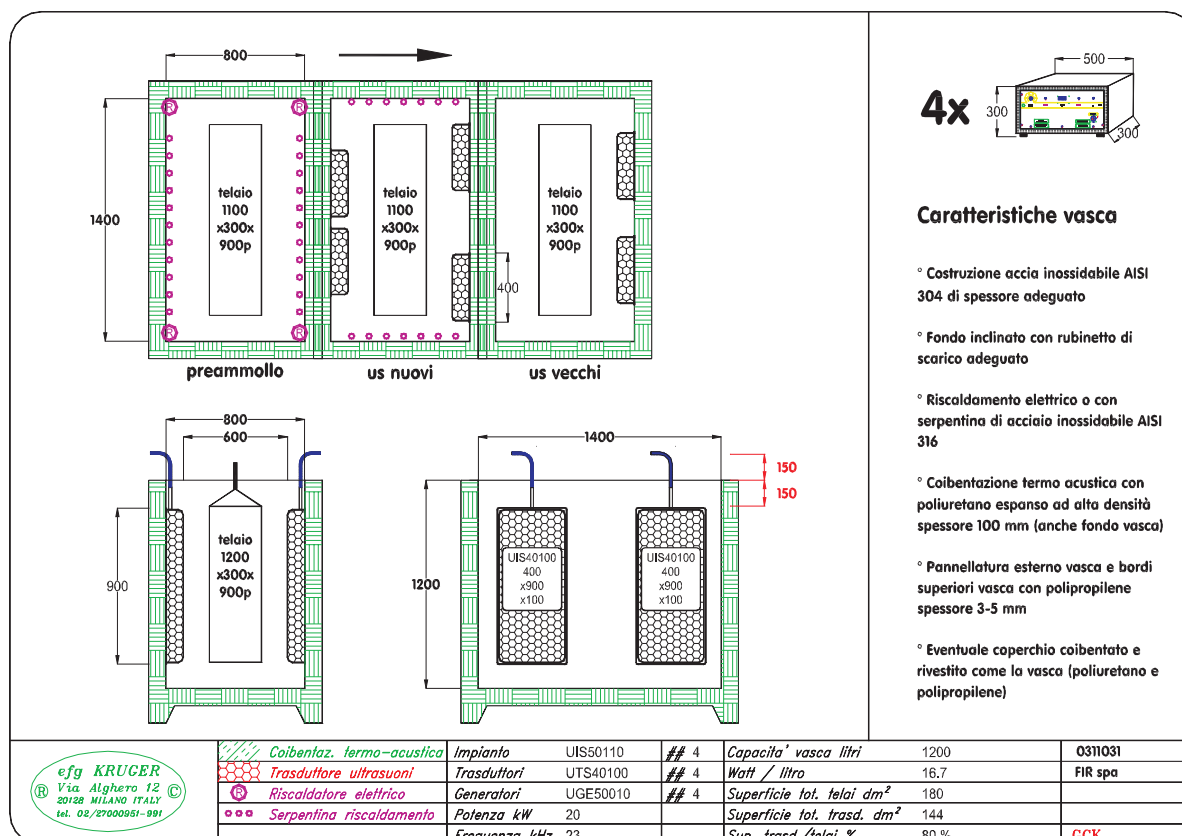
A questo punto si può finalmente accendere l'interruttore del generatore, anche se la vasca non ha ancora raggiunto la sua temperatura di funzionamento.

Appena si accendono gli ultrasuoni si deve sentire un certo fischio che, dapprima debole, aumenta col passare del tempo fino a stabilizzarsi a una certa intensità. Questo fenomeno, particolarmente

evidente quando si è appena riempita la vasca di liquido, è del tutto normale ed è causato dalle microscopiche bollicine di aria, contenute nel liquido, che assorbono le onde acustiche prodotte dagli ultrasuoni.

Ma gli ultrasuoni hanno un notevole potere degasificante e mandano in superficie tutte queste minuscole bollicine di aria fino a degasare completamente il liquido. A questo punto il fischio degli ultrasuoni dovrebbe essere arrivato all'intensità massima e quindi stabilizzarsi.

Il tempo trascorso tra l'accensione degli ultrasuoni e questo momento si chiama "tempo di degasificazione del liquido". La brevità di questo tempo è indice di un corretto dimensionamento della potenza degli ultrasuoni, cioè di un favorevole rapporto Watt/litri.



## Funzionamento normale

Assicurarsi che l'impianto abbia raggiunto la temperatura di funzionamento prevista

Accendere gli ultrasuoni qualche minuto prima di introdurre i primi pezzi da lavare per favorire il degasaggio della soluzione detergente.

Alcuni generatori sono muniti di un variatore della potenza d'uscita che permette di variare la potenza, e quindi il consumo e la rumorosità, in funzione dell'effettivo inquinante presente sui pezzi da lavare. Il valore ottimale di potenza va trovato sperimentalmente, tenendo conto che una potenza più bassa di quella necessaria non pulisce perfet-

tamente i pezzi, mentre una potenza più elevata di quella necessaria non produce alcun inconveniente

Se l'impianto di lavaggio non è munito di allarmi in caso di livello del liquido troppo basso, controllare ogni tanto che questo non scenda al di sotto del limite superiore degli ultrasuoni: in tal caso aggiungere del nuovo liquido

E' del tutto normale che il rumore prodotto dagli ultrasuoni possa variare: influiscono il tipo di liquido presente in vasca, la sua temperatura e la conformazione dei pezzi da lavare presenti.

## 8.6. Manutenzione ordinaria

Durante il primo mese di funzionamento verificare settimanalmente la tenuta e se necessario stringere i seguenti raccordi:

- \* dado di serraggio del raccordo filettato (se presente)
- \* dadi di fissaggio del raccordo flangiato (se presente)
- \* dado di fissaggio del raccordo rapido (se presente)
- \* dadi di fissaggio dei raccordi terminali delle guaine

- \* bordo esterno della scatoletta di giunzione
- \* giunzione tra guaina e raccordi terminali
- \* giunzione tra raccordo rapido e tubo di uscita cavi

Dopo il primo mese di funzionamento ripetere con frequenza trimestrale le operazioni sopra descritte.

Ogni mese smontare la griglia posteriore del generatore e soffiarla con dell'aria compressa dalla parete che normalmente sta all'interno del generatore verso la parete esterna al generatore.



Ogni due o tre anni smontare le guaine di protezione dei cavi che vanno dai trasduttori ai generatori, verificare le condizioni dei cavi elettrici, even-

tualmente sostituirli e sostituire in ogni caso le guaine.

**\*\*\* ATTENZIONE \*\*\***  
**LE LINEE ELETTRICHE TRA TRASDUTTORI E GENERATORI**  
**SONO A TENSIONE ELEVATA**  
**PRIMA DI QUALSIASI CONTROLLO SU QUESTE LINEE**  
**SPEGNERE L'INTERRUTTORE GENERALE**  
**E TOGLIERE TENSIONE A TUTTO L'IMPIANTO**



### TERMINOLOGIA

<b>Vibrazioni</b>	oscillazioni periodiche alternate di un corpo o di una molecola
<b>Frequenza (f)</b>	numero di vibrazioni nell'unità di tempo, cioè in un secondo; si misura in Hertz = Hz = cicli al secondo. 1 kHz = 1000 Hz
<b>Periodo (T)</b>	tempo impiegato per una oscillazione completa; è collegato alla frequenza dalla relazione $T = 1/f$ ; si misura in secondi e sue frazioni
<b>Suono</b>	vibrazione acustica a frequenza udibile, compresa cioè tra 20 e 16.000 Hz
<b>Ultrasuoni</b>	vibrazione acustica a frequenza maggiore di 20 kHz, non udibile perciò dall'orecchio umano
<b>Atmosfera</b>	unità di pressione : 1 atmosfera = 1 kg per cm <sup>2</sup>
<b>Micron</b>	sottomultiplo del metro: 1 micron = 1/1000 di mm
<b>Trasduttore</b>	elettro acustico: apparecchio che trasforma le onde elettriche in vibrazioni acustiche, per esempio l'altoparlante di una radio.
<b>Generatore</b>	apparecchio elettronico che produce corrente elettrica alternata ad alta frequenza ( 20 - 40 kHz)
<b>Efficienza</b>	di una macchina: rapporto tra potenza d'uscita e potenza assorbita in entrata, sempre minore dell'unità

## 9. LE APPLICAZIONI DEGLI ULTRASUONI

### 9.1. Un po' di storia

Si incomincia negli anni 50 a utilizzare industrialmente le onde acustiche prodotte da emettitori di ultrasuoni per coadiuvare il lavaggio dei pezzi immersi in vasche caricate con opportuni agenti chimici.

Negli anni 60 i primi utilizzatori, al di là dei settori ad alta tecnologia come gli aeronautici e i militari, furono gli orafi e i galvanotecnici. I primi utilizzavano piccole vaschette da pochi litri in cui lavavano con acqua e detergente i gioielli alla fine della lavorazione; l'asciugatura avveniva poi manualmente, tanto i gioielli andavano presi e controllati uno per uno. Erano gli anni d'oro in cui capitava di sentirsi offrire un chilo d'oro in cambio di una vaschetta a ultrasuoni da 5 litri (1 kg d'oro = 750.000 lire, 1 vaschetta = 800.000 lire).

I galvanici, invece, utilizzavano gli ultrasuoni, come tutt'ora, nei primi lavaggi ad acqua e detergente in testa alla linea galvanica e non avevano quindi il problema di asciugare i pezzi che, dopo il

lavaggio, passavano ad altri trattamenti sempre in acqua.

Dalla seconda metà degli anni 60 incominciarono a diffondersi i solventi clorurati e fluorurati che, oltre ad avere un ottimo potere detergente, avevano l'incomparabile vantaggio di permettere, con macchine in verità non troppo complicate, una semplice e perfetta asciugatura del pezzo.

Iniziò così una rapida diffusione degli impianti di lavaggio a solvente in tutte le officine meccaniche, sia per il lavaggio finale che per quello interstadio.

Molto spesso questi impianti erano muniti di ultrasuoni che, talvolta, avevano solo il compito di impreziosire il giocattolo, dandogli un aspetto "elettronico". In realtà, anche pochi Watt/litro producono un'ottima cavitazione in questi tipi di solvente, grazie al loro elevato  $\rho v$  (densità x velocità del suono nel mezzo), alla bassa viscosità e al ridotto valore di tensione di vapore.

TIPO	ULTRASUONI	DIFETTI
cercare, sul mercato nero, un impianto a solventi classici usato da spacciare come impianto preesistente alle nuove normative	pochi Watt/litro	coscienza
acquistare un impianto ermetico a percloroetilene	maggiori di 10 Watt/litro	rapporto produttività costo non sempre entusiasmante
passare a un impianto di lavaggio ad acqua e detergente	maggiori di 10 Watt/litro	impianto più complesso, difficoltà di asciugatura, necessità di depurazione
passare a un impianto di lavaggio con solventi alternativi	maggiori di 20 Watt/litro	infiammabilità del prodotto

### 9.2. La situazione attuale

All'inizio degli anni 90, con la criminalizzazione dei solventi classici, sono iniziate le perplessità degli utenti che fino al giorno prima erano beatamente felici delle loro mega - multistadio che con-

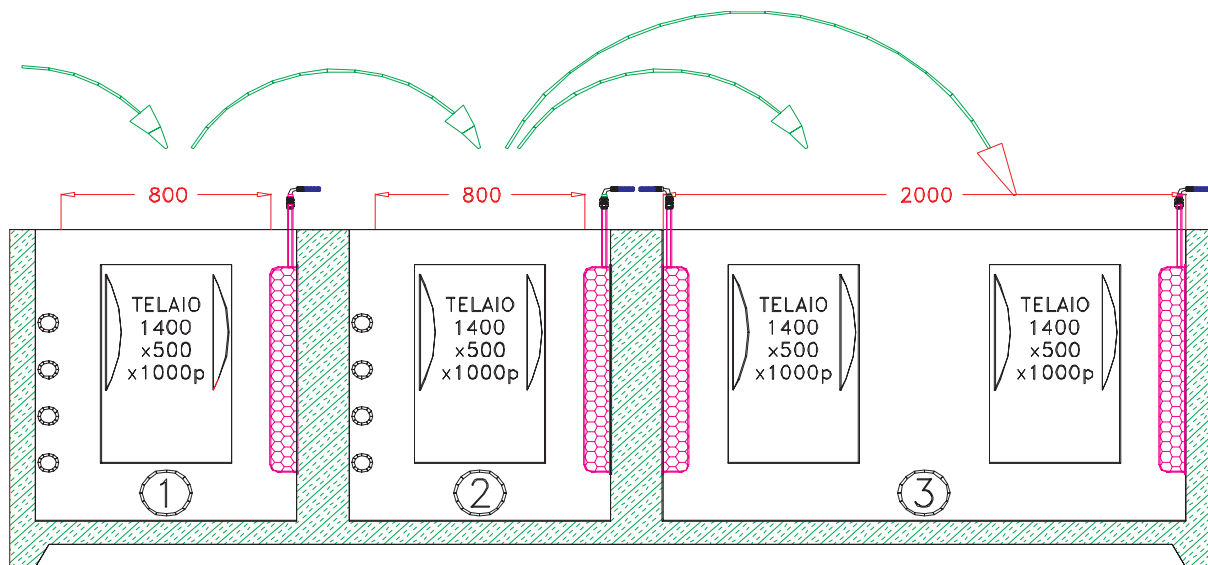
La prima possibilità viene citata unicamente ad onore della fantasia mediterranea, anche se le richieste in tal senso siano più numerose di quanto si possa pensare.

Negli ultimi tre casi le cose volgono a favore dei

sumavano *solo* pochi quintali di solvente al mese. All'utilizzatore che ha la necessità di installare un nuovo impianto di lavaggio si presentano le seguenti possibilità:

poveri costruttori di ultrasuoni, dato che i pochi Watt/litro sufficienti per gli impianti a solventi tradizionali vanno ora sostituiti con potenze specifiche ben maggiori.





### 9.3. Gli impianti con detergenti acquosi

Il lavaggio in acqua e sapone è sempre esistito, fin dai tempi dei romani, tuttavia non è mai stato preso molto in considerazione, al di fuori del settore galvanico, finché si poteva scegliere, a causa delle difficoltà che si incontrano nell'asciugatura del pezzo.

Ciononostante già nel 1978 è stato messo in funzione, presso una nota verniciatura in conto terzi, un impianto di lavaggio a immersione con ultrasuoni in acqua e detergente in vasche di circa cinque m<sup>3</sup>: il ciclo prevedeva lavaggio, fosfatazione, risciacquo e asciugatura. I particolari trattati, carpenterie di ferro per elaboratori, erano prodotti da una grande ditta che approvò, sia teoricamente che praticamente, il ciclo di trattamento.

Visti i buoni risultati, dopo un paio d'anni venne installato un altro impianto analogo, sempre in vasche di circa cinque m<sup>3</sup>, per il trattamento delle pressofusioni di alluminio che servivano da basamento ai videoterminali.

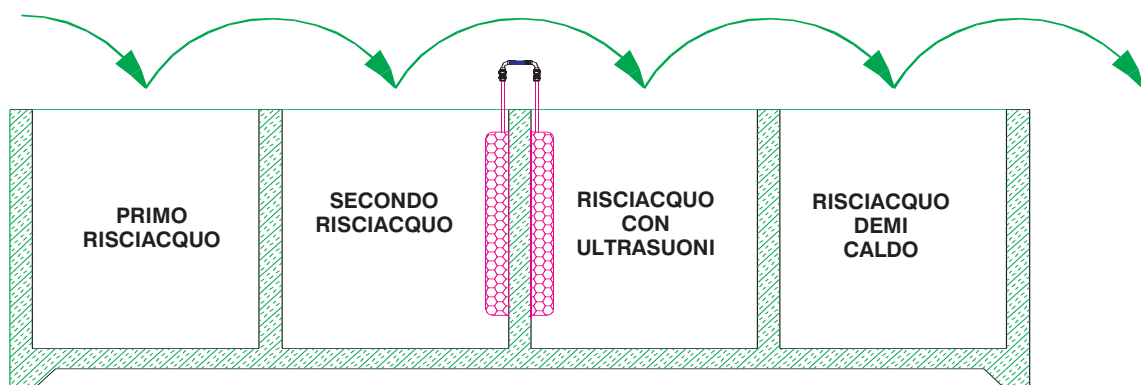
Certo, visti oggi questi due impianti presentano dei discreti problemi di produttività dovuti, specialmente all'inefficienza della movimentazione,

ma i risultati qualitativi erano nettamente superiori a quelli che si ottenevano col lavaggio a spruzzo nel tunnel di verniciatura

Dal punto di vista del lavaggio i cicli a detergente continueranno a garantire dei buoni risultati, purché si rispettino i seguenti parametri costruttivi.

- \* Opportuno dimensionamento del ciclo e del numero di vasche di trattamento
- \* Opportuno dimensionamento della potenza degli ultrasuoni, tenendo ben presente che, al di là del corretto valore di potenza specifica (W/litro), gli ultrasuoni si propagano in un liquido in maniera rettilinea, cioè con un piccolissimo angolo di apertura, e che tutta la superficie dei pezzi da trattare deve essere esposta agli ultrasuoni
- \* Valutare la possibilità di utilizzare degli ultrasuoni negli ultimi risciacqui

Tutto ciò vale sia che si debbano lavare dei pezzi disposti su telaio o ammassati in cesti o in impianti in continuo tipo coclea.





### 9.3.1. Il lavaggio degli oli leggeri

Esempi tipici di questa categoria sono i particolari di ferro o di alluminio inquinati con oli di taglio o di stampaggio, trattati sia su telai che in cesti o barili. Dal punto di vista del lavaggio è meglio osservare le seguenti norme:

- \* Utilizzare una o due vasche di prelavaggio, a secondo della quantità di olio presente sui pezzi.
- \* Installare degli ultrasuoni, con un livello di potenza di pochi W/litro, nelle prime due vasche: si avrà così una migliore bagnabilità

dei pezzi e un più rapido affioramento dell'olio in superficie

- \* Prevedere un efficiente sistema di separazione dell'olio
- \* Installare degli ultrasuoni con una potenza dai 7 ai 15 W/litro nella terza vasca, a secondo della tipologia e della disposizione dei pezzi da trattare
- \* Installare degli ultrasuoni con una potenza di qualche W/litro nella vasca di risciacquo, specialmente se i particolari trattati presentano dei fori ciechi o dei lamierati scatolati

### 9.3.2. Il lavaggio delle paste di lucidatura

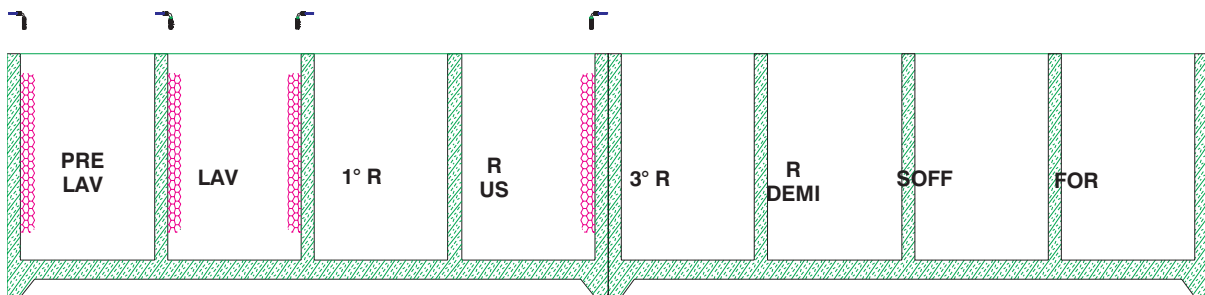
La tipologia tipica di questi pezzi è rappresentata da particolari di ottone o di zama che vengono lucidati, manualmente o su macchine automatiche, con paste di lucidatura. In questi casi è importante un accurato studio e messa a punto non solo del ciclo di lavaggio, ma anche del ciclo di lavorazione precedente: un eccesso di pasta di lucidatura rimasta sul pezzo non solo è difficile da lavare, ma spesso può provocare delle corrosioni, special-

mente sui pezzi di zama.

Attenersi comunque ai seguenti suggerimenti:

- \* Prevedere almeno una vasca di preammollo con una potenza specifica degli ultrasuoni di 5-10 W/litro
- \* Installare da 10 a 20 W/litro di ultrasuoni nella vasca di lavaggio, considerando che è indispensabile disporre i trasduttori su ambedue le pareti della vasca

### 9.3.3. I risciacqui con ultrasuoni



Notoriamente la fase più critica di un impianto di lavaggio ad acqua è l'asciugatura dei pezzi dopo il lavaggio. Molto spesso i particolari da trattare presentano fori e zone scatolate da cui è molto difficile rimuovere non solo l'inquinante ma anche la soluzione detergente che, se rimane intrappolata, rischia di fuoriuscire durante la fase di asciugatura macchiando i pezzi.

Il primo effetto degli ultrasuoni in un liquido è di degasarlo e di aumentare il fenomeno di capillarità, permettendo il ricambio di liquido anche in zone difficili. D'altra parte per evidenziare questi fenomeni è sufficiente una relativamente bassa potenza specifica (2-3 W/litro), per cui anche la spesa d'acquisto di un tale impianto a ultrasuoni resta su livelli accettabili.

### 9.3.4. Gli ultrasuoni nella zincatura

Non è sempre vero che la zincatura sia un trattamento povero, con scarso valore aggiunto, che non può permettersi tecnologie avanzate e quindi costose. Ecco un ciclo studiato e applicato da una grossa zincatura francese.

**Problema:** su un impianto a telaio che tratta prevalentemente lamierati puntati e ribattuti per telefonia e informatica si hanno notevoli macchiature e colature dovute al trascinarsi del bagno acido di zincatura che fuoriesce dopo il bagno di passivazione.

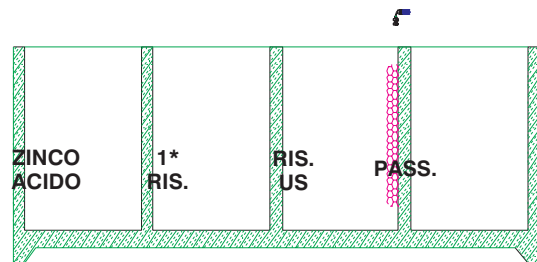
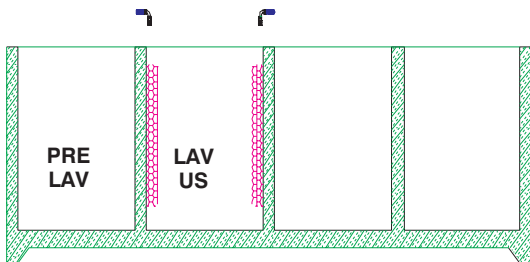
**Soluzione:** inserire un impianto a ultrasuoni nel secondo risciacquo dopo il bagno di zincatura, subito prima della vasca di passivazione.

Gli ultrasuoni offrono spesso un insostituibile aiuto quando i particolari da trattare presentano fori e zone scatolate da cui è molto difficile rimuovere non solo l'inquinante ma anche le soluzioni di trattamento che, se rimangono intrappolate, rischiano di uscire durante le fasi di asciugatura macchiando i pezzi. Il primo effetto degli ultrasuoni in un liquido è di degasarlo e di aumentare il

fenomeno di capillarità, permettendo il ricambio di liquido anche in zone difficili.

D'altra parte per evidenziare questi fenomeni è sufficiente una relativamente bassa potenza spe-

cifica (3-7 W/litro), per cui anche la spesa d'acquisto di un tale impianto a ultrasuoni resta su livelli accettabili.

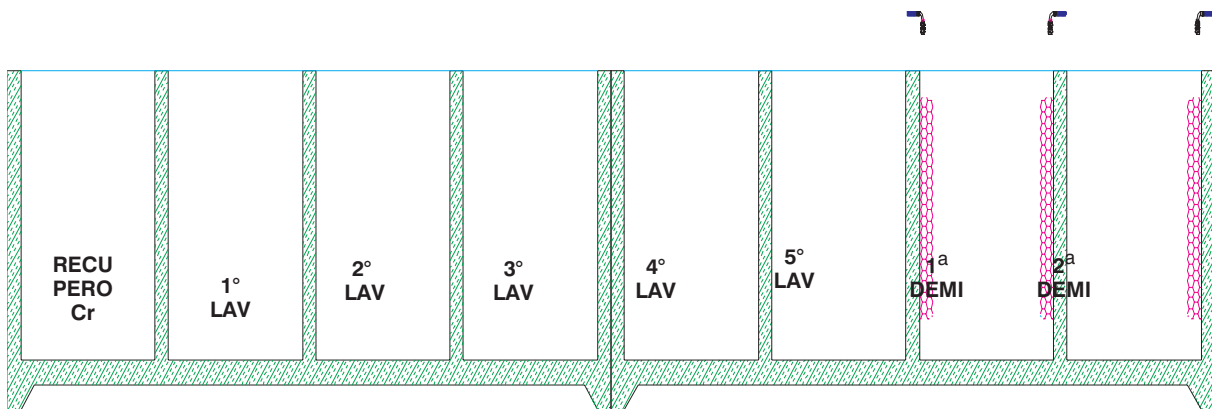


### 9.3.5. Gli ultrasuoni nella cromatura

**Problema:** I flessibili per doccia prodotti su un classico impianto di cromatura presentavano all'uscita, una volta asciugati, notevoli quantità di cromo trattenuto tra le spire e nella aggraffatura del tubo. Tale problema era particolarmente notevole per i flessibili con doppia aggraffatura, cioè per quelli più robusti e più costosi. Unica soluzione era quella di rilavare i flessibili fuori linea e procedere poi alla loro centrifugazione. Questo passaggio era indispensabile data la notevole esportazione sul mercato americano che ormai è sempre più intrasigente.

**Soluzione:** inserire un impianto a ultrasuoni nel penultimo lavaggio demineralizzato con una potenza dell'ordine dei 7 W/litro e uno nell'ultimo lavaggio con una potenza di 3 W/litro.

Gli ultrasuoni offrono spesso un insostituibile aiuto quando i particolari da trattare presentano fori e zone scatolate da cui è molto difficile rimuovere non solo l'inquinante ma anche le soluzioni di trattamento che, se rimangono intrappolate, rischiano di uscire durante le fasi di asciugatura macchiando i pezzi.



### 9.4. Gli impianti con solventi alternativi

Questi tipi di impianto, destinati specialmente al trattamento in massa di piccoli particolari, non ha ancora avuto un accettabile sviluppo, forse dovuto alla necessità di disporre di impianti antideflagranti. Resta comunque da notare che questi liquidi, date le loro caratteristiche fisiche (basso  $p_v$  e alta viscosità) richiedono degli impianti a ultrasuoni opportunamente ottimizzati e dei trasduttori con potenza per unità di superficie radiante molto maggiore dei 1-1,5 W/cm<sup>2</sup> dei soliti trasduttori, data la diversa impedenza tipica del liquido di la-

vaggio che richiede anche una forma di modulazione diversa per favorire la formazione della cavitazione.

Sicuramente si ottengono dei buoni risultati di lavaggio specialmente con gli impianti sotto vuoto, dato che la bassa pressione, presente sulla superficie del liquido di lavaggio, favorisce la cavitazione all'interno del liquido.

## 9.5. Impianti a solventi classici

Questi impianti rappresentano una discreta popolazione del nostro pianeta e, ormai caduti in disuso per i noti problemi ecologici, meriterebbero di essere redenti e nobilitati con l'uso di prodotti meno nocivi.

Anche se probabilmente sono stati totalmente ammortizzati, rientra sempre in una corretta gestione ecologica delle risorse cercare di evitare di smaltire delle attrezzature che potrebbero invece essere riutilizzate.

La cosa non è però semplice ed è possibile solo in un ristretto numero di casi, non tanto per problemi di lavaggio, ma piuttosto per problemi di risciacquo e di asciugatura finale.

Come abbiamo già visto un ciclo di trattamento ad acqua ideale comporta le seguenti fasi:

- \* prelavaggio con o senza ultrasuoni
- \* lavaggio con ultrasuoni
- \* 1° risciacquo
- \* 2° risciacquo con ultrasuoni
- \* 3° risciacquo
- \* 4° risciacquo demineralizzato
- \* soffiatura con aria fredda
- \* forno di asciugatura

Sarebbero quindi richieste 8 vasche di trattamento

o comunque 8 posizioni diverse e, anche volendosi limitare e abolendo il prelavaggio e il 3° risciacquo, resterebbero sempre 6 diversi passaggi.

La maggior parte degli impianti a solvente esistenti possiede due o al massimo tre vasche e potrebbe quindi essere utilizzata solo per le prime due o tre fasi del trattamento: lavaggio a ultrasuoni, 1° risciacquo e risciacquo con ultrasuoni.

Occorre poi tenere ben presente che il ciclo in acqua e detergente richiede dei tempi di trattamento ben superiori a quelli che erano richiesti da un impianto a solvente e quindi le considerazioni seguenti si applicano solo a grandi impianti con una produttività relativamente bassa.

Ovviamente bisogna poi prevedere di potenziare la parte a ultrasuoni già esistente nell'impianto che era stata a suo tempo dimensionata per l'uso di solventi e aveva quindi una potenza nettamente inferiore a quella necessaria per lavare in acqua.

Come si vede il lavoro è notevole e coinvolge sia l'impiantista che il produttore di ultrasuoni ed è comunque possibile, a mio parere, solo su impianti abbastanza grandi e previsti per una bassa produttività.. Solo un accurato e preciso calcolo dei costi può dire se è conveniente la trasformazione o l'acquisto di un nuovo impianto appositamente dimensionato

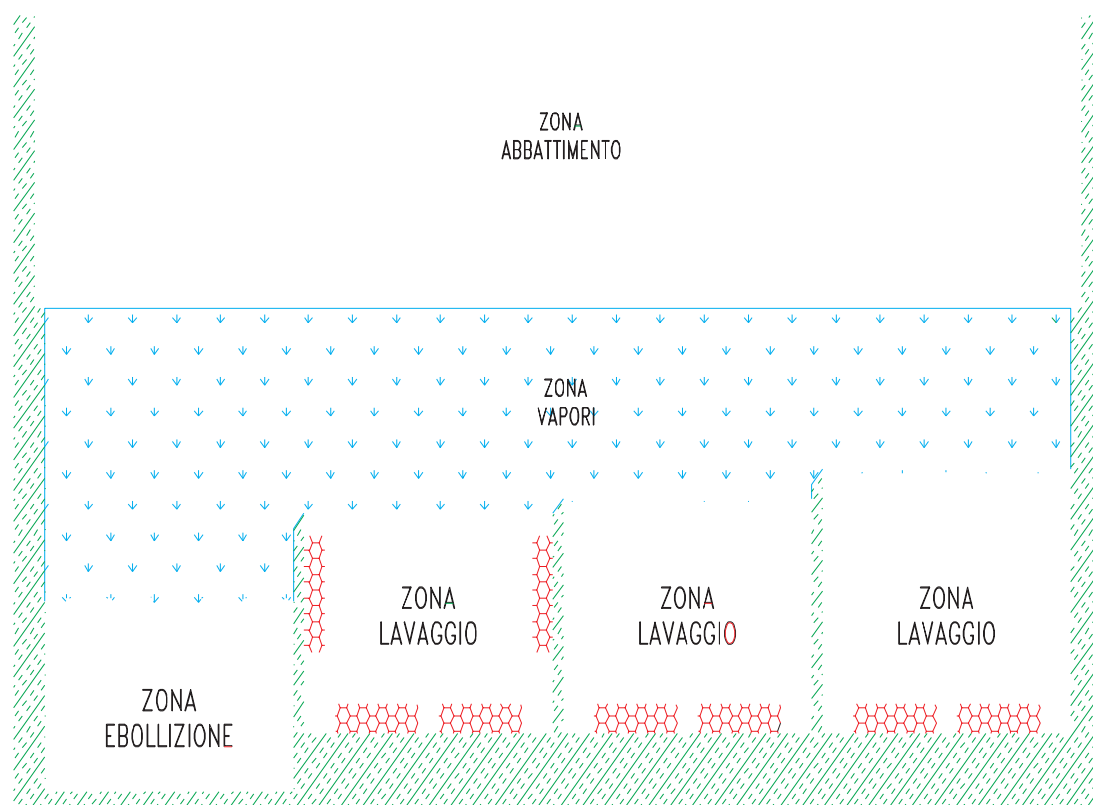
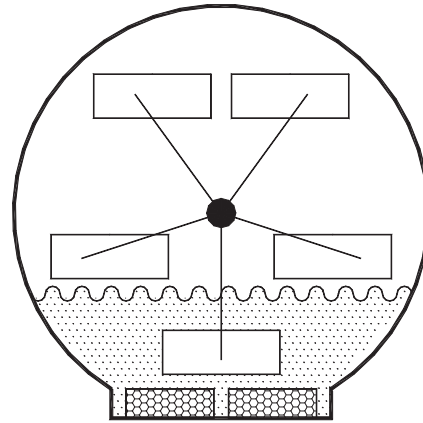
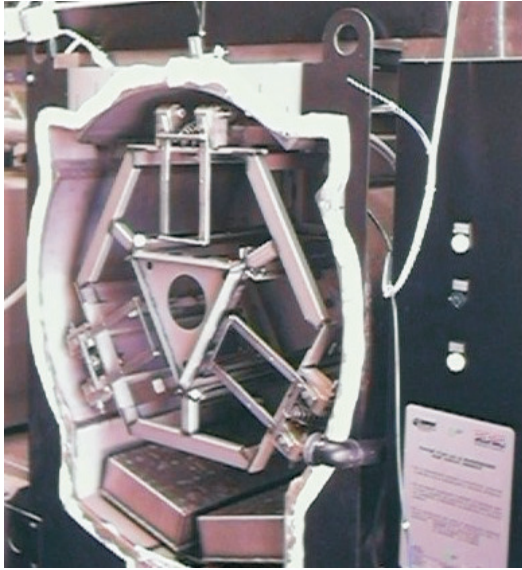


Fig. 16 Schema di una lavatrice a solventi classici



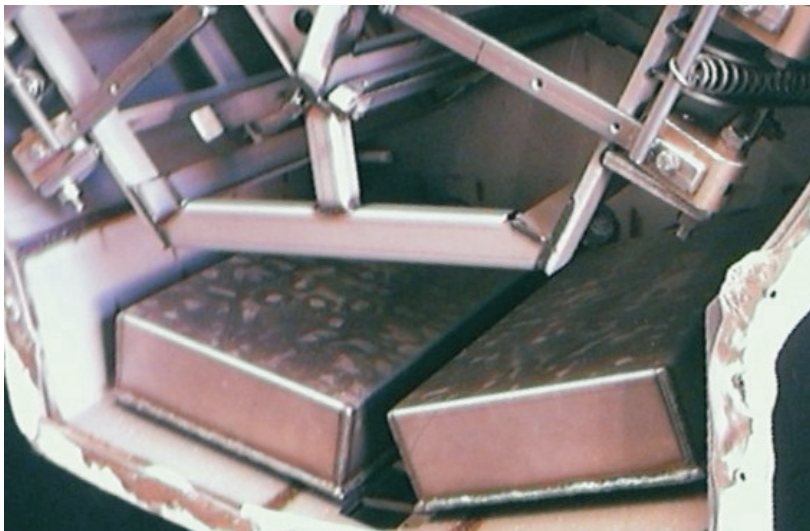
## 9.6. Impianti ermetici

Questi impianti, ormai abbastanza diffusi, rappresentano una soluzione impeccabile dal punto di vista ecologico, data la loro trascurabile emissione e anche dal punto di vista produttività permettono dei tempi di ciclo paragonabili a quelli degli impianti aperti automatici: un cesto ogni 4-5 minuti.

I pezzi caricati, in appositi cesti, vengono fatti ruotare in una botte in cui si immette il solvente per effettuare la fase di lavaggio, eventualmente in presenza di ultrasuoni; viene poi pompato via il solvente e si immettono vapori per effettuare il risciacquo finale e il riscaldamento dei pezzi indispensabile per l'asciugatura che viene effettuata con circolazione d'aria calda o mediante un circuito di vuoto. Il tutto viene fatto passare attraverso un gruppo frigorifero di condensazione e i vapori così condensati vanno al serbatoio del distillato e non vengono quindi emessi o mandati a un filtro a

carboni attivi, come succede negli impianti tradizionali che, se anche presentano una emissione ridotta nell'ambiente, hanno comunque un notevole consumo di solvente che viene trattenuto dai carboni attivi.

Sullo stesso principio si stanno introducendo oggi anche degli impianti ermetici per detergenti in base acquosa. Il liquido viene prelevato da un serbatoio, mandato nella vasca di trattamento e alla fine ripompato nel serbatoio. Si possono avere diversi serbatoi, ciascuno col suo circuito di pompaggio, in modo da poter fare diverse fasi di lavaggio e risciacquo; alla fine viene poi eseguita un'asciugatura sotto vuoto





## 10. Il lavaggio sulla linea galvanica



A mio avviso, ogniqualvolta sia possibile, è consigliabile eseguire le operazioni di preparazione all'inizio della linea galvanica, evitando i cosiddetti

lavaggi fuori linea che richiedono un inutile maneggiamento dei particolari, infatti:

- \* almeno un operatore è necessario per alimentare e scaricare un impianto di lavaggio, per quanto questo sia automatico.
- \* Inoltre un ciclo di lavaggio richiede un'asciugatura, spesso più difficoltosa del lavaggio stesso, specialmente adesso che i solventi sono stati messi all'indice
- \* Si rende necessaria una logistica operativa tale da evitare problemi di ossidazione e corrosione ai pezzi lavati in attesa del trattamento di deposizione che deve comunque essere fatto nel più breve tempo possibile.

Ovviamente i cicli di pretrattamento e i prodotti da usare sono diversi a secondo del materiale di base da trattare e del deposito metallurgico che vogliamo eseguire.

### 10.1. Proprietà dei detergenti

I prodotti base utilizzati per confezionare un detergente chimico sono: Soda caustica, fosfati, metasilicati, carbonati, disperdenti organici, complessanti organici, tensioattivi anionici e non ionici, anfoteri, saponi, antisedimentanti.

L'impiego dei vari prodotti nella formulazione di uno sgrassante chimico e le loro percentuali, sono determinati dal tipo di metallo da sgrassare, dalla temperatura di impiego, dal ciclo in cui viene inserito, dalle modalità di utilizzo.

#### 10.1.1. Effetto bagnante

L'effetto che lo sgrassante esplica attraverso i tensioattivi in esso contenuti. I tensioattivi tendono a sciogliere lo strato di sporco che c'è sul metallo, mediante abbassamento della tensione superficia-

le e interfacciale, e spostamento dell'aria presente nell'interfaccia metallo-sporco.

L'effetto bagnante è, in pratica, il primo requisito per sgrassare un metallo.

#### 10.1.2. Effetto emulsionante

Una volta avvenuto l'effetto bagnante, può verificarsi l'effetto emulsionante. Questo è semplicemente la dispersione di due liquidi reciprocamente immiscibili. Il verificarsi dell'effetto

emulsionante dipende, in primo luogo, dai tipi di olio incontrati, e dalla scelta del tensioattivo, ed in secondo luogo da fattori quali il pH della soluzione, la temperatura e l'agitazione.

#### 10.1.3. Effetto solubilizzante

E' il processo per cui la solubilità di una sostanza in una soluzione (in questo caso acquosa), viene incrementata attraverso la scelta di specifici ten-

sioattivi. Nel caso specifico, è la possibilità di solubilizzare in acqua alcune parti dei contaminati, di per sé insolubili.

#### 10.1.4. Effetto saponificante

E' costituito dalla reazione tra un olio contenente acidi grassi reattivi, con alcali liberi, per formare

un sapone. Esempio di olii saponificabili sono quelli vegetali, animali o di balene. Il sapone formato diventa solubile in acqua.



### 10.1.5. Effetto disperdente

È il processo per cui lo sporco viene disgregato in particelle molto piccole nella soluzione detergente. Viene mantenuto in questo stato, evitando che si riagglomeri.

### 10.1.6. Effetto complessante

È il processo per cui ioni presenti nella soluzione come Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) e Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ), ed ioni che possono entrare in soluzione successivamente, quali  $\text{Fe}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cu}$ , vengono disattivati prima che possano reagire con altre sostanze, e formare precipitati insolubili, od inibire l'effetto disperdente della soluzione.

Tipico esempio è l'intorbidamento di un'acqua dura, quando in essa vengono sciolti saponi o particolari tensioattivi. Il sapone reagisce con Calcio e Magnesio, dando luogo a precipitati insolubili.

Il complessante ha, inoltre, un altro effetto sui metalli che possono trovarsi in soluzione (tipo  $\text{Fe}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Pb}$ ).

Questi metalli, se complessati, facilitano il processo di distacco dello sporco dal pezzo ed evitano la formazione di prodotti che inibiscono con il tempo l'effetto disperdente della soluzione.



## 10.2. Azione meccanica

L'azione chimica del detergente sui pezzi deve essere coadiuvata da un'azione meccanica che favorisca la rimozione dell'inquinante. Gli ultrasuoni,

come abbiamo visto, producono sul pezzo una notevole azione meccanica, ma si possono applicare altri tipi di azione meccanica.

### 10.2.1. Movimentazione dei pezzi

Si ottiene con un opportuno motoriduttore che sposta la barra portatelai: il movimento può essere orizzontale o verticale, meglio ancora se percorre un'orbita circolare del diametro di pochi centimetri.

Può essere utilizzata anche nelle vasche in cui sono presenti ultrasuoni e favorisce l'uniformità di diffusione della cavitazione sulla superficie del pezzo. In questo caso deve essere piuttosto lenta: 5 - 10 cicli al minuto

### 10.2.2. Aria insufflata

Si ottiene con delle ventole ad alta pressione che mandano aria in tubature disposte sul fondo della vasca, permettendo così un notevole rimescola-

mento della soluzione. Tale sistema non è utilizzabile in presenza di ultrasuoni, dato che ne annullerebbe l'effetto, ma è molto diffuso nelle vasche di preammollo in cui i pezzi stazionano lungamente.

### 10.2.3. Pompe di ricircolo

Aspirano dal fondo della vasca e mandano sulle superficie del liquido; sono normalmente collegate a un impianto di filtraggio che permette di mantenere pulita la soluzione. Largamente diffuse nelle vasche di deposizione di nichel e rame sia

elettrolitico che chimico, si utilizzano talvolta anche nelle vasche di preparazione per separare dalla soluzione gli inquinanti solidi o oleosi.

Normalmente questi sistemi convivono male con gli ultrasuoni, dato che una qualunque pompa

produce sempre del vapore e, come abbiamo già visto, la presenza di gas inibisce l'azione degli ultrasuoni.

Nel caso si debbano separare degli olii che vengono tenuti in sospensione dal detergente, occorre prevedere una vasca che abbia due feritoie poste all'altezza del livello massimo su due lati opposti della vasca.

Da una feritoia si aspira la soluzione con una pompa che manda a un disoleatore e, con un'altra pompa, si manda il liquido pulito alla feritoia opposta. Si viene così a creare, sulla superficie della soluzione, una corrente che manda l'olio galleggiante verso la feritoia di aspirazione. Questo tipo di ricircolo agisce solo sulla superficie e non disturba quindi l'azione degli ultrasuoni.

#### 10.2.4. Pompaggio ad alta pressione

Detto anche lavaggio idrocinetico o Hydrosonic consiste in una pompa ad alta pressione che invia il liquido, aspirato dalla vasca stessa di lavoro, a una serie di getti disposti sulle pareti della vasca di fronte ai pezzi da trattare. Il tutto crea una notevole turbolenza che aiuta a distaccare lo sporco, ma non riesce ad agire sull'inquinante all'interno dei pezzi.

gli ugelli di spruzzatura, oltre a richiedere un esorbitante consumo di energia elettrica, si parla di qualche decina di KW per ogni mille litri di bagno.

Ovviamente questa turbolenza non è compatibile con l'azione degli ultrasuoni.

Il sistema è meccanicamente piuttosto delicato e richiede una notevole manutenzione dei filtri e de-

**6x**

**Caratteristiche vasca**

- ° Costruzione acciaio inossidabile AISI 304 di spessore adeguato
- ° Fondo inclinato con rubinetto di scarico adeguato
- ° Riscaldamento elettrico o con serpentina di acciaio inossidabile AISI 316
- ° Coibentazione termo acustica con poliuretano espanso ad alta densità spessore 100 mm (anche fondo vasca)
- ° Pannellatura esterno vasca e bordi superiori vasca con polipropilene spessore 3-5 mm
- ° Eventuale coperchio coibentato e rivestito come la vasca (poliuretano e polipropilene)

	Coibentaz. termo-acustica	Impianto	UIS40110	## 6	Capacità vasca litri	1000	<b>20010101</b>
	Trasduttore ultrasuoni	Trasduttori	UTS40100	## 6	Watt / litro	24	Newform spa
	Riscaldatore elettrico	Generatori	UGE40010	## 6	Superficie tot. telai dm <sup>2</sup>	240	
	Serpentina riscaldamento	Potenza kW	24		Superficie tot. trasd. dm <sup>2</sup>	216	
		Frequenza kHz	23		Sup. trasd./telai %	90 %	<b>GCK</b>

Via Alghero 12  
20128 MILANO ITALY  
tel. 02/27000951-991

**CORSO AIFM - AIM 2006**  
Giorgio C. Krüger

## 10.3. Cicli di trattamento

E' impossibile fare un elenco esaustivo di tutti i cicli di pretrattamento, dato che la galvanica è un'arte e non un mestiere, ciascuno personalizza e adegua alle sue esigenze i già numerosi cicli di base esistenti.

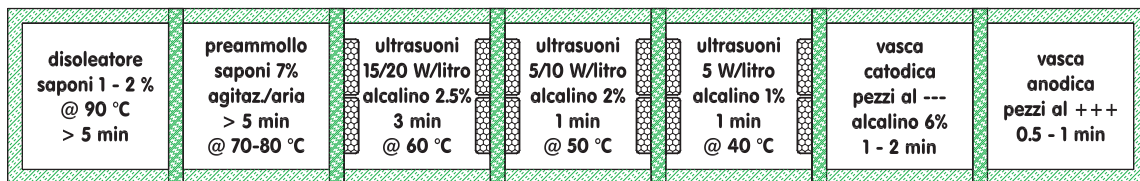
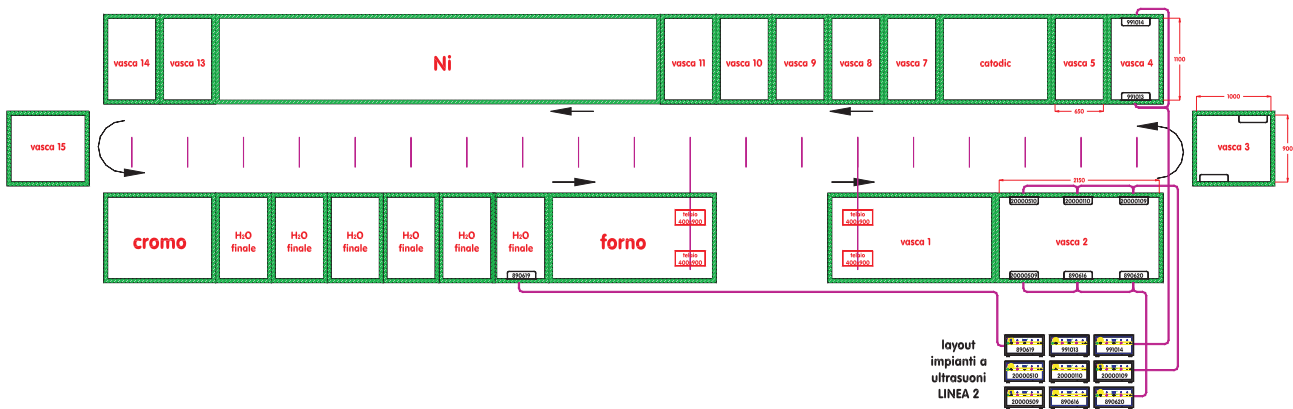
Cerchiamo di riassumere così i diversi cicli di pretrattamento differenziandoli in base ai metalli da trattare, anche se spesso si vedono delle linee miste previste per il trattamento di svariati materiali.

### 10.3.1. Preparazione dell'ottone

- \* La prima vasca di disoleatura è utile quando si ha molto inquinamento da olio, talvolta fatta solo con acqua, talvolta con detergenti a bassa concentrazione, ma sempre a una temperatura di 90 - 95 °C.
- \* La seconda vasca serve per i pezzi sporchi di pasta di lucidatura che sarebbe meglio non far passare nella prima vasca, per non farli arrivare nella terza vasca troppo poveri di grassi, con solo gli abrasivi sulla superficie del pezzo. Inoltre si potrebbe avere una eccessiva ossidazione dei pezzi
- \* La quarta e la quinta vasca servono a bloccare, data l'alcalinità della soluzione, qualunque trascinamento di saponi che potreb-

be provocare pericolosi fenomeni di sbuccatura di tutto il deposito

- \* Non è consigliabile un risciacquo prima delle elettrolitiche dato che anch'esse sono alcaline e la quinta vasca serve già a bloccare i saponi.
- \* Nella vasca di neutralizzazione si può aggiungere una piccola quantità di acido citrico (2-3 g/l) utile specialmente per le leghe ad alto contenuto di Pb. E' invece sconsigliabile, a parer mio, l'aggiunta di HF.
- \* Particolarmente critico è il lavaggio prima del nichel: occorre evitare che trascinino indesiderati tensioattivi nella vasca di trattamento



**ottone + Ni Cr**



### 10.3.2. Preparazione del ferro

- \* La prima e la seconda vasca possono essere entrambe usate data la presenza di un decapaggio acido nella sesta vasca
- \* I due lavaggi in controcorrente delle vasche 4 e 5 sono indispensabili per non neutralizzare l'acido della vasca 6 con i trascinamenti di sgrassatura.
- \* Il decapaggio della vasca 6 contiene normalmente  $H_2SO_4$ ,  $HCl$  e in alcuni casi  $HF$ . Può anche essere messo sotto corrente in fase catodica
- \* Gli ultrasuoni della vasca 8 sono utili per eliminare eventuali polverini lasciati sui pezzi dal decapaggio. Si può poi entrare direttamente in elettrolitica
- \* Nel caso si depositi prima  $Cu$  è sufficiente un solo lavaggio dopo le elettrolitiche
- \* Prima della neutralizzazione è sempre meglio avere due lavaggi



**ferro  
+ Cu Ni Cr**



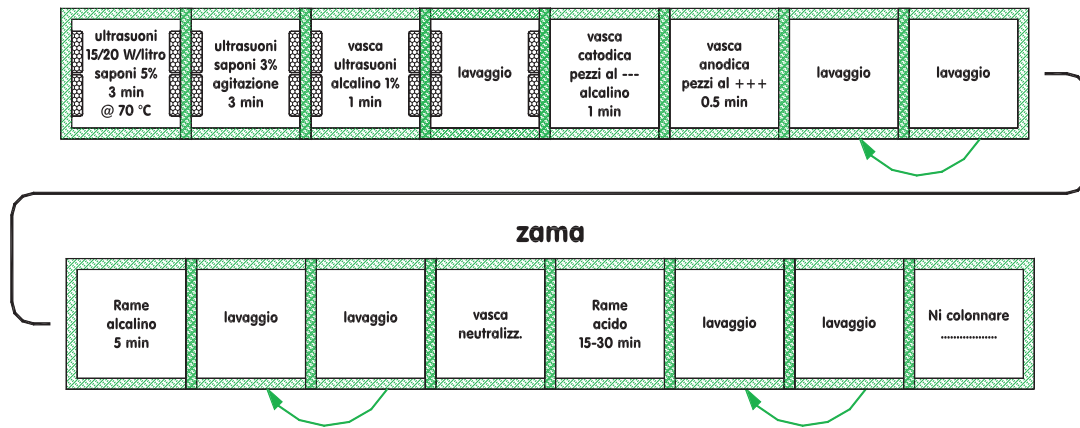
**ferro  
+ Ni Cr**





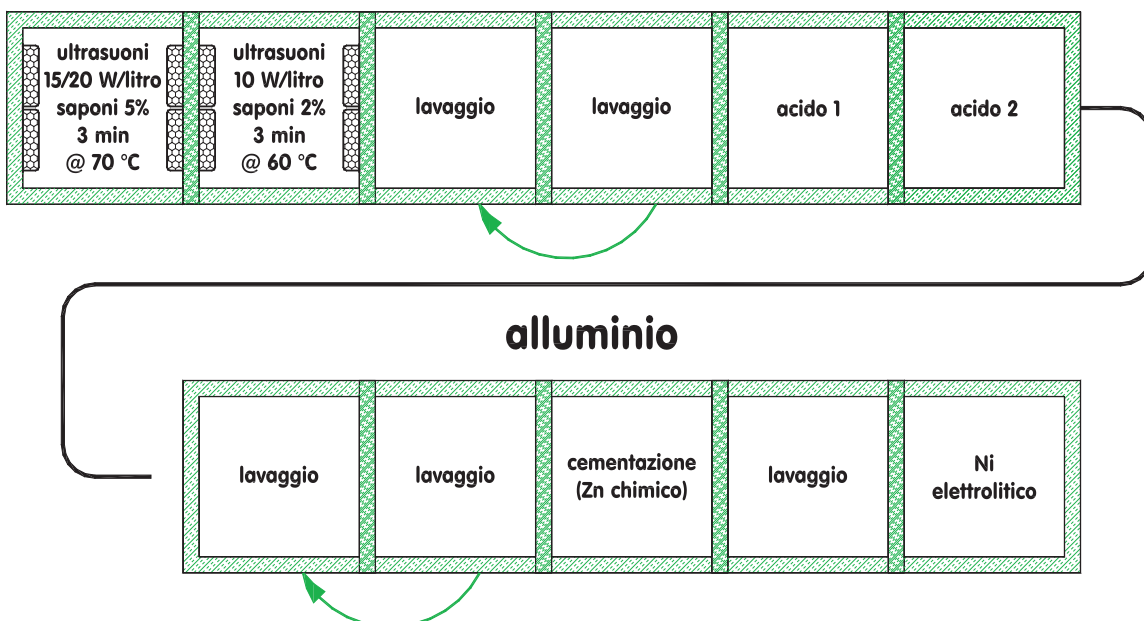
### 10.3.3. Preparazione della zama

- \* La zama è piuttosto delicata ed è meglio trattarla subito nella prima vasca con gli ultrasuoni
- \* La terza vasca contiene una soluzione debolmente alcalina per evitare il trascinamento dei saponi
- \* Le sgrassature elettrolitiche devono essere brevi e sono piuttosto critiche
- \* E' sempre consigliabile, dopo il primo strato di Cu alcalino, depositare uno strato di Cu acido, molto più lucido e coprente di quello alcalino



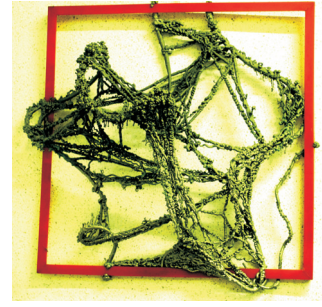
### 10.3.4. Preparazione dell'alluminio

- \* In alcuni casi la seconda vasca è caricata con un detergente leggermente alcalino in modo da fare un intacco sulla superficie del pezzo (satinatura)
- \* Sono previste due vasche di intacco acido da usare in alternativa a secondo della lega di alluminio; in genere sono a base di acido nitrico e fluoridrico
- \* In alcuni casi è necessario ripetere due volte il ciclo di decapaggio e cementazione per assicurare una maggiore aderenza del deposito
- \* In alcuni casi si preferisce depositare uno strato di Cu (acido) sotto il deposito di Ni, molti riescono preferiscono invece nichelare direttamente





**Note:**

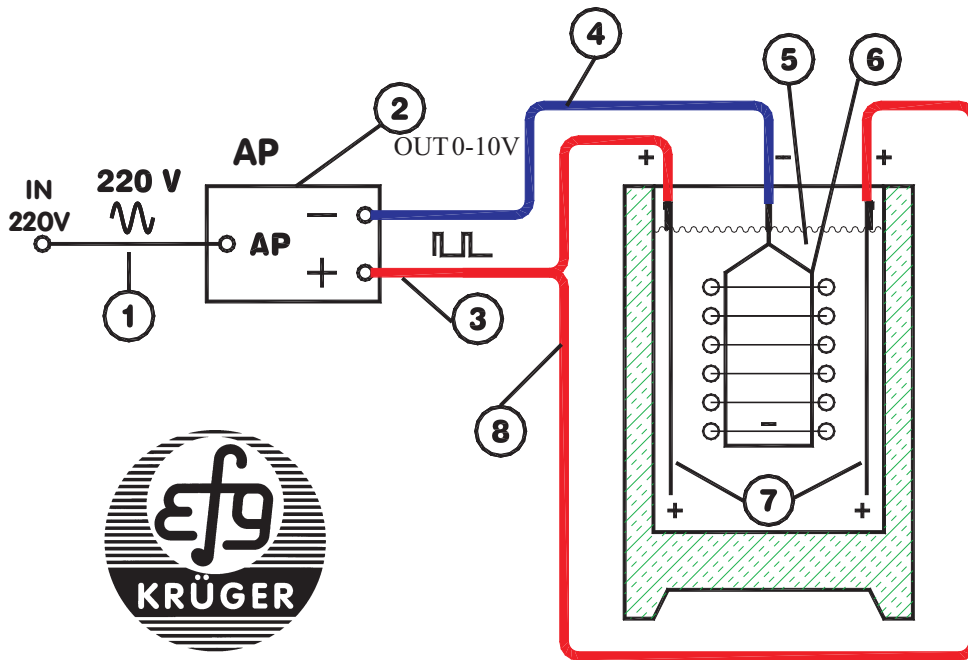
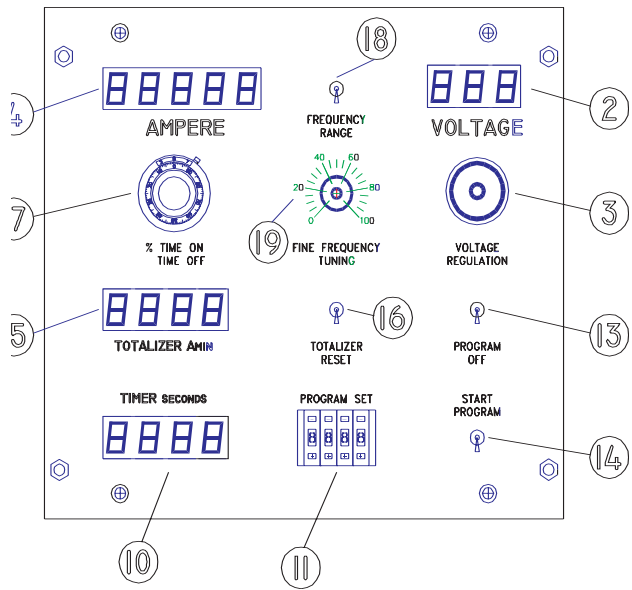
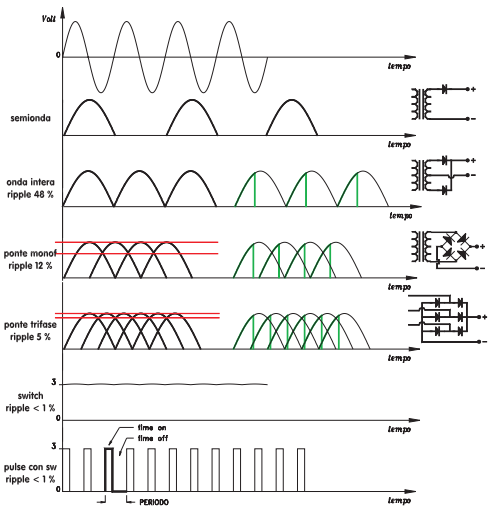


Lined area for notes, consisting of multiple horizontal red lines.



**Novembre 2006 © Giorgio Krüger - email: [gk@sdkappa.com](mailto:gk@sdkappa.com)**

Kruger srl - Via Alghero 12 - 20128 MILANO - ITALY - ☎ +39 02 27000951



**GLI ALIMENTATORI**  
 per depositare  
 metalli preziosi

## 11. I raddrizzatori: chi sono e a cosa servono

Per depositare del metallo elettroliticamente su un pezzo occorre far passare una corrente, in prima approssimazione continua, attraverso un elettrolita: per far questo si deve applicare una differenza di potenziale tra delle strisce di lamiera, dette anodi, poste sulle pareti della vasca, e il pezzo da ricoprire.

Il passaggio della corrente nell'elettrolita provocherà la deposizione sul pezzo di una quantità di metallo proporzionale alla quantità di corrente che facciamo passare, cioè al prodotto

$$\text{corrente} \cdot \text{tempo} \\ [ \text{Ampère} \cdot \text{minuti} ]$$

La corrente massima che si può far passare dipende dalle caratteristiche del bagno elettrolitico ed è indicata dal produttore in Ampère per decimetro quadrato di superficie dei pezzi. Stabilita così la corrente da far passare nel bagno, il tempo eviden-

temente mi determina la quantità di metallo depositato sui pezzi, cioè lo spessore del mio rivestimento.

Teoricamente e sperimentalmente si osserva che per far passare la corrente richiesta è sufficiente una tensione continua compresa nel range 1 - 20 Volt. Basterebbe una batteria se le correnti in gioco non fossero così alte da scaricarla in pochi minuti. Dovremo quindi trasformare e adattare alle nostre esigenze la tensione alternata a 220 o a 380V che la rete elettrica ci fornisce.

L'alimentatore, o raddrizzatore, ha proprio il compito di trasformare la tensione alternata di rete in una tensione variabile tra 0 e 20V e di rendere poi continua questa tensione.

Applicando questa differenza di potenziale prodotta dall'alimentatore tra gli anodi e il pezzo da ricoprire, si avrà, dato che la soluzione è conduttiva, un passaggio di corrente che rispetterà la seguente formula, chiamata legge di Ohm:

$$E = R \cdot I$$

dove :

**E** è la differenza di potenziale applicata e si misura in Volt (V) e suoi sottomultipli

**I** e la corrente che passa e si misura in Ampère (A) e suoi sottomultipli

**R** è la resistenza della soluzione e si misura in Ohm ( $\Omega$ ) e suoi multipli

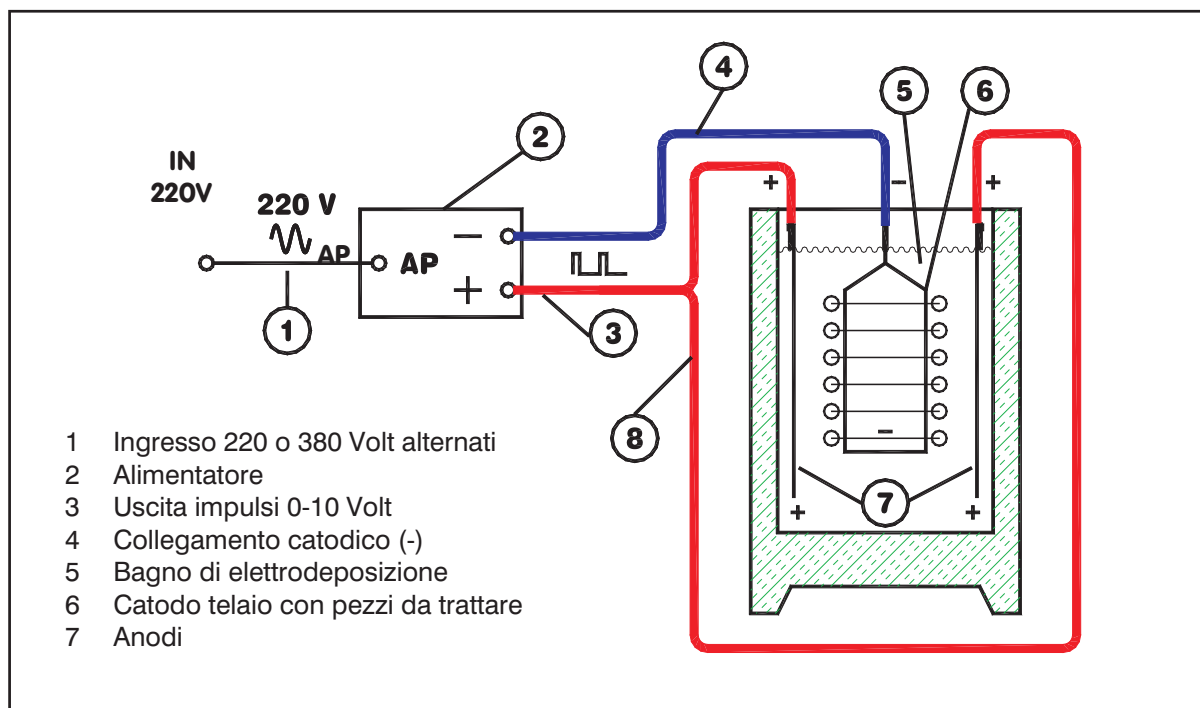


Fig. 17 - Schema di funzionamento e collegamenti di una vasca di elettrodeposizione

Evidentemente mantenendo fisse le caratteristiche chimiche e fisiche del bagno il valore di R resta determinato e fisso.

Potremo a questo punto mantenere costante una sola delle due grandezze: o E o I, l'altra grandezza sarà univocamente determinata.

In altre parole si può stabilizzare o la tensione o la corrente d'uscita del nostro alimentatore: se si stabilizza la tensione vedremo variare la corrente a secondo della superficie del pezzo da trattare, se stabilizziamo invece la corrente vedremo variare la tensione.

Quale di queste due strade conviene seguire? Questa è un'annosa domanda che non si può generalizzare, ognuno ha le sue preferenze, comunque è indispensabile distinguere a secondo delle appli-

cazioni:

- \* ogniqualevolta si conosca con esattezza la superficie dei pezzi da trattare conviene stabilizzare la corrente di uscita in modo da rispettare la densità di corrente ( $A/dm^2$ ) consigliata dal fornitore del bagno.
- \* quando si conosce la superficie dei pezzi con una precisione inferiore al 10%, conviene stabilizzare la tensione d'uscita e permettere alla corrente di variare a secondo delle dimensioni del catodo ( $\pm 15\%$ ).
- \* Nel trattamento in roto-barile o in barile vibrante occorre naturalmente stabilizzare la tensione d'uscita, dato che la superficie dei pezzi, stabilita dal contatto tra pezzo e pezzo, varia continuamente.



## 12. LE DIVERSE TECNOLOGIE

Anche se per la deposizione di metalli preziosi sono indispensabili degli alimentatori tecnologici-

camente evoluti e di alta qualità, doveroso menzionare, se non altro per motivi storici, le diverse tecnologie disponibili oggi.

### 12.1. Dalla pila alle spazzole

Per i primi esperimenti di elettrodeposizione si usavano le pile, che avevano lo svantaggio di scaricarsi rapidamente ma permettevano di utilizzare un'onda d'uscita perfettamente livellata. Successivamente vennero utilizzate delle dinamo che

permettevano di trasformare energia meccanica in energia elettrica.

Arrivarono poi i primi "raddrizzatori" che utilizzavano delle piastre di selenio per raddrizzare la

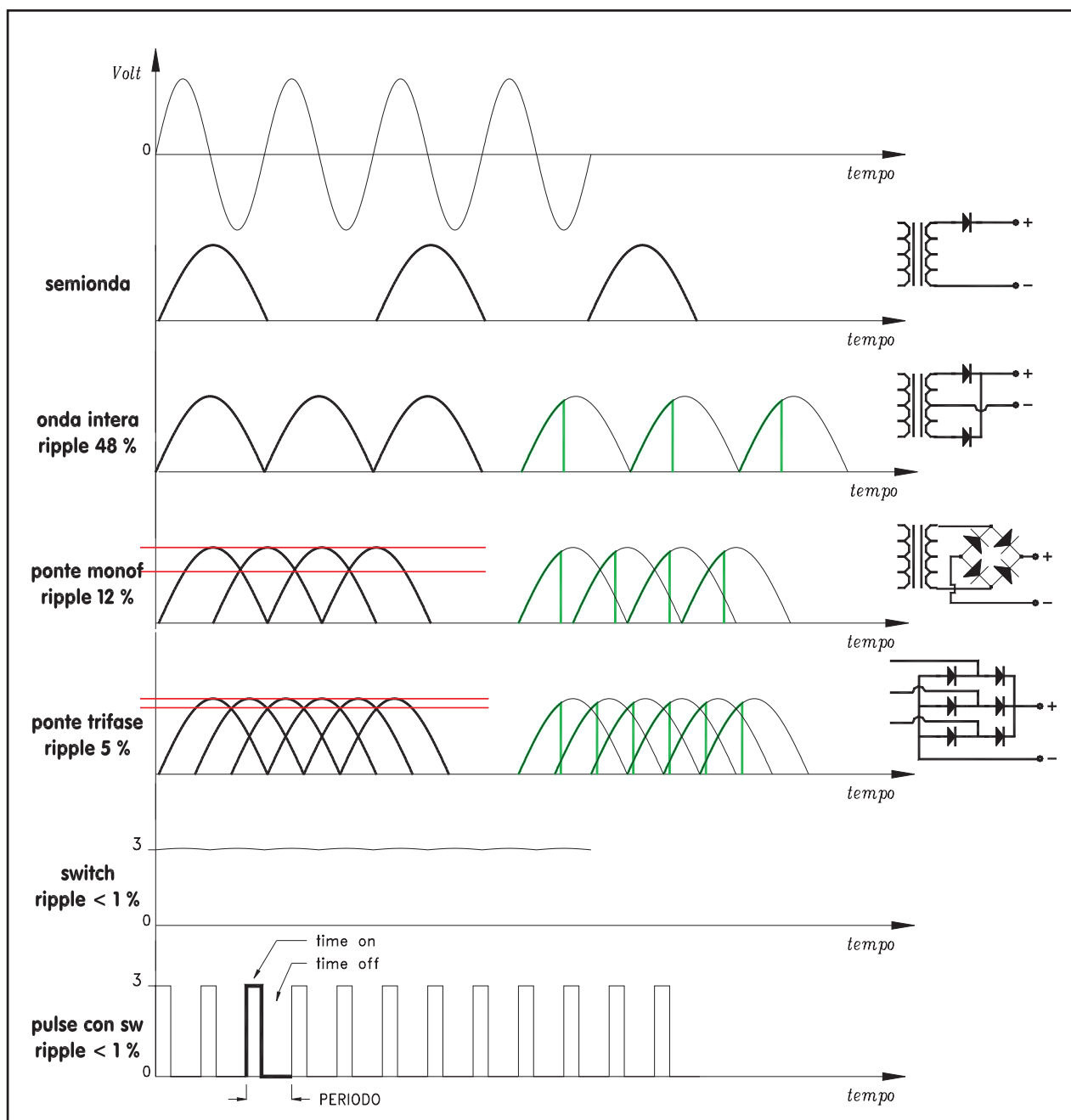


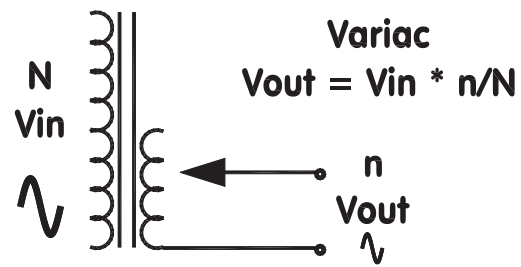
Fig. 18 Forma dell'onda di uscita dei diversi tipi di raddrizzatori



corrente e dei trasformatori variabili, cioè con una spazzola di carbone che si poteva far scorrere lungo l'avvolgimento secondario del trasformatore per variare la tensione d'uscita. Dopo qualche decennio le vecchie piastre di selenio vennero sostituite con dei più moderni diodi al silicio che, avendo una minor caduta di tensione, permettevano un'efficienza più elevata. Molto spesso poi questi raddrizzatori venivano immersi, per favorire il raffreddamento, in un particolare olio isolante che oggi viene considerato molto nocivo.

Gli apparecchi più semplici avevano il comando di variazione della tensione manuale, ma quelli più evoluti potevano avere anche il comando con un motore elettrico che spostava le spazzole lungo gli avvolgimenti del trasformatore. Questi ultimi potevano anche essere stabilizzati in tensione e il motore spostava automaticamente le spazzole al variare della tensione d'uscita, provocando nel contempo una discreta usura delle spazzole e dell'avvolgimento.

I costi di questi apparecchi dovevano essere inizialmente molto elevati, perchè era frequente ve-



dere un'unico raddrizzatore che alimentava diversi bagni, anche contemporaneamente: la tensione veniva variata per ciascun bagno in maniera indipendente con dei reostati che dissipavano in riscaldamento tutta l'energia prodotta dalla caduta tra la tensione di ingresso e quella d'uscita.

Se, per esempio, un bagno doveva funzionare a 4 V e la tensione distribuita era di 10 V, il 60% della potenza veniva dissipata in calore e solo il 40% veniva utilizzata dal bagno.

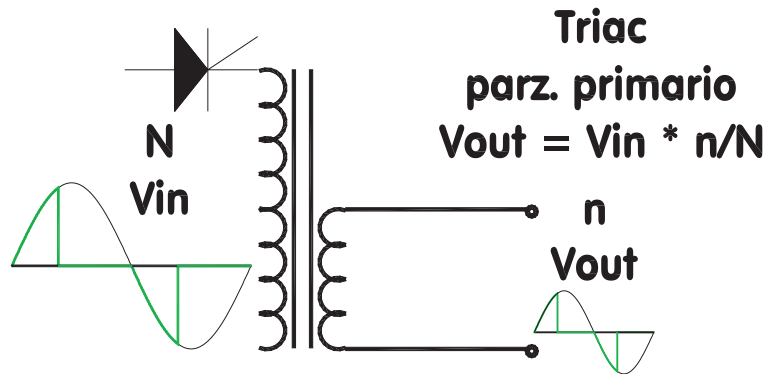
## 12.2. I raddrizzatori a triac

Introdotti una ventina di anni orsono questi raddrizzatori permettono di evitare la manutenzione e i problemi derivanti dal contatto strisciante dei raddrizzatori a spazzola. I triac, una sorta di interruttore comandato elettronicamente, sono posti direttamente all'ingresso ad alta tensione, sul primario del trasformatore e parzializzano la sinusoide della corrente alternata. In altre parole se la sinusoide intera produce 10 V all'uscita del trasformatore e io ho bisogno di 1 V, basterà dividere la sinusoide in 10 parti e impedire il passaggio di corrente nel trasformatore per i 9/10 del tempo di durata della sinusoide: arriveranno quindi al trasformatore dei picchi di tensione della durata di un decimo del periodo della sinusoide di ingresso.

Questa tecnologia abbastanza efficiente ha reso molto diffusi i raddrizzatori a triac che peraltro si comportano molto bene quando vengono utilizzati a valori di tensione molto prossimi ai valori massimi.

Purtroppo però quando si rende necessario ridurre la tensione d'uscita di quantità superiori al 20% l'ondulazione residua di questi raddrizzatori diventa eccessiva e non permette dei buoni risultati, specialmente su bagni critici come quelli dei me-

talli preziosi. Questa tipologia di raddrizzatori è quindi ideale per alimentare le sgrassature elettrolitiche e i grandi bagni di deposizione (Cu, Ni, Zn)



dove le correnti in gioco sono abbastanza elevate (1000 - 6000 A).

Attenzione però a dimensionarli accuratamente: se è prevista una tensione di lavoro di 5 V acquistare al massimo un 6 V, non un 8 V o peggio ancora un 10 V di fondo scala. Per quanto riguarda il dimensionamento in corrente si può invece abbondare finché si vuole, comunque che non sia inferiore a un 25-30 % della corrente massima necessaria per alimentare il bagno.

**dimensionamento in tensione: +20% max della tensione massima di lavoro prevista**  
**dimensionamento in corrente: +30% min della corrente massima prevista**

### 12.3. Gli alimentatori stabilizzati lineari

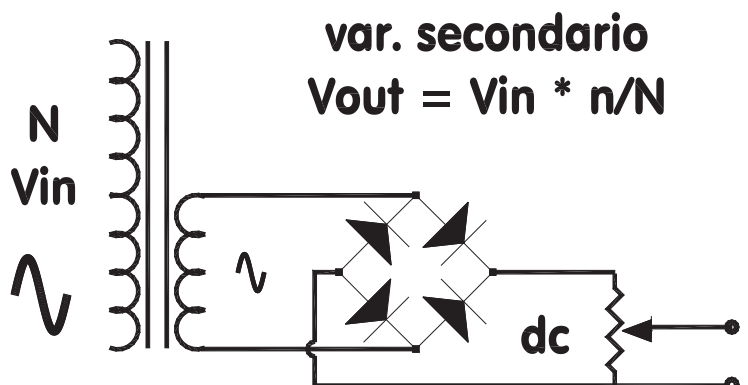
Furono i primi alimentatori a poter godere a buon ragione dell'appellativo di elettronici. Nati insieme all'elettronica venivano normalmente utilizzati nei laboratori per fornire l'alimentazione elettrica necessaria allo studio dei circuiti elettronici. Erano il primo strumento che chiunque facesse dell'elettronica dovesse comprarsi.

Il principio di funzionamento è molto semplice: un trasformatore abbassa la tensione di rete a un valore un po' superiore alla tensione massima richiesta in uscita; dei diodi raddrizzano la bassa tensione e delle valvole o dei transistor regolano e mantengono costante la tensione di uscita, dissipando tutta la parte di tensione in eccesso.

Questi alimentatori potevano essere anche molto sofisticati permettendo una stabilizzazione e un'ondulazione residua inferiore a una parte su centomila.

Il loro habitat naturale era però il laboratorio elettronico dove le potenze necessarie erano molto basse (qualche decina di Watt) e il dover dissipare in calore il 90% della corrente utilizzata non costituiva certo un problema.

In galvanica invece dove le migliaia di Watt scorrono facilmente, questi apparecchi non si diffusero, ad eccezione di qualche linea di produzione di circuiti stampati, dove peraltro si conoscono molto bene le tensioni di funzionamento dei bagni e si possono quindi dimensionare i raddrizzatori con tensioni massime molto vicine a quelle di utilizzo.



### 12.4. Gli alimentatori a commutazione

Rappresentano la tecnologia più evoluta e si basano su un controllo e una parzializzazione sul primario del trasformatore, più o meno come i raddrizzatori a triac (Fig. 3).

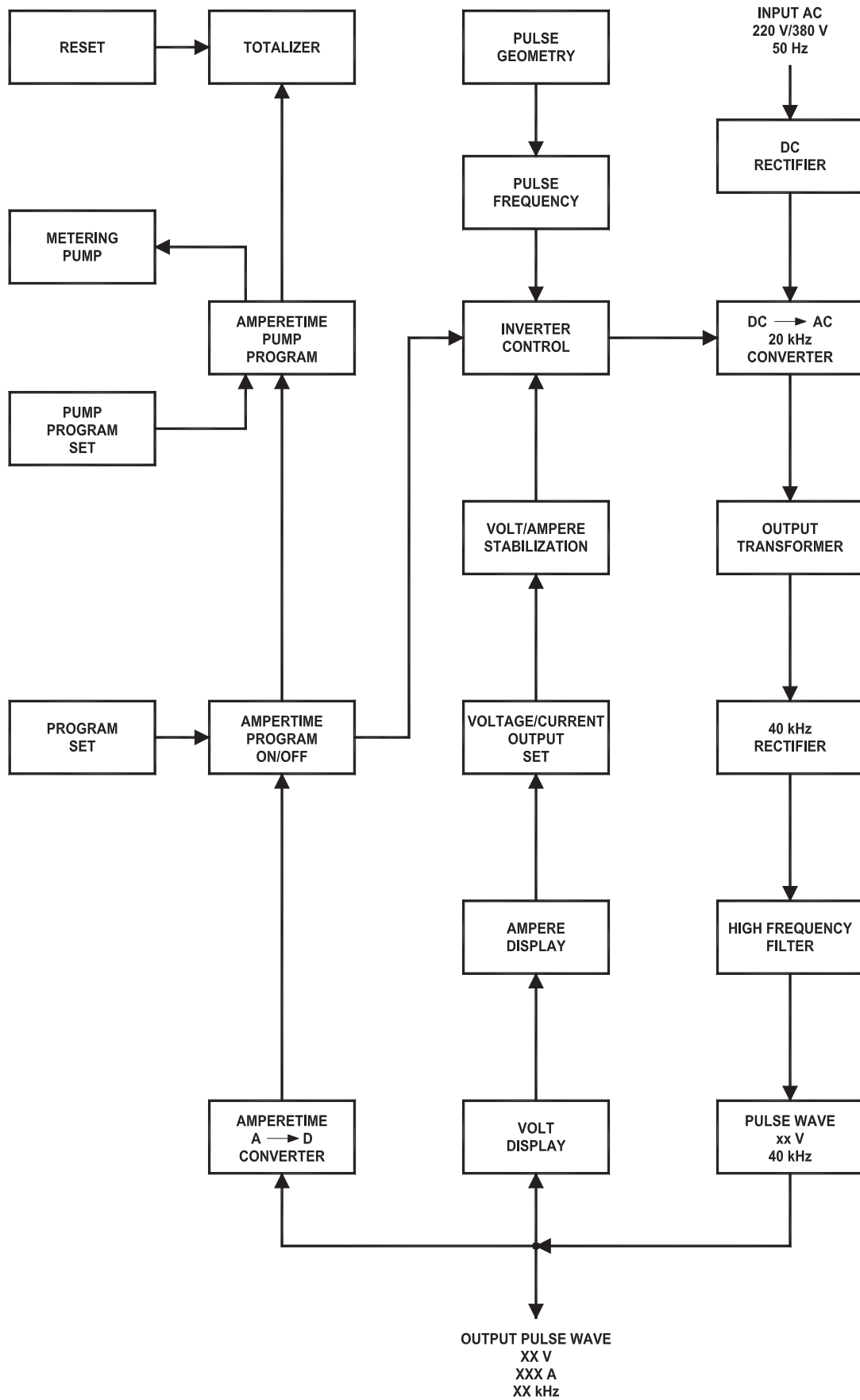
In questi apparecchi però non si utilizza la frequenza di rete di 50 cicli, ma si trasforma questa frequenza in una molto più elevata, 20.000 o 40.000 Hz, in modo che i picchi dovuti alla parzializzazione siano molto più frequenti.

L'alta frequenza permette di costruire i trasformatori su nuclei di ferrite con un ingombro e un peso di circa 1/10 rispetto ai trasformatori su ferro e un'efficienza molto maggiore. Inoltre l'ondulazione residua dovuta alla parzializzazione si filtra molto facilmente, essendo ad alta frequenza, nei cavi stessi che costituiscono il trasformatore.

Questo tipo di alimentatore si sta diffondendo molto rapidamente anche nei laboratori elettronici e sui calcolatori grazie alle sue caratteristiche davvero notevoli: notevole stabilizzazione, minima ondulazione residua, alta efficienza e ingombro ridotto di un fattore 5 rispetto a un alimentatore tradizionale.

Attenzione però che, data la complessità e il notevole numero di componenti, questi apparecchi, per offrire una buona affidabilità, devono essere ingegnerizzati e protetti molto bene, in modo da poter resistere alle condizioni, non sempre idilliache, dell'ambiente galvanico: temperatura, umidità, condensazione di vapori aggressivi....





## 13. GLI ALIMENTATORI A IMPULSI

Questi apparecchi rappresentano la più moderna e sofisticata soluzione per la deposizione di metalli preziosi per uso decorativo. Si è infatti trovato, dopo numerose e lunghe prove di laboratorio, che una corrente d'uscita con forma d'onda a impulsi quadrati, migliora notevolmente la qualità del deposito galvanico, particolarmente per quanto riguarda l'uniformità e la grana del metallo depositato.

Una migliore uniformità del deposito significa uno spessore più uniforme e quindi una minor differenza tra le zone di alta e di bassa densità di corrente; tutto questo si traduce in un colore più uniforme su tutto il pezzo e su tutto il telaio e quindi in un certo risparmio di metallo, dato che non occorre caricarne molto nelle zone di alta densità prima di avere un colore accettabile su quelle di bassa densità.

Un esempio classico di migliore uniformità di colore sui pezzi è quello che si vede sulle spalliere dei letti da dorare: con i soliti alimentatori prendono colore prima le gambe del letto e, solo dopo un po' di tempo, la parte centrale della spalliera e questo solo quando le gambe sono ormai troppo cariche e tendono ad arrossare.

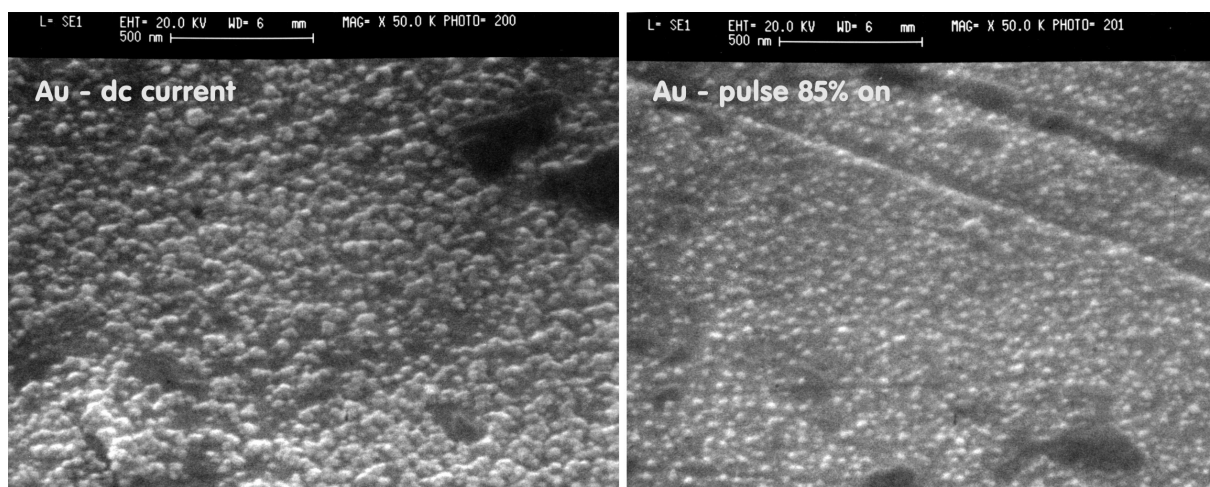
La migliore uniformità sul telaio permette di caricare un numero maggiore di pezzi senza avere un colore più chiaro sui pezzi al centro e più carico al bordo del telaio.

Una grana più fine del deposito significa che gli agglomerati di molecole che formano il deposito sono più piccoli, cioè il deposito è più compatto; questo si traduce in una migliore resistenza all'abrasione e in una più rapida "messa in colore" del pezzo.

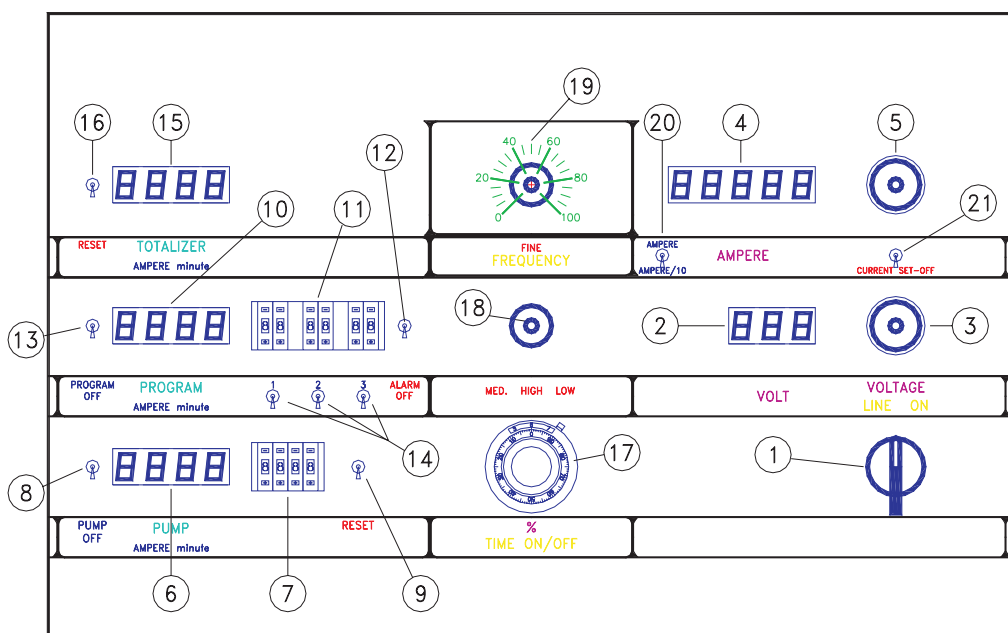
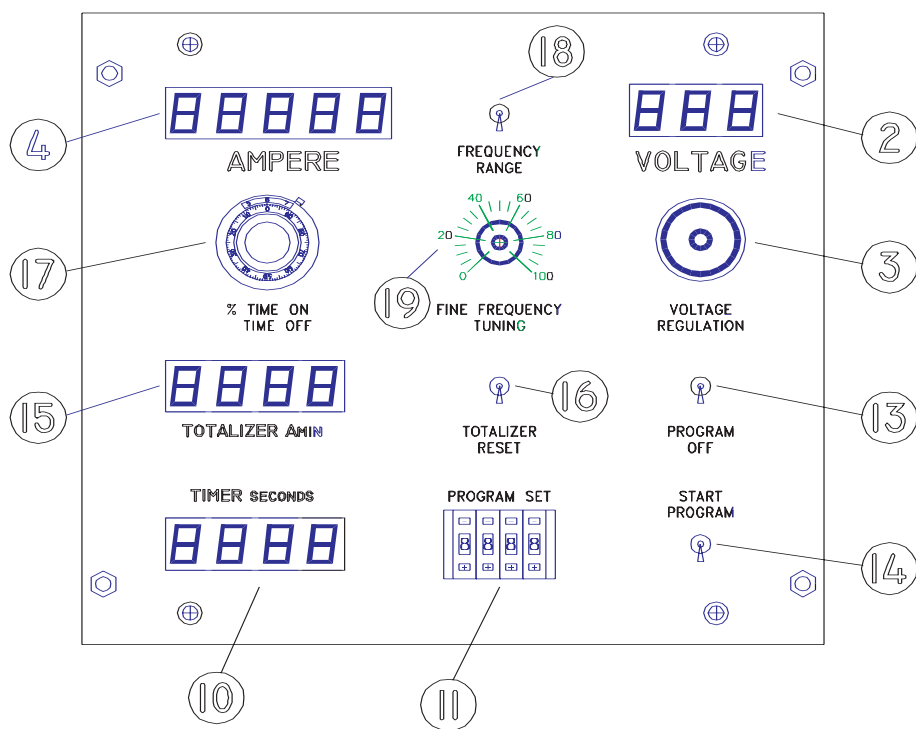
Dato il loro uso, gli apparecchi sono forniti completi di un Ampèreminutametro per lo spegnimento automatico al raggiungimento del deposito desiderato, di un totalizzatore per conoscere, in ogni momento, il consumo di metallo nel bagno. Possono inoltre essere equipaggiati con un Ampèreminutametro che comanda una pompa dosatrice, in modo da mantenere automaticamente costante il contenuto di metallo nella vasca di deposizione.

Questi apparecchi sono inoltre stabilizzati in maniera eccellente e permettono una facile e accurata regolazione della tensione d'uscita. Strutturalmente sono racchiusi in un contenitore rack e hanno dimensioni molto contenute. Internamente sono completamente tropicalizzati con impregnanti siliconici per resistere alle condizioni, non sempre felici, dell'ambiente galvanico.

L'impiego di questi apparecchi ha dato ottimi risultati con tutti i bagni di metalli preziosi, sia con pezzi a telaio sia con pezzi trattati a rotobarile e persino nelle deposizioni a tampone.



**Fig. 19** Differenza di grana tra depositi: a sinistra con corrente continua, a destra con impulsi



- |                              |                                                                   |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1 Interruttore generale      | 11 Programmatore spegnimento                                      |
| 2 Display della tensione     | 12 Esclusione allarme                                             |
| 3 Regolazione di tensione    | 13 Esclusione programmatore                                       |
| 4 Display della corrente     | 14 Partenza programma                                             |
| 5 Non presente               | 15 Display totalizzatore                                          |
| 6 Display pompa dosatrice    | 16 Reset totalizzatore                                            |
| 7 Programmatore pompa dos.   | 17 Regolazione forma impulso: time on / time off %                |
| 8 Esclusione pompa dosatrice | 18 Regolazione della frequenza: 10-100 / 100-1000 / 1000-10000 Hz |
| 9 Reset pompa dosatrice      |                                                                   |
| 10 Display programmatore     |                                                                   |

**Fig. 20** Pannello di controllo di un alimentatore a impulsi completo con tutte le possibili opzioni



### 13.1. Regolazione della forma dell'impulso

Questo comando permette di regolare, in percentuale, il tempo di passaggio della corrente rispetto al tempo in cui la corrente è nulla:

$$(\text{tempo di conduzione} \div \text{periodo}) \times 100$$

Ad ognuno dei dieci giri della manopola corrisponde un 10% di variazione. Il numero di giri compare nella finestrella sopra la manopola e corrisponde quindi alla cifra delle decine (1 = 10%, 9 = 90%).

Le cifre delle unità e dei decimi compaiono sul nonio collegato alla manopola e dipendono dall'angolo di rotazione della medesima; per esempio per una rotazione di 90 gradi si leggerà

25 cioè 2.5%, per una rotazione di 270 gradi si leggerà 75 cioè 7.5%. Per esempio se nella finestrella superiore si legge 7 e sul nonio 65 il tempo di conduzione sarà del 76.5%.

Quando la manopola è a 0 il tempo di conduzione è zero e non esce praticamente corrente dall'alimentatore; quando è al 100% il tempo di conduzione è il 100% del periodo e il tempo di pausa è nullo.

In tal caso, in prima approssimazione, è come se uscisse dall'apparecchio corrente continua, anche se in realtà esiste sempre un brevissimo tempo di pausa, con corrente nulla, dell'ordine del decimillesimo di secondo.

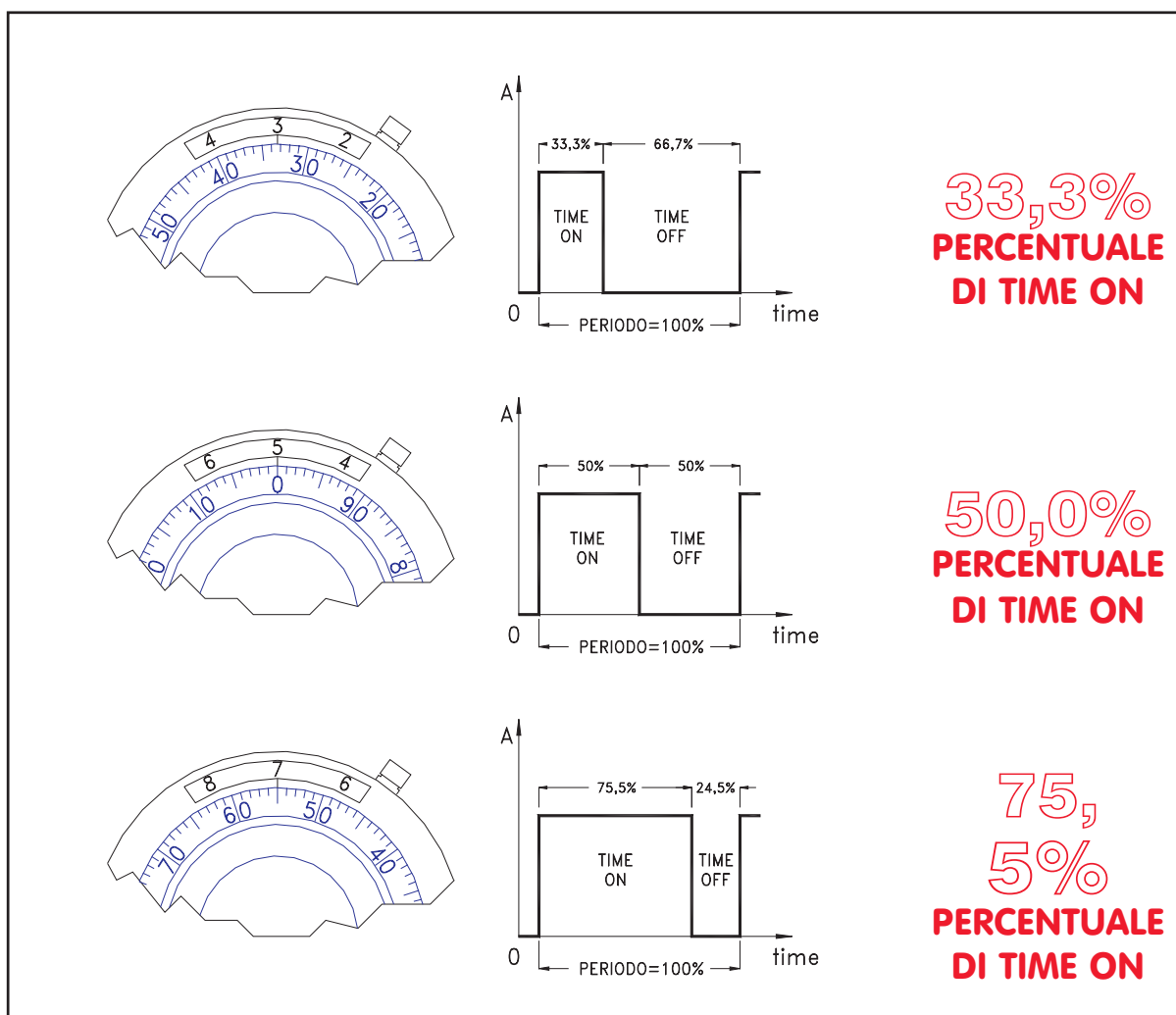


Fig. 21 Particolare della regolazione della percentuale dell'impulso

## 13.2. Regolazione della frequenza

Si possono selezionare tre range di frequenza, cioè di numero di impulsi al secondo:

RANGE	FREQUENZA
LOW	10-100 impulsi al secondo
MED	100-1000 impulsi al secondo
HIGH	1000-10000 impulsi al secondo

Esiste poi una regolazione fine che permette di regolare la frequenza tra il valore minimo e massimo del range di frequenza scelto col selettore. Per esempio, quando la manopola è su 60, corrispondono:

RANGE	FREQUENZA
LOW	60 impulsi al secondo
MED	600 impulsi al secondo
HIGH	6000 impulsi al secondo

In prima approssimazione, nei bagni di deposizione acidi per uso decorativo, a una frequenza bassa corrisponde una maggiore capacità di codepositare gli altri metalli (inquinanti) contenuti nel bagno. Conviene quindi a bagno nuovo impostare una bassa frequenza, in modo da rallentare l'inquinamento del bagno; a bagno vecchio occorre invece impostare una frequenza alta in modo da mantenere un colore decente nonostante l'alto inquinamento di metalli. Tutto questo ovviamente permette di allungare in maniera cospicua la vita del bagno.

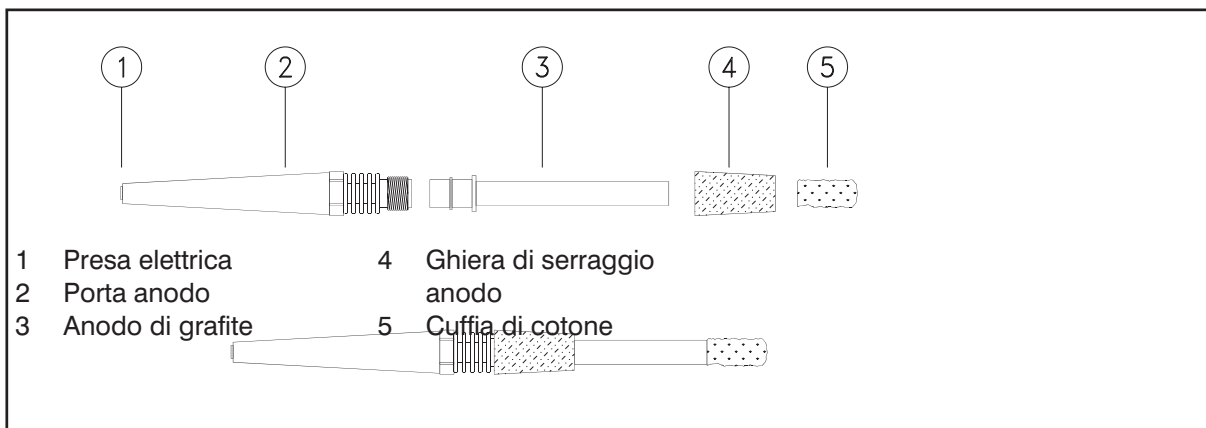
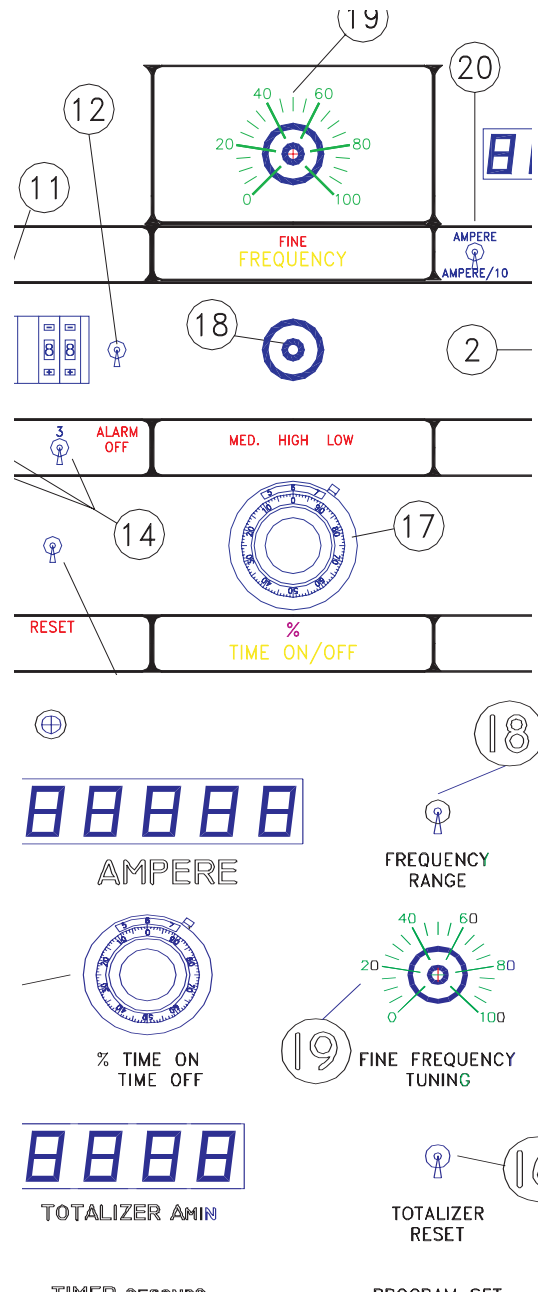


Fig. 22 - Tampone con anodo di grafite e cuffia

## 14. PER UNA CORRETTA INSTALLAZIONE

Collocare gli apparecchi in un posto asciutto e riparato dai vapori, dagli spruzzi e dallo sporco.

### 14.1. Collegamenti elettrici

Seguire lo schema di montaggio indicato nella figura 7 e collegare gli anodi al terminale marcato col |+| e i catodi al terminale marcato col |-|. Usare dei cavi di sezione appropriata alla corrente massima dell'apparecchio e comunque non inferiori a 3 mm<sup>2</sup> per ogni 10 Ampère, per esempio pSer un 100A usare un cavo da 30 mm<sup>2</sup>.

Terminare poi questi cavi da entrambe le parti con dei capicorda e con un pezzetto di guaina per pro-

teggere l'estremità spelata del cavo. Ispezionare spesso questi contatti e ripulirli quando è necessario

Fare attenzione che spesso la la barra anodica individuata col |+| è collegata a terra all'interno dell'apparecchio

### 14.2. Posizionamento degli apparecchi con pompa dosatrice

Consultate il disegno della figura 8 -.

Se nel Vostro alimentatore è incorporata la pompa dosatrice, collocatelo ad una giusta altezza, +/-500 mm, rispetto al livello del liquido della vasca in cui la pompa deve dosare: in pratica la zona utile di montaggio è quella indicata con |7| nella figura 2 -. Nel cerchio |1| lo strumento è installato alla massima altezza possibile rispetto al livello del liquido, nel cerchio |2| alla minima altezza possibile.

Se il Vostro alimentatore è fornito con una pompa dosatrice separata racchiusa in un contenitore trasparente, collocate quest'ultimo alla giusta altezza rispetto al livello del liquido della vasca, mentre potete collocare altrove l'alimentatore.

Posizionate il fustino (4) di alimentazione della pompa dosatrice sotto lo strumento con un dislivello massimo di 1500 mm rispetto alla pompa dosatrice.

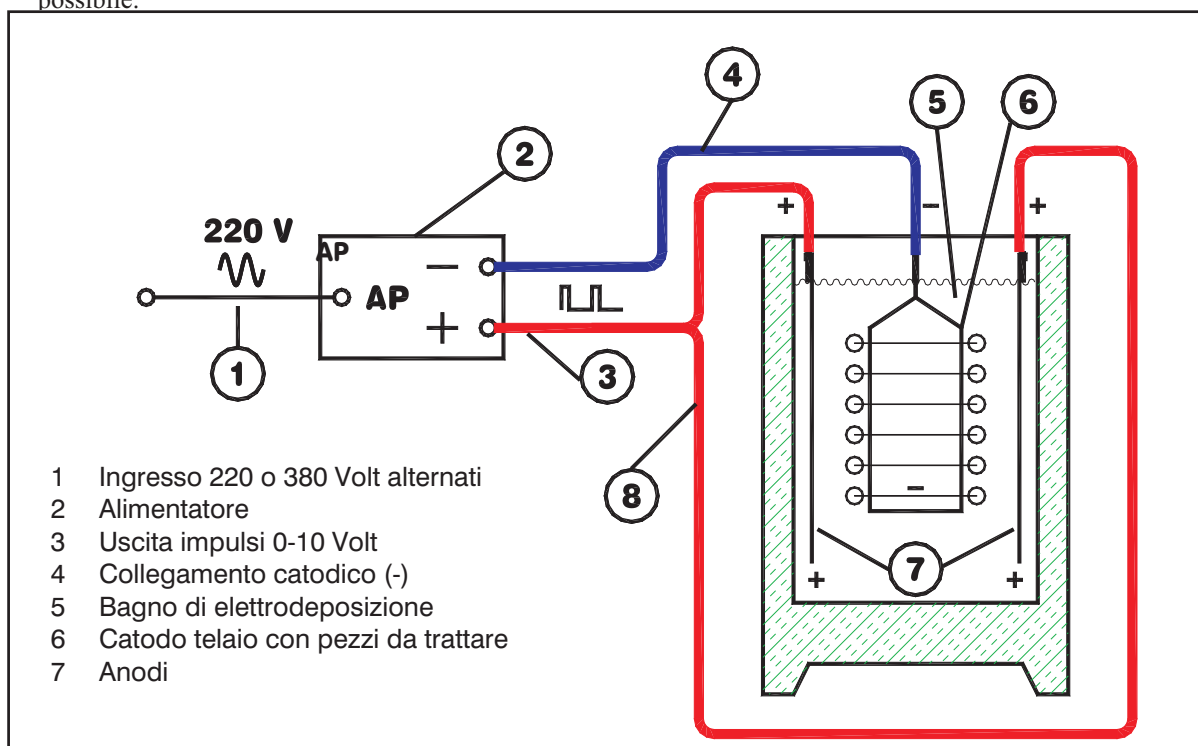


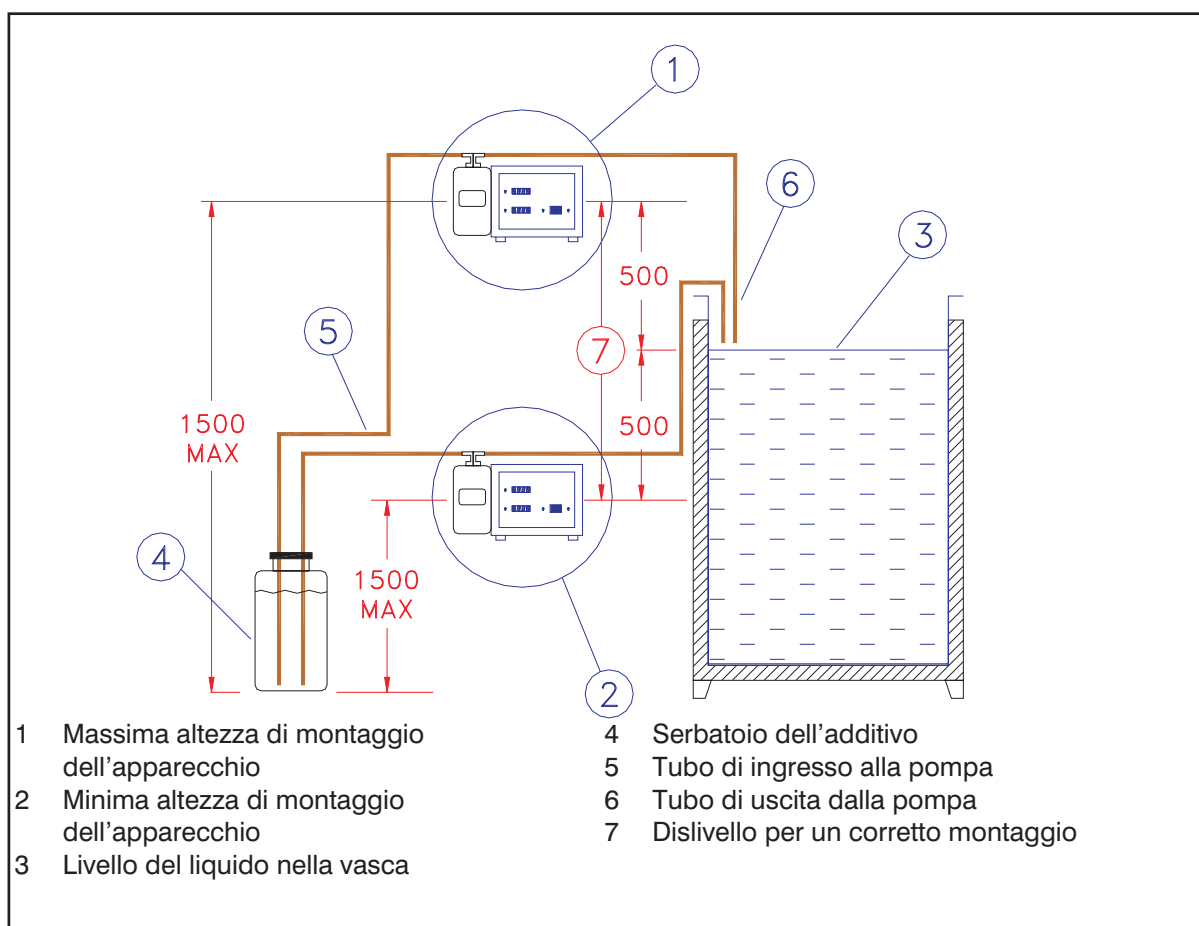
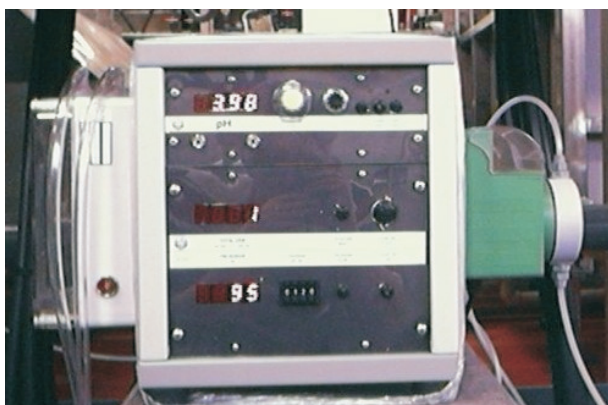
Fig. 23 - Schema di funzionamento e collegamenti di una vasca di elettrodeposizione

Collegare il tubo di alimentazione (5) in modo che arrivi sul fondo del fustino di alimentazione (4) e il tubo di uscita (6) al bordo della vasca in cui fare le aggiunte, in modo che **NON** sia mai immerso nel liquido della vasca, per evitare possibili sifonamenti.

Montare delle fascette stringitubo sui bocchelli della pompa dosatrice e serrarle, senza stringerle eccessivamente dato che i bocchelli sono di materiale plastico.

Mantenere pulito il fustino verificando frequentemente che non si depositi sporco sul fondo, per evitare che esso possa ostruire o danneggiare le valvole della pompa dosatrice.

Controllare frequentemente le valvole della pompa dosatrice: possono sporcarsi e deformarsi, non assicurando più la tenuta richiesta.



**Fig. 24 - Schema di montaggio degli apparecchi con pompa dosatrice**



## 15. GLI AMPERORAMETRI

Questi apparecchi dal costo contenuto sono molto affidabili. Essi misurano il prodotto:

### Ampère x unità di tempo

Dato che in un qualunque bagno elettrolitico la quantità di metallo depositata è proporzionale a questa grandezza, essi indicano:

- \* la quantità di metallo depositata
- \* il consumo complessivo di metallo
- \* il consumo di additivi (brillantanti)

Questi dati sono indispensabili per la gestione e il controllo di tutte le vasche in cui si svolge un processo di elettrodeposizione.

L'installazione di questi apparecchi è molto semplice, basta collegarli allo shunt del raddrizzatore, Fig. 9, o eventualmente a uno shunt addizionale posto sulla barra catodica.

Occorre poi impostare sul programmatore dei valori di shunt, posto in genere sul retro dell'apparecchio, la corrente di fondo scala del raddrizzatore: per esempio per un raddrizzatore da 2500 A impostare 25.

Gli Ampèrorametri e gli Ampèrminutometri vengono generalmente usati con le seguenti funzioni:

- \* interrompere la deposizione, specialmente in depositi di preziosi, al raggiungimento del deposito desiderato
- \* collegato a una pompa dosatrice permette di dosare i brillantanti in bagni di metalli non preziosi
- \* sempre collegato a una pompa dosatrice permette di dosare i brillantanti e il metallo consumato nei bagni di metalli preziosi

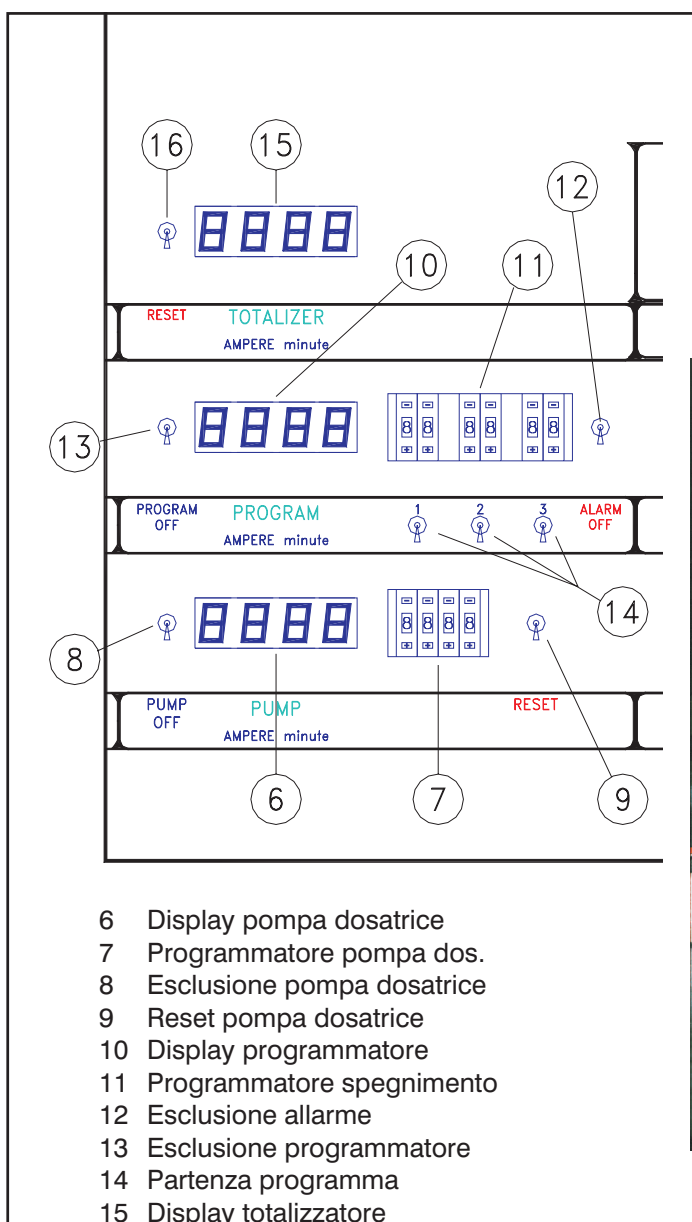


Fig. 25 - Particolare Ampèrminutometri



## 15.1. Per interrompere la deposizione

Spesso l'apparecchio è usato per spegnere il raddrizzatore di un bagno di deposizione al raggiungimento del deposito desiderato, specialmente in bagni di metalli preziosi.

In questo caso impostare sul programmatore |11| il numero di Ampèreminuti desiderati, introdurre i pezzi nella vasca e pigiare l'interruttore |14| "PROGRAM START"

L'apparecchio imposterà sul display |10| il numero di Ampèreminuti programmato e darà al raddrizzatore il segnale di accensione.

Si vedrà successivamente, al passare della corrente nel bagno, il display |10| decrescere dal numero impostato fino a 0000. A questo punto l'apparecchio darà al raddrizzatore il segnale di spegnimento e si potranno estrarre i pezzi dalla vasca.

Introdurre un nuovo telaio e pigiare |14| "PROGRAM START", si sarà così sicuri di ottenere lo stesso deposito che si era avuto precedentemente.

✱

## 16. Bibliografia

- |                  |                                                                        |
|------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Jack Blitz       | Ultrasonics: methods and application. London 1971                      |
| S. Flügge        | Akustik II. Handbuch der Physik. Berlin 1962                           |
| J. van Randeraat | Piezoelectric ceramics. Philips Eindhoven 1974                         |
| L. D. Rozenberg  | High intensity ultrasonic fields. New York 1971                        |
| Galvanotecnica   | Annate varie                                                           |
| E. Bertorelle    | Trattato di galvanotecnica                                             |
| EFG Krüger       | Manuale d'uso Ampèroametri elettronici (1980 -2002)                    |
| EFG Krüger       | Manuale d'uso alimentatori a impulsi (1982 - 2002)                     |
| Giorgio Krüger   | Controllo dei processi galvanici Torino 1991                           |
| Giorgio Krüger   | Controllo dei processi galvanici Lecco 1992                            |
| Giorgio Krüger   | Controllo dei processi galvanici Milano 1993                           |
| Giorgio Krüger   | Controllo dei processi galvanici San Maurizio 1994                     |
| Giorgio Krüger   | Il futuro della galvanotecnica AIAS Barcellona 1994                    |
| Giorgio Krüger   | Controllo dei processi galvanici Milano 1994-95-96-97-98-99-2000-01-02 |
| Giorgio Krüger   | Giornata sul Lavaggio Industriale - ANVER Milano 1995                  |
| Giorgio Krüger   | Controllo dei processi galvanici Corso Ktema Bologna 1995              |
| Giorgio Krüger   | Corso di progettazione impianti - Politecnico di Torino 1998           |
| Giorgio Krüger   | Corso sui trattamenti superficiali - Università di Trento 1998         |

### Note:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

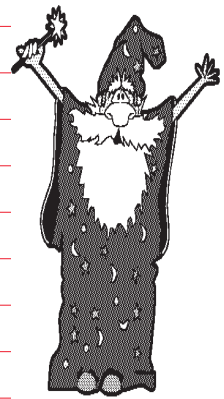


Handwriting practice lines (10 horizontal red lines).



Handwriting practice lines (18 horizontal red lines).

Handwriting practice lines (10 horizontal red lines).



© Giorgio Krüger ® novembre 2006 - [gk@sdkappa.com](mailto:gk@sdkappa.com)

Kruger srl - Via Alghero 12 - 20124 Milano - Italia - ☎ +3902 27000951

## New Index

### A

alimentatore	pag	54
Alimentatori collegamenti elettrici	pag	64
Ampère	pag	54
AMPERORAMETRI	pag	13 -
22,66		
Analisi del bagno	pag	18
anodi	pag	54
Aria insufflata	pag	47
asciugatura finale	pag	8
Asciugatura finale	pag	8
Atmosfera	pag	39
attrezzature ausiliarie	pag	9
Avviamento dell'impianto	pag	37
Azione meccanica	pag	47

### C

capillarità	pag	30
cavitazione	pag	30 - 31
ceramiche piezoelettriche	pag	32
Cicli di trattamento	pag	49
ciclo operativo	pag	7
ciclo produttivo	pag	6
colore più uniforme	pag	60
criminalizzazione dei solventi	pag	40

### D

degasificazione	pag	30
deposizione	pag	54
differenza di potenziale	pag	54
dimensionamento in tensione	pag	57
Dimensionamento ultrasuoni	pag	35
dimensionamento in corrente	pag	57
Dosatore di metalli preziosi	pag	16
Dosatore in bagni di nichel	pag	16

### E

Effetto bagnante	pag	46
Effetto complessante	pag	47
Effetto disperdente	pag	47
Effetto emulsionante	pag	46
Effetto saponificante	pag	46
Effetto solubilizzante	pag	46
Efficienza	pag	39
elettrodi	pag	23
elettrolita	pag	54

### F

forma impulso regolazione	pag	62
Frequenza	pag	31
frequenza impulso regolazione	pag	63
Funzionamento ultrasuoni	pag	38

### G

generatore elettronico	pag	33
grana del deposito	pag	60
Grandezze controllabili	pag	9

### H

Honda	pag	6
-------	-----	---

### I

Il contenuto è aumentato	pag	18
Il contenuto è diminuito	pag	18
Il lavaggio in linea	pag	46 - 52
immersibili	pag	31
Impianti a passo	pag	8
impianti con detergenti	pag	41
impianti con solventi alternativi	pag	43
Impianti con solventi clorurati	pag	44
Impianti ermetici	pag	45
Impianti programmabili	pag	8
impianto galvanico	pag	8
Impostazione programmatore	pag	17
interrompere la deposizione	pag	14,67
isole felici	pag	6
isteresi	pag	12

### L

La qualità	pag	6
lavaggio degli oli	pag	42
lavaggio delle paste	pag	42

### M

Manutenzione ultrasuoni	pag	38
Micron	pag	39
misura della conducibilità	pag	26
MISURATORI DI REDOX	pag	26
Modulazione	pag	34
Movimentazione dei pezzi	pag	47

### O

Ohm legge	pag	54
ondulazione residua ripple	pag	57

### P

Periodo	pag	39
pHmetri	pag	23
pile	pag	56
pompa dosatrice posizionamento	pag	64
Pomaggio ad alta pressione	pag	48
Pompe di ricircolo	pag	47
pompe dosatrici	pag	23
Preparazione	pag	7
Preparazione del ferro	pag	50
Preparazione della zama	pag	51
Preparazione dell'alluminio	pag	51
Preparazione dell'ottone	pag	49
preparazione iniziale	pag	7
processo galvanico	pag	6
PROGRAM START	pag	14,67
Proprietà dei detergenti	pag	46
protezione anodica	pag	27
Protezione della vasca	pag	27 - 28
Pt100	pag	10

### R

raddrizzatore	pag	54
raddrizzatori a commutazione	pag	58
raddrizzatori a impulsi	pag	60 - 63



raddrizzatori a triac	pag	57
raddrizzatori ad alta frequenza	pag	58
raddrizzatori con diodi al silicio	pag	57
raddrizzatori con piastre di selenio	pag	56
raddrizzatori stabilizzati lineari	pag	58
RENDIMENTO	pag	17
resistenza	pag	54
resistività	pag	26
Riempimento del fustino	pag	17
risciacqui finali	pag	8
Risciacqui finali	pag	8
Risciacqui intermedi	pag	7

## S

scheda di taratura	pag	9
set point	pag	10
sezione cavi alimentatori	pag	64
shunt	pag	13
solubilizzazione	pag	30
sonde di misura	pag	9
stabilizzazione	pag	55
storia ultrasuoni	pag	40
Suono	pag	39

## T

Taratura Ampereometro	pag	19
Taratura degli apparecchi	pag	9
Taratura del programma	pag	17
Taratura di un pHmetro	pag	23
Taratura di un termoregolatore	pag	12
temperatura di ebollizione	pag	12
TERMINOLOGIA	pag	39
TERMOREGOLATORI	pag	10 - 12
Trasduttori magnetici	pag	32
Trasduttori piezoelettrici	pag	32
trasformatori variabili	pag	57
tropicalizzazione	pag	58

## U

Ultrasuoni	pag	39
ultrasuoni nei risciacqui	pag	42
ultrasuoni nella cromatura	pag	43

ultrasuoni nella zincatura	pag	42
uniformità di deposizione	pag	60
Unità radianti	pag	31
Uso del totalizzatore	pag	17

## V

valvole della pompa dosatrice	pag	65
vasca di lavaggio	pag	35
Vibrazioni	pag	39
Volt	pag	54



!! per qualunque chiarimento scrivetemi:  
gk@sdkappa.com !!

# Dove va la galvanica?



*Giorgio C. Krüger  
per corso di base AIFM 1992-2006*

## Più avanza la tecnologia più importante diventa il trattamento superficiale

- Decadimento della galvanica tradizionale
- Nuovi depositi e nuove tecnologie
- Isole felici
- Eliminazione degli elementi nocivi
- Adeguamento alle norme ecologiche
- Associazioni
- Formazione
- Qualità
- Controllo del processo

**evoluzione**

# qualità, due sistemi:

controllare che ogni singolo pezzo prodotto  
risponda ai requisiti qualitativi  
e scartare i pezzi non conformi  
oppure

controllare accuratamente il ciclo produttivo  
in modo che tutti i pezzi prodotti rispondano ai requisiti qualitativi  
elementi determinanti della qualità del processo galvanico sono:

Qualità  
↓  
Ciclo  
↓  
Impianto  
↓  
Ausiliari  
↓  
Parametri  
↓  
taratura

- **il ciclo operativo**  
sequenza e tempi di trattamento  
prodotti chimici utilizzati  
tipologia delle acque impiegate
- **impianto galvanico**  
tipologia dell'impianto galvanico  
impianto di depurazione  
impianti di smaltimento rifiuti
- **attrezzature ausiliarie**  
ultrasuoni, raddrizzatori, pompe ...
- **controllo dei parametri di processo:**  
temperatura, pH, redox, Volt, Ampère, Ampèreora
- **taratura degli apparecchi di controllo**

elementi  
determinanti  
per la qualità:

3

In un nuovo insediamento  
discutere approfonditamente il problema  
coinvolgendo tutti gli interessati alla futura linea galvanica

- **preparazione**  
ottimizzare i prodotti chimici per i diversi materiali da trattare  
prevedere almeno due posizioni possibilmente con ultrasuoni  
non raffreddare eccessivamente il pezzo prima delle elettrolitiche  
tipologia delle acque impiegate

- **deposizione**  
prevedere la possibilità di aumentare in futuro il tempo di  
deposizione  
prevedere le opportune attivazioni intermedie in caso di  
multilayers

- **risciacqui intermedi:**  
utilizzare, se possibile, più risciacqui in controcorrente  
studiare il tipo di acqua occorrente in base al bagno da  
risciacquare  
non utilizzare acque di ricircolo dopo bagni ad alto contenuto di  
tensioattivi  
prevedere degli ultrasuoni per pezzi sagomati o scatolati
- **asciugatura finale:**  
utilizzare diversi risciacqui in controcorrente, l'ultimo con ultrasuoni  
almeno un risciacquo demineralizzato, alla massima temperatura  
possibile  
prevedere un soffiaggio a freddo dei pezzi prima di riscaldarli  
nel forno di asciugatura

Qualità  
↓  
Ciclo  
↓  
Impianto  
↓  
Ausiliari  
↓  
Parametri  
↓  
taratura

il ciclo



# l'impianto galvanico

**non cercare inutili performances  
più una macchina è complicata, meno è affidabile**

Qualità  
↓  
Ciclo  
↓  
Impianto  
↓  
Ausiliari  
↓  
Parametri  
↓  
taratura

**impianti a passo**

**impianti a carro ponte**



# impianti a passo

**tutti i telai  
avanzano simultaneamente  
di una posizione**

**produttività molto elevata:  
un telaio ogni 30-60 secondi  
dimensionalmente compatti**

**poco flessibili  
molto idonei  
a trattare lo stesso materiale  
con la medesima finitura**

**!! Attenzione !!  
dimensionare opportunamente  
la preparazione  
i risciacqui intermedi  
i risciacqui finali**



Qualità  
↓  
Ciclo  
↓  
Impianto  
↓  
Ausiliari  
↓  
Parametri  
↓  
taratura



# impianti a carro

i telai vengono trasportati  
da un carro indipendentemente  
in qualsiasi vasca libera  
in base a un programma

piuttosto lenti:  
una barra ogni 3-4 minuti  
rapporto ingombro/produzione  
elevato

molto flessibili  
molto idonei  
a trattare diversi materiali  
con diverse finiture

!! attenzione !!  
Evitare le vasche multiple  
di deposizione ogni barra  
deve avere la sua vasca,  
il suo raddrizzatore,  
i suoi strumenti di controllo,  
la sua pompa filtro



Qualità  
↓  
Ciclo  
↓  
Impianto  
↓  
Ausiliari  
↓  
Parametri  
↓  
taratura

La qualità di questi apparecchi  
ha spesso una notevole influenza sul  
risultato finale

raddrizzatori

pompe di filtraggio

ultrasuoni

Ampèrerometri, termoregolatori, pHmetri

recuperatori

demineralizzatori

attrezzature ausiliarie

Qualità  
↓  
Ciclo  
↓  
Impianto  
↓  
Ausiliari  
↓  
Parametri  
↓  
taratura



livello delle vasche  
temperatura (°C)  
tensione di deposizione (Volt)  
corrente di deposizione (Ampère)  
corrente per unità di tempo (Ah)  
pH  
potenziale di ossidoriduzione (Rx)  
conducibilità ( $\mu\text{S}$ )

grandezze controllabili

Qualità  
↓  
Ciclo  
↓  
Impianto  
↓  
Ausiliari  
↓  
Parametri  
↓  
taratura

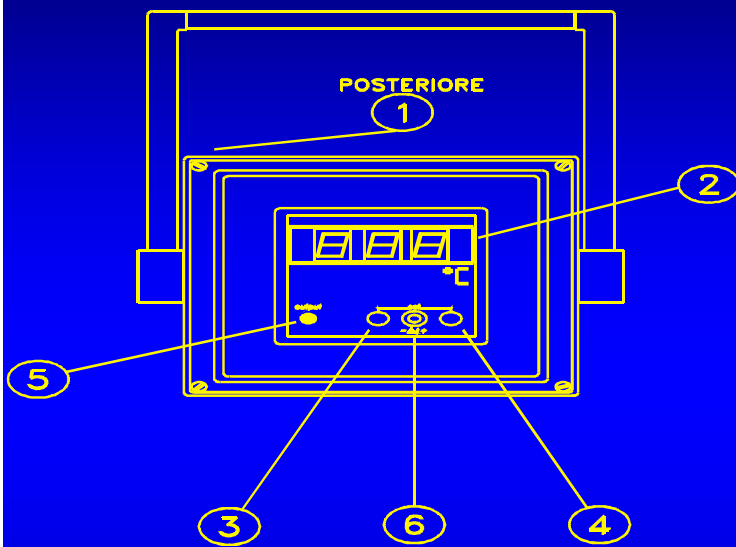
La qualità degli apparecchi di controllo  
può essere notevole, ma essi effettuano le  
misure attraverso i segnali provenienti dalle  
sonde che hanno una certa deriva nel tempo  
(invecchiamento)

**è indispensabile**  
tarare periodicamente,  
a secondo del tipo di sonda  
e della criticità della misura,  
gli strumenti di controllo  
per compensare la deriva delle sonde

taratura degli apparecchi

Qualità  
↓  
Ciclo  
↓  
Impianto  
↓  
Ausiliari  
↓  
Parametri  
↓  
taratura





**misurano e regolano la temperatura della vasca**

- 1 Interruttore generale
- 2 Display temperature
- 3 Visualizzazione set point
- 4 Regolazione set point
- 5 Spia riscaldamento in funzione
- 6 Regolazione isteresi

# i termoregolatori

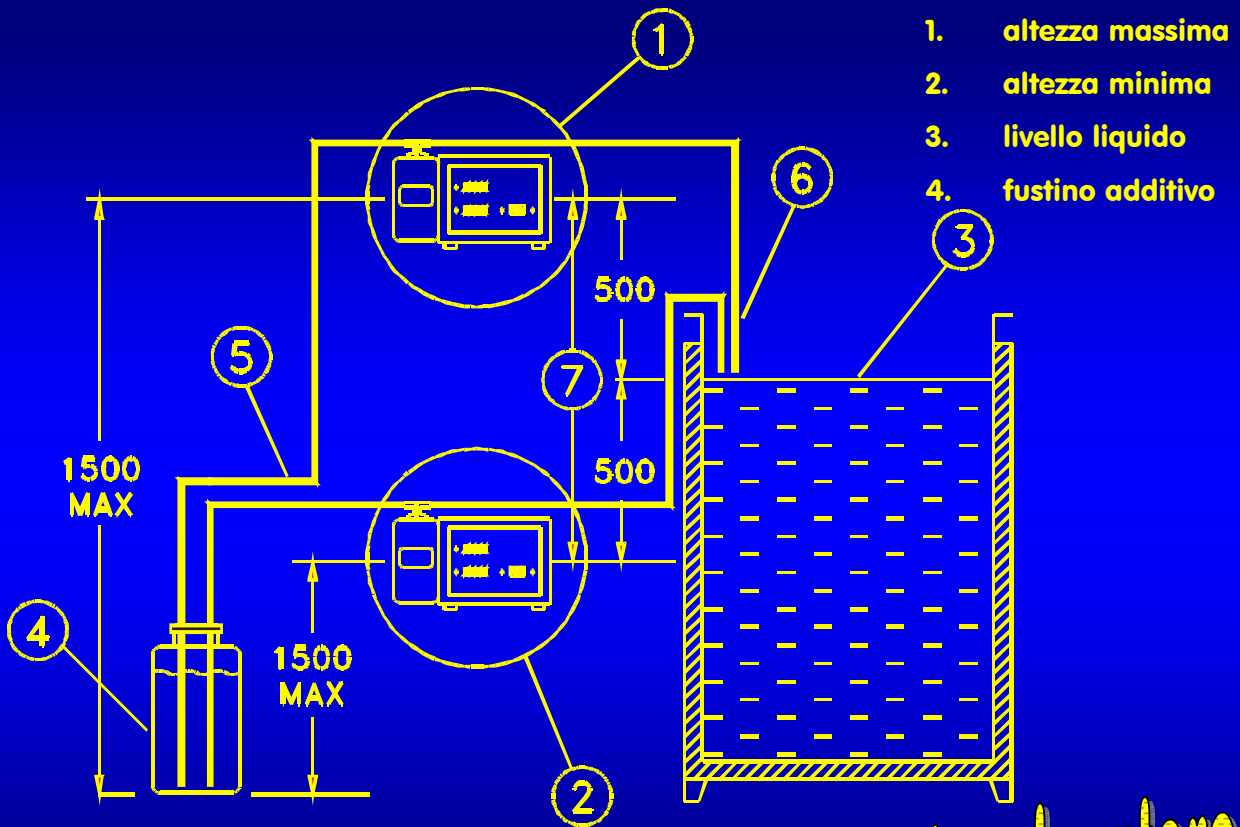
11

1. Estrarre la sonda dalla vasca e ripulirla accuratamente
2. Riempire un bicchiere con dei cubetti di ghiaccio, prodotti con acqua distillata, e lasciare che si scioglia il ghiaccio fino a che il liquido raggiunga un'altezza di 10 centimetri
3. Riempire un altro bicchiere con dell'acqua distillata e metterlo su un fornello finchè raggiunga l'ebollizione
4. Immergere la sonda nel primo bicchiere e aspettare alcuni minuti finchè la temperatura indicata dal display si è stabilizzata: è necessario aspettare alcuni minuti prima che la sonda arrivi in temperatura a causa dell'inerzia termica del materiale del rivestimento.
5. Regolare il trimmer di zero fino a leggere sul display 0.00 °C
6. Immergere la sonda nel secondo bicchiere e aspettare alcuni minuti finchè la temperatura indicata dal display si è stabilizzata.
7. Regolare il trimmer del guadagno finchè si abbia sul display la lettura della temperatura di ebollizione dell'acqua.
8. Ripetere le due tarature fino ad avere esatte ambedue le letture.

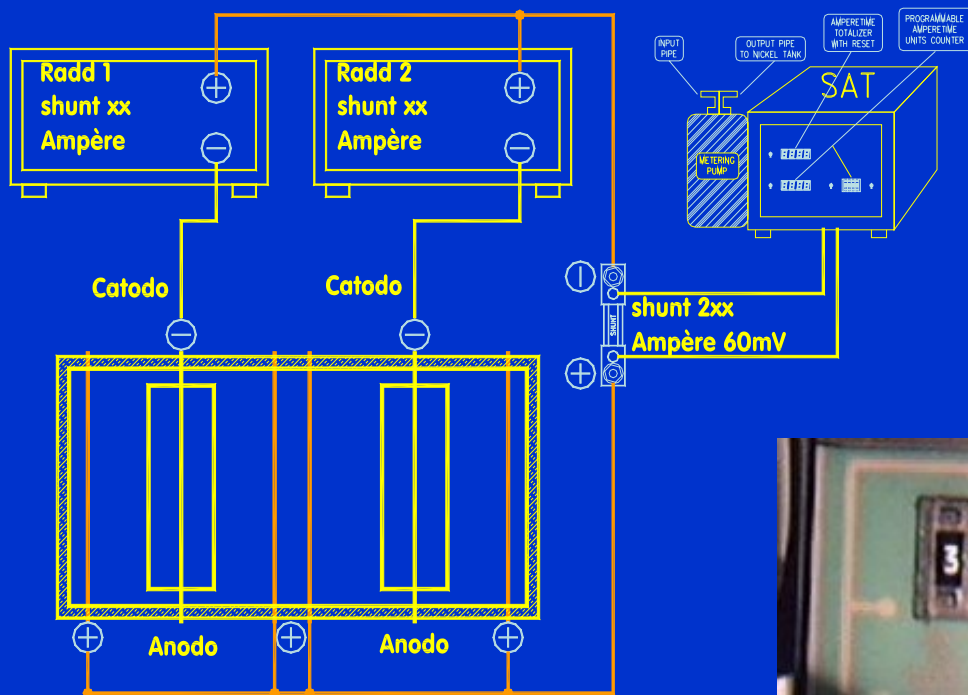
**!! ATTENZIONE !!**  
 la temperatura di ebollizione cambia con l'altitudine (P) sul livello del mare in base alla formula  
 $100 - 0.00333 \times m \text{ } ^\circ\text{C}$   
 dove m è l'altezza sul livello del mare misurata in metri.: a 500 m l'acqua bolle a 98.3 °C

12





installazione di un Ampèreorometro dosatore



installazione di un Ampèreorometro dosatore



Preparare un fustino da 5 litri totali con 100 g di sali d'oro e additivi vari  
tarare la pompa dosatrice a 50 cc per pompata

$$\begin{aligned}5000 \text{ cc} : 50 \text{ cc} &= 100 \text{ pompate} \\100\text{g} : 100 \text{ pompate} &= 1 \text{ g per pompata} \\1\text{g} &= 1000 \text{ mg di sali Au} = 680\text{mg Au metallo}\end{aligned}$$

Se il rendimento del bagno è 20 mg Au / Amin in quanti Amin consumerò una pompata ?

$$680 \text{ mg} : 20 \text{ mg} = 34 \text{ Amin}$$

Regolare quindi l'apparecchio per dosare ogni 34 Amin e prelevare un campione del bagno prima di iniziare a lavorare. Far passare nel bagno qualche migliaio di Ampèreminuto, per esempio 5.100, e fare un nuovo prelievo da analizzare.

Ammettiamo per esempio che il primo prelievo abbia dato un contenuto di Au metallo in vasca di

$$0,2 \text{ g/litro Au} = 200 \text{ mg/litro Au}$$

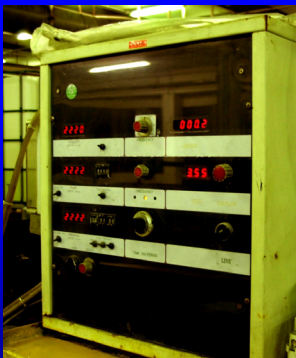
# dosatore in bagno di doratura

17

Come sarà la seconda analisi ?

Ci sono tre possibilità:

1. il contenuto di Au metallo è ancora 200 mg/litro: la taratura di 34 Ampèreminuto è esatta e non va più ritoccata;
2. il contenuto di Au metallo in vasca è diminuito, per esempio sia di 150 mg/litro
3. il contenuto di Au metallo in vasca è aumentato, per esempio sia di 240 mg/litro



# dosatore in bagno di doratura

18

Ammettiamo che la vasca abbia una capacità di 1.000 litri e che l'analisi abbia dato un contenuto di 150 mg/litro, allora il metallo consumato in vasca sarà:

$$(200 \text{ mg/l} - 150 \text{ mg/l}) \cdot 1000 \text{ litri} = 50 \text{ g}$$

Il metallo che è stato dosato in vasca dall'apparecchio è:

$$5.100 \text{ Amin totali} : 34 \text{ Amin programmati} = 150 \text{ pompate} \\ 150 \text{ pompate} \cdot 680 \text{ mg per pompata} = 102 \text{ g}$$

Il metallo totale consumato dal bagno sarà

$$102 \text{ g dosati} + 50 \text{ g consumati in vasca} = 152 \text{ g totali}$$

Questo vuol dire che il bagno in 5.100 Ampèreminuti ha depositato 152 g di Au metallo quindi la reale efficienza del bagno sarà

$$152 \text{ g} : 5.100 \text{ Amin} = 30 \text{ mg per Ampèreminuto}$$

quindi in base il nuovo valore da impostare sul programmatore sarà

$$680 \text{ mg (contenuto di una pompata)} : 30 \text{ mg} = 23 \text{ Ampèreminuto}$$

A questo punto il dosatore farà una pompata di 50 cc contenente 1 g di sali d'oro pari a 680 mg di Au metallo ogni 23 Amin, quindi 222 pompate in 5.100 Ampèreminuto per un totale di 222 g di sali d'oro pari a 151 g di metallo. <sup>19</sup>

se l'analisi ha dato un contenuto di 240 mg/litro; allora il metallo aumentato in vasca sarà:

$$(240 \text{ mg/l} - 200 \text{ mg/l}) \cdot 1.000 \text{ litri} = 40 \text{ g}$$

Il metallo che è stato dosato in vasca dall'apparecchio è

$$5.100 \text{ Amin totali} : 34 \text{ Amin programmati} = 150 \text{ pompate} \\ 150 \text{ pompate} \times 680 \text{ mg/pompate} = 102 \text{ g}$$

Il metallo totale consumato dal bagno sarà

$$102 \text{ g dosati} - 40 \text{ g aumentati in vasca} = 62 \text{ g totali}$$

Questo vuol dire che il bagno in 5.100 Amin ha depositato 62 g di Au metallo, quindi la reale efficienza del bagno sarà

$$62 \text{ g} : 5.100 \text{ Amin} = 12,2 \text{ mg per Ampèreminuto}$$

quindi il nuovo valore da impostare sul programmatore |2| sarà

$$680 \text{ mg (contenuto di una pompata)} : 12,2 = 57 \text{ Ampèreminuti}$$

A questo punto il dosatore farà una pompata di 50 cc, contenente 1 g di sali d'oro pari a 680 mg di Au metallo ogni 57 Ampèreminuti, quindi 90 pompate in 5.100 Ampèreminuti per un totale di 90 grammi di sali d'oro, pari a 62 grammi di Au metallo. <sup>20</sup>

APPARECCHIO	AMPÈREORAMETRO	LINEA	
MODELLO	SAT01320	VASCA	
COSTRUTTORE	EFG KRÜGER	MATRICOLA	
INDIRIZZO	VIA ALGHERO 12 - MILANO ITALY	Comp. dosato	
TEL / FAX	**39 02 27000951 / 27000991	Dosaggio cc/Aora	
FORNITORE BAGNO		Sigla Bagno	
INDIRIZZO		analisi ogni A ora	
tel / fax			
data	Aora / min	operatore	note
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

# Ampèreora bagno

**TUBING CONNECTORS**  
 part. # SAT90201

**POPPET VALVE**  
 part. # SAT90202

**BELLOWS MODULE**  
 part. # SAT90200

**SWITCH**  
 part. # SAT90204

**NEON LAMP**  
 part. # SAT90205

6, 7, 11, 12, 15, 16, 8

usa una resistenza (shunt) come sonda di misura molto affidabile deriva trascurabile

controllare le valvole e la portata della pompa dosatrice

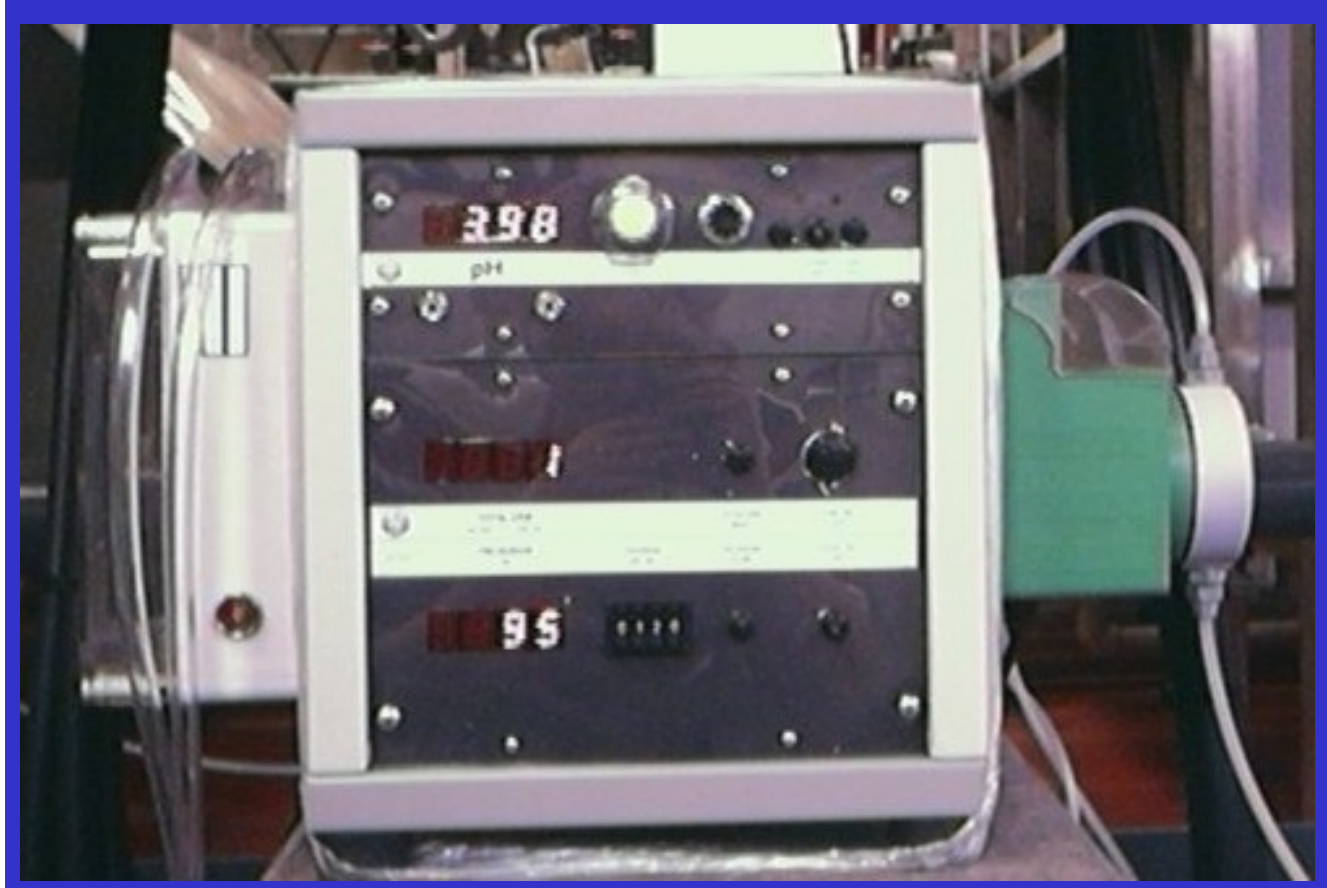
regolare la portata agendo sul vitone (15)

## taratura Ampèreorametro

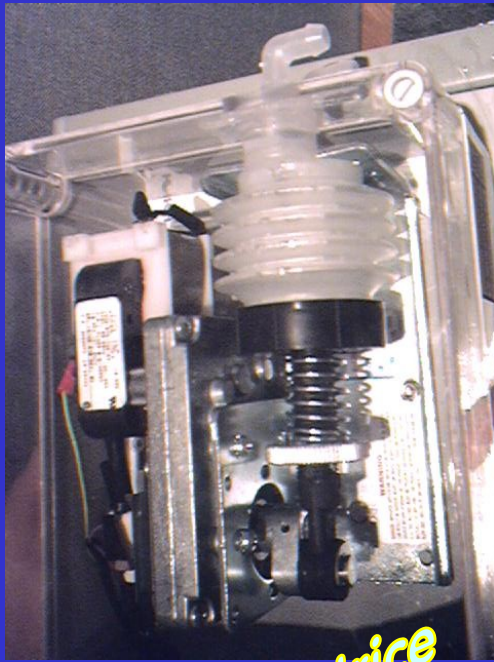
APPARECCHIO	AMPÈREORAMETRO				LINEA	
MODELLO	SAT01320				VASCA	
COSTRUTTORE	EFG KRÜGER				MATRICOLA	
INDIRIZZO	VIA ALGHERO 12 - MILANO ITALY				ANNO COSTRUZ.	
TEL. / FAX	**39 02 27000951 / 27000991				FREQUENZA DI TARATURA	MENSILE
DATA	A ora		cc dosatore		OPERATORE	NOTE
	VALORE MIS.	VALORE IMPOST.	VALORE MIS.	VALORE IMPOST.		

# taratura Ampèreorametro

**periodicità: 6 – 12 volte/anno**





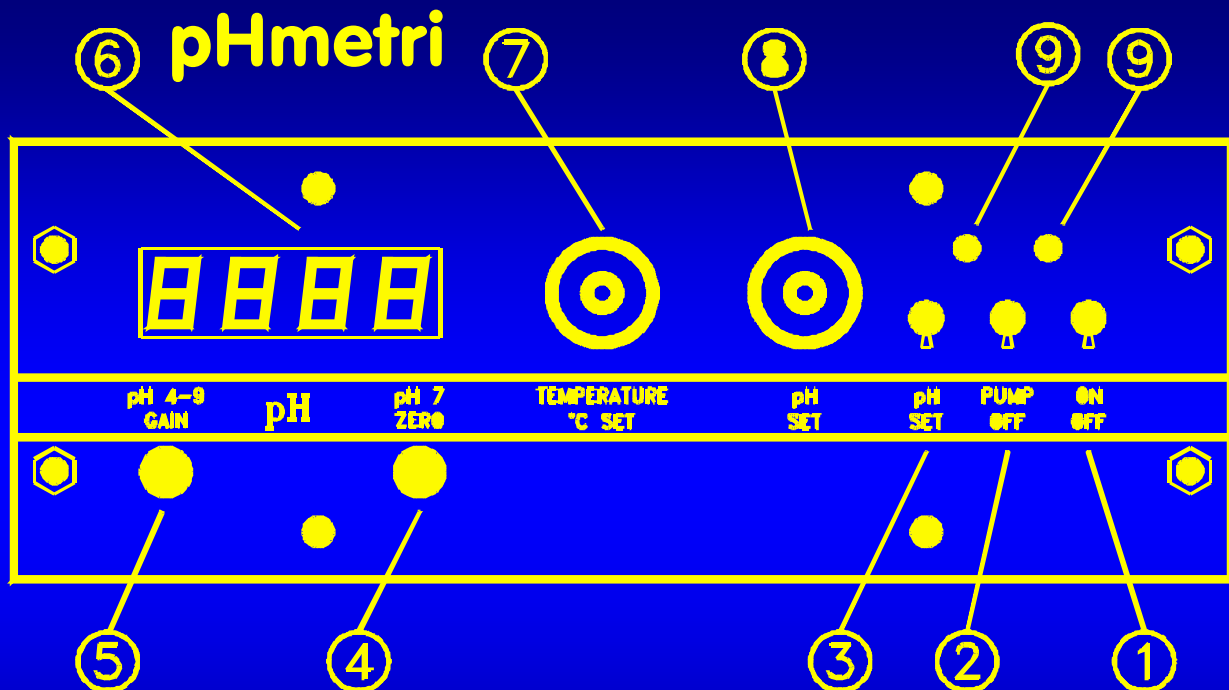


**pompa dosatrice  
ampèrorametro**



**sonda  
pH**

**regolazione shunt  
ampèrorametro**

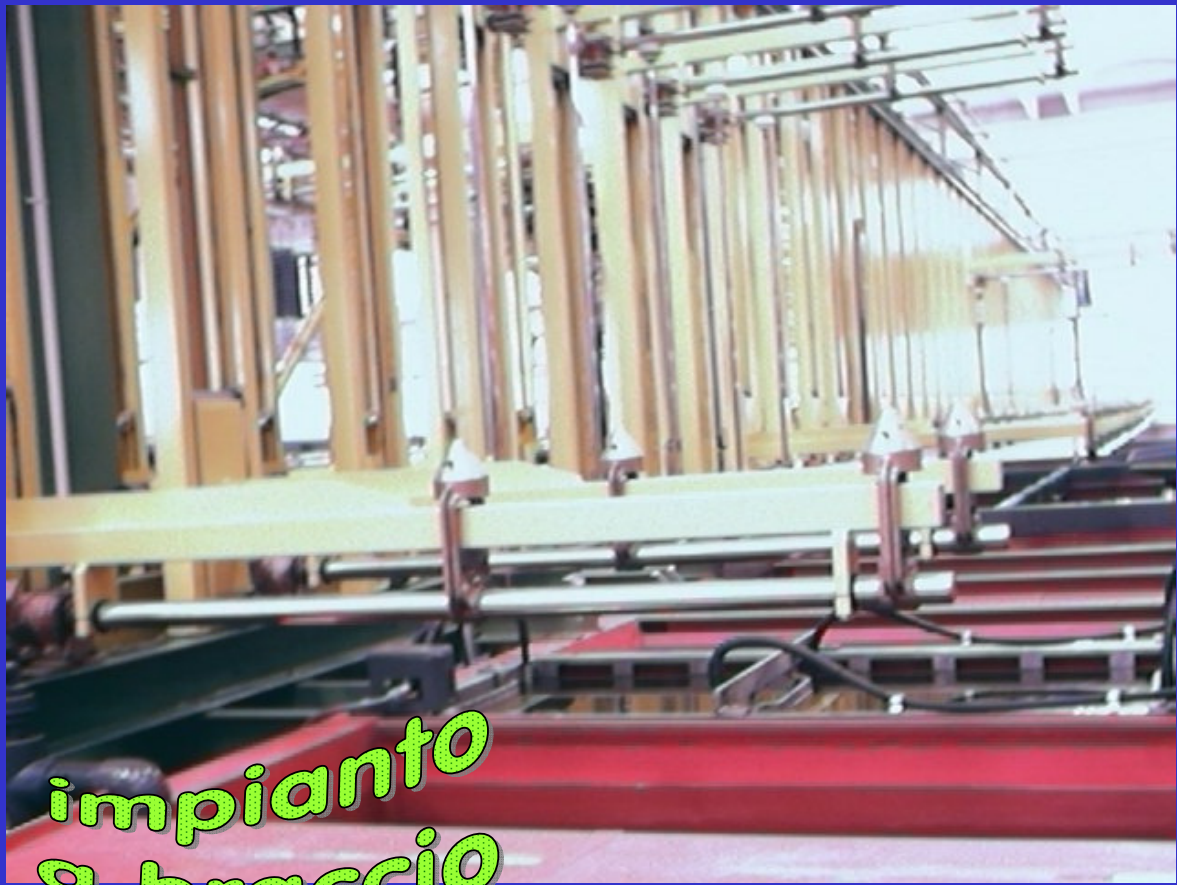


- 1 interruttore generale
- 2 esclusione pompa dosatrice
- 3 set dosaggio o allarmi
- 4 taratura zero pH 7
- 5 taratura guadagno pH 4

- 6 display
- 7 impostazione temperatura
- 8 impostazione set point
- 9 LED indicatori







**impianto  
a braccio**

29



**impianto  
a braccio**

30





raddrizzatore  
a impulsi  
per doratura  
plastica

31



impianto  
a braccio

32





**impianto  
a braccio**

33



**impianto  
due telai  
a braccio**

34





**impianto  
due telai  
a braccio**

35



**impianto  
per rubinetteria**

36





 preparazione



 deposizione



 Ni electroless





*Giorgio E. Krüger*

# Preparazione ai trattamenti galvanici

tutto sugli ultrasuoni  
i cicli di trattamento in linea  
gli impianti di lavaggio fuori linea  
impiego degli ultrasuoni

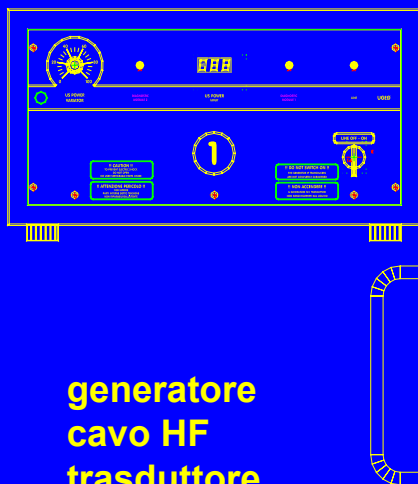
*gli ultrasuoni*  
sono onde planari  
di compressione e decompressione  
a 20 - 60 KHz

*in un liquido provocano,  
in ordine cronologico, i  
seguenti effetti*

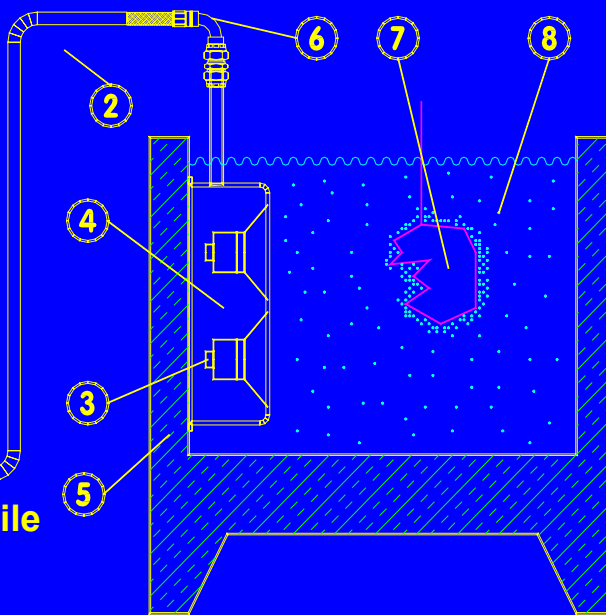
degasificazione  
aumento capillarità  
bolle di cavitazione che implodono  
di preferenza intorno alle  
discontinuità con pressioni di  
~1000Atm



## componenti & nomenclatura



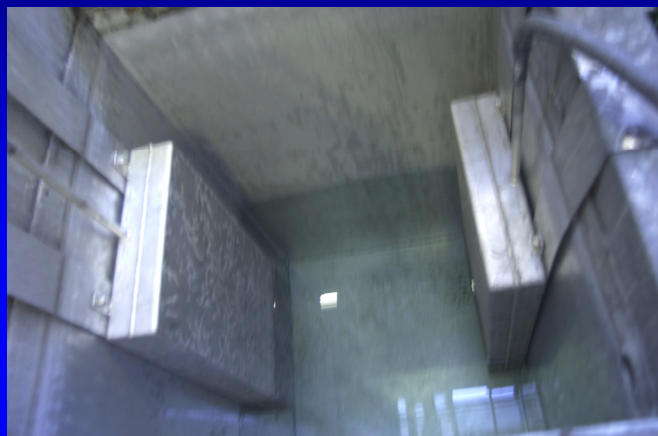
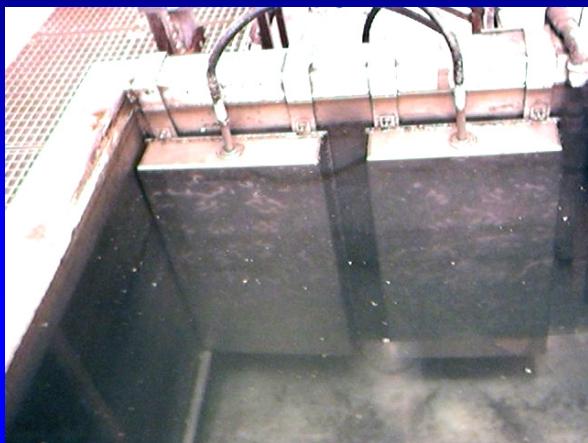
- 1 generatore
- 2 cavo HF
- 3 trasduttore
- 4 unità radiante immergibile
- 5 vasca di lavaggio
- 7 oggetto da lavare
- 8 bolle di cavitazione



gck

3

## unità radiante immergibile



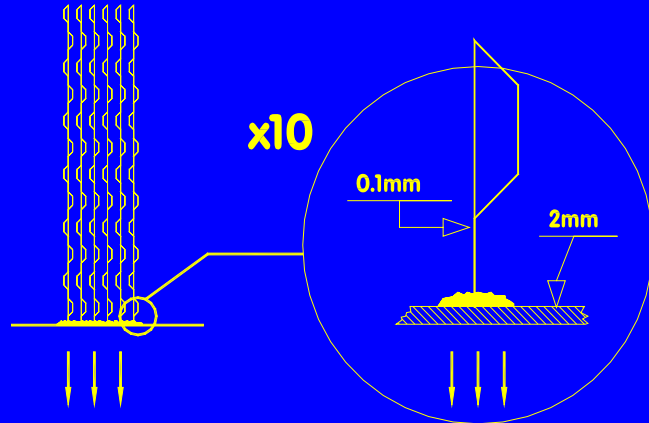
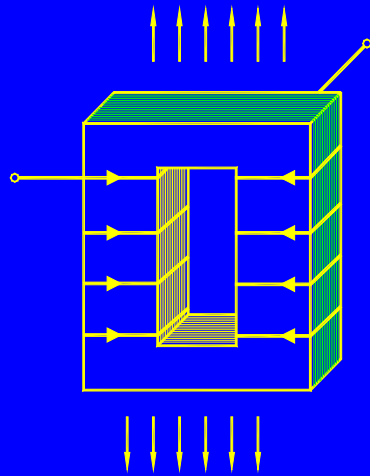
**immersibile perché:**  
più pratica,  
facilmente sostituibile,  
spostabile in altra  
vasca

**costruzione:**  
AISI 316  
saldata a TIG  
controllata

gck

4

## trasduttori magnetostrittivi



### vantaggi

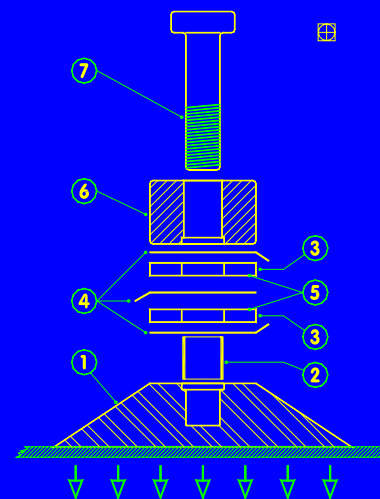
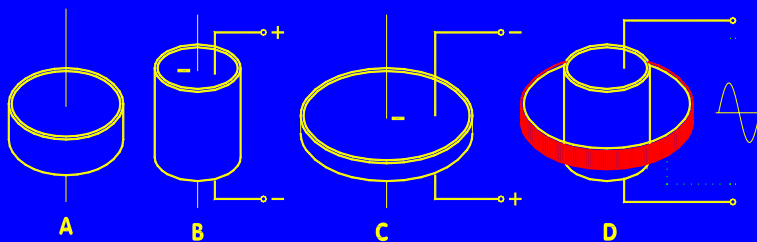
facili da produrre  
economici  
facilmente pilotabili

### svantaggi

efficienza ~ 60%  
disuniformità di radiazione  
solo frequenze basse < 21 KHz  
non consentono modulazione  
incollaggio fragile

gck

## trasduttori piezoelettrici



### vantaggi

efficienza > 90%  
ampio spettro di frequenza, 20 – 100  
KHz, che dipende dalle  
dimensioni fisiche progettuali  
radiazione uniforme  
costruzione molto robusta  
molto affidabili vita > 10 anni

### svantaggi

progettazione critica  
costruzione molto precisa  
picco di risonanza stretto  
difficili da pilotare  
generatore più complesso

gck

# generatori elettronici

**motoalternatore 1955**

**valvole 1965**

**SCR 1975**

**transistors 1980**

**MosFet 1995**

**digbt 2000**



trasforma la frequenza di rete, 50 Hz, in alta frequenza, 25 o 40 KHz, per alimentare il trasduttore

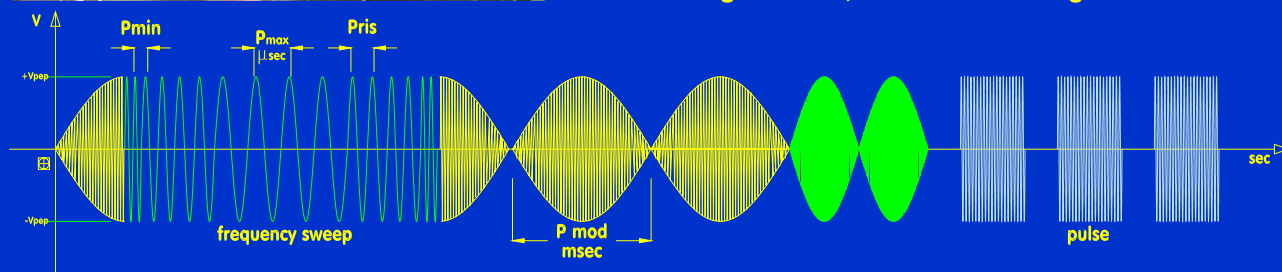
deve inseguire automaticamente la frequenza di risonanza del trasduttore che varia al variare delle condizioni di carico della vasca

deve fornire un'onda d'uscita modulata per migliorare la distribuzione della cavitazione nel liquido ed evitare la formazione di onde stazionarie

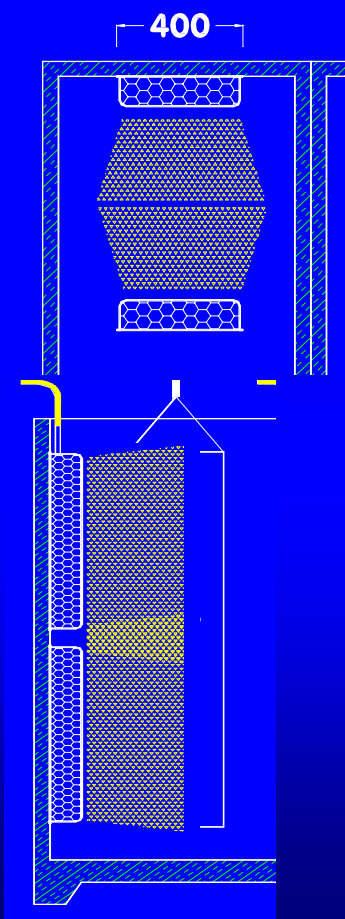
deve essere protetto per interruzioni e corto circuito

deve avere un variatore e un indicatore di potenza

indispensabile, specialmente in impianti con molti generatori, un sistema di diagnosi

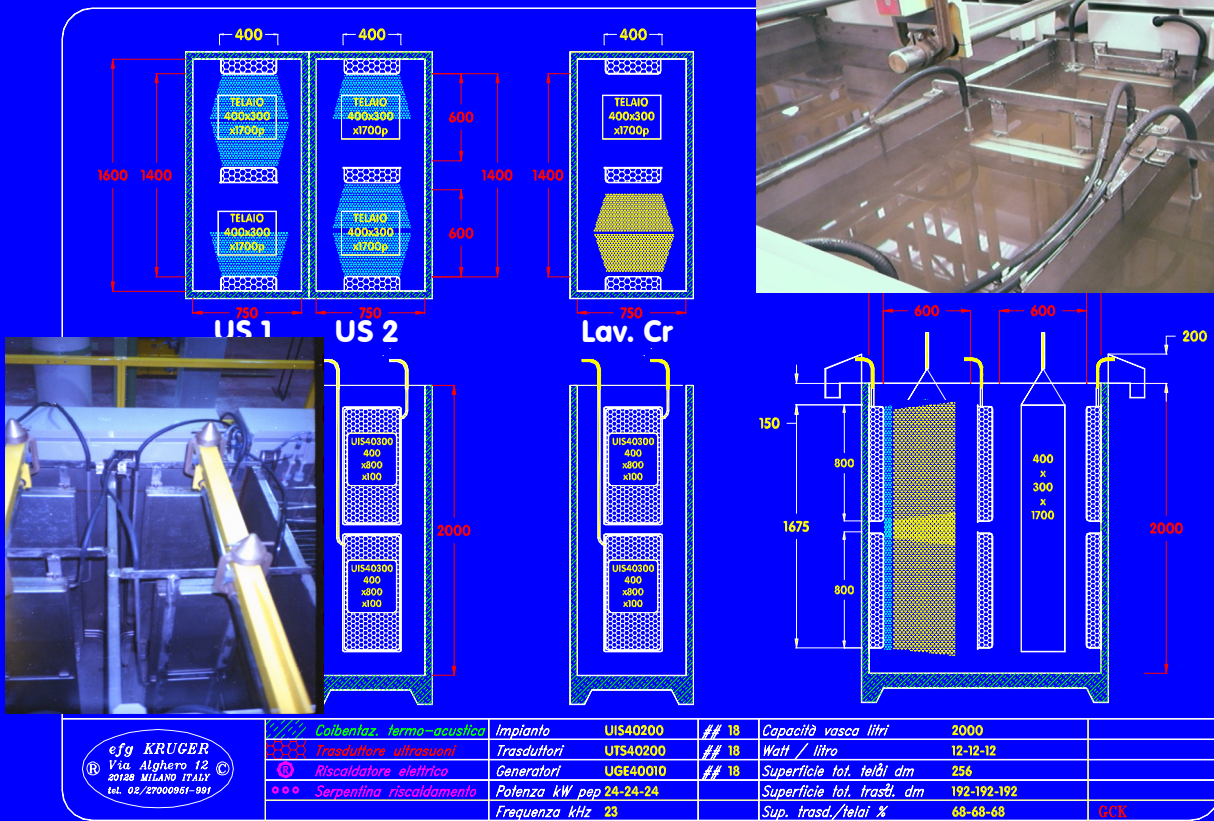


## dimensionamento e disposizione dell' impianto

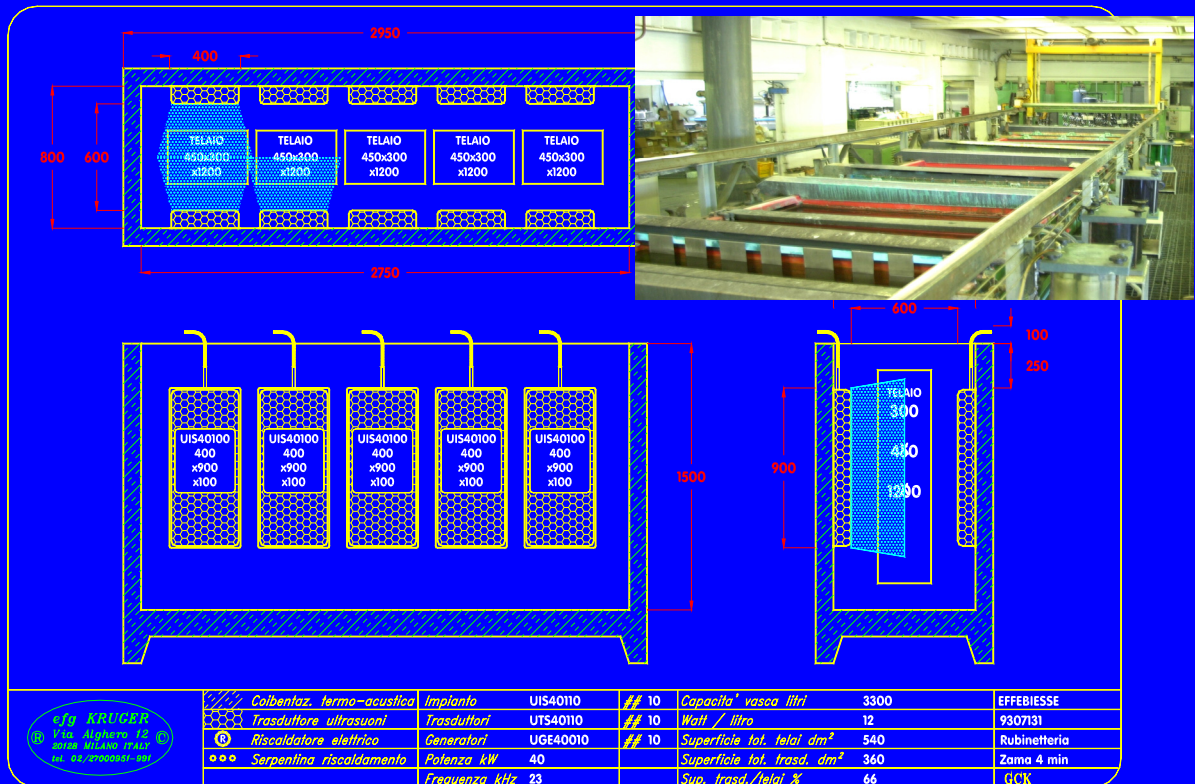


- le onde si propagano in maniera rettilinea, con angolo d'apertura molto piccolo
- la superficie dei trasduttori deve essere paragonabile alla superficie da lavare
- si possono disporre i trasduttori sul fondo solo in vasche poco profonde
- in vasche profonde trasduttori solo sulle pareti
- per pezzi molto inquinati lasciare libero il fondo per l'accumulo dell'inquinante
- assorbimento del liquido con legge quadratica: al doppio della distanza 1/4 della potenza
- in vasche strette, con tempi abbastanza lunghi e pezzi non molto inquinati, si può lavare da una sola parte
- molto meglio lavare da ambedue le parti del telaio

# dimensionamento impianto a due telai per braccio

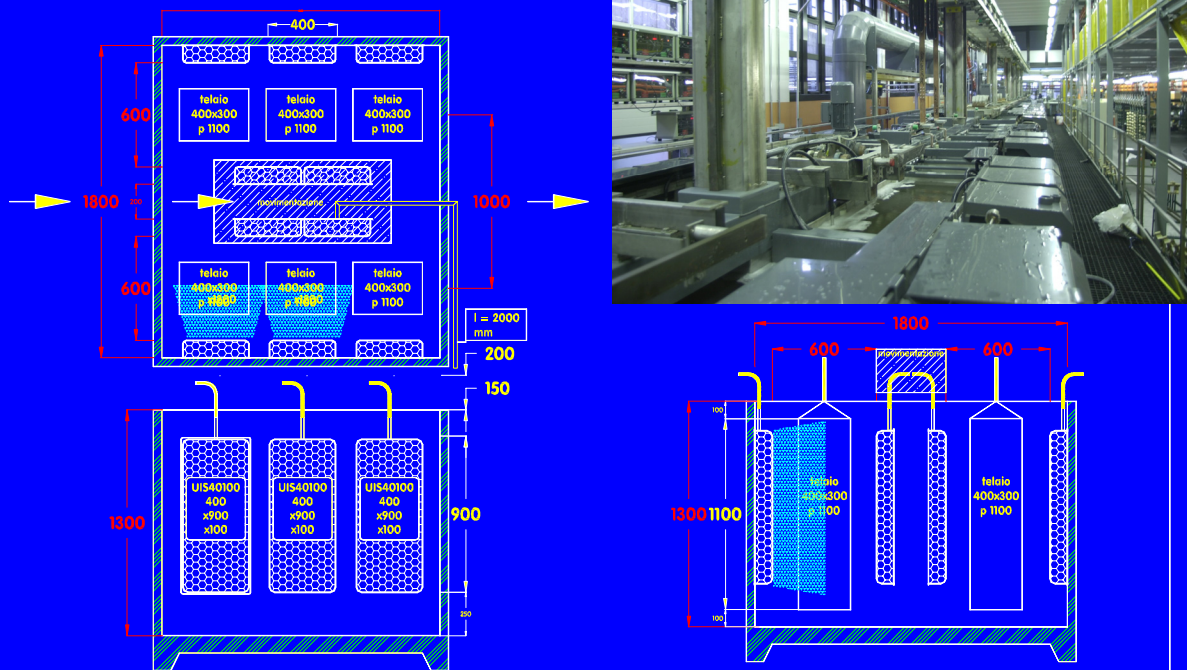


# dimensionamento impianto a carro





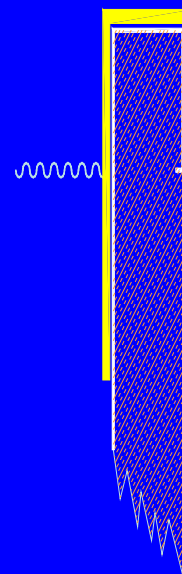
## dimensionamento impianto vline doppio



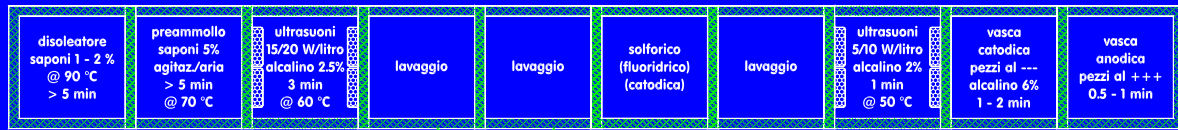
<p>                     s/fv KRUCER                      Via Alpino 12                      20138 MILANO ITALY                      tel. 02/3700051-501                 </p>	Coibentaz. termo-acustica	Impianto	UI40100	## 10	Capacità vasca litri	3500	Ottone & Meloda
	Produttore ultrasuoni	Trasduttori	UTS40100	## 10	Watt / litro	14,2	
	Riscaldatore elettrica	Generatori	UGE50010	## 10	Superficie tot. telai dm <sup>2</sup>	480	
	Serpentina riscaldamento	Potenza kW	50		Superficie tot. trasd. dm <sup>2</sup>	360	
		Frequenza kHz	23		Sup. trasd./telai %	75	

## Costruzione della vasca di lavaggio

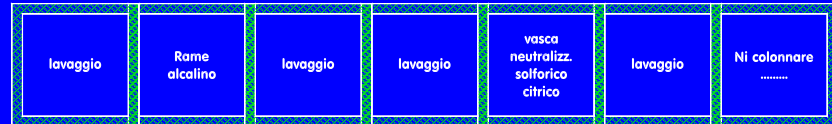
- interno interamente di acciaio inossidabile AISI 304, o meglio di AISI 316 di opportuno spessore
- fondo inclinato verso il pozzetto di scarico
- resistenze o serpentine AISI316
- coibentazione termo-acustica di poliuretano espanso ad alta densità, spessore 60-100 mm, anche sul fondo della vasca
- pannellature esterne, bordo vasca e coperchio di polipropilene
- eventuale movimentazione lenta
- termoregolatore elettronico



# Linea trattamento ferro



**ferro  
+ Cu Ni Cr**



**ferro  
+ Ni Cr**



gck

13

# Linea trattamento ottone



**ottone  
+ Ni Cr**



gck

14

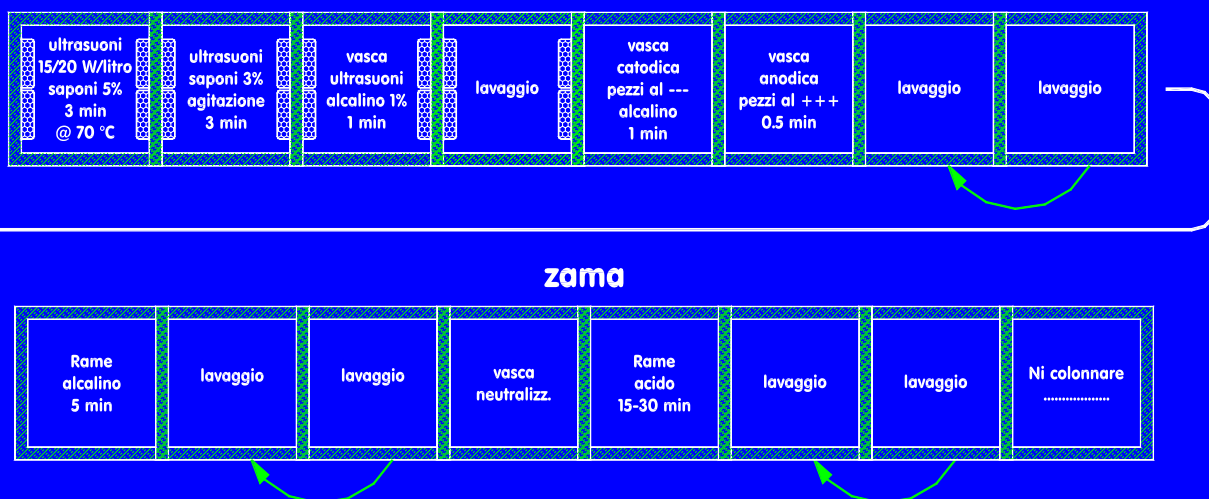
## Linea trattamento alluminio e sue leghe



gck

15

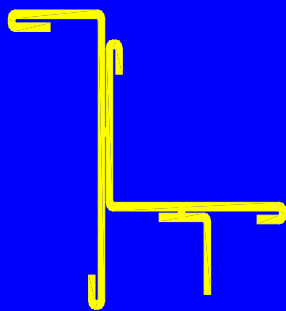
## Linea trattamento zama + Ni + ...



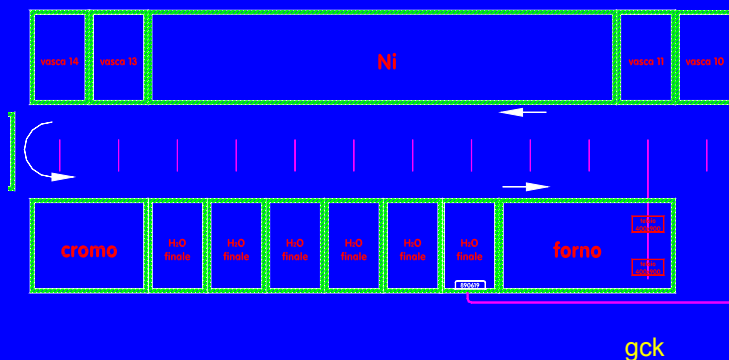
gck

16

## Gli ultrasuoni nei risciacqui finali



- uno dei primi effetti degli ultrasuoni è di aumentare la capillarità
- questo fenomeno favorisce il ricambio del liquido in zone di difficile accesso, permettendo la fuoriuscita dei liquidi trascinati dai bagni precedenti che vengono sostituiti con l'acqua di risciacquo
- normalmente gli ultrasuoni vengono posizionati nell'ultimo, o meglio ancora nel penultimo, risciacquo precedente all'asciugatura

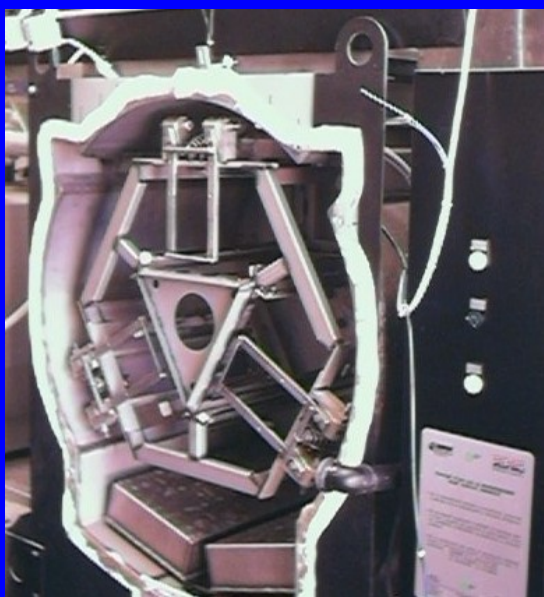


- zincatura di lamierati scatolati e puntati
- cromatura di flessibili, rubinetteria e accessori bagno
- nichelatura electroless di particolari con fori ciechi

gck

17

## impianti di lavaggio fuori linea a solvente



- utili specialmente nei lavaggi finali quando serve il pezzo asciutto
- quasi mai indispensabili prima di un ciclo galvanico
- in estinzione gli impianti aperti
- impianti ermetici per minuterie
- impianti sotto vuoto per migliorare l'estrazione del solvente prima dello scarico dei pezzi

**riduzione dei solventi**

gck

18

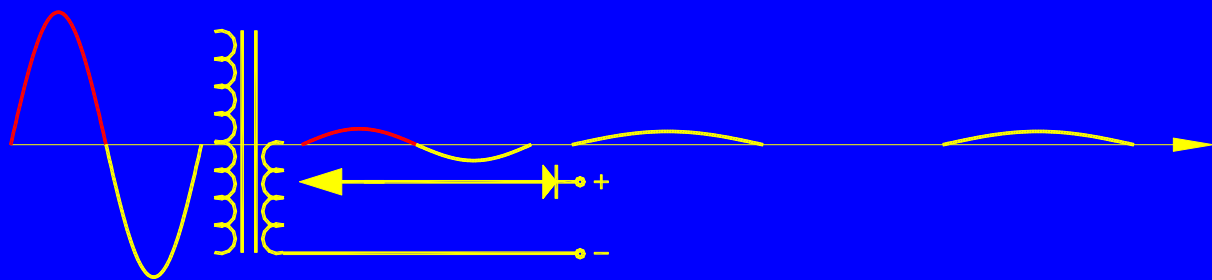




**!! Grazie !!**

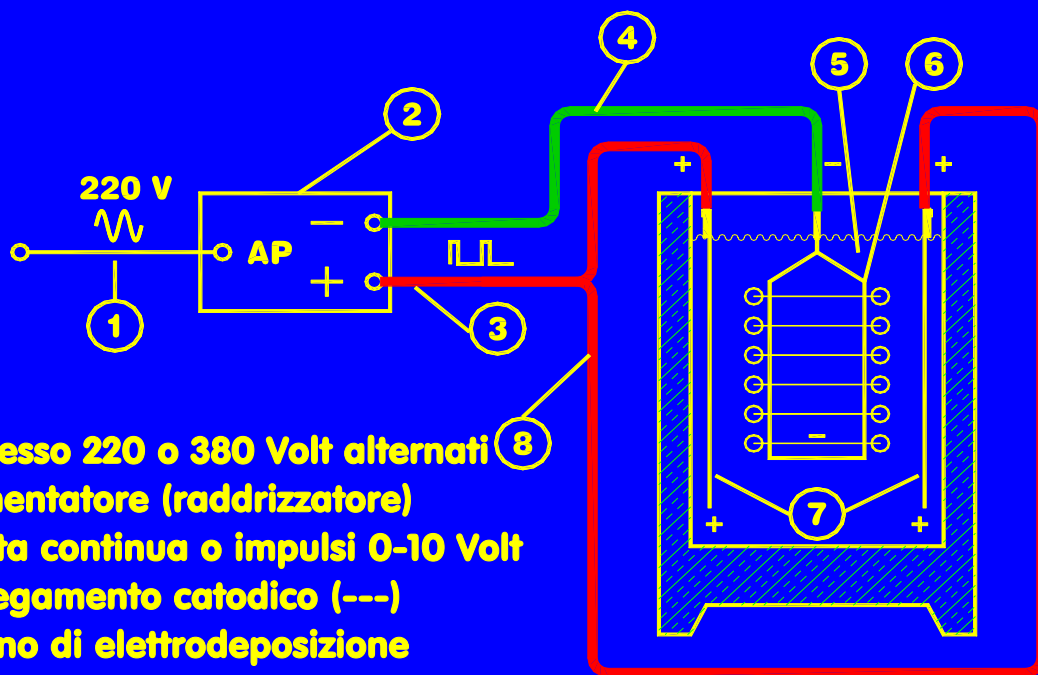
*Giorgio Krüger*

# Raddrizzatori di corrente



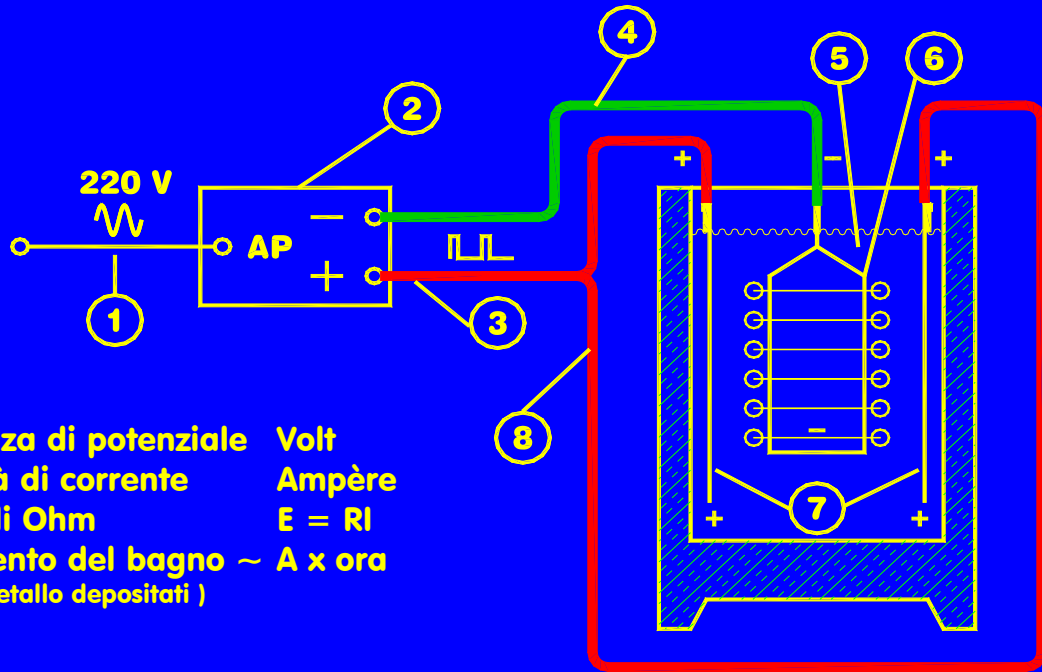
**Giorgio C. Krüger**  
**per corso di base AIFM 1992-2006**

## schema di una cella elettrolitica



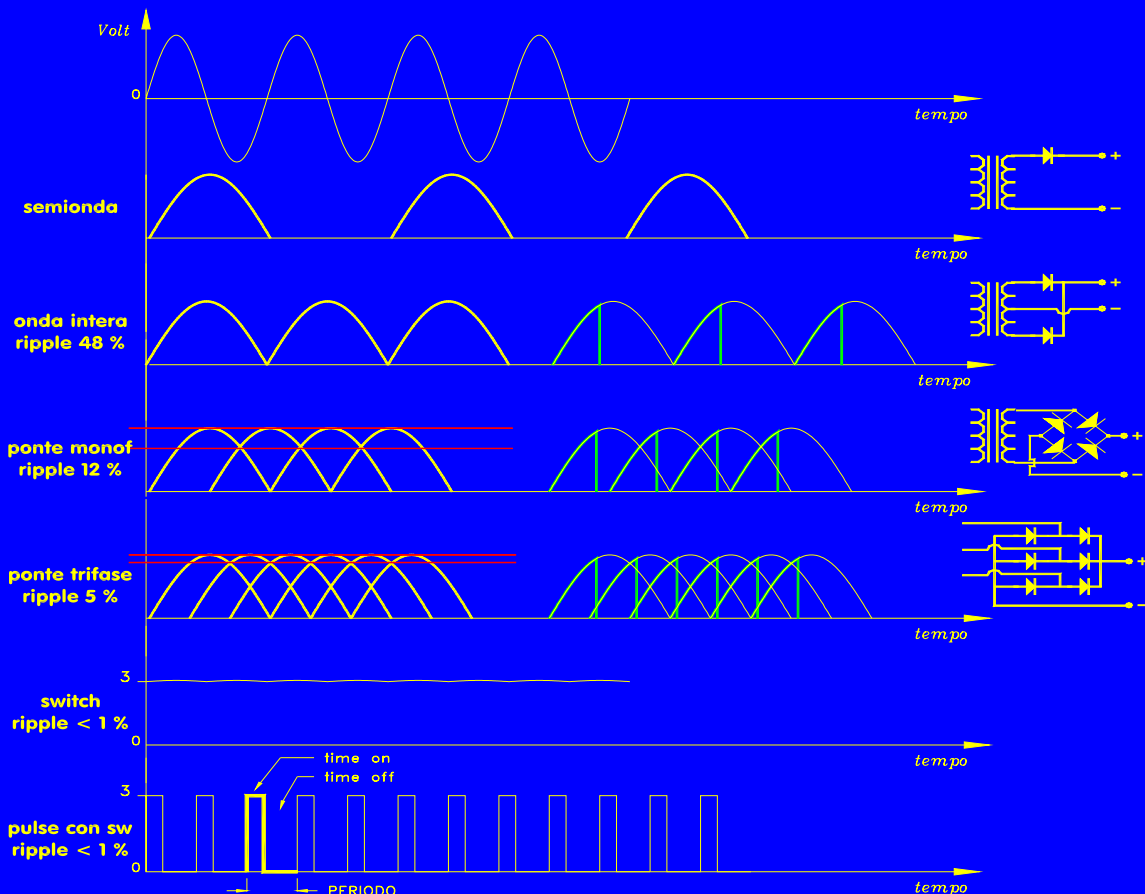
- 1 ingresso 220 o 380 Volt alternati
- 2 alimentatore (raddrizzatore)
- 3 uscita continua o impulsi 0-10 Volt
- 4 collegamento catodico (---)
- 5 bagno di elettrodeposizione
- 6 catodo telaio con pezzi da trattare
- 7 anodi (+++)
- 8 collegamento anodico

# grandezze elettriche coinvolte



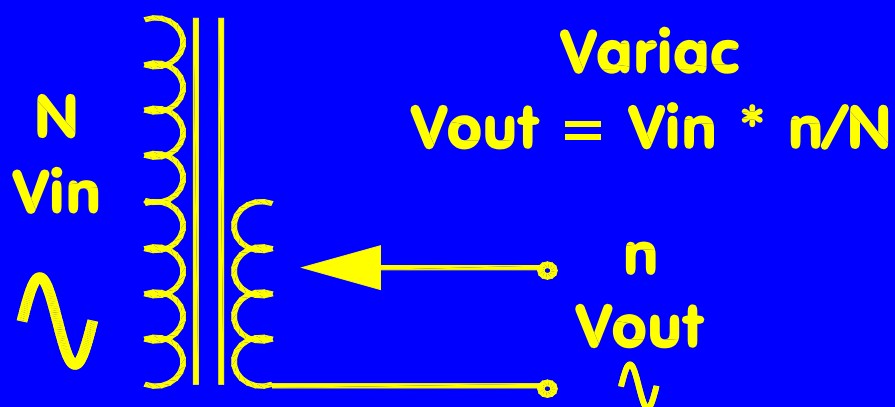
differenza di potenziale Volt  
 quantità di corrente Ampère  
 Legge di Ohm  $E = RI$   
 rendimento del bagno  $\sim A \times \text{ora}$   
 ( mg di metallo depositati )

stabilizzazione di tensione  
 oppure  
 stabilizzazione di corrente



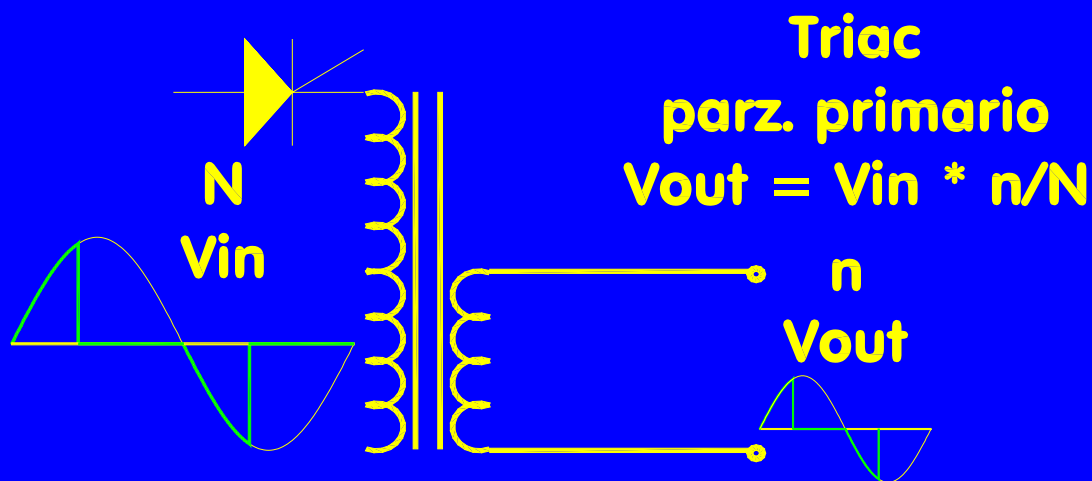
## ondulazione residua (ripple)

## le diverse tecnologie di regolazione



**Variatione della tensione  
sul secondario**

## le diverse tecnologie di regolazione



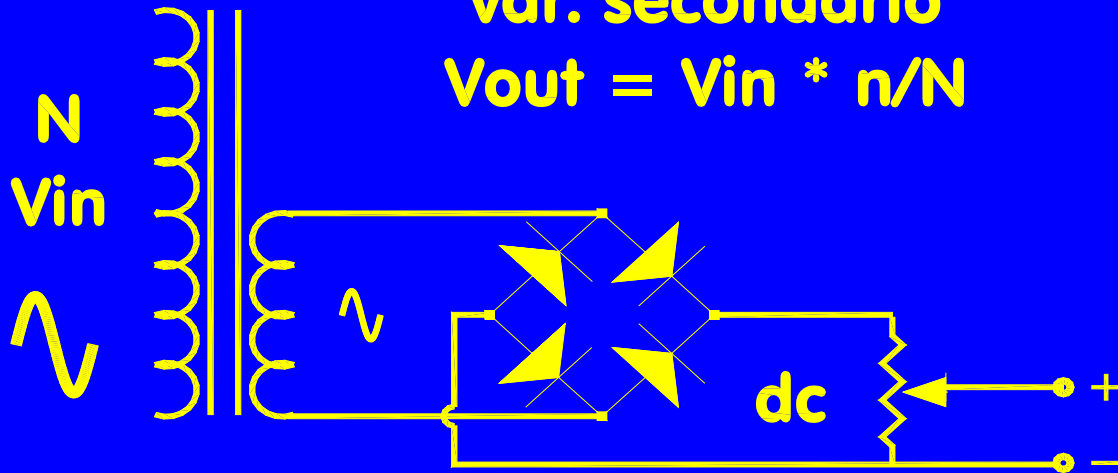
**Parzializzazione della tensione  
sul primario**



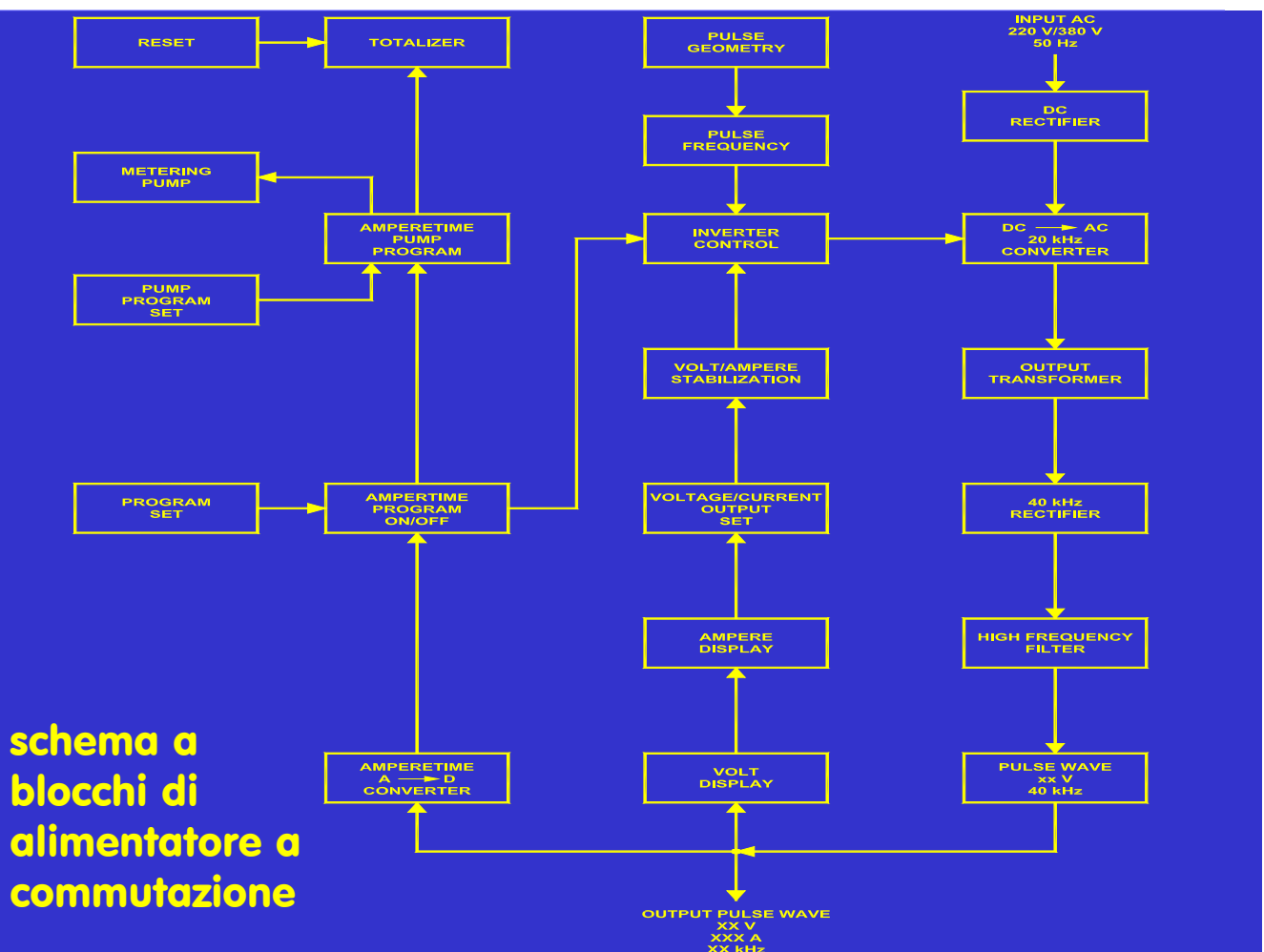
# le diverse tecnologie di regolazione

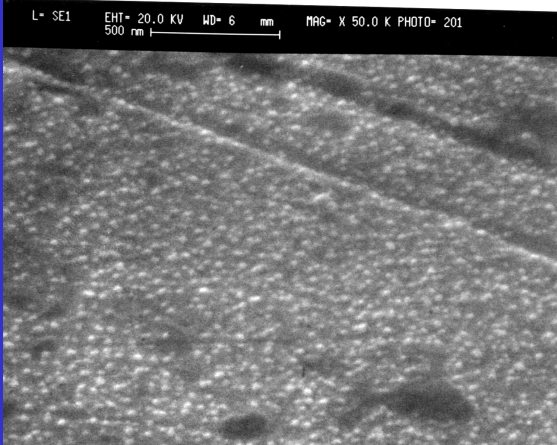
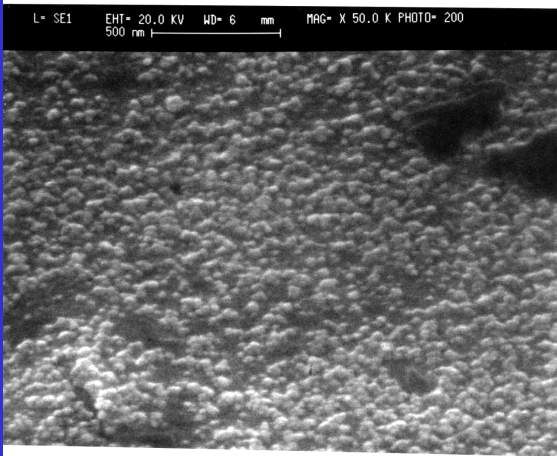
var. secondario

$$V_{out} = V_{in} * n/N$$



## Variazione della tensione sul secondario





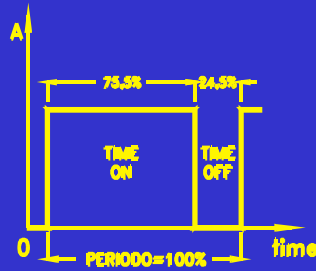
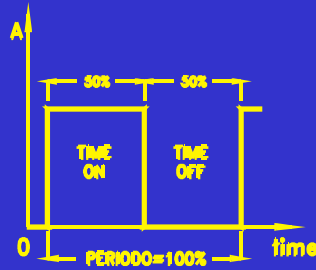
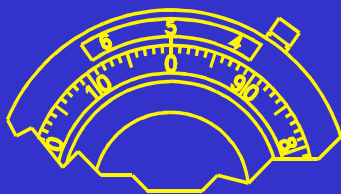
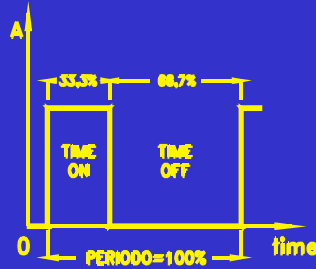
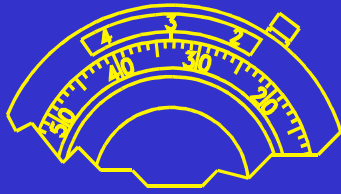
# pulse plating

permette di distruggere  
il doppio strato - polarizzazione -  
che si forma intorno al pezzo

deposito più uniforme  
grana più fine  
minore porosità  
maggiore durezza

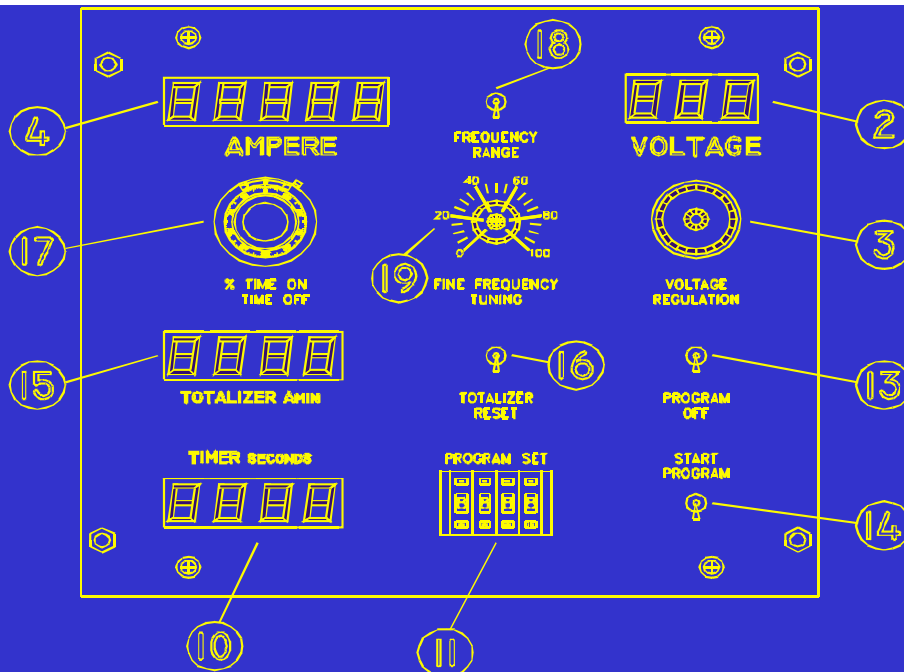
colore più uniforme  
anche a bassi spessori

utile sia in deposizioni statiche  
che a rotobarile

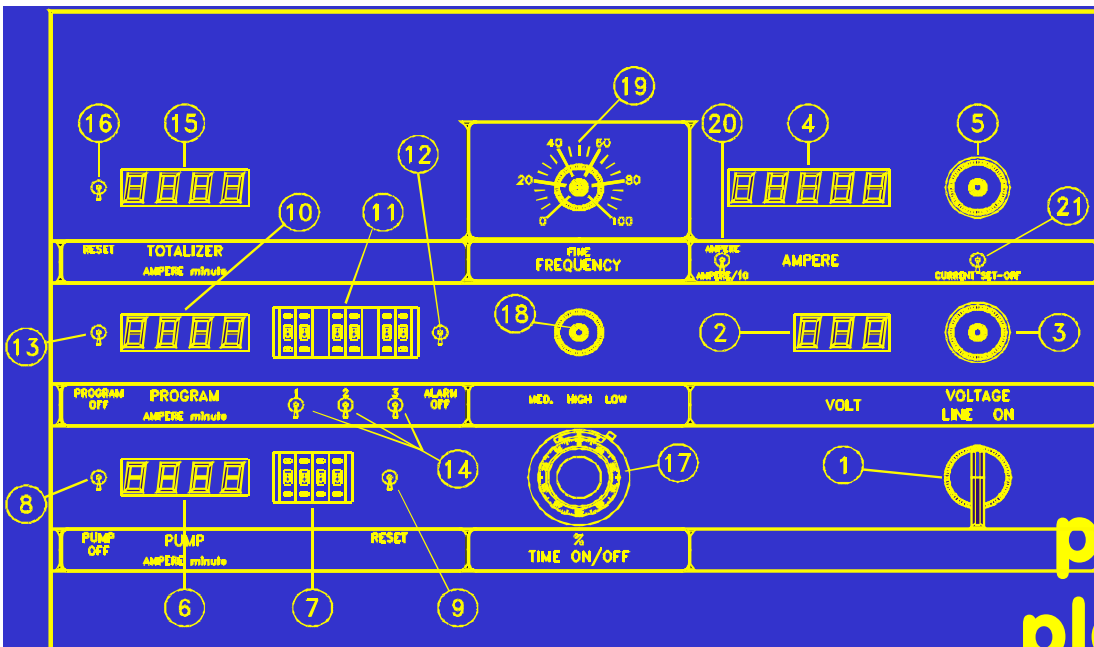


regolazione  
della forma  
dell'impulso

# pulse plating



- |    |                            |    |                                                 |
|----|----------------------------|----|-------------------------------------------------|
| 1  | Interruttore generale      | 11 | Programmatore spegnimento                       |
| 2  | Display della tensione     | 12 | Esclusione allarme                              |
| 3  | Regolazione di tensione    | 13 | Esclusione programmatore                        |
| 4  | Display della corrente     | 14 | Partenza programma                              |
| 5  | Non presente               | 15 | Display totalizzatore                           |
| 6  | Display pompa dosatrice    | 16 | Reset totalizzatore                             |
| 7  | Programmatore pompa dos.   | 17 | Regolazione forma impulso: time on / time off % |
| 8  | Esclusione pompa dosatrice | 18 | Regolazione range frequenza                     |
| 9  | Reset pompa dosatrice      | 19 | Regolazione fine frequenza                      |
| 10 | Display programmatore      |    |                                                 |



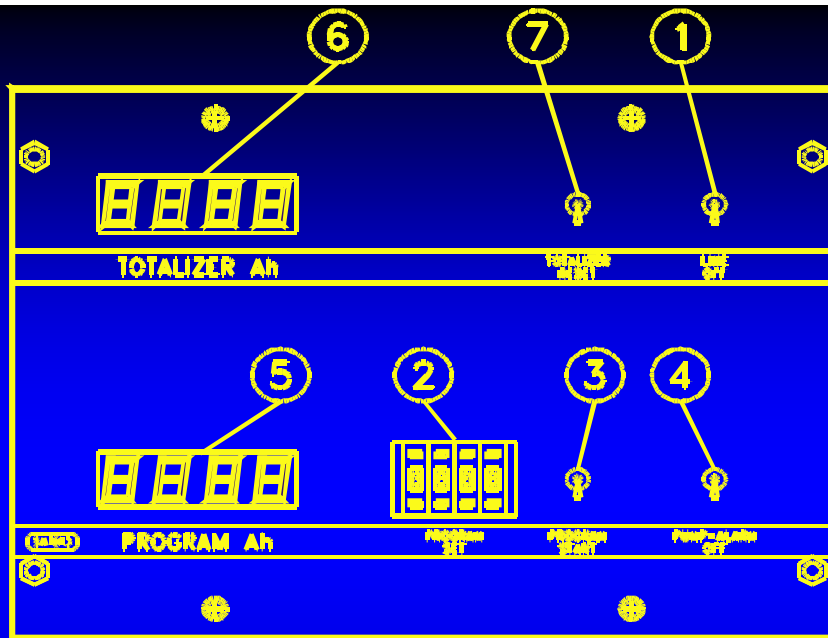
# pulse plating

- |    |                            |    |                                                 |
|----|----------------------------|----|-------------------------------------------------|
| 1  | Interruttore generale      | 11 | Programmatore spegnimento                       |
| 2  | Display della tensione     | 12 | Esclusione allarme                              |
| 3  | Regolazione di tensione    | 13 | Esclusione programmatore                        |
| 4  | Display della corrente     | 14 | Partenza programma                              |
| 5  | Non presente               | 15 | Display totalizzatore                           |
| 6  | Display pompa dosatrice    | 16 | Reset totalizzatore                             |
| 7  | Programmatore pompa dos.   | 17 | Regolazione forma impulso: time on / time off % |
| 8  | Esclusione pompa dosatrice | 18 | Regolazione range frequenza                     |
| 9  | Reset pompa dosatrice      | 19 | Regolazione fine frequenza                      |
| 10 | Display programmatore      |    |                                                 |





## pulse plating



1. on/off generale
2. programmatore Ah
3. partenza ciclo
4. esclusione pompa
5. display programma
6. display totale
7. reset totale

**misurano Ampère x unità di tempo**

**1 Coulomb = 1 Ampère x secondo**

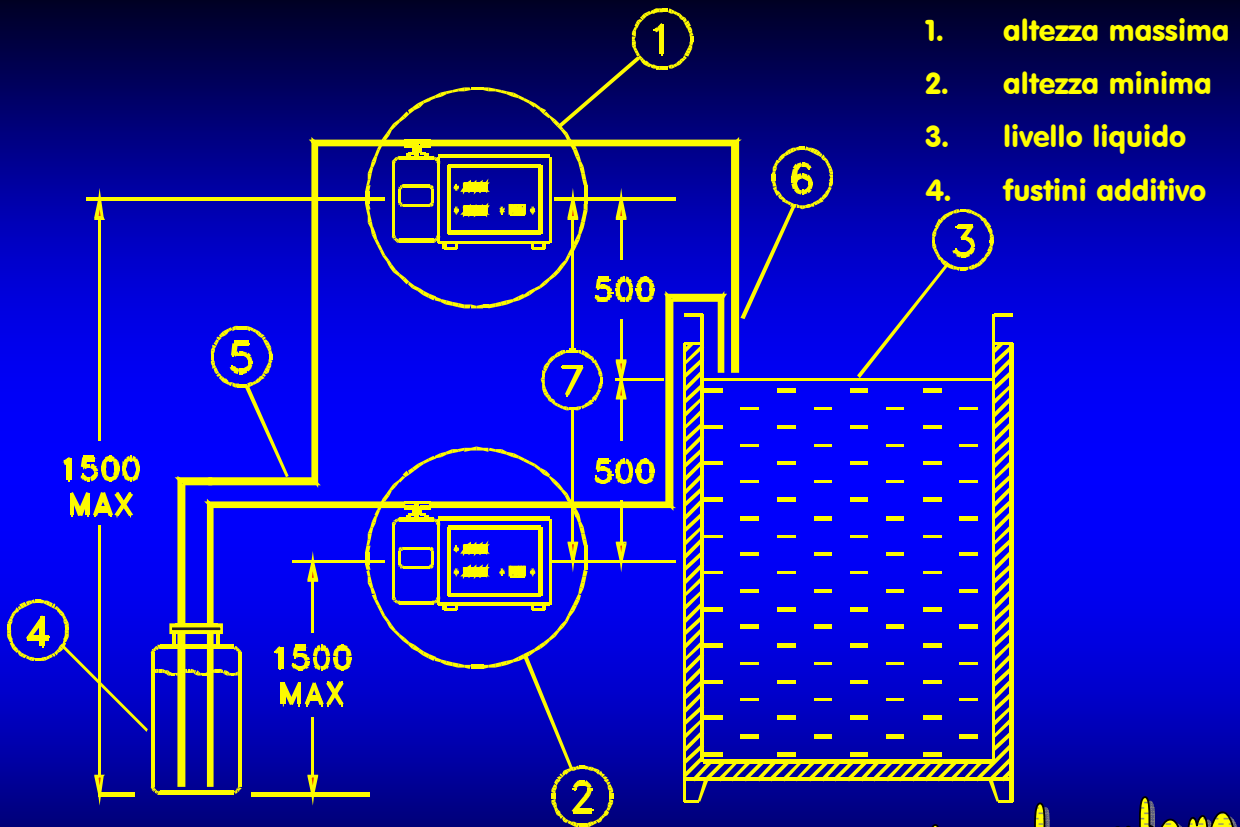
grandezza proporzionale  
al consumo di additivi (brillantanti) e alla quantità di metallo depositata

4000 cc ogni 10.000 Ah  
4000 cc : 50 cc = 80 pompate  
10000 : 80 = 125 Ah

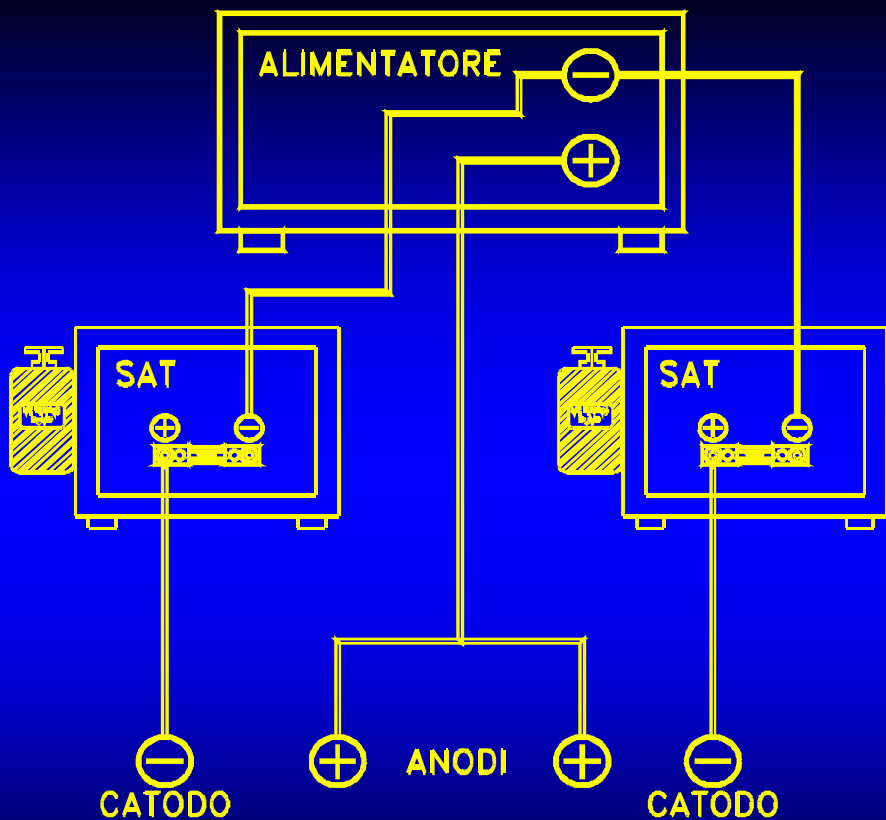
imposto 125 Ah ⇒ 50 cc ogni 125 Ah ⇒ 4000 cc ogni 10.000 Ah

*gli Ampèreametri*

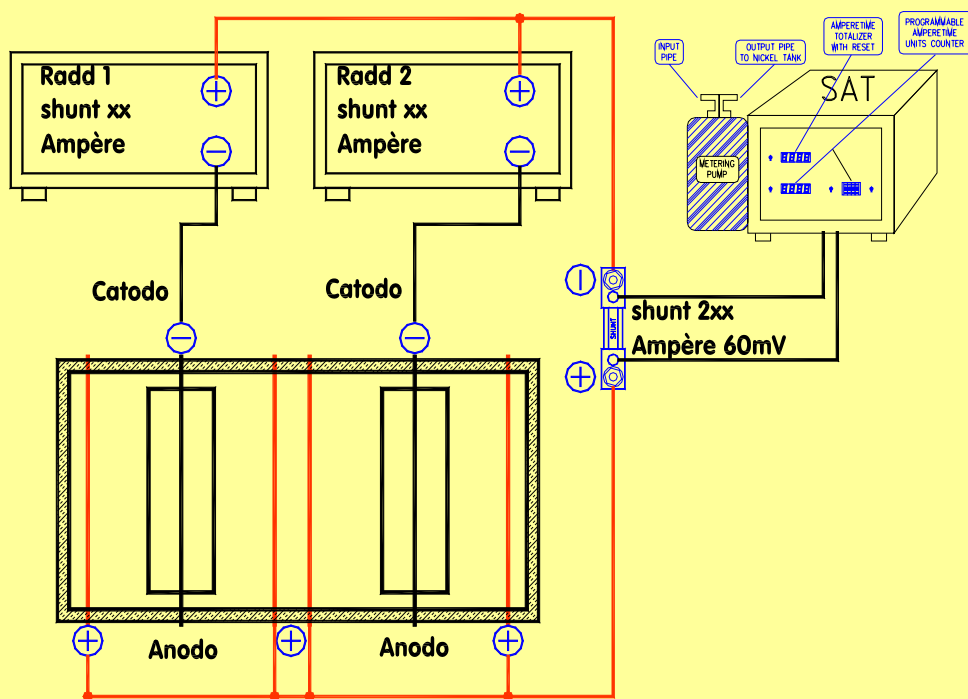




installazione di un Ampereometro dosatore



installazione di un Ampereometro dosatore



## installazione di un Ampèreorametro dosatore

Preparare un fustino da 5 litri totali con 100 g di sali d'oro e additivi vari  
tarare la pompa dosatrice a 50 cc per pompata

$$5000 \text{ cc} : 50 \text{ cc} = 100 \text{ pompate}$$

$$100\text{g} : 100 \text{ pompate} = 1 \text{ g per pompata}$$

$$1\text{g} = 1000 \text{ mg di sali Au} = 680\text{mg Au metallo}$$

Se il rendimento del bagno è 20 mg Au / Amin in quanti Amin consumerò una pompata ?

$$680 \text{ mg} : 20 \text{ mg} = 34 \text{ Amin}$$

Regolare quindi l'apparecchio per dosare ogni 34 Amin e prelevare un campione del bagno prima di iniziare a lavorare. Far passare nel bagno qualche migliaio di Ampèreminuto, per esempio 5.100, e fare un nuovo prelievo da analizzare.

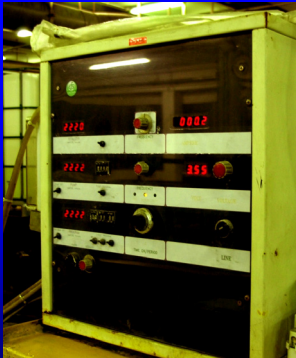
Ammettiamo per esempio che il primo prelievo abbia dato un contenuto di Au metallo in vasca di

$$0,2 \text{ g/litro Au} = 200 \text{ mg/litro Au}$$

## dosatore in bagno di doratura

Come sarà la seconda analisi ?  
Ci sono tre possibilità:

1. il contenuto di Au metallo è ancora 200 mg/litro: la taratura di 34 Ampèreminuto è esatta e non va più ritoccata;
2. il contenuto di Au metallo in vasca è diminuito, per esempio sia di 150 mg/litro
3. il contenuto di Au metallo in vasca è aumentato, per esempio sia di 240 mg/litro



## dosatore in bagno di doratura

Ammettiamo che la vasca abbia una capacità di 1.000 litri e che l'analisi abbia dato un contenuto di 150 mg/litro, allora il metallo consumato in vasca sarà:

$$(200 \text{ mg/l} - 150 \text{ mg/l}) \cdot 1000 \text{ litri} = 50 \text{ g}$$

Il metallo che è stato dosato in vasca dall'apparecchio è:

$$5.100 \text{ Amin totali} : 34 \text{ Amin programmati} = 150 \text{ pompate} \\ 150 \text{ pompate} \cdot 680 \text{ mg per pompata} = 102 \text{ g}$$

Il metallo totale consumato dal bagno sarà

$$102 \text{ g dosati} + 50 \text{ g consumati in vasca} = 152 \text{ g totali}$$

Questo vuol dire che il bagno in 5.100 Ampèreminuti ha depositato 152 g di Au metallo quindi la reale efficienza del bagno sarà

$$152 \text{ g} : 5.100 \text{ Amin} = 30 \text{ mg per Ampèreminuto}$$

quindi in base il nuovo valore da impostare sul programmatore sarà

$$680 \text{ mg (contenuto di una pompata)} : 30 \text{ mg} = 23 \text{ Ampèreminuto}$$

A questo punto il dosatore farà una pompata di 50 cc contenente 1 g di sali d'oro pari a 680 mg di Au metallo ogni 23 Amin, quindi 222 pompate in 5.100 Ampèreminuto per un totale di 222 g di sali d'oro pari a 151 g di metallo.

se l'analisi ha dato un contenuto di 240 mg/litro; allora il metallo aumentato in vasca sarà:

$$(240 \text{ mg/l} - 200 \text{ mg/l}) \cdot 1.000 \text{ litri} = 40 \text{ g}$$

Il metallo che è stato dosato in vasca dall'apparecchio è

$$5.100 \text{ Amin totali} : 34 \text{ Amin programmati} = 150 \text{ pompate}$$

$$150 \text{ pompate} \times 680 \text{ mg/pompate} = 102 \text{ g}$$

Il metallo totale consumato dal bagno sarà

$$102 \text{ g dosati} - 40 \text{ g aumentati in vasca} = 62 \text{ g totali}$$

Questo vuol dire che il bagno in 5.100 Amin ha depositato 62 g di Au metallo, quindi la reale efficienza del bagno sarà

$$62 \text{ g} : 5.100 \text{ Amin} = 12,2 \text{ mg per Ampèreminuto}$$

quindi il nuovo valore da impostare sul programmatore |2| sarà

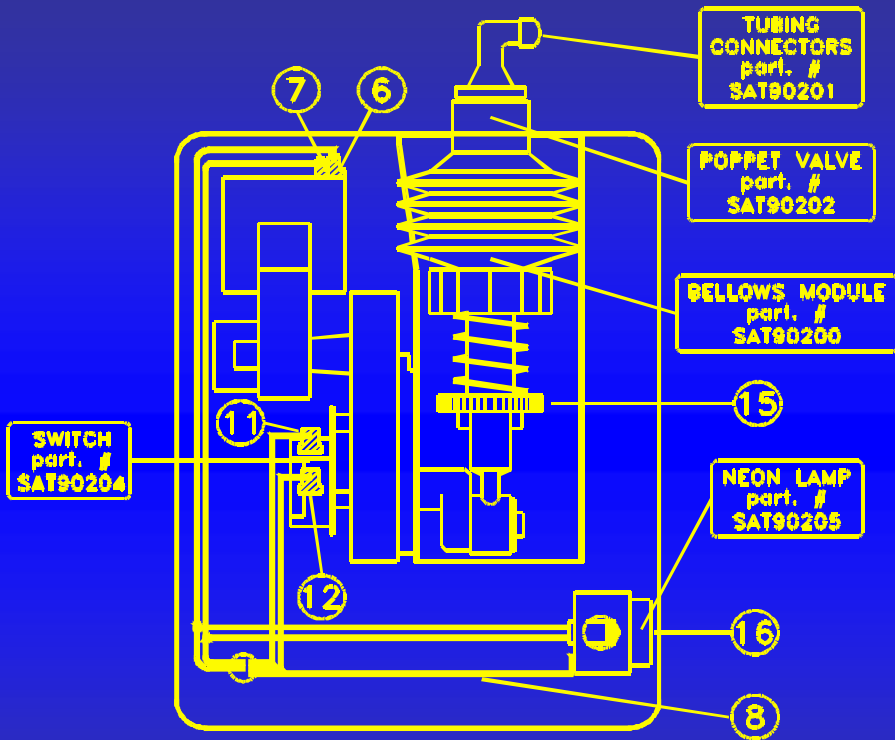
$$680 \text{ mg (contenuto di una pompata)} : 12,2 = 57 \text{ Ampèreminuti}$$

A questo punto il dosatore farà una pompata di 50 cc, contenente 1 g di sali d'oro pari a 680 mg di Au metallo ogni 57 Ampèreminuti, quindi 90 pompate in 5.100 Ampèreminuti per un totale di 90 grammi di sali d'oro, pari a 62 grammi di Au metallo.

APPARECCHIO	AMPÈREORAMETRO	LINEA	
MODELLO	SAT01320	VASCA	
COSTRUTTORE	EFG KRÜGER	MATRICOLA	
INDIRIZZO	VIA ALGHERO 12 - MILANO ITALY	Comp. dosato	
TEL / FAX	**39 02 27000951 / 27000991	Dosaggio cc/Aora	
FORNITORE BAGNO		Sigla Bagno	
INDIRIZZO		analisi ogni A ora	
tel / fax			
data	Aora / min	operatore	note
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

**Ampèreora bagno**





usa una resistenza (shunt) come sonda di misura molto affidabile deriva trascurabile

controllare le valvole e la portata della pompa dosatrice

regolare la portata agendo sul vitone (15)

# taratura Ampèreametro

APPARECCHIO	AMPÈREAMETRO				LINEA	
MODELLO	SAT01320				VASCA	
COSTRUTTORE	EFG KRÜGER				MATRICOLA	
INDIRIZZO	VIA ALGHERO 12 - MILANO ITALY				ANNO COSTRUZ.	
TEL. / FAX	**39 02 27000951 / 27000991				FREQUENZA DI TARATURA	MENSILE
DATA	A ora		cc dosatore		OPERATORE	NOTE
	VALORE MIS.	VALORE IMPOST.	VALORE MIS.	VALORE IMPOST.		

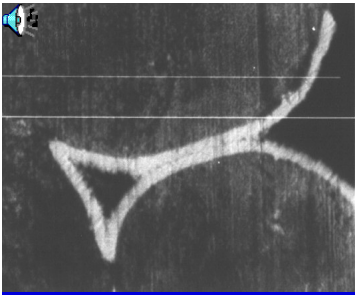
# taratura Ampèreametro

periodicità: 6 - 12 volte/anno



**!! Grazie !!**

*Giorgio Krüger*



*Elena Piazza*

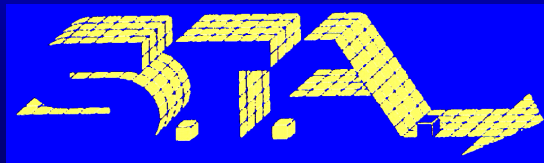


# TECNOLOGIA DEL NICHEL CHIMICO

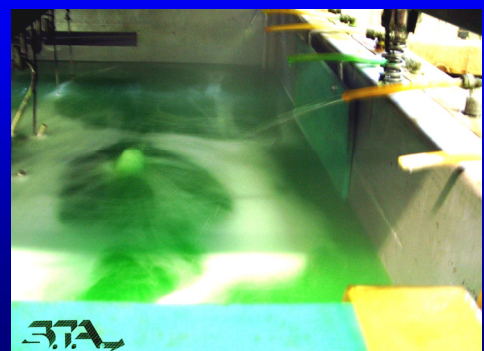
Corso di laurea EFUN – AIFM – Politecnico di Milano

Corso di base per galvanotecnici AIFM

Novembre 1992 - 2006



**Il nichel chimico  
scoperto nel 1845  
1950 processo Kanigen  
1975 Durnicoat e Nibodur  
1980 bagni ad alto fosforo  
rappresenta ora circa il 10% del Ni  
depositato**





# Perché il nichel electroless ?

- utilizzo di materiali non pregiati
- resistenza alla corrosione
- notevole durezza superficiale
- possibilità di spessori elevati fino a 100-150  $\mu$
- precisione del deposito: 2% su 50  $\mu$



*uniformità del deposito*

*assenza dell'effetto punta*

3

## distribuzione dei substrati

- 70% metalli ferrosi
- 20% alluminio e sue leghe
- 6% acciai speciali e inossidabili
- 4% ceramiche e sinterizzati

## Campi di applicazione

- 30% industria automobilistica
- 20% elettronica
- 20% meccanica e petrolifera
- 10% chimica e alimentare
- 10% tessile e stampa
- 10% varia





# caratteristiche identificative dei bagni

- ioni nichel: solfato, cloruro o acetato
- agente riducente: ioni ipofosfito, boroidruro o idrazina
- pH del bagno
- temperatura di deposizione
- acceleranti: fluoborico, ortoborico, borico ...
- stabilizzanti: Pb, Sn, Cd, Mo ...
- complessanti: acido malico, lattico, glicolico ...
- tamponanti: sali di sodio
- regolatori di pH: HCl, solforico, soda, ammoniaca
- agenti bagnanti: tensioattivi ionici e non ionici

5

## Proprietà generali



**Ni Fosforo:** struttura lamellare



**Ni Boro:** struttura dendritica

**aspetto:** rispecchia la superficie sottostante

**spessore =** velocità x tempo [ $\mu/\text{min} \times \text{min}$ ]

misura per pesata, nota la superficie

misura per differenza di spessore

misura per sezione metallografica

misura per retrodiffusione di raggi X

**aderenza**

prova di piegamento

prova di imbutitura

prova mediante lima

6

# Qualità ?



il tipo di substrato  
il ciclo di lavorazione  
il controllo del processo  
il trattamento termico



Ciclo  
↓  
Preparazione  
↓  
deposizione  
↓  
risciacqui  
↓  
cottura

## Fasi del ciclo di lavorazione



pretrattamento  
deposizione  
risciacquo e asciugatura  
trattamento termico



## Preparazione

cicli diversi per i diversi materiali di base  
vasca iniziale di disoleatura con us e separatore  
detergente alcalino forte con us  
risciacqui  
decapaggio acido  
ripetere il ciclo per materiali molto inquinati



Ciclo  
↓  
Preparazione  
↓  
deposizione  
↓  
Risciacqui  
↓  
cottura

risciacqui  
Eventuale sgrassatura anodica  
risciaquo  
risciacquo finale prima di Ni con us  
per aumentare la capillarità

**ciclo**

**ciclo**

# Deposizione

almeno due vasche di deposizione  
una lavora  
una in passivazione  
pronta per eventuali emergenze  
eventuali altre vasche per codepositi

triplo lavaggio finale  
in controcorrente con us  
lavaggio demi  
soffiatura  
asciugatura

trattamento termico  
con monitoraggio di tempi e temperatura



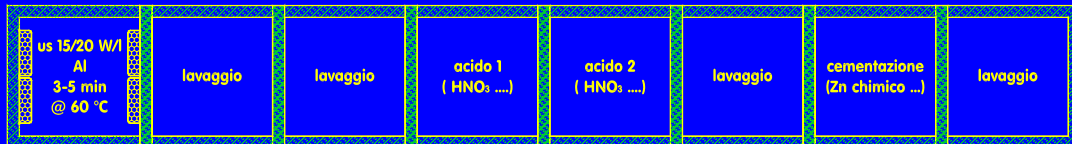
↓  
Preparazione

↓  
Deposizione

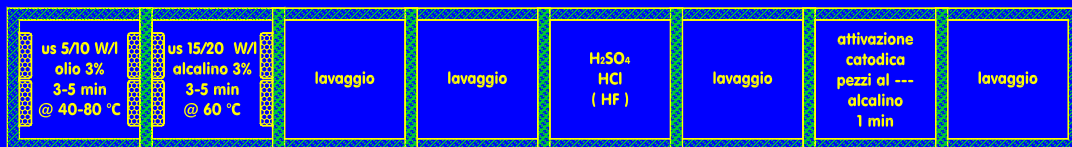
↓  
Risciacquo

↓  
cottura

Al



Fe  
Ott



## Electroless Ni



**ciclo**



al  
trattamento  
termico





## la vasca di trattamento

vasca e accessori di AISI 316 L  
(eventuale teflonatura vasca)  
sconsigliati polipropilene e titanio  
riscaldamento (90 -95 °C) a scambiatore di calore  
sconsigliato elettrico o diatermico  
gruppi filtranti e pompa di facile accesso e doppi  
efficiente sistema di aspirazione

a fine giornata travasare in serbatoio  
ispezionare vasca  
eventualmente passivare vasca e impianto con nitrico  
se innesco pesante lasciare nitrico  
e lavorare con la seconda vasca



## Monitoraggio del bagno





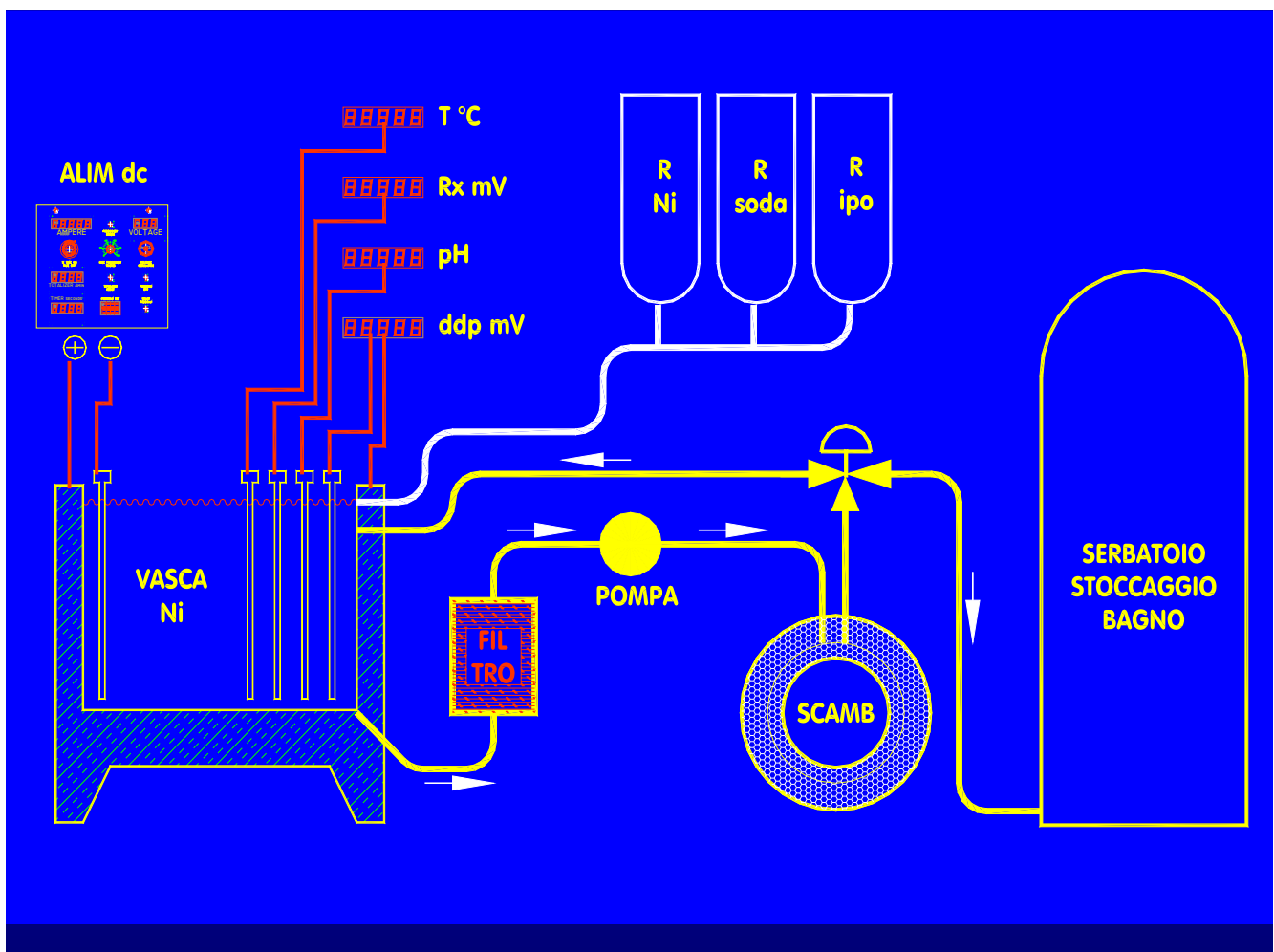
# Monitoraggio del bagno

aggiungere in continuo i reagenti consumati  
Nichel (R Ni), Ipofosfito (R Ipo) in base al metallo deposto  
Soda (R Soda) in base alla lettura del pHmetro

**analizzare**      concentrazione di Ni (colorimetrica)  
Ipofosfito di Sodio (iodimetrica)  
ortofosfito (colorimetrica)  
stabilizzanti e contaminanti (polarimetrica)

**monitorare**    temperatura  
pH  
Rx visualizza stato ossidante o riducente del bagno  
V e A protezione catodica  
ddp tra cadoto di protezione e vasca

13



# protezione della vasca

riduce il rischio di nichelatura della vasca  
catodi filiformi 2-3 mm di diametro vicini alle pareti

collegati al - vasca al ++

alimentatore 5 Volt massimi

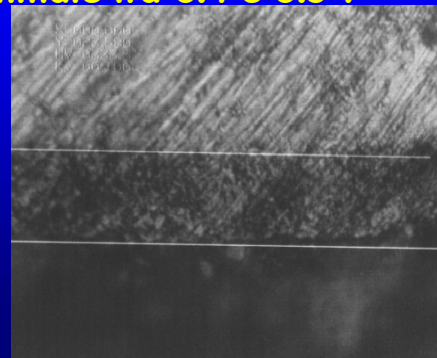
la corrente dipende dalle dimensioni della vasca (qualche A)

si deposita una quantità trascurabile di Ni

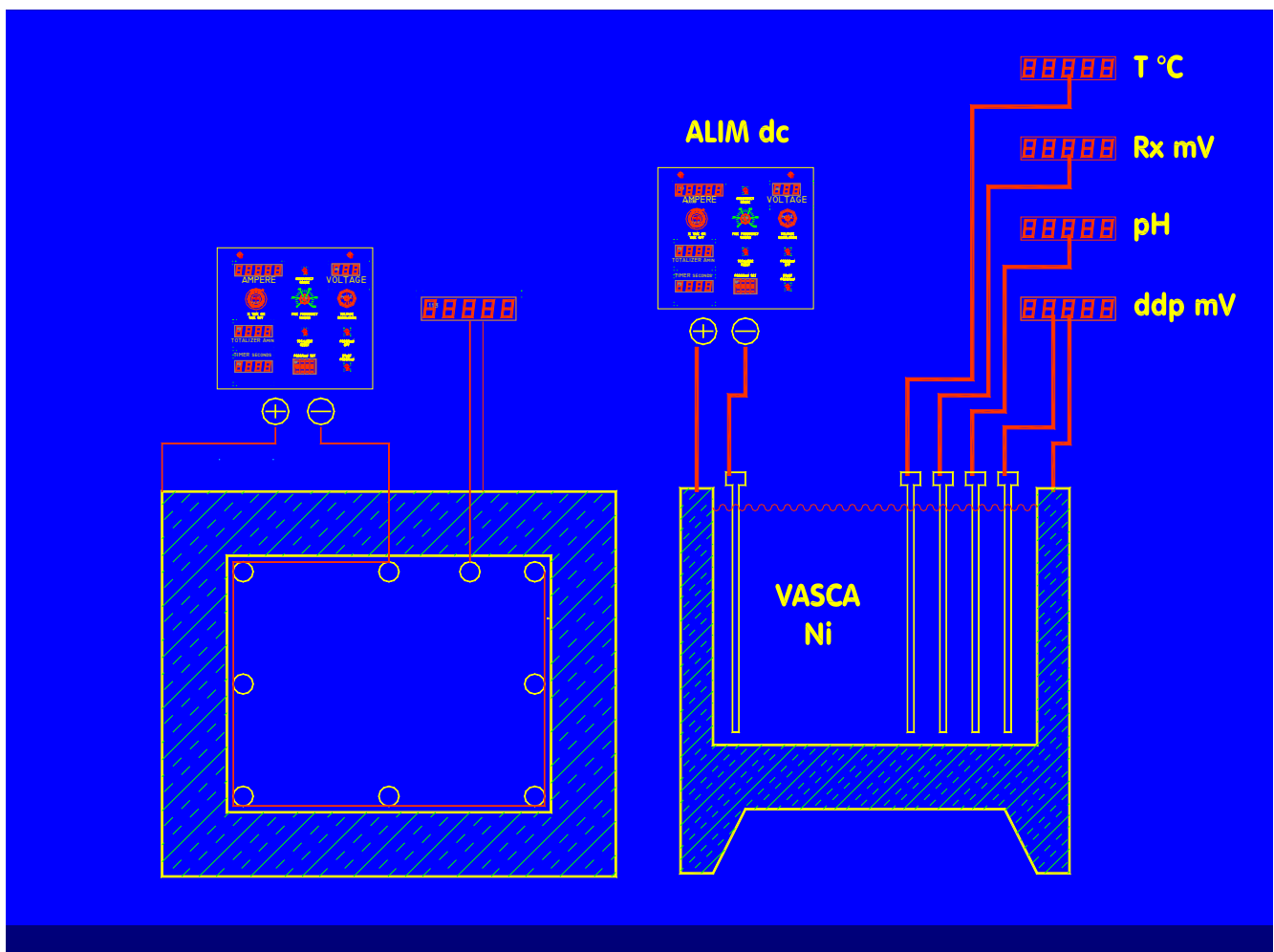
si riesce a proteggere anche il fondo e filtri

elettrodo di riferimento simile ai catodi

ddp vasca - elettrodo, ottimale tra 0.4 e 0.8 V



15





## e se occorre denichelare ?

- Fe snichelanti organici, pericoloso  $\text{HNO}_3$  reagisce con Fe
- Cu anodica in  $\text{HNO}_3$
- Al  $\text{HNO}_3$  diluito velocità 20-30  $\mu$  ora

17

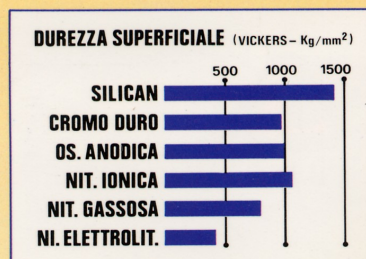
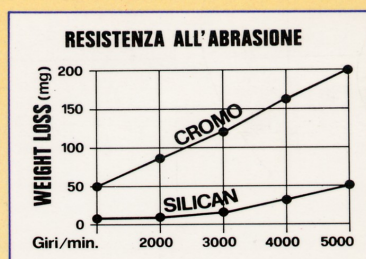
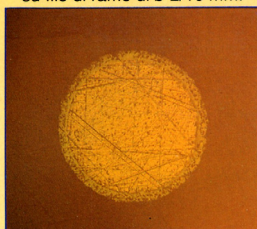
## Ni con carburo di silicio

codeposito di Ni-P con SiC  
 particelle da 2 – 5  $\mu$   
 opportunamente passivate  
 si depositano per gravità sul pezzo posto in rotazione

caratteristica l'alta durezza: 1400 HV medio

settori di applicazione  
 tessile, vetrerie, meccanica, estrusori per plastica

Riporto SILICAN  
 su filo di rame di  $\varnothing$  2/10 mm.



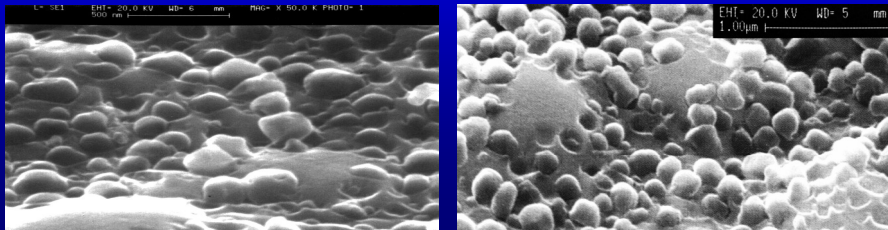
18

# Ni PTFE

codeposito di Ni con particelle di Teflon  $< 1 \mu$   
bagnate con opportuni tensioattivi si codepositano  
spessore del deposito fino a  $100 \mu$

ottimo potere autolubrificante  
il teflon si trasferisce sull'antagonista  
coefficiente di attrito 0.1-0.2

settori di applicazione  
cilindri, boccole pistoni, stampi e cuscinetti  
guide dei vetri auto Honda



19

## Trouble-shooting

deposizione lenta	mancano reagenti, temperatura bassa, pH basso, bagno vecchio o troppa superficie
bagno torbido	pH alto, Ipo alto, complessante basso, bagno vecchio
deposito disuniforme deposito rugoso	preparazione, parametri fuori norma filtrazione o agitazione scarsa preparazione pezzi magnetizzati
deposito poroso	basso riducente, filtrazione, agitazione scarsa
mancanza adesione vasca nichelata	preparazione contatto vasca-pezzi, graniglia su fondo, vasca non passivata, inibitore basso

20



# Proprietà fisiche

<b>Porosità</b>	Fe: prova Ferroxil Al: prova in idrossido di sodio Cu: prova con acido glaciale+ferrocianuro K
<b>Fusione</b>	Ni 1455 °C Ni P 900 °C circa Ni B 1000-1350 °C Ni da idrazina 1440 °C
<b>Conducibilità termica Ni-P</b>	0.0116 cal/cm x s x °C
<b>Conducibilità termica Ni-B</b>	0.15 cal/cm x s x °C
<b>Magnetismo</b>	Ni-P magnetico con contenuto di P < 11% Ni-B praticamente non ferromagnetici
<b>Saldabilità</b>	ottima con leghe Sn-Pb e agenti flussanti

21

# Proprietà meccaniche

<b>stress:</b>	dipende dalla base e dal deposito, sono esenti: Al + Ni-P 6% ghisa + Ni-P 7%, Fe + Ni-P 11%
<b>duttilità:</b>	massima nei depositi Ni-P (P=8%) @ 500 °C
<b>durezza:</b>	inversamente proporzionale al contenuto di P 150 – 500 HV      elettrolitico 500 – 700 HV      electroless 1000 - 1100 HV    electroless con trattamento termico 1400 HV            Ni-P-SiC trattato termicamente

## Trattamento termico

200/220 °C	+ 200 HV migliore adesione (48 h)
250/290 °C	massimo indurimento (9 h)
> 500 °C	diminuisce durezza, aumenta resistenza usura

22

# Proprietà tribologiche

resistenza all'usura migliore con 1h @ 600 °C  
coefficiente d'attrito PT carico tangenziale, PN carico normale

$$\mu = P_T / P_N$$

Ni-P / Ni-P	0.38	senza lubrificazione
Ni-P / Ni-P	0.21	con lubrificazione
Ni-P / Fe	1.2	dopo 1h @ 400 °C
Ni-P / Fe	0.8	dopo 1h @ 600 °C
Ni-P / Fe	0.3	senza nessun trattamento
Ni-P / Cr	0.43	senza nessun trattamento
Ni-P / Cr	0.3	lubrificato
Ni-P / Cr	0.18 – 0.28	dopo 1h @ 400 °C

23

# Corrosione



è correlata alla porosità del deposito  
la reazione passa attraverso i pori e  
attacca il materiale della base

ambiente alcalino	resistenza molto buona (non ammoniacale)
acidi organici	molto buona (non in acetico)
acidi inorganici	resistenza media (scarsa in HCl)

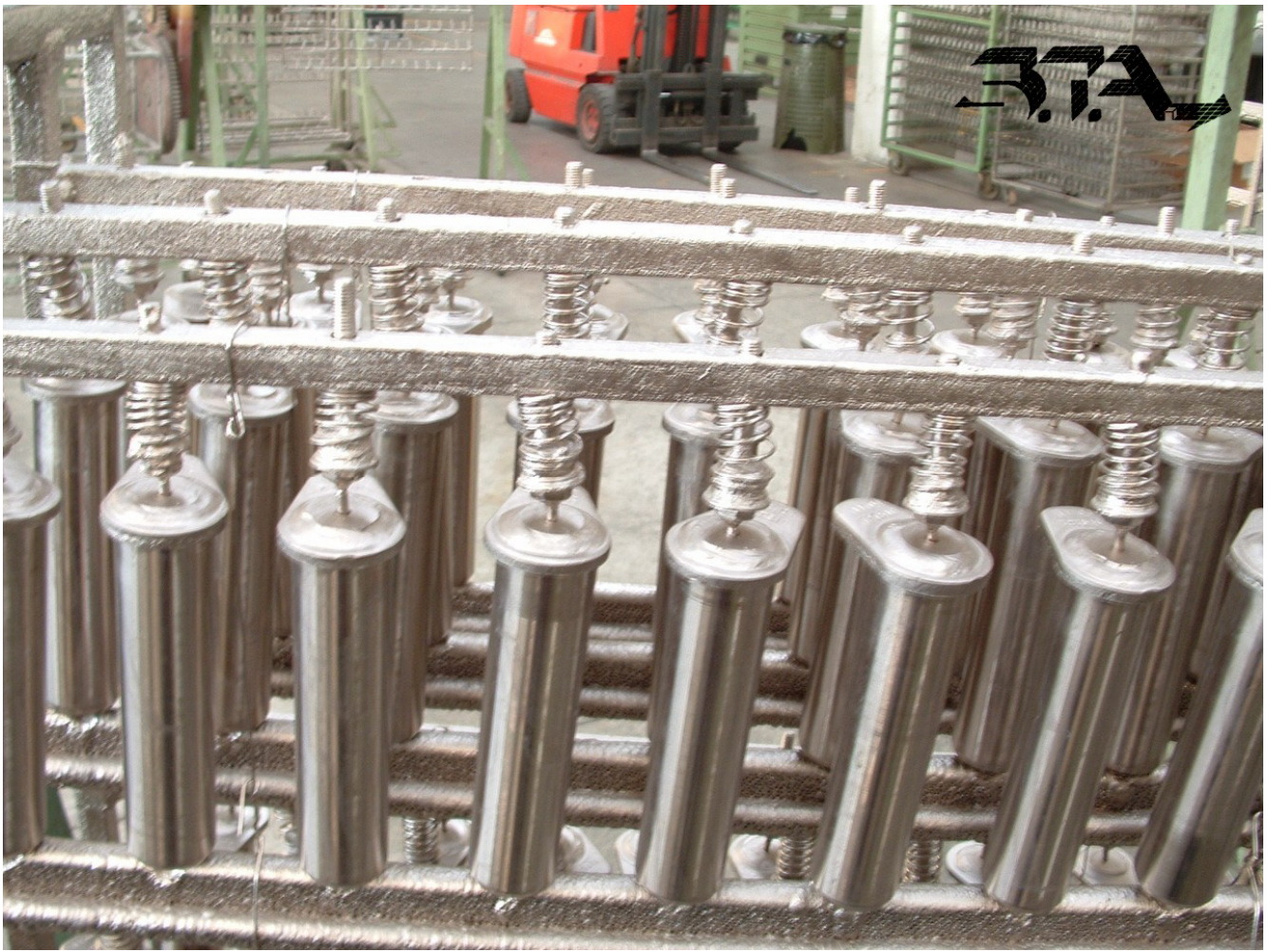
norme di riferimento

UNI 5687 – 4530 – 5890 – 4538 – 4541

ISO 1462 - 4540

24























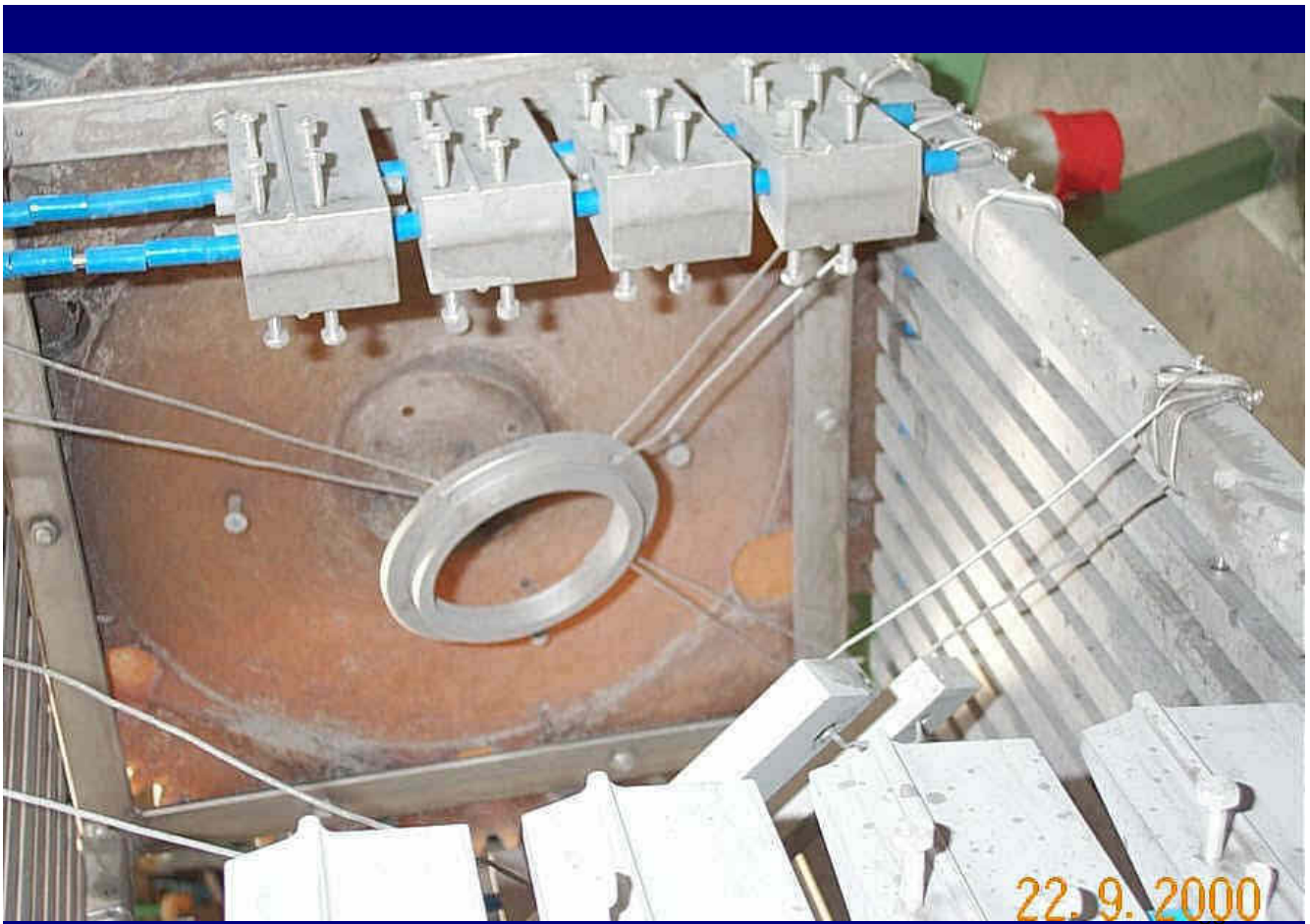


35

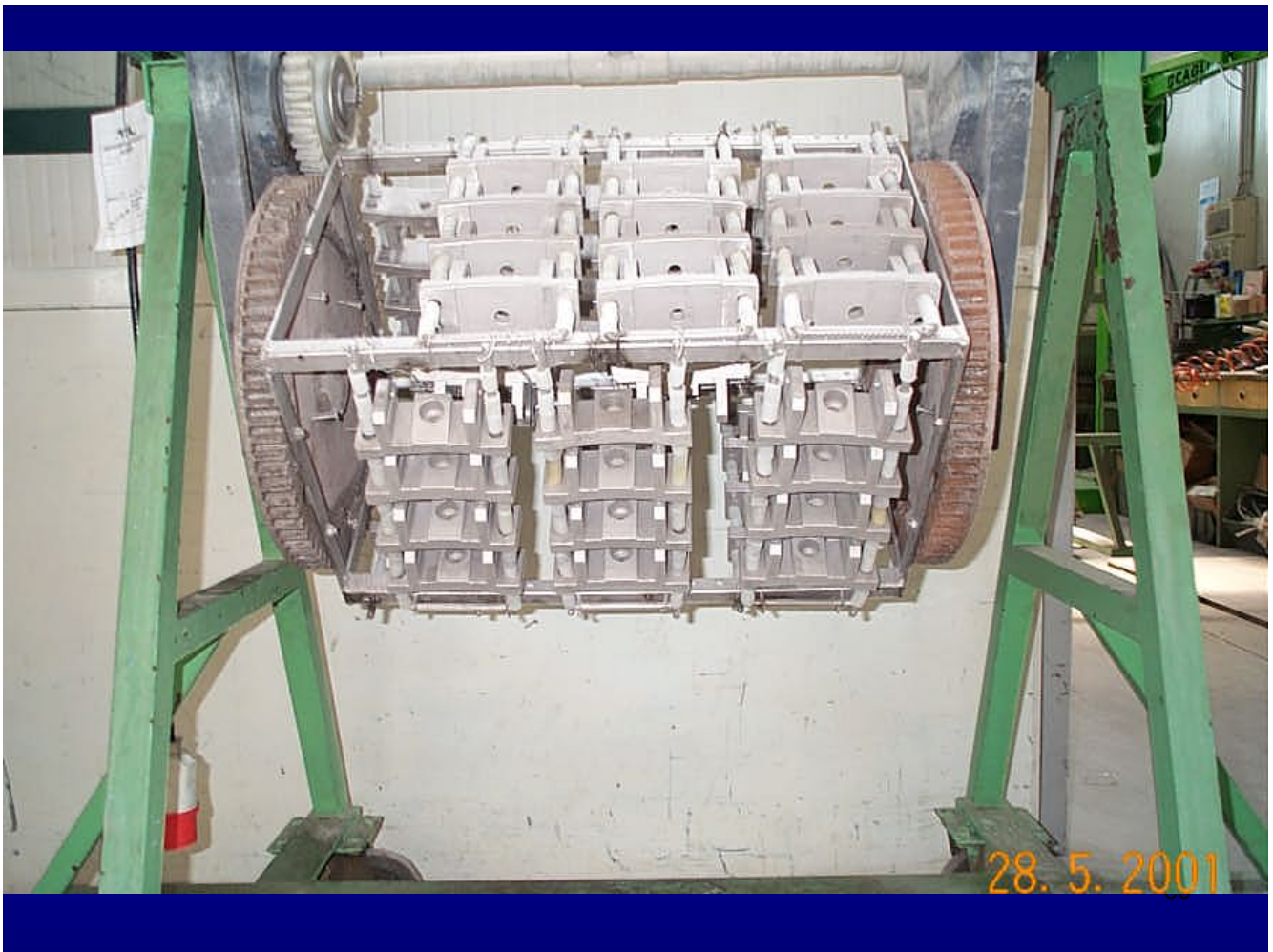


36

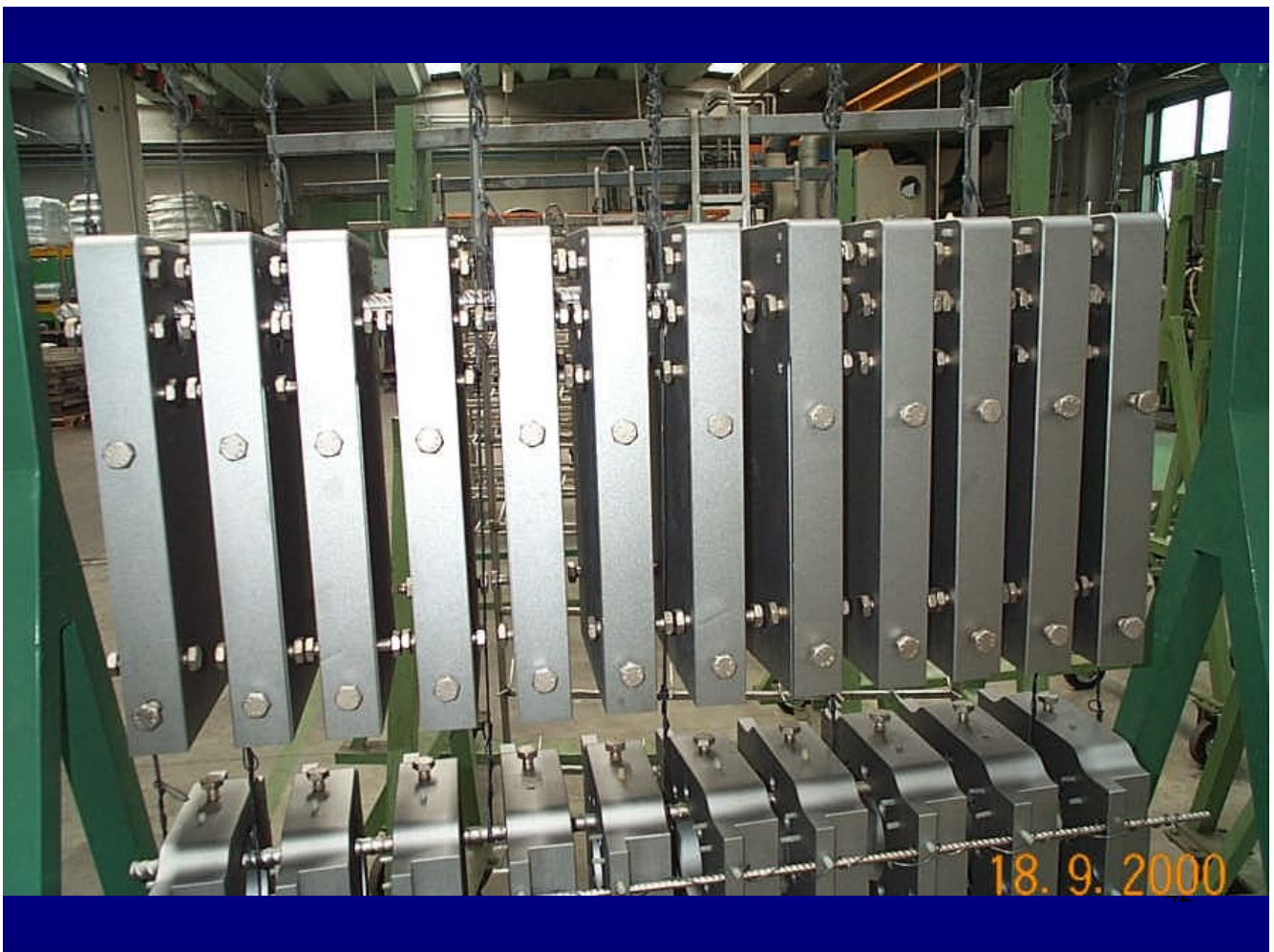




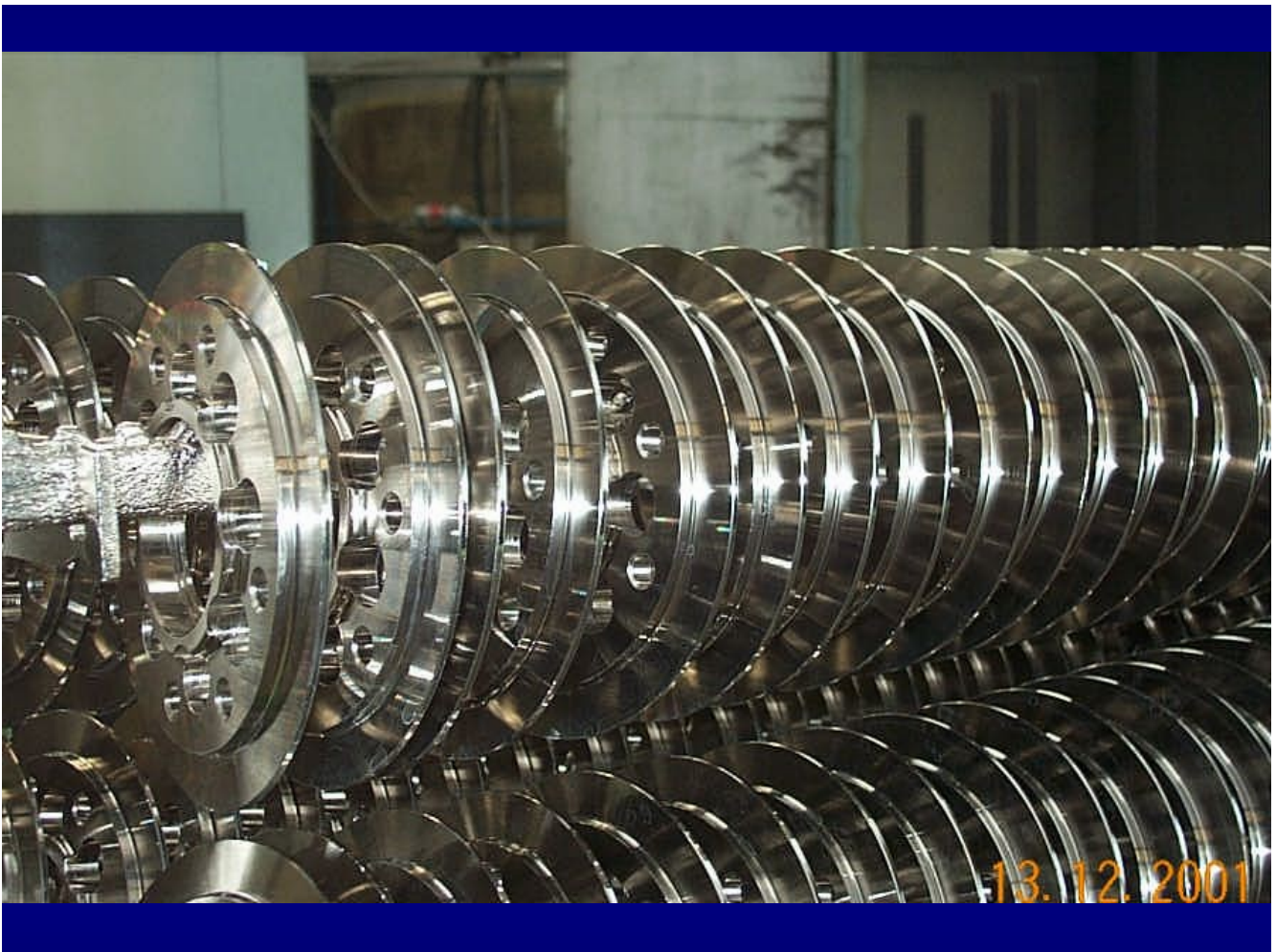




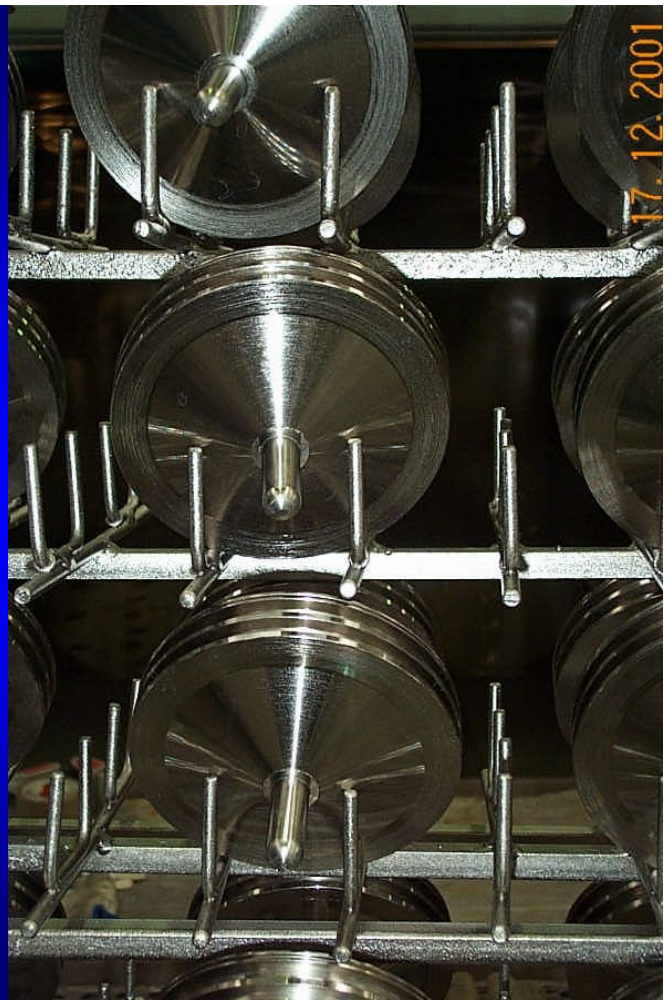
















STA

**!! grazie !!**

*Elena Piazza*