

# Sincristallizzazione a flusso di Argon

## 1 IL TITANIO

### 1.1 Introduzione

22

**Ti**  
Titanio  
47,88

[Ar] 3d<sup>2</sup>4s<sup>2</sup>

Il titanio appartiene al gruppo 4(a) della classificazione periodica, nel quale precede zirconio e niobio. Il titanio è un metallo bianco argenteo, dotato di proprietà analoghe a quelle del silicio e dello stagno. Fu scoperto da Klaproth nel 1775 e isolato da Liebig nel 1831, che lo ottenne dal rutilio. Sotto l'impulso dell'industria bellica USA sono iniziati impieghi differenziati, soprattutto in campo aeronautico. Risale a quel periodo il primo impiego in campo implantologico, principalmente ortopedico. In odontoiatria va a Tramonte il merito di averlo introdotto nei primi anni '60 con l'uso della sua vite autofiletante. Tra i metalli è al quarto

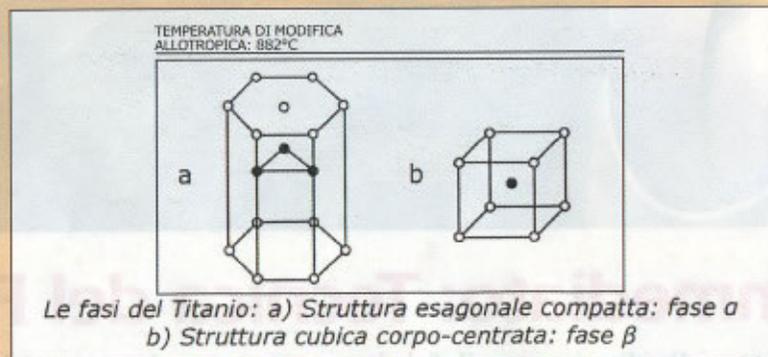
Con l'adozione di una nuova tecnica implantologica, l'implantologia multitempo elettrosaldato, si è sentito il bisogno di uno strumento in grado di saldare le barre di titanio entro il cavo orale del paziente senza provocare lesioni allo stesso. Già negli anni '70-'80, grazie agli studi del prof. Pier Luigi Mondani di Genova era stato possibile mettere a punto una saldatrice che, attraverso un impulso di corrente ad altissimo voltaggio per un tempo brevissimo, permetteva l'interdigitazione dei prismi strutturali di titanio che risultavano così solidarizzati dal processo definito "Sincristallizzazione".

Recentemente, in seguito agli studi di Lorenzon e collaboratori, la macchina è stata riprogettata. Sono stati introdotti nuovi parametri di curve di emissione di potenza per ottimizzare il processo di sincristallizzazione.

L'introduzione del flusso mirato di Argon consente di eliminare lo strato ossidato superficiale del metallo e di migliorare la compenetrazione nell'interfaccia.

Il processo avviene sotto il controllo di un microprocessore che permette la preimpostazione di 16 programmi.

Tale apparecchiatura è stata denominata Sincristallizzatrice System Argon Control - S.A.C.



posto per abbondanza sulla crosta terrestre, con una percentuale dello 0,6%.

Nonostante sia uno degli elementi più diffusi in natura, il suo costo di produzione industriale è estremamente elevato perché

è difficile da estrarre.

A partire dagli Anni Cinquanta, grazie ad un processo di estrazione efficace, si sono sviluppate due categorie di materie prime:

1. titanio commercialmente puro

(Ti > 99%), indicato con la sigla ASTM CP;

2. leghe di titanio, con una percentuale di titanio variabile da 80 a 98%, unito ad alluminio, vanadio, stagno cromo o altri elementi di lega.

### 1.2 Minerali e metallurgia

I composti ossidati del titanio sono molto diffusi in natura; per l'estrazione si utilizzano però solo il rutilio, che contiene il 95-96% di biossido di titanio, che si estrae negli Stati Uniti, in Canada, Svezia e Norvegia, e l'ilmenite, contenente in generale il 44-70% di biossido di titanio, e si trova in India, Siberia e Australia, anche distribuita come sabbia nera su molte spiagge.

Il processo industriale più diffuso per la preparazione del titanio è il processo Kroll (riduzione di cloruro di titanio, preparato dal rutilio e dall'ilmenite). Una prima operazione di clorurazione del minerale a 800°C porta al tetracloruro di titanio. Questo viene purificato per distillazione e poi ridotto con magnesio o sodio a 900°C in atmosfera di elio. Il metallo così ottenuto è in polvere o fiocchi (spugna di titanio) e deve essere rifuso in un particolare forno elettrico ad arco in atmosfera di argon (metodo VAR, Vacuum Arc Remelt) per ottenere il lingotto. Dal lingotto si ottengono successivamente i vari prodotti, con lavorazioni tradizionali.

Un altro metodo per ricavare il titanio è l'elettrolisi del tetracloruro di titanio. Tuttavia, la notevole quantità di energia necessaria per la trasformazione degli ossidi del titanio, per giungere allo stato metallico, incide in modo notevole sul costo finale.

Dopo il processo di fabbricazione, il titanio deve essere processato:

- nella pulizia di superficie;
- con la passivazione chimica;
- sterilizzazione.

← **DT** pagina 6

Le specifiche ASTM per il trattamento finale degli impianti prevedono l'immersione in sali fusi a base alcalina, seguiti da mordenatura con una soluzione di acido nitrico e fluoridrico. L'intenzione è quella di eliminare contaminanti quali il ferro, che demineralizzano la matrice ossea.

Altri procedimenti possono essere utilizzati, quali la sabbatura (Corindone) o il processo ionico, il trattamento a laser, con relativi vantaggi e svantaggi.

La sterilizzazione finale viene oggi effettuata ai raggi gamma, e la maggior parte dei produttori consegna gli impianti assemblati in provette sterili. Questo metodo rappresenta un comodo e vantaggioso sistema.

Baier e Coll hanno dimostrato che la sterilizzazione a vapore può causare un'indesiderata deposizione di tracce organiche, che interferisce con i processi di adesione tissutale.

Oggi i depositi proteici, il film di tracce organiche e di inquinamento possono essere trattati al meglio con la radiofrequenza.

Il recupero diretto di un impianto e l'autogestione del ciclo di sterilizzazione può essere fatto in modo ottimale con un protocollo per sterilizzazione con ultravioletti, con grande efficacia sulle spore e i contaminanti biologici.

### 1.5 Proprietà

Il titanio presenta due forme cristalline con trasformazione

reversibile a 880°C. La forma  $\alpha$  è tetragonale e presenta  $d = 4,505 \text{ g/cm}^3$  alla temperatura di 25°C. La forma  $\beta$  è cubica a corpo centrato e presenta  $d = 4,35 \text{ g/cm}^3$  alla temperatura di 25°C; fonde a 1668°C.

Le caratteristiche meccaniche del titanio sono le seguenti: carico di rottura 560 N/mm<sup>2</sup>; limite elastico 46 kg/mm<sup>2</sup>; allungamento 25%; durezza 200-220 Brinell.

Il modulo di elasticità è circa doppio di quello degli acciai inossidabili 18-8, ai quali può essere paragonato per la sua resistenza alla corrosione.

La solubilità di ossigeno è rilevante: per l'ossigeno circa il 4% in peso nella forma  $\beta$  e fino al 33% nella forma  $\alpha$ .

Il titanio passiva spontaneamente a temperatura ambiente o a contatto con i fluidi dei tessuti. La teoria osseointegrativa prevede che l'ossido di titanio formi, grazie a forze chimiche elettrostatiche, uno stretto legame chimico con il metallo.

Gli elementi più comunemente introdotti nelle leghe a base di titanio si comportano o come stabilizzanti della fase  $\alpha$  o come stabilizzanti nella fase  $\beta$ . Tra gli stabilizzanti della fase  $\alpha$  il più comune è l'alluminio; il vanadio viceversa abbassa la temperatura di trasformazione  $\beta \rightarrow \alpha$ .

Il titanio commercialmente puro è classificato in cinque gradi (1, 2, 3, 4, 7) dalla normativa ASTM.

La tabella 1 mette a confron-

Tabella 1

	Titanio	Ferro	Acciaio	Alluminio	Rame
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	4,5	7,3	7,9	2,7	8,9
Punto di fusione (°C)	1668	1530/1400-1420		660	1083
Conducibilità Termica (Cal/cm <sup>2</sup> /S/°C/cm)	0,041	0,15	0,039	0,49	0,92
Modulo di young (N/mm <sup>2</sup> )	10850	21000	20400	6900	1100

to le proprietà dei principali metalli da costruzione.

### 1.4 Leghe a base di titanio

Le leghe di titanio sono adatte per applicazioni ortopediche che vedono le applicazioni di grossi carichi, perché uniscono proprietà quali l'elevata resistenza meccanica e alla corrosione con una buona biocompatibilità ed un modulo elastico relativamente basso (più vicino comunque a quello dell'osso rispetto ad altre leghe); l'idrossiapatite ha un modulo di Young ancora più simile a quello dell'osso, ma le sue proprietà biomeccaniche la rendono inutilizzabile da sola.

Le leghe più utilizzate in campo biomedico sono:

- ASTM F167 (titanio semi-puro 98,9 - 99,6% titanio);
- ASTM F136 (Ti-6Al-4V).

La ASTM F136 (Ti-6Al-4V) ha vaste applicazioni in campo ortopedico. La prima viene più co-

munemente usata in impianti dentali, oppure come rivestimento a causa delle inferiori proprietà meccaniche.

Nella ASTM F167 il contenuto di ossigeno va controllato accuratamente perché ha grossa influenza sul carico di snervamento e sulla resistenza a fatica: il carico di snervamento varia da 170MPa per lo 0,18% di ossigeno a 485MPa per lo 0,4%, mentre il limite di fatica varia da 88,2 MPa (10<sup>7</sup> cicli) per lo 0,085% di ossigeno a 216 MPa (10<sup>7</sup> cicli) per lo 0,27% di ossigeno.

L'aggiunta di Al e V nella F136 ha lo scopo di ottenere una lega  $\beta \rightarrow \alpha$  grazie all'effetto stabilizzante della forma  $\alpha$  da parte dell'Al e della forma  $\beta$  da parte del V.

### 1.5 Microstruttura e proprietà delle leghe

Essendo costituita quasi interamente da titanio, la struttura di questa lega è tipicamente monofonica di tipo  $\alpha$ : diametro dei grani da 10 a 150  $\mu\text{m}$ , a se-

conda delle lavorazioni subite. Tipicamente lavorata a freddo, presenta proprietà meccaniche inferiori alla Ti-6Al-4V. La presenza di atomi interstiziali (C, N, O) nel reticolo del titanio può produrre un effetto di rafforzamento da soluzione solida. La presenza di ossido di titanio (TiO<sub>2</sub>) sulla superficie del metallo aumenta la resistenza alla corrosione e contribuisce ad un miglior impatto biologico (buona osteointegrazione).

### 1.6 Saldabilità

Indipendentemente dai problemi tecnologici e dalla scelta del metodo di saldatura, uno tra i problemi principali che si pongono nella saldatura del titanio e delle sue leghe riguarda l'effetto termico che la saldatura stessa produce nella zona termicamente alterata.

In un giunto saldato, con particolare riferimento alla metallurgia del titanio e delle sue leghe, occorre distinguere le zone seguenti:

- 1. **Materiale base inalterato.** Il materiale base inalterato è il materiale che non viene alterato dai cicli termici di saldatura. Nel caso del titanio commercialmente puro e delle sue leghe  $\alpha$ , si considera inalterato il materiale che non ha raggiunto la temperatura di transizione  $\alpha \rightarrow \beta$ . Nel caso delle leghe  $\alpha\text{-}\beta$  o  $\beta$ , è più prudente considerare materiale base inalterato la parte di giunzione che non ha raggiun-

← DT pagina 7

to la temperatura di 540°C, in quanto già al di sopra di questa temperatura si avvertono fenomeni di modifiche strutturali.

**- 2. Zona termicamente alterata.** Nelle leghe  $\alpha$  e nel titanio commercialmente puro, nella zona termicamente alterata, la struttura  $\alpha$  (trasformata in  $\beta$  nel riscaldamento, riprende, al raffreddamento) il reticolo  $\alpha$  in una configurazione quasi acciculare, secondo la velocità di raffreddamento in funzione dello spessore. L'estensione della zona termicamente alterata è limitata a causa dell'elevata temperatura della zona di transizione  $\alpha \rightarrow \beta$ . Nelle leghe  $\alpha-\beta$  e  $\beta$  si deve invece distinguere:

- La zona in cui la temperatura si è avvicinata di più a quella di solidificazione; questa zona ha una struttura simile a quella ottenibile per tempra dalla temperatura di solubilizzazione (nessuna trasformazione ma solo ingrossamento del grano delle leghe  $\beta$ );
- La zona in cui la temperatura è rimasta al di sopra di 540°C, consentendo un'ulteriore variazione dello stato di partecipazione della fase  $\alpha$  nella matrice  $\beta$  (invecchiamento).

**- 3. Zona fusa.** Nelle leghe  $\alpha$  e nel titanio commercialmente puro, i grani  $\beta$  che si formano all'atto della solidificazione si estendono perpendicolarmente alle isoterme e si trasformano in grani  $\alpha$  con una conformazione quasi acciculare. Nelle leghe  $\alpha-\beta$  si ottiene una struttura  $\alpha$  con "martensite" e una struttura  $\beta$  nella matrice  $\alpha$ .

Nelle leghe  $\beta$  con una percentuale più o meno grande di struttura fine  $\alpha$  nella matrice  $\beta$ .

**1.7 Protezione dalla contaminazione durante la saldatura**

Uno dei problemi principali che si manifestano nella saldatura del titanio, e che ne condiziona particolarmente la tecnica operativa, è quello dovuto all'estrema reattività dello stesso agli agenti atmosferici (ossigeno, azoto, idrogeno). Durante la saldatura è quindi necessario proteggere la zona fusa ed ogni parte adiacente ad essa che raggiunge la temperatura di 500°C. Questa protezione è solitamente realizzata da un'atmosfera di gas inerti come argon o elio; il gas inerte circonda tutte le zone interessate dalla saldatura, pro-



Fig.1.1 - Saldatura di barra in Titanio grado 2 con gas di protezione



Fig.1.2 - Saldatura di barra in Titanio grado 2 senza gas di protezione

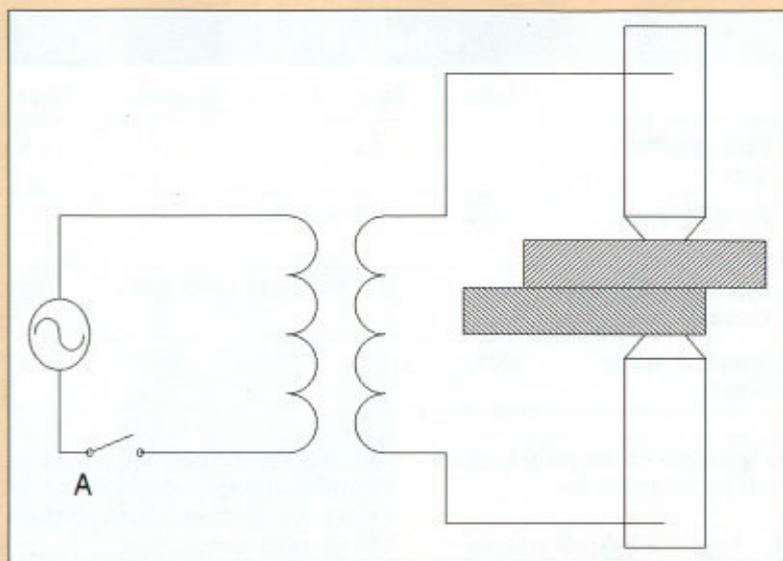


Fig. 2.1 - Schema funzionamento saldatura a resistenza

venendo da una o più sorgenti opportunamente disposte intorno al bagno di fusione. Come si può vedere dalle fotografie 1.1 e 1.2, l'aspetto del giunto in atmosfera di gas rivela una granulometria compatta mantenendo le caratteristiche originali del materiale saldato.

**2 LA SALDATURA ELETTRICA A RESISTENZA DEL TITANIO**

**2.1 Definizione**

La saldatura elettrica a resistenza è un procedimento di saldatura autogena per pressione, nel quale il calore necessario per portare localmente le superfici da saldare alla temperatura di sincristallizzazione è fornito per resistenza elettrica dal passaggio di una corrente attraverso la zona da unire. La saldatura si compie senza metallo d'apporto.

Per sincristallizzazione si intende l'unione di due superfici metalliche per messa in comune degli atomi nella costituzione del reticolo cristallino della zona di giunzione.

La saldatura elettrica a resistenza si esegue applicando alle superfici a contatto una pressione mediante organi che vengono chiamati elettrodi, in quanto servono anche per portare la corrente ai pezzi da saldare. La saldatura è realizzata per sincristallizzazione nella zona delle superfici combacianti, attraversata dalla massima densità di corrente; dato che la zona saldata è assai limitata attorno ad un punto, essa viene chiamata punto di saldatura.

**2.2 Principio di funzionamento**

Si consideri il seguente esempio:

Disponiamo due lamiere di titanio sovrapposte fra due elettrodi di rame collegati agli estremi del secondario di un trasformatore.

L'elettrodo superiore sia traslabile verticalmente, mentre quello inferiore sia fisso; esercitiamo sul primo una certa pressione e chiudiamo quindi l'interruttore A.

La corrente che passa nel secondario svilupperà, nelle sue varie sezioni, un calore tanto più intenso quanto più alta sarà la resistenza incontrata secondo la legge di Joule:

$$Q = \frac{1}{J} RI^2t$$

Dove: Q = quantità di calore espressa in grandi calorie (Cal);

J = equivalente meccanico della grande caloria espresso in Joule/Cal;  
I = intensità di corrente in Ampere;  
R = resistenza elettrica in Ohm;  
t = tempo in secondi.

Consideriamo singolarmente i fattori da cui dipende lo sviluppo di calore, cioè R, I e t.

La resistenza R del circuito secondario comprende:

- R<sub>0</sub> = resistenza del circuito secondario tra le punte degli elettrodi (escluse cioè le due lamiere da saldare); tale circuito è costituito da rame;
- R<sub>1</sub> = resistenza di contatto tra elettrodo superiore (rame) e lamiera inferiore;
- R<sub>2</sub> = resistenza del pezzo superiore;
- R<sub>3</sub> = resistenza di contatto tra le due lamiere;
- R<sub>4</sub> = resistenza della lamiera inferiore;
- R<sub>5</sub> = resistenza di contatto tra il pezzo inferiore e l'elettrodo inferiore.

Trattandosi di resistenze in serie si può scrivere:

$$R = R_0 + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

In questa somma:

- R<sub>0</sub> è trascurabile in quanto gli elettrodi sono di rame (conduttività termica decisamente maggiore di quella del Titanio) e quindi non è neppure da considerare l'incremento di temperatura che potrebbe risultare dannoso per i tessuti molli;
- R<sub>1</sub> e R<sub>5</sub> resistenze di contatto tra elettrodi e lamiere, dopo R<sub>2</sub> sono quelle di intensità più alta;
- R<sub>2</sub> e R<sub>4</sub>, resistenze interne delle lamiere, sono abbastanza notevoli, data la resistività del titanio, e vanno naturalmente aumentando al crescere della temperatura; tuttavia il riscaldamento da esse prodotte risulta sempre inferiore a quello delle resistenze di contatto;
- R<sub>3</sub> è la resistenza di contatto fra i due pezzi, la massima che si incontra nel circuito secondario.

Le tre resistenze di contatto R<sub>1</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>5</sub> sono quindi le resistenze fondamentali agli effetti del riscaldamento: esse variano a seconda della natura dei metalli e dello stato delle superfici ed anche in funzione della temperatura e della pressione. Quest'ultima ha anzi un'importanza fondamentale, in quanto è ben noto che le resistenze di contatto dei materiali sono molto sensibili ad essa; due superfici, per quanto ben levigate, si toccano sempre attraverso le punte delle loro microscopiche asperità; se le superfici sono compresse l'una contro l'altra, le punte si schiacciano e le aree di effettivo contatto aumentano, sicché la resistenza di contatto diminuisce all'aumentare della pressione.

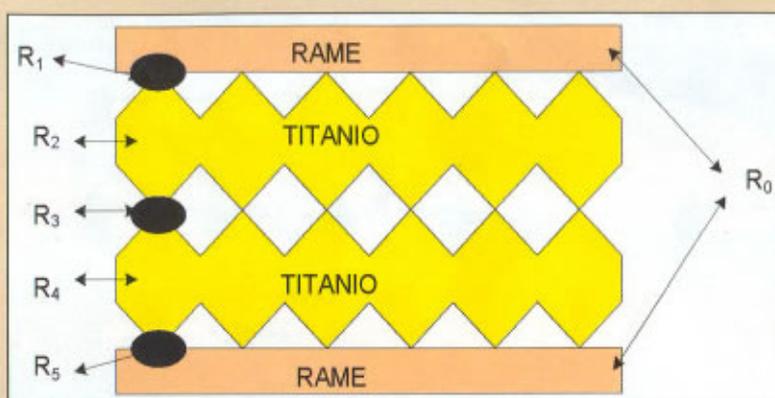


Fig. 2.2 - Schema resistenze circuito secondario

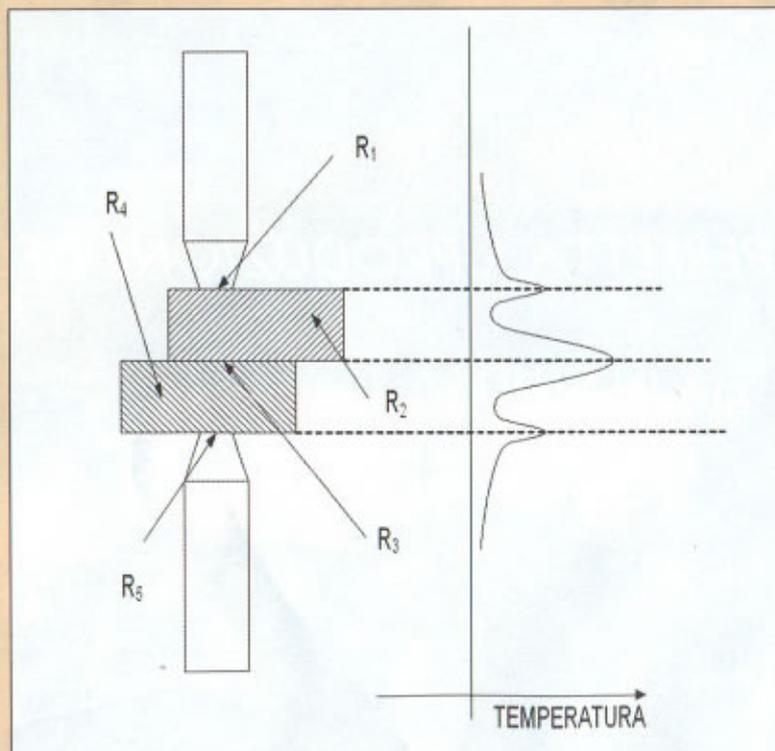


Fig. 2.3 - Andamento della temperatura nel giunto, in fase di saldatura

Sembrerebbe, da quanto detto che l'applicazione di una pressione ai pezzi da saldare sia controproducente ai fini del riscaldamento dei pezzi stessi; essa è invece essenziale in quanto:

- 1. solo applicando una sufficiente pressione si riducono le resistenze di contatto in modo da consentire il passaggio di correnti tanto elevate da produrre in breve tempo un intenso e localizzato effetto termico;
- 2. grazie all'applicazione di una forte pressione, le resistenze di contatto R<sub>1</sub> e R<sub>5</sub> fra i pezzi e gli elettrodi possono essere ridotte a valori tanto bassi da non riscaldare eccessivamente gli elettrodi di rame e non provocare una deformazione per riscaldamento ed una contaminazione superficiale inammisibile.

L'andamento della temperatura attraverso il giunto saldato risulta quello indicato in figura 2.3.

Accanto alla punta centrale corrispondente al punto di saldatura, tale diagramma presenta anche due punte laterali in corrispondenza al contatto elettrodo - pezzo. Allo scopo di contenere tali punte al minimo valore, gli elettrodi sono fatti in rame, ottimo conduttore di elettricità e calore.

Oltre al fattore pressione, che regola la resistenza di contatto, per rendere possibile la saldatura a resistenza è necessario che anche gli altri due fattori del riscaldamento intervenano in modo opportuno.

L'intensità di corrente interviene nella formula di Joule al quadrato e vi è quindi convenienza ad aumentarla; questo consente di ridurre il tempo di esecuzione e di conseguenza impedire una notevole dissipazione di calore dalle zone di contatto delle due lamiere. Tale dissipazione è infatti, per quanto possibile, da evitare dato che non solo rappresenta uno spreco di energia, ma l'aumento di temperatura in zone lontane dal punto da saldare potrebbe lesionare il tessuto molle della bocca; inoltre la diffusione del calore sotto le punte degli elettrodi potrebbe rapidamente rovinarle.

L'opportuna combinazione della pressione, dell'intensità e del tempo fornisce quindi l'adatta fonte di energia per la saldatura a resistenza.

**2.3 Fattori che influenzano il processo di saldatura**

**- Intensità di corrente**

L'evoluzione moderna della saldatura a resistenza verso tempi di saldatura molto brevi, ha portato come conseguenza l'adozione di correnti molto forti; la quantità di calore per ottenere un punto di saldatura è infatti data dalla legge di Joule prima riportata, nella quale evidentemente alla diminuzione del termine (t) deve corrispondere un adeguato aumento di (I).

Il valore dell'intensità varia quindi in primo luogo con la rapidità di saldatura, ma esso è inoltre funzione di altri parametri:

- la pressione, che influisce assai sulle resistenze di contatto: a maggior pressione corrispondono resistenze minori e quindi intensità di corrente più elevate;

← DT pagina 8

- *lo stato delle superfici*, la presenza di ossidi, impurità, ecc. aumentano molto la resistenza di contatto e diminuiscono quindi l'intensità, rendendo il tempo di saldatura più lungo quando addirittura non rendono la saldatura impossibile;

- *la forma del pezzo*, che può derivare dalle correnti sottraendole alla zona di saldatura;

- *la lunghezza e la distanza dei bracci porta elettrodi*, cioè la superficie abbracciata dal secondario: tanto maggiore è questa, tanto maggiore diventa l'impedenza e conseguentemente inferiore l'intensità di corrente a parità di regolazione di macchina;

- *la presenza di masse magnetiche abbracciate al secondario*, che aumentano la reattanza del circuito secondario e diminuiscono quindi l'intensità.

Nella saldatura intraorale, il ciclo di saldatura è a intensità costante. L'espressione  $I = \text{costante}$  non deve essere presa in senso assoluto, ma sta solo ad indicare che la regolazione del trasformatore, fissata all'inizio dell'operazione, non viene mutata nel corso di essa. In realtà è quindi la f.e.m. del secondario che rimane costante, mentre l'intensità subisce qualche variazione di resistenza elettrica del circuito secondario durante la saldatura. Tali variazioni sono però di modesta entità, in quanto si ha un certo compenso fra la diminuzione della resistenza di contatto e l'aumento di resistenza interna dei pezzi, a mano a mano che il materiale si scalda.

#### - Pressione

La pressione viene applicata per un periodo più lungo di quello del passaggio della corrente: il ciclo di pressione infatti inizia prima e termina dopo il ciclo di corrente.

Nel ciclo totale di saldatura potremmo allora distinguere tre fasi:

- **1. accostamento**, durante il quale si ha solo l'applicazione della pressione senza corrente;
- **2. saldatura**, con azione contemporanea della corrente e della pressione;
- **3. raffreddamento**, nel quale si toglie la corrente mentre viene mantenuta la pressione.

#### • Fase di accostamento

Lo sforzo di compressione deve in questa fase avvicinare fino a contatto le facce nel punto da saldare; se i pezzi si accostano male, lo sforzo deve riuscire a deformarli elasticamente o anche plasticamente fino a farli combaciare.

Si vede quindi che si ha interesse ad utilizzare, in questa prima fase, degli sforzi di compressione sovrabbondanti; lo sforzo deve essere ancora maggiore se le superfici non sono perfettamente pulite.

#### • Fase di saldatura

In questa seconda fase lo sforzo di compressione esplica diverse funzioni:

- **mantenere l'accostamento dei pezzi**, il che riesce in genere più facile che realizzare l'ac-



Fig. 3.1 - Impianto multiplo elettrosaldato, si nota il filo in titanio che unisce insieme ogni singolo impianto

costamento stesso, perché quando passa la corrente i pezzi si riscaldano e risultano meglio deformabili;

- **agire sulle resistenze di contatto**, in modo da consentire il passaggio di una adatta corrente di saldatura e da localizzare il riscaldamento nella zona di più intimo contatto delle superfici combacianti.

Nei riguardi della seconda funzione, si noti che la resistenza  $R_s$  fra i pezzi e quelle  $R_1$  e  $R_2$  fra pezzi ed elettrodi presentano esigenze di pressione contrapposte:  $R_s$  dovrebbe essere diminuita il meno possibile per favorire il riscaldamento locale delle superfici nel punto da saldare, cioè richiederebbe bassi valori di pressione; ma allora le resistenze  $R_1$  e  $R_2$  assumono valori troppo forti e le punte degli elettrodi si usurano rapidamente e il pezzo si scalda troppo. Esiste quindi un limite inferiore di pressione al di sotto del quale non si deve scendere, se non si vogliono rovinare elettrodo, pezzo e saldatura.

Aumentando la pressione si nota però che  $R_1$  e  $R_2$  decrescono la saldatura a resistenza: si può trovare infatti un valore di pressione che, lasciando sussistere una  $R_s$  sufficientemente elevata per produrre in breve tempo una temperatura necessaria alla saldatura, riduca  $R_1$  e  $R_2$  a valori compatibili con un riscaldamento limitato delle punte di elettrodo.

#### • Fase di raffreddamento

Durante questa ultima fase la pressione deve mantenere i pezzi bene accostati durante tutto il tempo di cristallizzazione.

La S.A.C. è basata su questa tecnologia. Va ricordato che attraverso gli elettrodi di rame, grazie alla maggiore conducibilità termica, viene dissipato il calore prodotto che risulta innocuo per i tessuti perimplantari sia a breve sia a lungo termine.

Il processo avviene poi in atmosfera satura di Argon, che viene diretto sul punto interessato con flusso mirato e controllato da un microprocessore.

3

### LA SINCRISTALLIZZATRICE CONTROLLATA AD ARGON

#### 3.1 Introduzione

Con il passaggio ad un nuovo tipo di impianto dentale, l'impianto multiplo elettrosaldato, si è sentita la necessità di un apparecchio in grado di saldare parti in Titanio dentro la cavità orale senza provocare danni al paziente.

#### 3.2 Implantologia multipla elettrosaldata

L'implantologia multipla elettrosaldata consiste in una tecnica implantologica che si pone in accordo con la tendenza moderna della chirurgia, che diventa ogni giorno meno invasiva. Questo significa meno sofferenza e più benefici funzionali immediati per il paziente.

La dizione *multipla* si riferisce ai molteplici tipi di impianti per forma, lunghezza e calibro. Ciò permette di adattare la struttura implantologica alle caratteristiche anatomiche del paziente che, salvo rari casi, non richiede quindi chirurgia preparatoria che utilizza a volte tecniche di trasposizione di osso da altri distretti anatomici.

L'atraumaticità che contraddistingue l'implantologia multipla elettrosaldata la fa prediligere come tecnica di primo impiego, lasciando come seconda scelta - e solo in caso di fallimento - le tecniche più invasive. Del resto, il fallimento a breve e lungo termine, date le caratteristiche tecniche del tipo di impianti, comporta delle piccole lesioni all'apparato osseo che va incontro a riparazione spontanea, per cui può essere ripetuta a breve scadenza.

La solidarizzazione degli impianti fra loro comporta poi un differente modo di distribuzione delle forze agenti sulla struttura, che perde quindi l'individualità di ogni singolo impianto e partecipa invece con un mutuo lavoro al sostegno meccanico della protesi.

Nelle figure 3.1 e 3.2 si mostra un confronto tra un impianto multiplo elettrosaldato ed un impianto tradizionale.

#### 3.5 Caratteristiche generali

L'apparecchiatura permette di effettuare la saldatura direttamente nel cavo orale del paziente.

Il processo di saldatura è di tipo elettrico senza apporto di materiale in atmosfera di gas inerte, in accordo con i principi enunciati da Lorenzon. Tra i due elettrodi della pinza vengono posizionati i due elementi da saldare. L'energia contenuta in una batteria di condensatori, precedentemente caricati, viene trasferita agli elettrodi della pinza, la corrente che fluisce attraverso i punti di contatto tra le due parti da saldare scalda il materiale fino al punto di fusione, realizzando il giunto saldato.

Durante il ciclo, il punto di fusione è protetto tramite l'apporto di gas Argon. Ciò evita che il punto di fusione, per effetto

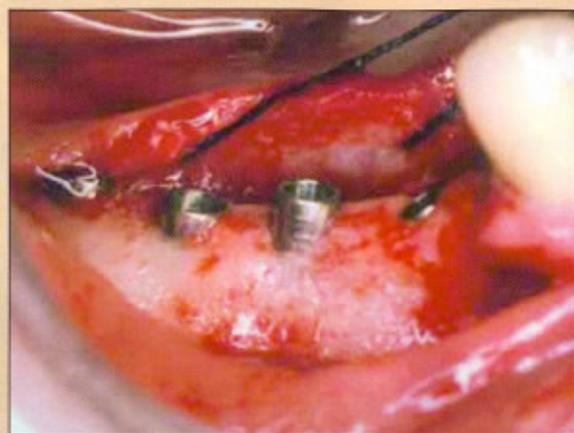


Fig. 3.2 - In questo caso si è adottato un impianto di tipo tradizionale, si nota l'assenza del filo in Titanio

della temperatura, possa reagire con l'ossigeno contenuto nell'aria, producendo ossidazione e quindi decadimento delle caratteristiche meccaniche del materiale utilizzato.

Il calore prodotto non raggiunge livelli pericolosi, in quanto viene dissipato attraverso gli elettrodi sfruttando la maggior conducibilità termica del rame.

Durante la fase di saldatura la pinza viene scollegata automaticamente dalla rete elettrica.

La saldatrice ha all'interno un microcontrollore che gestisce l'interfaccia utente tramite i tasti, l'encoder ed il display; attraverso le impostazioni programmabili viene data la possibilità di registrare una serie di programmi (job) che si possono personalizzare per i diversi elementi da saldare.

Il ciclo di saldatura è suddiviso in 5 differenti fasi, definite come:

- **1. Fase di pregas**: è necessaria per assicurare che l'atmosfera nel punto di saldatura sia libera da ossigeno prima di iniziare la fase di saldatura.

- **2. Fase di saldatura**: percentuale di energia erogabile agli elettrodi;

- **3. Fase di postgas**: è necessaria che l'atmosfera sia libera da ossigeno finché la temperatura del giunto non abbia raggiunto un livello tale da evitare ogni possibile reazione con l'ossigeno contenuto nell'aria.

Lo strumento permette di definire per ognuno dei 16 programmi (job) memorizzabili dalla macchina questi tre valori per ogni specifica applicazione o particolare da saldare.

Prima di ogni ciclo di saldatura, il microcontrollore verifica che ci siano le condizioni corrette del circuito elettrico e del punto di saldatura.

Ciò significa che la resistenza elettrica del circuito complessivo deve essere inferiore ad un valore prestabilito. Inoltre, una cicala elettronica avvisa l'operatore dell'inizio e della fine del ciclo di saldatura.

Lo strumento è contenuto in una apposita valigia che ne permette la trasportabilità. Nel vano posizionato sul coperchio trovano alloggio il cavo di connessione alla rete elettrica, il pedale di azionamento ciclo e la pinza con i suoi cavi di connessione.

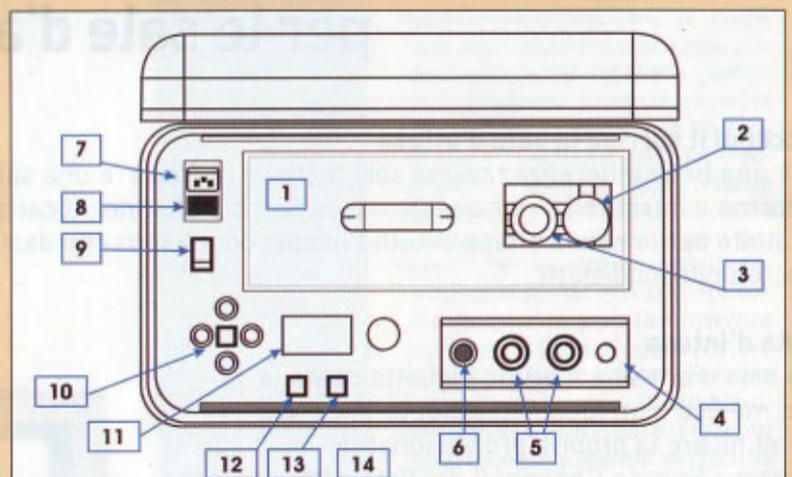
→ DT pagina 12



Fig. 3.3 - Interfaccia saldatrice-utente



Fig. 3.4 - Valigia per il trasporto della saldatrice



- 1 - Vano bombola
- 2 - Manometro gas
- 3 - Manopola regolazione pressione gas
- 4 - Connessione tubo uscita gas
- 5 - Connessione elettrodi
- 6 - Attacco pedale di avvio ciclo di saldatura
- 7 - Presa VDE di alimentazione da rete elettrica
- 8 - Portafusibile
- 9 - Interruttore di accensione con spia di presenza rete
- 10 - Astiera di navigazione
- 11 - Display 64X128 retroilluminato
- 12 - Tasto di programmazione
- 13 - Tasto ESC
- 14 - Encoder di navigazione

Fig. 3.5 - Schema interfaccia saldatrice

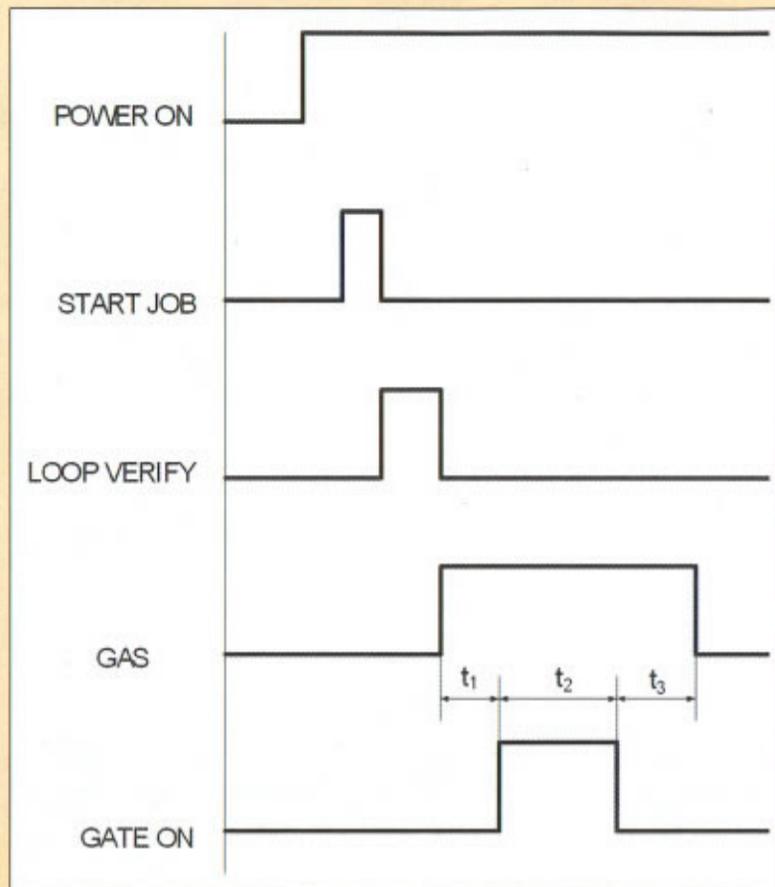


Fig. 3.6 - Successione temporale cicli di lavoro macchina

← DI pagina 10

5.4 Principio di funzionamento

Il processo di saldatura avviene tramite il passaggio di una corrente, generata da una capacità di 1 F caricata ad una tensione proporzionale all'energia richiesta secondo la seguente legge:

$$E = V^2 \cdot \frac{C}{2}$$

In cui:

- E = energia;
- V = tensione alla quale è caricato il condensatore;
- C = capacità del condensatore.

La corrente, fluendo attraverso i due punti da saldare, riscalda i materiali che si fondono assieme. Per evitare l'ossidazione del titanio, la saldatura avviene in una atmosfera satura di Argon.

La saldatura è influenzata da numerosi fattori legati soprattutto alle due parti da saldare. Per tale motivo nasce l'esigenza di definire sperimentalmente quali sono i parametri migliori di saldatura, ovvero l'energia necessaria e il relati-

vo tempo.

A tale scopo l'apparecchiatura mette a disposizione una tabella di 16 cicli, di seguito definiti come Job, nei quali è possibile regolare i vari parametri di saldatura.

Una tabella programmabile dall'utente permette di definire energia e tempi per ognuno dei processi di saldatura memorizzabili.

Per avere disponibile nel minor tempo possibile l'energia necessaria alla saldatura, il condensatore C viene caricato all'accensione dell'apparecchiatura, ricaricato dopo ogni saldatura e mantenuto carico durante la fase di attesa.

Uno specifico circuito verifica la presenza di continuità nel circuito di saldatura; se manca la continuità non viene dato il consenso alla saldatura ed un apposito cicalino avverte l'utente dell'anomalia.

L'attivazione di chiusura del PSCR (saldatura) viene generata da un duplice circuito elettronico che, tramite due comandi distinti, assicura la corretta efficienza del microcontrollore.

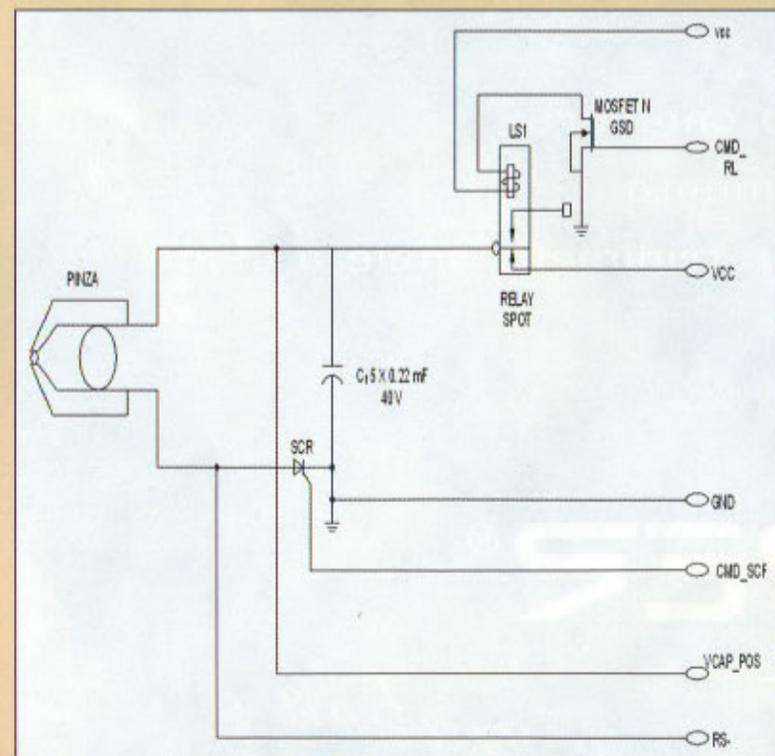


Fig. 3.7 - Schema elettrico circuito di carica-scarica condensatori e di controllo continuità elettrica

Il ciclo di saldatura si svolge attraverso le seguenti fasi, utilizzando i parametri definiti in tabella per lo specifico Job:

1. Pressione pedale;
2. Attivazione gas;
3. Sconnessione del circuito di carica del condensatore tramite relé RL;
4. Verifica continuità circuito elettrico;
5. Generazione del comando di chiusura del SCR.

Il grafico 3.6 mostra la successione temporale dei vari cicli di lavoro della macchina:

1. **POWER ON**: viene data corrente alla saldatrice, la quale passa in uno stato di standby;
2. **START JOB**: la saldatrice rileva i dati impostati per il job prescelto;
3. **LOOP VERIFY**: tramite l'apposito circuito, la saldatrice rileva la continuità nel circuito di saldatura;
4. **GAS**: la saldatrice immette Argon nella zona da saldare, la prima fase di durata  $t_1$  è quella di pregas, la fase di mezzo di durata  $t_2$  è quella di saldatura vera e propria, l'ultima fase di durata  $t_3$  è quella di postgas.
5. **GATE ON**: fase di saldatura vera e propria; circola corrente nel circuito di saldatura e questa fase ha durata  $t_2$ .

3.5 Schema elettrico

All'accensione della saldatrice, il MOSFET comanda il relé che a sua volta attiva il circuito di carica della batteria dei condensatori.

All'attivazione del pedale, il relé comanda la sconnessione del circuito di carica; il circuito di sicurezza, alimentato tra VCAP\_POS ed RS-, controlla che vi sia continuità elettrica tra gli elettrodi e le parti da saldare. Se questa condizione è verificata, allora viene generato il comando di chiusura del diodo SCR. Si viene così a creare un circuito di scarica per i condensatori che generano la corrente necessaria alla saldatura. Se non vi è continuità elettrica tra elettrodi e parti da saldare, non viene generato il segnale di apertura SCR e un cicalino avverte l'operatore dell'anomalia.

3.6 Pinza porta-elettrodi

La pinza è lo strumento essenziale per la buona riuscita della saldatura. Infatti, ad essa è preposta la pressione dei due giunti al fine di limitare la resistenza e fare compenetrare le parti a contatto nella zona portata a fusione dal passaggio della corrente. Grazie alla pinza, la pressione esercitata sui giunti risulta essere costante e non soggetta a variazioni, come accadrebbe se fosse esercitata direttamente dall'operatore.

I due manici sono isolati e terminano con punte di rame intercambiabili; questo perché il calore generato in fase di saldatura porta ad un graduale peggioramento delle caratteristiche delle punte stesse.

Una molla tensionatrice esercita la pressione necessaria in fase di saldatura; grazie a questa molla non deve essere il chirurgo ad imprimere la pressione. Un tubicino in rame porta il

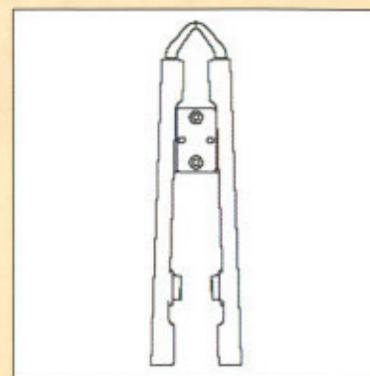


Fig. 3.8 - Pinza porta-elettrodi

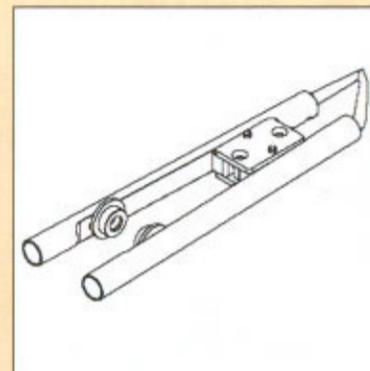


Fig. 3.9 - Vista laterale pinza porta-elettrodi

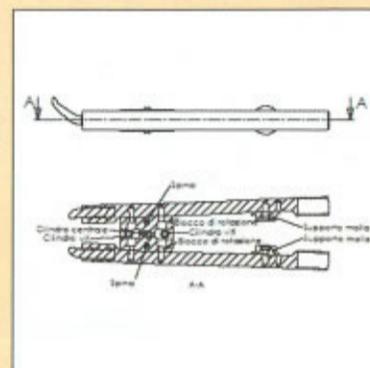


Fig. 3.10 - Sezione pinza porta-elettrodi

gas fino al sito di saldatura. Nella figure 3.8, 3.9 e 3.10 si possono osservare disegni della pinza porta-elettrodi.

→ DI pagina 14

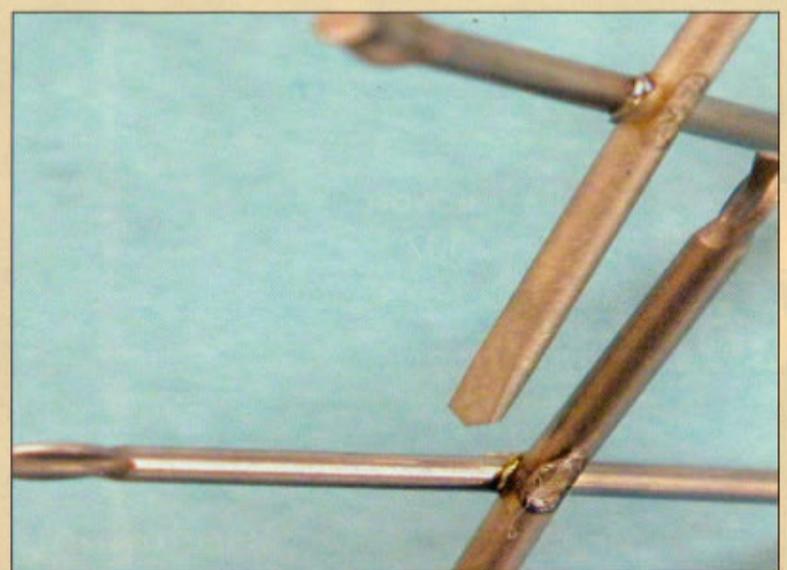


Fig. 4.1 - Giunto saldato con gas di protezione

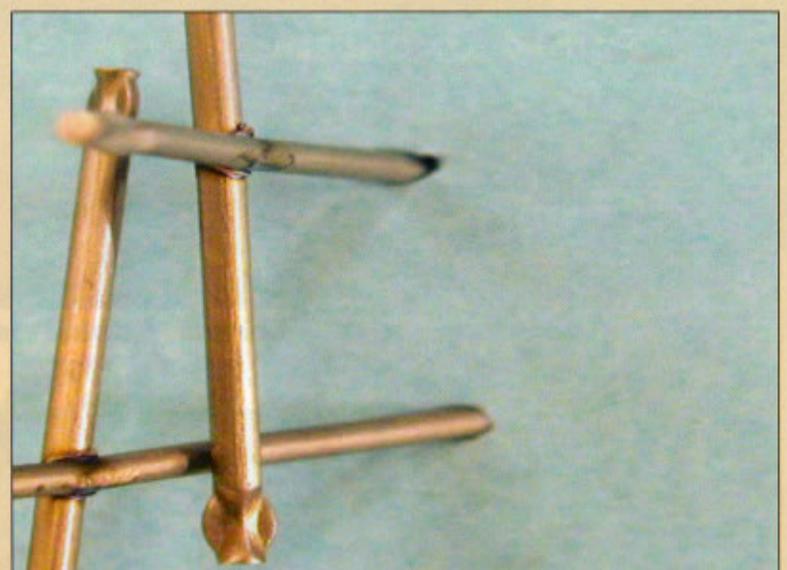


Fig. 4.2 - Giunto saldato senza gas di protezione

4 MACROGRAFIE DEL PUNTO DISALDATURA

**4.1 Esame macroscopico**  
La figura 4.1 mostra un giunto saldato con sincristallizzatrice in atmosfera satura di Argon; risulta pulito e senza tracce di ossido.

Il giunto mostrato in figura 4.2 è stato invece saldato senza gas di protezione; risulta ossidato e presenta tracce di saldatura.

4.2 Esame al microscopio ottico

Le seguenti due immagini sono state acquisite tramite un microscopio metallografico ad un ingrandimento di 41 X; entrambi i giunti sono stati sottoposti ad attacco acido.

Il giunto in figura 4.3, in cui è stato utilizzato il gas di protezione mostra una saldatura a massima penetrazione che rende il giunto stabile e resistente; quello in figura 4.4 in cui non è stato usato il gas di protezione mostra una saldatura superficiale che rende il giunto poco resistente.

4.5 Macrografie del punto di saldatura

L'osservazione dei campioni inviati è stata eseguita con un Microscopio Elettronico a Scansione (SEM) LEO 420 (LEO Electron Microscopy Ltd).

I parametri strumentali salienti utilizzati nel corso dell'osservazione sono riportati sulla striscia nera in basso di ciascuna figura:

- EHT = potenziale di accelerazione degli elettroni;
- WD = working distance;
- Mag = ingrandimento.



Fig. 4.3 - Giunto saldato con gas di protezione, ingrandimento 41X



Fig. 4.4 - Giunto saldato senza gas di protezione, ingrandimento 41X

← **DT** pagina 12

I campioni sono stati sezionati perpendicolarmente alla zona "sincristallizzata" e, senza ulteriori trattamenti, sono stati introdotti nella camera di analisi del SEM. Sono stati analizzati 4 diversi campioni prodotti per unione con sincristallizzatrice.

Data la perfetta sovrapposibilità dei risultati ottenuti, sono presentate e discusse le immagini più rappresentative raccolte su due campioni.

In questa immagine micro-

scopica, realizzata a 100 ingrandimenti per poter disporre di una visione d'insieme, è visibile una coppia di bacchette in titanio unite tra loro mediante sincristallizzazione. Già a questi bassi ingrandimenti, è possibile osservare la perfetta unione delle due unità.

Non sono evidenti in alcuna zona punti privi di legame o presenza di porosità, spesso osservabili a livello di metalli e leghe saldati sia con tecniche più tradizionali che con tecniche più recenti.

Le figure 4.6, 4.7 e 4.8, effet-

tuate rispettivamente a 500, 1000 e 2000 ingrandimenti, permettono non solo di confermare, ma anzi di rafforzare le evidenze già emerse dalla figura 4.5. Le due bacchette di titanio risultano intimamente unite, senza interruzioni strutturali.

I solchi e le increspature della superficie visibili nelle foto derivano dalle operazioni di taglio (effettuate per evidenziare la struttura interna della zona unita), che inevitabilmente lasciano questo tipo di tracce.

**4.4 Confronto con saldatura laser**

Nella figura 4.8, ottenuta da sezioni esaminate al microscopio SEM, è possibile già a minore ingrandimento osservare al centro una lacuna. Ciò è dovuto all'incapacità da parte del fascio laser di raggiungere in modo completo le strutture da saldare. Inoltre è visibile la linea di interfaccia tra i giunti che non si compenetrano. La figura successiva, a maggior ingrandimento, conferma questo quadro.

**4.5 Effetti clinici della solidarizzazione degli impianti**

L'evoluzione tecnologica e di pensiero in campo implantologico ha portato nell'ultimo periodo a valutare in pieno l'impor-

tanza del carico immediato.

La solidarizzazione è utile in tutte le tecniche, non solo per il carico immediato, in quanto la stabilizzazione protesica è condizione indispensabile per l'osteointegrazione dell'impianto e prescinde dal tipo di carico.

Tale concetto, del resto, è alla base di tutta l'implantologia ortopedica. Questa pratica poi è sempre stata alla base di tutti i procedimenti legati alla tecnica monobasica. L'elemento che accomuna i vari procedimenti è comunque la stabilità primaria, che rappresenta l'obiettivo da ricercare in assoluto. Solo con l'immobilità degli impianti è possibile ottenere la massima integrazione. Sappiamo infatti che i micromovimenti inducono la formazione di tessuto connettivo nell'interfaccia osso - impianto. D'altra parte è noto che, in accordo con le leggi di Roux e di Wolf, è fondamentale la stimolazione dell'osso per produrre tessuto con le caratteristiche istologiche adeguate.

Con il processo di solidarizzazione attraverso una barra saldata è stato possibile oltre alla stabilità ottenere il risultato di svincolare il sistema protesico dagli effetti della legge di Ante<sup>(5)</sup>. La barra di collegamento infatti lavora per compressione e per trazione e non per fles-

sione come una travata di un ponte. Di qui ne consegue una caduta della tensione a livello di sezione di passaggio intracorticale per cui non si forma il tipico riassorbimento conoide pericervicale degli impianti singoli sia mono che bifasica. Anzi impianti con lesione presente e mobilità di I° e II° genere allorché vengano integrati con altri impianti ad essi solidarizzati recuperano stabilità con regressione della lesione e recupero dei livelli della corticale che mediano in senso geometrico.

**Giorgio Lorenzon**  
Direttore responsabile  
del Centro Chirurgico  
di Brandizzo (TO)

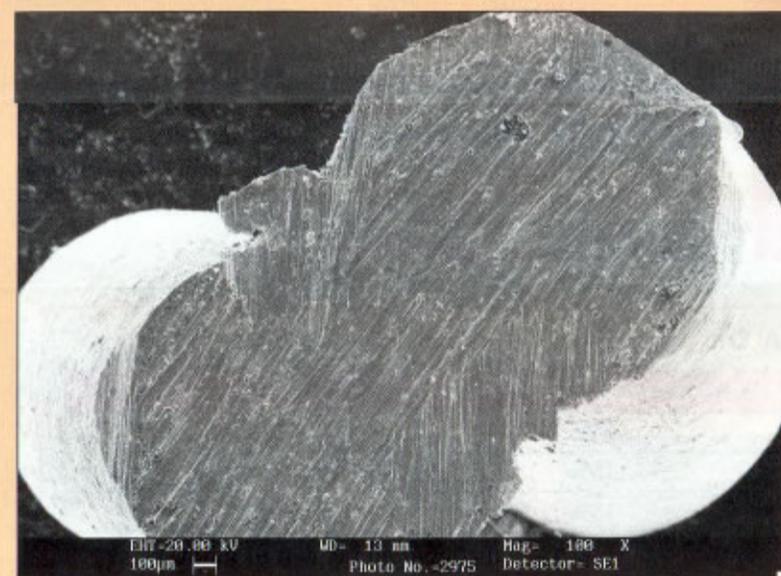


Fig. 4.5

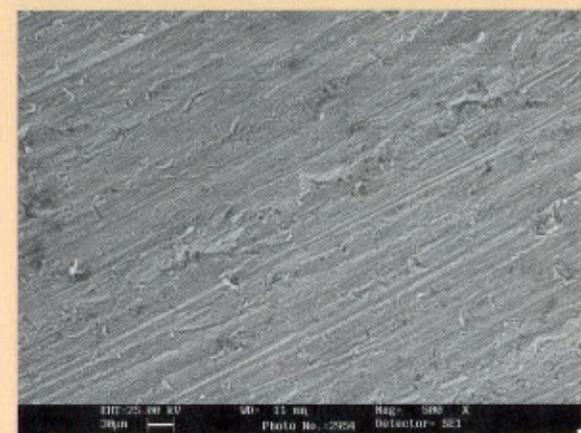


Fig. 4.6

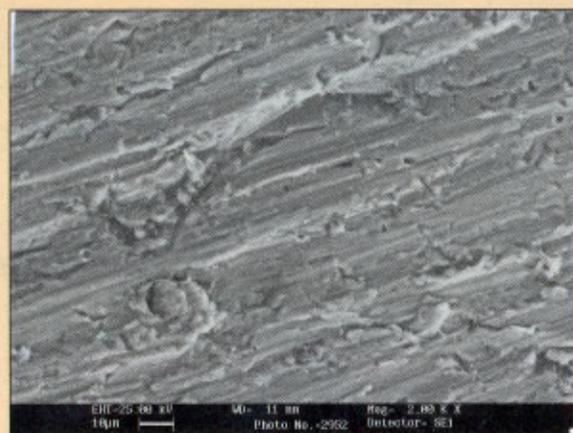


Fig. 4.7

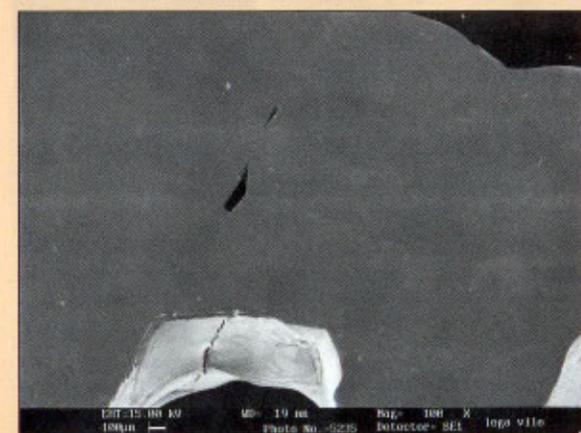


Fig. 4.8

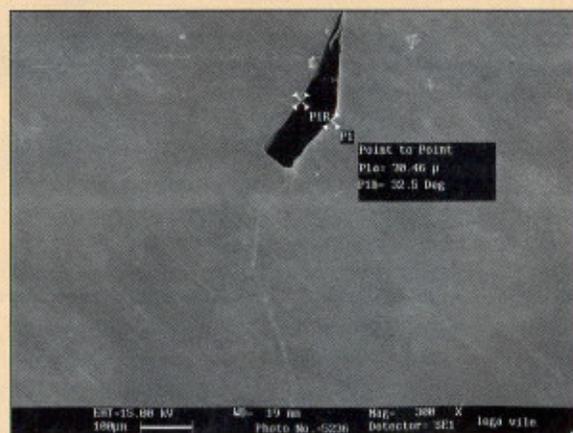


Fig. 4.9



Fig. 4.10 - A 15 giorni



Fig. 4.11 - A 60 giorni

**Bibliografia**

1. MONDANI P. "La saldatrice elettrica intraorale di Pierluigi Mondani".
2. www.glorenzon.it
3. ISTITUTO ITALIANO DELLA SALDATURA: "La saldatura: procedimenti tecnologici e basi scientifiche".
4. ISTITUTO ITALIANO DELLA SALDATURA: "La saldatura per fusione".
5. LORENZON G., BIGNARDI C.: "Analisi biomeccanica dei sistemi implantari"; Dental Cadmos 2005 - vol. 71,10: 65-86.
6. PASQUALINI M. E., BILUCAGLIA L., MIRANDOLA A., BERTELE G.: "Implantologia: dall'ipotesi al carico immediato - Oral implantology: from hypothesis to immediate loading". European Journal of Implant Prosthodontics. Official Journal of the Società Italiana di Chirurgia Odontostomatologica.
7. DEGIDI M. MD, DDS; GEHRKE P., DDS; SPANEL A., DIPL. ING.; PIATTELLI A., MD, DDS: "Synocrystallization: A Technique for Temporization of Immediately Loaded Implants with Metal- Reinforced Acrylic Resin Restorations".
8. GEHRKE P., SPANEL A., DEGIDI M., PIATTELLI A., DHOM G.: "FEM Analysis on Deformation and Stress Distribution in Fixed Metal-Reinforced Provisional Restorations of Immediately Loaded XiVe® Implants in the Edentulous Mandible". 12th International FRIADENT Symposium 2006 March 24-25, 2006/Salzburg, Austria.
9. DEGIDI M., GEHRKE P., PIATTELLI A.: "Synocrystallization: A new Technique for Temporization of Immediately Loaded Implants". 14th Annual Scientific Meeting European Association for Osseointegration. September 22-24, 2005 Munich, Germany.
10. TRAMONTE S. U., CAMERA A., PASQUALINI M.E.: "A review and critical analysis of a 32-year old histological study of tissues around the necks of Tramonte implants". JISOI - The official Journal of the Indian Society of Oral Implantologists - December /2005 - vol.2 No.2, 2005.
11. PASQUALINI M.E., MANGINI F., COLOMBO D., MANENTI P.A., ROSSI F.: "Stabilizzazione di impianti emergenti a carico immediato. SALDATRICE ENDORALE." DENTAL CADMOS - Estratto 9/2001.
12. DENTAL CADMOS - Estratto 2005; vol. 73, 4: 65-69. Carico Immediato di Impianti Monofasici Mascellare Superiore. vF Rossi, M.E. Pasqualini, F. Mangini, P. Manenti
13. DOCTOR OS - Supplemento. Istologia comparata dei tessuti della "zona del colletto" di un dente naturale e di tre viti di Tramonte. Histologic analysis comparison of the human gingiva around the neck area of both a natural tooth and three tramonte screw implants. A. Camera, M.E. Pasqualini, S.U. Tramonte
14. Intra-oral welding of temporary implant abutments with a pre-fabricated titanium bar: A new technique for accelerated rigid splinting of immediately loaded implants. Peter Gehrke, Marco Degidi, Andre Spanel, Günter Dhom, Adriano Piattelli