

2013

ITIS LEONARDO  
DA VINCI - Pisa

F.Boni – S.Bracaloni  
M.Nerini

# **DISPENSA: RICHIAMI GENERALI SULLE SALDATURE**

*Struttura costruzione del mezzo aereo ed impianti di bordo – 3° Anno*

## Sommario

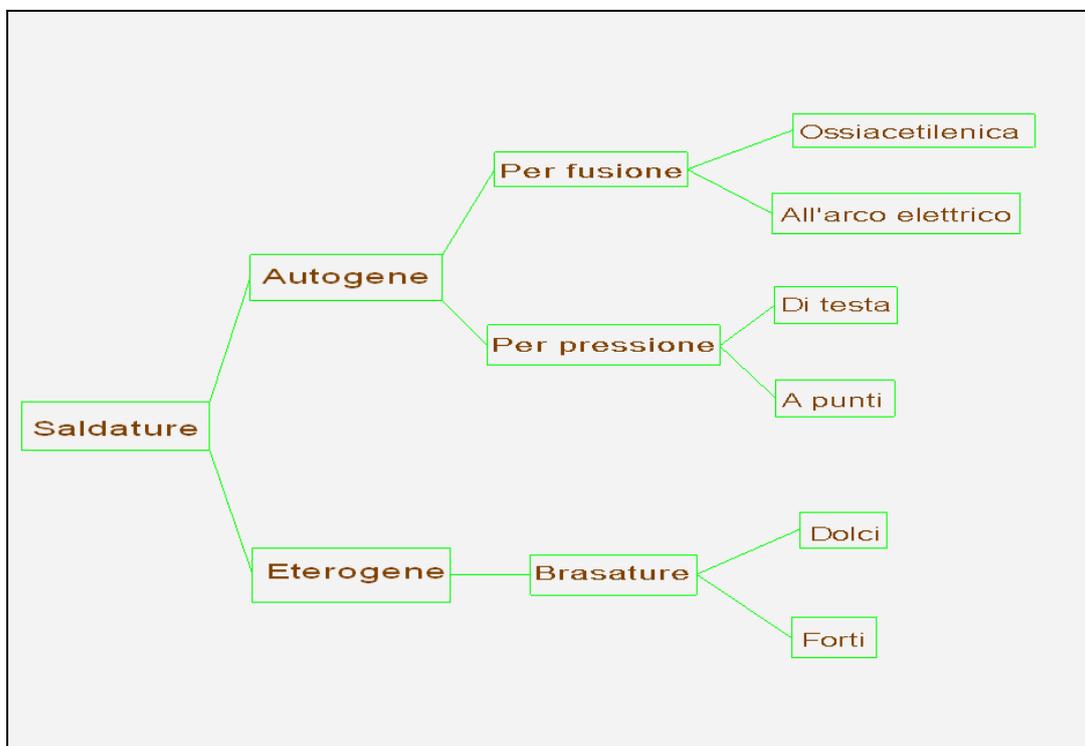
1. CLASSIFICAZIONE DEI METODI DI SALDATURA .....	3
2. METODI DI SALDATURA AUTOGENA.....	4
2.1 Saldature autogene per fusione .....	4
2.1.1 Saldatura Ossiacetilenica .....	4
2.1.2 Saldatura all'arco Elettrico .....	8
2.1.3 Ossitaglio .....	17
2.1.4 Taglio al Plasma .....	18
2.2 Saldature autogene per pressione .....	18
2.2.1 Metodo di testa .....	19
2.2.2 Metodo a punti .....	19
2.2.3 Metodo a rulli .....	19
3. METODI DI SALDATURA ETEROGENA .....	19

# 1. CLASSIFICAZIONE DEI METODI DI SALDATURA.

Le saldature si possono distinguere in **autogene** ed **eterogene**.

La saldatura **autogena** è quella in cui il metallo base (cioè il metallo che costituisce i pezzi da saldare) partecipa attivamente alla saldatura, sia che venga portato a fusione, come nella saldatura a gas ed in quella ad arco, sia che venga portato allo stato pastoso, come nella saldatura a pressione.

Nella saldatura **eterogena** invece, viene portato a fusione solo il metallo d'apporto, mentre il metallo base rimane inattivo. Sono saldature eterogenee le **brasature**; tali saldature non sono omogenee; vale a dire che il metallo d'apporto è diverso dal metallo base.



## 2. METODI DI SALDATURA AUTOGENA

La saldatura autogena si può ottenere per fusione, quando la realizzazione della giunzione si consegue portando a fusione il metallo base; oppure per pressione, quando le parti da unire sono portate allo stato pastoso e vengono successivamente compresse fra loro.

### 2.1 Saldature autogene per fusione

I principali metodi di saldatura per fusione sono: la **saldatura a gas** e la **saldatura ad arco**.

Nella saldatura a gas la fusione del metallo base e del metallo d'apporto si ottiene per mezzo del calore sviluppato dalla combustione di un gas con l'ossigeno.

A seconda del gas impiegato si potrà avere la saldatura ossiacetilenica, se il gas combustibile è l'acetilene, la saldatura ossidrica, se il gas combustibile è l'idrogeno, la saldatura al propano etc.

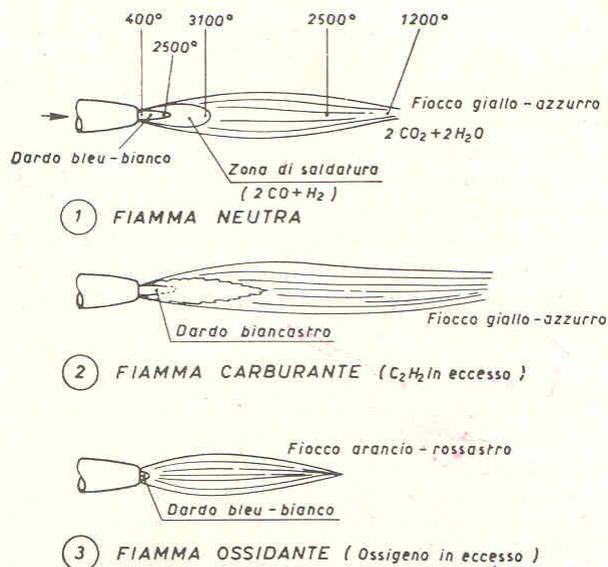
Nella saldatura ad arco la fusione si ottiene invece grazie al calore sviluppato dall'arco elettrico.

#### 2.1.1 Saldatura Ossiacetilenica

Il metodo di saldatura a gas più diffuso è quello ossiacetilenico, nel quale il calore necessario per fondere il metallo base e quello d'apporto si ottiene dalla combustione dell'ossigeno con l'acetilene  $\rightarrow C_2H_2$ , secondo la reazione:



Tale reazione è detta reazione primaria. I prodotti di questa reazione, e cioè ossido di carbonio CO e idrogeno, entrano in combinazione con l'ossigeno atmosferico, dando luogo alla formazione delle reazioni secondarie:



Il punto più caldo della fiamma ossiacetilenica si trova a circa 1 mm oltre la punta del **dardo**; qui la temperatura è di circa 3100°, naturalmente nell'eseguire una saldatura ossiacetilenica si avrà cura di tenere il cannello in modo che il dardo sfiori il bagno di fusione, per poter sfruttare il punto più caldo della fiamma.

Quando al cannello giungono volumi uguali di acetilene e di ossigeno, questi due gas reagiscono completamente secondo la (1) e la fiamma si dice **neutra**.

Se al cannello giunge acetilene in eccesso, la fiamma è **carburante**; tale fiamma è adatta per la saldatura delle leghe leggere che presentano una grande affinità per l'ossigeno poiché diminuisce il pericolo di ossidazione.

Se invece al cannello giunge ossigeno in eccesso, la fiamma è **ossidante**; una fiamma ossidante causa la formazione di ossidi nel bagno di fusione e peggiora le qualità meccaniche della giunzione; quindi è da evitarsi.

Una fiamma *neutra* è caratterizzata da un dardo nitido e brillante, quasi cilindrico, mentre

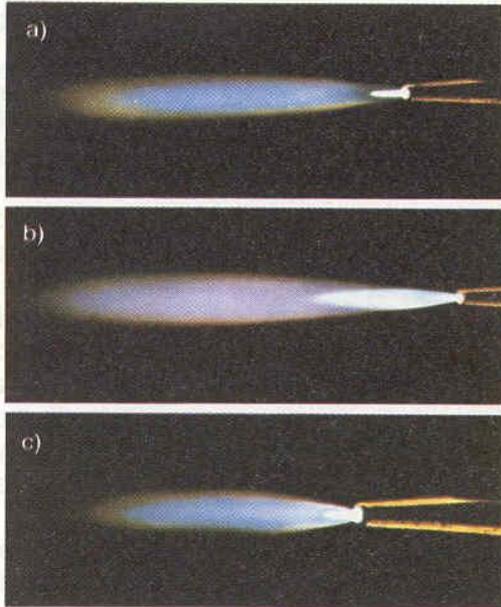


Fig. 4 Tipi di fiamma

- a) neutra
- b) carburante
- c) ossidante

l'aureola non è molto sviluppata; attraverso gli occhiali da saldare si vede praticamente solo il dardo. Una fiamma *carburante* è caratterizzata da un'aureola biancastra; una fiamma *ossidante* invece si riconosce perché il pennacchio della fiamma è più corto e più stretto mentre il dardo è meno brillante, più azzurro, più corto ed appuntito; la zona circostante al dardo è rossastra e più luminosa per cui il dardo stesso si distingue molto bene.

**Ossigeno.** Viene prodotto industrialmente per *distillazione frazionata* dell'aria liquida<sup>1</sup>; esso viene fornito commercialmente in *bombole d'acciaio* entro cui si trova compresso a 150/200 atm.

La *pressione di utilizzazione* può variare invece fra 0,5 e 3 atm per cui la bombola dell'ossigeno deve essere provvista di un *riduttore di pressione* dotato di due *manometri* (uno per l'indicazione della pressione di erogazione ed uno per l'indicazione della pressione all'interno della bombola).

**Acetilene.** L'Acetilene ( $C_2H_2$ ) è un gas della famiglia degli idrocarburi, il cui potere calorifico è di 13.600 kcal/m<sup>3</sup> (a 0°C e 760 mmHg di pressione).

L'acetilene è di odore sgradevole ed è esplosivo ad una pressione superiore a 1,5 atm. Disciolto in acetone, l'acetilene è più stabile e può venir compresso fino a 15 atm.

Poiché la solubilità dell'acetilene nell'acetone è di 25 litri per litro di acetone e per atmosfera, a 15 atmosfere un litro di acetone può contenere 25 X 15 = 375 litri di acetilene, con un aumento di volume dell'acetone del 70%. Inversamente, man mano che viene erogato acetilene, l'acetone subisce una contrazione; per cui si verrebbe a formare nella parte superiore della bombola una sacca gassosa di acetilene compresso e quindi pericolosissimo. Per questo motivo, le bombole contenenti acetilene disciolto in acetone sono riempite con un materiale altamente poroso, in modo che lo spazio interno della bombola sia finemente suddiviso in tanti piccoli volumi; in tal modo viene evitato il pericolo di esplosioni perché quando l'acetilene gassoso è finemente suddiviso è stabile. La materia porosa ha anche lo scopo di impedire che un ritorno di fiamma che dovesse accidentalmente raggiungere la parte superiore della bombola possa propagarsi nella soluzione acetone-acetilene provocandone l'esplosione. Il materiale poroso è costituito da un impasto di amianto, farina fossile, carbone di legna e segatura.

<sup>1</sup> L'aria diviene liquida a 1 atm e -196°C. Per ottenere azoto e ossigeno dall'aria liquida si procede poi mediante distillazione frazionata. Questo è possibile poiché l'ossigeno bolle a -183 °C mentre l'azoto a -196 °C. Mettendo quindi aria liquida in un distillatore e portando la temperatura a -196 °C si avrà sviluppo di azoto gassoso, mentre l'ossigeno rimarrà liquido. Dalla distillazione dell'aria liquida si possono produrre inoltre tutti i gas nobili (Ar, Xe, Kr) mediante successivi processi di distillazione.

Complessivamente lo spazio interno di una bombola di acetilene risulta così suddiviso in volume:

28% acetilene;  
40% acetone;  
20% materiale poroso di riempimento;  
12% spazio vuoto.

Lo spazio vuoto (12%) ha lo scopo di consentire il prelievo di acetilene senza che avvengano trascinati di acetone; inoltre consente alla soluzione acetilene-acetone di dilatarsi qualora vi siano aumenti di temperatura.

In ogni caso il prelievo di acetilene non deve essere superiore a 1500 litri/ora (per una bombola) altrimenti la sua fuoriuscita è irregolare e si hanno perdite di acetone.

Anche la bombola dell'acetilene, come quella dell'ossigeno, è provvista di un riduttore di pressione in modo che l'erogazione possa avvenire alla pressione richiesta, di circa 0,5atm. Il riduttore di pressione per l'acetilene differisce da quello per l'ossigeno per la portata della scala del manometro di alta pressione, che è di 15 atm invece che di 150atm; inoltre sono differenti i dispositivi di fissaggio e le valvole di emissione.

### **Il posto ossiacetilenico**

Un posto ossiacetilenico moderno in generale si compone di :

- Bombole di gas: sono recipienti ad alta pressione in acciaio o in lega leggera costruiti appositamente allo scopo di contenere i gas compressi a 200 atmosfere.

Si differenziano, per i vari tipi di gas, dalla colorazione dell'ogiva (bianca per l'ossigeno, arancione per l'acetilene, grigia per l'argon, ecc.).

- Riduttori di pressione (Ossigeno e Acetilene): hanno lo scopo di ridurre e stabilizzare la pressione dei gas impiegati.

- Accessori: Valvole di sicurezza, tubi gomma, raccordi rapidi di connessione, anelli stringi-tubo. Le valvole di sicurezza, o dispositivi di sicurezza, impediscono i ritorni di fiamma e di gas verso le bombole, riducendo il rischio di scoppio delle bombole stesse, e scaricano le sovrappressioni, evitando l'esplosione delle valvole per bombole o dei tubi gomma.

- Cannelli per saldatura e taglio. Il cannello per saldatura è un apparecchio che permette di ottenere una miscela conveniente del gas combustibile con il gas comburente i quali, incendiandosi all'uscita, danno luogo alla formazione di una fiamma stabile, di forma, potenza e proprietà determinate.

#### **2.1.1.1 Saldatura ossiacetilenica dell'acciaio dolce**

**L'acciaio dolce**, comunemente chiamato "ferro", è un metallo duttile, malleabile e tenace; il suo **punto di fusione è di 1510 °C**. Scaldato al rosso ed a contatto dell'aria esso si ossida rapidamente: sul bagno di saldatura tende quindi a formarsi uno strato superficiale di ossido di ferro. **La saldatura degli acciai dolci ed extra dolci in commercio produce ottimi risultati**; gli acciai semiduri sono meno facilmente saldabili; gli acciai duri ed extra duri non sono praticamente saldabili con il cannello.

#### **2.1.1.2 Saldatura ossiacetilenica della ghisa**

La ghisa è una lega di ferro e carbonio ed il suo punto di fusione varia da 1050 a 1200 °C secondo la proporzione di carbonio e di altri elementi che la compongono. La ghisa non avendo alcuna tenacità a caldo né allungamento, è suscettibile di rottura, ciò rende **difficile la preparazione e l'esecuzione della saldatura. In pratica la saldatura della ghisa si limita a lavori di riparazione.**

### **2.1.1.3 Saldatura ossiacetilenica del rame**

Il rame è un metallo di colore rossastro, tenace, malleabile e duttile ed il suo punto di fusione è di 1083 °C. E' un buon conduttore di calore, molto fragile a caldo. A 500 °C la sua tenacità è ridotta del 60%. **Il rame si salda benissimo quando è puro**, ma quando contiene dell'ossido questo per l'azione del calore si trasforma e rende il rame inadatto a qualsiasi lavoro meccanico.

### **2.1.1.4 Saldatura ossiacetilenica dell'ottone**

L'ottone è una lega di rame e zinco; esso può anche contenere piccole quantità di stagno, piombo e alluminio.

La saldatura dell'ottone dà luogo al seguenti fenomeni che rendono **difficile la sua esecuzione: ossidazione viva del metallo specie a spese dello zinco che volatizza; assorbimento da parte del metallo in fusione di gas, con produzione di soffiature.**

## 2.1.2 Saldatura all'arco Elettrico

Il passaggio della corrente elettrica attraverso lo spazio che separa l'elettrodo dal pezzo dà luogo a fenomeni luminosi, termici ed elettrici che nel loro complesso costituiscono l'arco elettrico.

Finché l'elettrodo non è a contatto col pezzo non vi è alcun passaggio di corrente, a causa dell'elevata resistenza elettrica opposta dall'aria. Il circuito elettrico, in queste condizioni, si presenta aperto.

Ponendo a contatto l'elettrodo ed il pezzo si ha la chiusura del circuito elettrico, con il passaggio di una corrente molto intensa (corrente di corto circuito); si ha allora un riscaldamento di tutto il

circuito particolarmente localizzato però in corrispondenza dell'estremità dell'elettrodo ove, per l'imperfezione del contatto col pezzo, la resistenza (dovuta allo strato d'aria tra pezzo ed elettrodo) è maggiore. Il forte riscaldamento dell'estremità dell'elettrodo dà luogo all'emissione di elettroni per effetto termoionico. Le molecole di aria urtate dagli elettroni si ionizzano e l'aria circostante alla zona di contatto diviene conduttrice.

Scostando ora di qualche millimetro l'elettrodo dal pezzo il flusso di elettroni passa dall'elettrodo al pezzo attraverso l'aria divenuta conduttrice.

L'urto degli elettroni con le molecole di aria dà luogo ad un forte sviluppo di calore accompagnato da una intensa emissione luminosa e dalla formazione di vapori metallici. Il complesso di questi fenomeni costituisce appunto l'arco elettrico ed avviene ad una temperatura di circa 3800-5000°C.

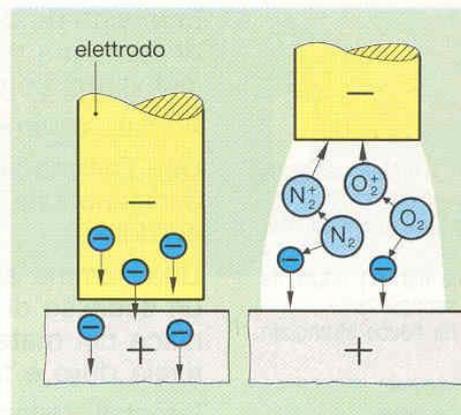


Fig. 1 Ionizzazione nell'arco

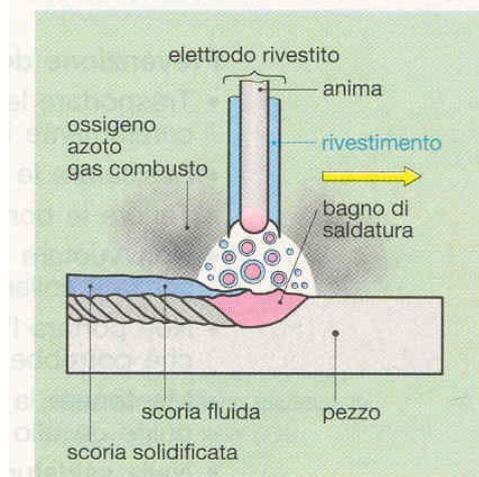


Fig. 4 Fusione dell'elettrodo e formazione della scoria

L'estremità dell'elettrodo fonde allora sotto forma di goccioline che cadono sul pezzo, sulla superficie del quale si forma un bagno di fusione; il metallo deposto dall'elettrodo si mescola intimamente a quello del metallo base ed avviene così la saldatura. Spostando progressivamente l'elettrodo lungo la superficie del metallo base, si sposta corrispondentemente anche il bagno di fusione ed il metallo d'apporto si deposita sotto forma di cordone di saldatura.

Una piccola parte del metallo che attraversa l'arco (particolarmente in prossimità dell'estremità dell'elettrodo ove il riscaldamento è massimo) viene vaporizzata e sfugge in parte sotto forma di spruzzi oppure si condensa nuovamente in metallo fuso in corrispondenza del bagno di fusione, che si trova a temperatura più bassa.

La tensione superficiale non influisce sensibilmente sul trasporto del metallo fuso dall'elettrodo al metallo base ma presenta ugualmente notevole importanza perché impedisce al cordone di saldatura di sparpagliarsi, favorendo la ritenzione del metallo liquido anche in superfici non orizzontali.

La combustione e la volatilizzazione del materiale di rivestimento degli elettrodi genera un flusso gassoso che favorisce il distacco delle gocce di metallo fuso dall'elettrodo e la proiezione delle stesse sul pezzo. La pressione dei gas che si formano nell'arco elettrico forma un cratere che dà luogo al bagno di fusione. Spesso il metallo fuso viene spinto dai

gas ai bordi del cratere, ove la temperatura è più bassa ed il raffreddamento più rapido per cui il cordone di saldatura risulta difettoso.

**In un arco elettrico di normale lunghezza** il metallo fuso abbandona l'elettrodo passando attraverso l'arco, la cui «aureola» evita il contatto con l'aria esterna; il cordone di saldatura presenta buone proprietà fisiche e meccaniche ed i difetti sono ridotti al minimo.

**Se l'arco è troppo lungo** la fiamma dell'arco tende ad oscillare lateralmente mettendo in vibrazione le gocce di metallo che si staccano dall'elettrodo, per cui il deposito è irregolare. Inoltre l'arco non protegge né la goccia che si sta depositando, né il bagno di fusione, che si ossidano,

L'arco lungo provoca quindi svariati difetti quali mancanza di penetrazione, cattivo aspetto del cordone di saldatura, porosità, spruzzi e rapido consumo dell'elettrodo. Può anche avvenire che la resistenza elettrica opposta dallo strato d'aria interposto fra l'elettrodo ed il pezzo assuma valori tali da impedire il passaggio della corrente elettrica; in tal caso l'arco si spegne,

D'altra parte anche un arco troppo corto rende difficoltosa la saldatura e provoca difetti analoghi a quelli causati dall'arco lungo.

**E' difficile valutare ad occhio se la lunghezza dell'arco è corretta; la valutazione è però possibile per mezzo dell'udito poiché durante i movimenti dell'elettrodo sulla superficie del pezzo un arco di lunghezza normale emette un crepitio caratteristico.**

## Campo d'impiego della Saldatura Ad Arco

La saldatura ad arco è attualmente uno dei metodi di saldatura più diffusi, per i grandi vantaggi che presenta particolarmente nei confronti della saldatura a gas, di una grande semplicità delle attrezzature, di una forte capacità di penetrazione, di un riscaldamento molto localizzato per cui **vengono ridotte le distorsioni del giunto**, di una elevata velocità di saldatura.

### 2.1.2.1 Elettrodi

L'impiego di elettrodi nudi è ormai abbandonato perché essi danno luogo a molteplici inconvenienti: l'arco stenta ad accendersi ed è instabile rendendo difficile l'esecuzione della saldatura (in ogni caso non è possibile effettuare saldature che non siano in piano); **l'ossigeno e l'azoto atmosferico attaccano il metallo base** peggiorando le qualità meccaniche della giunzione; gli elementi leganti contenuti nell'elettrodo vengono in parte perduti, per ossidazione o volatilizzazione durante il passaggio attraverso l'arco; Il cordone si raffredda rapidamente con effetti di tempra locale.

**Risulta pertanto indispensabile dotare gli elettrodi di un rivestimento che esplica le seguenti funzioni:**

- favorire il mantenimento dell'arco in direzione del bagno di fusione facilitando l'operazione di saldatura (fig. 6.35.);
- facilitare l'innesco dell'arco favorendo la ionizzazione;
- dar luogo allo sviluppo di gas che proteggano le gocce fuse, nel loro tragitto dall'elettrodo al pezzo,

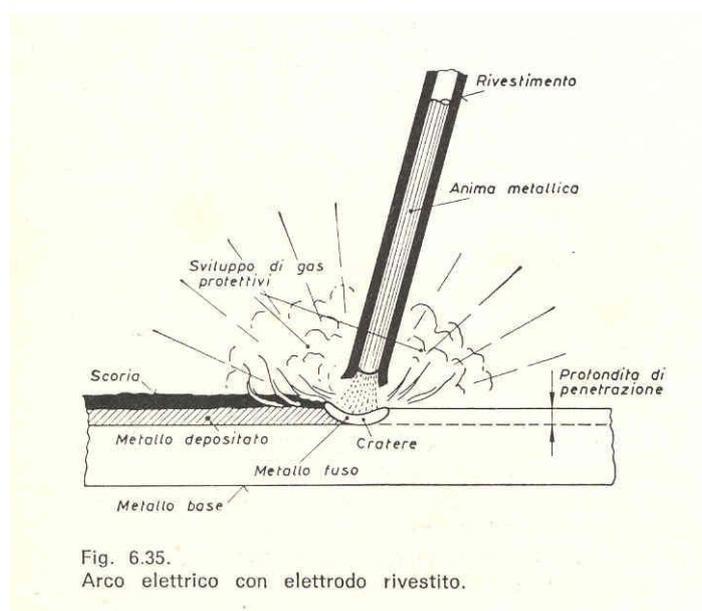


Fig. 6.35.  
Arco elettrico con elettrodo rivestito.

dall'azione nociva dell'ossigeno e dell'azoto atmosferico;

d) formare una scoria che galleggi sul bagno di fusione, affinandolo e depurandolo da elementi nocivi (zolfo e fosforo) e, ove necessario, correggendo la composizione chimica del bagno introducendovi elementi aggiuntivi sotto forma di ferro-leghe;

e) permettere di ottenere cordoni di bell'aspetto (in quanto il bagno di fusione viene modellato dal peso della scoria liquida che galleggia su di esso).

Il materiale costitutivo degli elettrodi deve possedere ottime proprietà meccaniche di resistenza a trazione, di allungamento percentuale, di resilienza e di attitudine al piegamento o alla deformazione a caldo, per far sì che il cordone di saldatura possieda proprietà meccaniche il più possibile prossime a quelle del metallo base.

### Classificazione degli Elettrodi

Gli elettrodi si possono classificare a seconda del tipo di rivestimento in: acidi, basici, rutili, cellulosici ed ossidanti.

a) **Elettrodi acidi.** Il rivestimento, a base di silice (biossido di silicio,  $\text{SiO}_2$ ), di carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), caolino, ferro-leghe ed ossidi di ferro, esplica azione scorificante (ad opera del silicio) depurante (ad opera dei carbonati) e disossidante (adopera delle ferro-leghe). **Questi elettrodi si possono usare con corrente continua oppure alternata. Sono adatti alla saldatura di acciai a basso tenore di carbonio.**

b) **Elettrodi basici.** Il rivestimento è costituito da carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), spatofluore (fluoruro di calcio,  $\text{CaF}_2$ ) e ferro-leghe (ferro-titanio, ferro-silicio e ferro-manganese) ed esplica un'energica azione desolforante e defosforante; inoltre le ferro-leghe agiscono come disossidanti. Il rivestimento basico sopporta temperature di cottura superiori a quelle degli altri elettrodi per cui essi sono praticamente esenti dall'acqua dell'impasto, che danneggerebbe la saldatura; d'altra parte, per lo stesso motivo, sono fortemente igroscopici e vanno conservati in un luogo molto asciutto.

**Gli elettrodi basici funzionano meglio in corrente continua, polarità inversa (positivo all'elettrodo); trovano larga applicazione nell'esecuzione di saldature su acciai molto impuri oppure nell'esecuzione di saldature che debbano essere soggette a forti sollecitazioni meccaniche, o per saldature su acciai ad elevato tenore di carbonio.** Gli elettrodi basici presentano però l'inconveniente di sviluppare vapori tossici, per cui è necessario usare grande cautela nel loro uso in locali chiusi; inoltre rendono l'arco poco stabile.

c) **Elettrodi con rivestimento a base di rutilo.** Il rivestimento di questi elettrodi contiene il 50% di rutilo (biossido di titanio,  $\text{TiO}_2$ ); la rimanenza è costituita da ferro-leghe e sostanze scorificanti a base di silice. Il rutilo favorisce la ionizzazione e quindi l'innesco e la stabilità dell'arco. Gli elettrodi a base di rutilo **funzionano bene sia in corrente continua che in corrente alternata, sono indicati per la saldatura degli acciai dolci e facilitano l'esecuzione di saldature verticali o sopratesta.** L'aggiunta di carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) al rivestimento a base di rutilo rende la scoria più fluide diminuisce il pericolo di inclusioni.

d) **Elettrodi cellulosici.** Il rivestimento di questi elettrodi contiene fino al 30% di cellulosa; la rimanenza è costituita da biossido di titanio, biossido di silicio e ferro-leghe disossidanti. Durante la saldatura la cellulosa volatilizza creando un flusso gassoso di protezione.

**Gli elettrodi cellulosici si impiegano in corrente continua. Sono elettrodi a forte penetrazione e danno una piccolissima quantità di scoria. Consentono l'esecuzione di saldature verticali anche discendenti (più veloci di quelle ascendenti) e**

**sopratutto, come pure di saldature su giunzioni i cui bordi siano stati preparati in modo imperfetto.**

Un inconveniente degli elettrodi cellulosici è quello di sviluppare una forte quantità di idrogeno. **per cui non si prestano alla saldatura di acciai a medio e alto tenore di carbonio.**

### **2.1.2.2 Scelta dei parametri di saldatura**

Per stabilire quale saldatrice scegliere in base al diametro dell'elettrodo da saldare è sufficiente moltiplicare il diametro dell'elettrodo stesso per 40 e scegliere quindi una saldatrice che dia almeno il valore di corrente risultante.

Esempio: per saldare con un elettrodo diametro 3.25 ( $3.25 \times 40 = 130(A)$ ), la saldatrice dovrà fornire almeno 130(A).

Lo spessore dell'elettrodo va in base allo spessore da saldare vedi la tabella:

Spessore della lamiera (mm)	Diametro dell'elettrodo(mm)	Intensità di corrente (A)
<b>2</b>	<b>2</b>	<b>80</b>
<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>100</b>
<b>3/3.5</b>	<b>3</b>	<b>120</b>
<b>4</b>	<b>3.25</b>	<b>130</b>

### 2.1.2.3 Saldatura MIG/MAG

La **saldatura a filo continuo in atmosfera protettiva** è ormai ben nota da tempo: essa è contrassegnata dal simbolo **G.M.A.W. (Gas Metal Arc Welding)** che nella simbologia internazionale ha sostituito le precedenti **M.I.G. (Metal Inert Gas – gas protettivo Ar o He)** e **M.A.G. (Metal Active Gas – gas protettivo CO<sub>2</sub> o miscele Ar/CO<sub>2</sub>)**, peraltro ancora di uso corrente.

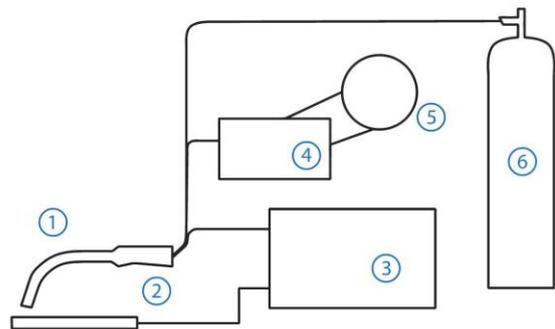
E' caratterizzata dalla fusione di un metallo d'apporto (filo continuo) entro un'atmosfera protettiva creata da un gas; filo e gas sono condotti da una torcia che fornisce direttamente al filo l'energia elettrica di fusione, tramite un arco che scocca tra estremità del filo e il pezzo da saldare.

L'alimentazione elettrica è assicurata da una sorgente di particolari caratteristiche; si usa normalmente **corrente continua con polarità positiva al filo.**

#### Descrizione di un impianto

Un impianto per saldatura a filo continuo in atmosfera protettiva è essenzialmente composto da:

1. Torcia con duplice funzione: far scoccare l'arco fra il filo ed il pezzo e portare il gas di protezione sul bagno di saldatura
2. Massa
3. Generatore di corrente continua (nelle macchine moderne il controllo della caratteristica d'arco è effettuato elettronicamente)
4. Meccanismo di avanzamento e controllo del filo
5. Aspo avvolgifilo
6. Bombola del gas di protezione



**Il meccanismo di avanzamento del filo** è in genere, nelle migliori costruzioni, azionato da un motore a corrente continua con regolazione elettronica. Esso è adatto a spingere fili di diametro **0,6 - 2,4mm**, cambiando i rulli tra i quali viene premuto il filo.

Poiché è la velocità del filo che richiama più o meno corrente, l'esatta regolazione di questo parametro è essenziale per una buona saldatura.

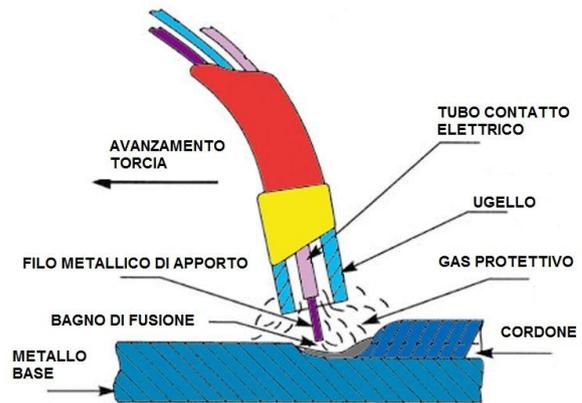
**I cavi torcia** hanno lunghezze comprese tra 2 e 4 m a seconda dell'impiego; lunghezze superiori sono possibili ricorrendo a speciali torce, sistema "push-pull", con incorporato un motore che tira il filo aiutando la spinta del normale motore del traino. Un'altra soluzione è data da pistole con micro rocchetto incorporato. Lungo il cavo (normalmente entro una guaina di protezione) sono disposti: il conduttore della corrente di saldatura, i cavetti di comando, la tubazione del gas ed eventuali tubazioni per l'acqua, nel caso di torce non a raffreddamento naturale, oltre alla guaina guidafilo. L'impugnatura della torcia reca un pulsante di comando per l'inserzione della corrente di saldatura, la fuoriuscita del gas e l'avanzamento del filo.

**Il corpo della torcia**, con esterno isolato, conduce filo, gas e corrente; termina con un ugello, dal quale fuoriesce il gas mediante un apposito diffusore, attorno ad un tubetto che porta corrente al filo che vi scorre dentro.

**Il filo di saldatura** è avvolto su anelli o rocchetti di supporto; la superficie è ramata, per protezione e per un buon contatto elettrico; le spire libere non devono presentare effetto d'elica, la rigidità deve consentire la spinta del traino, ma non deve essere eccessiva. I diametri usati sono 0,6 - 0,8 - 1 - 1,2 - 1,6 (raramente 2 - 2,4) mm.

**I gas di saldatura.** L'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) usata come gas protettivo deve essere ben secca, per evitare inconvenienti durante la fusione (spruzzi) e pericolo di cricche da idrogeno. Essa dà luogo ad un bagno di fusione molto penetrato e relativamente stretto. E' del tutto innocua per l'operatore, al quale peraltro dovrà essere assicurato un opportuno ricambio dell'aria ambiente (eliminazione dei fumi).

L'aggiunta di Argon dà luogo a miscele che in genere contengono 70 - 90 % Ar. Vengono usate sia per migliorare l'aspetto esteriore del cordone, sia per innalzare i valori meccanici, a parità di altre condizioni. La penetrazione è maggiore al centro del cordone, minore sui fianchi; ciò può presentare qualche rischio di incollature. La quantità di gas protettivo varia da 8 a 15 l/min. La portata è regolata, generalmente, da riduttori con manoflussometro.



### Tecniche operative

A seconda degli scopi da raggiungere si regolano i parametri di saldatura in modo che il filo fonda in modo appropriato e cioè:

- . con la formazione di piccole gocce che passano attraverso l'arco
- . con goccioline che si immergono nel bagno prima di staccarsi dal filo.

Nel primo caso si parla di tecnica **"SPRAY-ARC"** cioè di arco a spruzzo; nel secondo caso di **"SHORT-ARC"** cioè di arco corto. In genere fino a 200 A e 24 V circa, il trasferimento del metallo avviene in SHORT-ARC; al di sopra di questi valori si forma l'arco a spruzzo.

**Su lamiere sottili, nel fondo dei cianfrini e nei giunti non in piano è necessaria la tecnica SHORT-ARC; per spessori rilevanti e per ottenere grandi penetrazioni si usa la tecnica SPRAY-ARC.**

### Il Procedimento MIG/MAG nell'industria:

#### Ragioni della scelta:

- . produttività
- . facilità d'impiego in tutte le posizioni
- . ampia utilizzazione del procedimento

#### Modi di utilizzo:

- . nella maggioranza dei casi l'utilizzo è manuale. Poiché l'attività del filo elettrico è forzosamente automatica, l'utilizzo manuale del procedimento MIG/MAG ha dato luogo alla denominazione "semiautomatico"
- . automatico in casi di saldatura robotizzata

#### Metalli:

- . acciai non legati o debolmente legati
- . acciai inossidabili
- . leghe leggere o di rame

### Campi di impiego:

- . caldareria
- . produzione automobilistica, ferroviaria, navale
- . carpenteria metallica
- . mobili metallici

### 2.1.2.4 Saldatura TIG

TIG significa "Tungsten Inert Gas". L'arco scocca tra un **elettrodo infusibile in tungsteno** e il metallo base; il bagno di fusione è protetto dall'ossidazione da un flusso di gas inerte (Argon, Elio o una miscela dei due) che viene soffiato sul bagno coassialmente all'elettrodo.

Questi gas o miscele per poter essere utilizzati devono necessariamente essere chimicamente non ossidanti.

### Caratteristiche principali

I vantaggi offerti dal procedimento TIG conferiscono grande duttilità d'impiego, **garantendo una qualità impeccabile anche con spessori minimi (decimi di mm).**

Già da diversi anni la saldatura ad arco, in atmosfera protettiva di Argon con elettrodo refrattario, è applicata in tutto il mondo, a quasi tutti i campi di lavoro dei metalli. Come è noto, il principio è il seguente: si innesca l'arco elettrico fra un elettrodo di tungsteno che non partecipa al bagno di fusione (temperatura di fusione del tungsteno = 3422°C) ed il pezzo da saldare; quest'ultimo viene localmente fuso dal calore dell'arco ed i lembi da unire solidificano poi insieme, **con l'eventuale aggiunta di altro materiale di adatta composizione, apportato sotto forma di filo, nella zona dell'arco.** E' un procedimento simile alla saldatura ossi-acetilenica, ove la fiamma è sostituita dall'arco elettrico ed ove la necessaria protezione del bagno di fusione dall'influenza nociva dell'aria è ottenuta inviando un flusso di gas inerte, coassialmente all'elettrodo, in modo da creare un cono protettivo. Speciali torce, raffreddate con diversi sistemi, assicurano le due funzioni: condurre la corrente all'elettrodo e convogliare il gas ad un ugello che circonda l'elettrodo stesso.

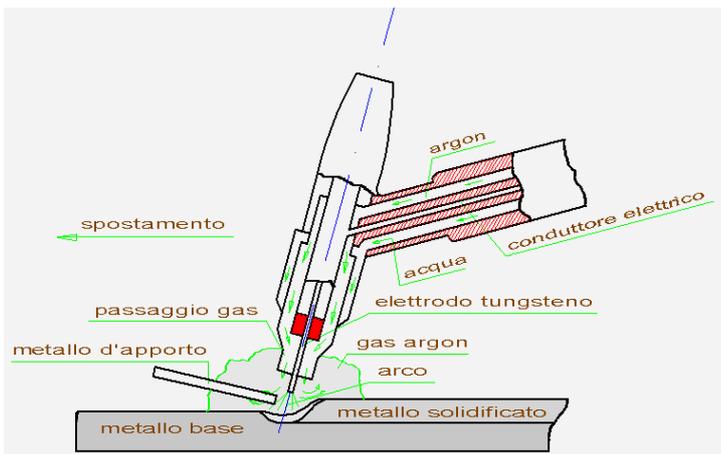
Un sistema di apparecchi ausiliari assicura l'efflusso della voluta quantità oraria di Argon ed il suo arresto durante le pause di lavoro. Naturalmente, alla buona concezione ed alla robusta e sicura esecuzione di tutti gli apparecchi è, in ultima analisi, affidato il successo dell'intero impianto.

**Influenza della polarità dell'elettrodo:** Ben diverso è il comportamento di un elettrodo di tungsteno, a seconda che si applichi allo stesso, nella saldatura TIG, la polarità diretta (-) o quella inversa (+).

Nel primo caso l'elettrodo è sede dell'emissione termoelettronica e l'arco elettrico concentra il calore prodotto sul pezzo. Si ha una forte penetrazione del bagno di fusione.

D'altra parte però l'arco non ha forte potere di decapaggio elettrico del bagno, per cui la presenza eventuale di ossidi superficiali impedirebbe al materiale fuso di legare bene con quello apportato.

Quando la polarità è invertita, il pezzo, collegato al negativo, emette elettroni che rompono l'eventuale pellicola di ossido, puliscono il bagno e permettono una buona unione.



Da quanto sopra detto appare chiaro che potranno essere saldati con polarità diretta (elettrodo negativo) tutti i materiali saldabili, esclusi quelli sui quali è sempre presente ossido superficiale, come le leghe leggere. Queste ultime, d'altra parte, non possono neppure essere saldate con polarità inversa (elettrodo positivo) se non quando presentino spessori esigui. Il problema viene risolto dalla alimentazione in corrente alternata, utile anche per saldare spessori sottili di ottone, specialmente se contenente molto zinco.

### **Saldatura Degli Acciai Inossidabili**

Gli acciai inossidabili si saldano in corrente **continua con polarità diretta** (elettrodo negativo).

Gli spessori oltre 2,5 mm vanno smussati. Il materiale d'apporto deve essere particolarmente adatto alla qualità dell'acciaio inossidabile da saldare; non usare mai filo degli elettrodi normali dopo averne tolto il rivestimento. Si può saldare senza materiale d'apporto fino a spessori di 2,5 mm. Non puntare mai con elettrodi normali; fare puntature in Argon lunghe 20 mm circa a distanza di 100 - 150 mm.

### **Saldatura delle Leghe Leggere**

Le leghe leggere (temperatura di fusione 600-700°C) si saldano in **corrente alternata** e richiedono, per una buona esecuzione del cordone, **un generatore di alta frequenza**. Per gli spessori oltre 6 mm occorre uno smusso di 60°- 90° per agevolare la penetrazione.

Gli spessori sottili possono essere saldati senza materiale di apporto; quest'ultimo deve in ogni caso essere di qualità adatta rispetto al pezzo da saldare. E' sconsigliabile l'uso di ritagli, sempre ossidati o sporchi.

### **Saldatura di altri materiali**

Oltre alle leghe leggere ed agli acciai inossidabili, **possono venire saldati** in atmosfera di Argon, con elettrodo al tungsteno, anche i seguenti materiali: **acciai dolci e legati; nichel e sue leghe; rame e sue leghe; titanio e metalli nobili**. Possono inoltre venire depositati cordoni e superfici anti-usura. **Per tutti questi metalli e leghe si impiega corrente continua con polarità diretta**. Oltre lo spessore di 2 mm è bene utilizzare un prodotto riduttore del tipo normalmente usato per la saldatura al cannello ossiacetilenico. Oltre i 4mm è necessario preriscaldare a 260 - 300°C. Nella passata di copertura, pendolare un poco; ripresa con poco o senza materiale d'apporto.

### **I procedimenti TIG nell'industria**

#### **Ragioni della scelta:**

- Elevata qualità metallurgica
- Saldature pulite e di bell'aspetto

#### **Impiego:**

- Manuale e automatico

#### **Metalli trattati:**

- Acciai non legati o debolmente legati
- Acciai inossidabili
- Leghe leggere o di rame
- Leghe speciali(nickel, titanio, zirconio, tantalio, ecc.) .

#### **Campi d'impiego:**

- Tutti i campi dove la qualità prevale sulla produttività:
- Industria aeronautica e spaziale
- Industria chimica e alimentare
- Produzione di tubi inossidabili
- Lavorazioni delicate e di precisione (caldareria)

### 2.1.2.5 Saldatura ad arco sommerso

**La Saldatura ad arco sommerso (SAW - Submerged Arc Welding)** è un procedimento di saldatura ad arco a filo continuo sotto protezione di scoria. La morfologia generale della zona di saldatura (cioè il fatto che l'arco scocchi sotto la scoria) permette di generare una grande quantità di calore che, essendo schermato dalla scoria, cattiva conduttrice termica, resta localizzato nel bagno di saldatura. Quindi la saldatura ad arco sommerso permette di operare con **elevate velocità di saldatura e di deposito**. La saldatura ad arco sommerso è un processo che può essere reso completamente automatico e può effettuare sia saldature longitudinali in posizione piana che saldature circolari su posizionatori.

Nella saldatura ad arco sommerso l'elettrodo è un filo continuo, che opera immerso in un letto di flusso, cioè di materiale solido, granulare, che in parte

- generatore di corrente
- alimentatore del filo (avvolto su un *aspo*) a velocità costante, montato su un carrello che trasla lungo la linea di saldatura
- tramoggia contenente il flusso, che lo lascia cadere davanti al filo
- eventuale dispositivo di recupero del flusso non fuso (che si muove dietro alla testa saldante)

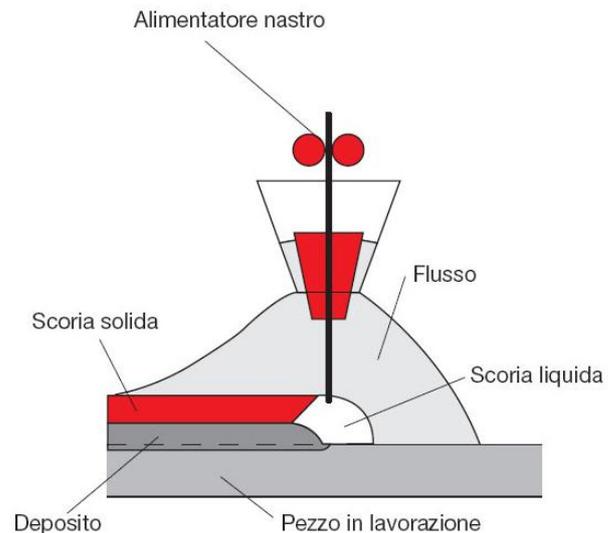
**Per la saldatura ad arco sommerso si può utilizzare corrente continua o corrente alternata a seconda delle tipologie di giunto**

La denominazione arco sommerso viene dal fatto che l'arco, scoccando sotto il letto di flusso, non è visibile all'esterno. Questo processo, considerando le sue caratteristiche, è facilmente automatizzabile, ed anzi è stato sviluppato e si è diffuso proprio allo scopo di avere un sistema automatico di saldatura con forte penetrazione.

Dato che, man mano che la saldatura procede, la scoria (inizialmente liquida) solidifica sopra il cordone di saldatura, continuando a proteggerlo dal contatto con l'atmosfera, alla fine di ogni passata di saldatura è necessario rimuoverla per poter effettuare la passata successiva.

**La presenza di un flusso granulare necessario a proteggere il bagno di saldatura limita le posizioni in cui può essere usata la saldatura ad arco sommerso, praticamente solo alla posizione in piano.** In particolare, mentre non sussistono difficoltà ad effettuare giunti longitudinali (cioè lungo la generatrice di un cilindro), giunti circolari possono essere realizzati con questa tecnologia solo in unione a macchine di posizionamento che operino collegate alla macchina saldatrice in modo tale che il segmento di giunto che viene saldato in quel momento sia in posizione piana.

fonde e lascia una scoria di protezione sul cordone di saldatura. Il filo viene alimentato a velocità costante e l'arco viene spostato in avanti sempre a velocità costante. Quindi una macchina per saldatura ad arco sommerso è composta da:



Il costo delle macchine per questo tipo di saldatura è notevole, quindi l'uso di questa tecnologia deve essere valutato, da un punto di vista economico oltre che da un punto di vista tecnico, in particolare considerando se l'aumento di produttività ottenuto permette di ammortizzare la spesa della macchina in un tempo ragionevole.

Partendo da queste premesse e considerando le caratteristiche di elevato apporto energetico strettamente legate a questa tecnologia, l'uso più diffuso di questa tecnica è **nella costruzione di recipienti (caldareria) di forte spessore**. L'elevata riproducibilità delle condizioni operative di questo tipo di saldature rende l'arco sommerso molto adatto a produzioni di serie, dato che, una volta definiti i parametri operativi e la composizione dei flussi, praticamente non sussistono eventi esterni tali da perturbare le operazioni.

Dato il forte apporto termico e gli spessori elevati, la saldatura ad arco sommerso viene utilizzata praticamente solo per acciai al C, anche se non esistono controindicazioni teoriche per l'utilizzo con acciai inossidabili austenitici o leghe non ferrose.

### 2.1.3 Ossitaglio

L'ossitaglio è un procedimento che unisce l'azione di una fiamma di riscaldamento ossicombustibile con quella di un getto d'ossigeno.

#### **Fiamma di riscaldamento**

L'azione della fiamma di riscaldamento serve a portare il punto di innesco alla temperatura richiesta (1300°C per gli acciai) e mantenerla.

#### **Fattori di rendimento**

L'uso di un combustibile efficiente (potenza specifica e temperatura della fiamma elevate) consente di ridurre il tempo di innesco, aumentare la velocità di taglio, ottenere una migliore qualità di taglio, ridurre la larghezza del taglio. Il getto di ossigeno da taglio consente di realizzare la combustione del metallo.

#### **Condizioni di ossitaglio**

Sono necessarie alcune condizioni: la reazione di ossidazione deve essere esotermica e la temperatura di innesco deve essere inferiore alla temperatura di fusione del metallo.

In pratica gli acciai non legati o debolmente legati possono essere facilmente sottoposti a ossitaglio.

Determinati materiali che non soddisfano queste condizioni possono essere sottoposti a ossitaglio mediante l'impiego di polvere di ferro (acciai inossidabili, ghise e acciai fortemente legati).

#### **Ossigeno da taglio**

La velocità di taglio dipende dalla natura e dalla quantità delle impurità presenti nell'ossigeno.

#### **Natura del metallo**

I parametri di ossitaglio dipendono in larga misura dalla composizione chimica (tenore in carbonio e degli elementi additivi), dall'omogeneità del metallo, dallo strato superficiale dei pezzi (ossidi, vernici) e dalla temperatura iniziale del pezzo da tagliare.

#### **Campi di impiego**

L'ossitaglio è utilizzato con procedimento automatico, per ottenere un taglio di qualità, su macchine o impianti robotizzati; con procedimento manuale, per la manutenzione o la demolizione; in siderurgia, per il taglio delle bramme<sup>2</sup> o dei blumi<sup>3</sup> all'uscita della colata continua.

---

<sup>2</sup> Si definiscono **bramme** i semilavorati a sezione rettangolare di laminazione destinati principalmente alla fabbricazione di lamiere e prodotti piani.

<sup>3</sup> i **blumi** sono semilavorati a sezione quadrata con spigoli arrotondati

### 2.1.4 Taglio al Plasma

Il **taglio al plasma** nasce da una tecnologia già esistente, quella della saldatura tramite getto di plasma. **Il plasma è un gas ionizzato, costituito da un insieme di elettroni e ioni e globalmente neutro (la cui carica elettrica totale è cioè nulla).**

Questo processo si basa sull'utilizzo di un arco concentrato tra elettrodo e metallo base; l'elettrodo è costituito da un ugello che emette un raggio di plasma concentrato ad elevata temperatura. **Col plasma può essere tagliato qualsiasi materiale conduttore. Il taglio al plasma utilizza correnti da 20 a 1000 Ampere per spessori da 0.5 a 160 mm.** I gas utilizzati in questo procedimento di taglio possono essere aria compressa, azoto, ossigeno o argon-idrogeno.

I materiali base comprendono acciai al carbonio, acciai legati, alluminio rame e altri materiali metallici.



### Caratteristiche del taglio al plasma

- Moderna tecnologia per tutti i materiali elettro conduttori (e non elettro conduttori tipo plastiche: solo getto plasma)
- Bassa distorsione dei materiali grazie all'arco concentrato
- Elevate velocità di taglio (5-7 volte maggiori rispetto ai tradizionali tagli alla fiamma)
- Spessori da 0.5 a 160 mm con correnti di plasma fino a 1000 Ampere
- Tagli efficienti per spessori sino a 30 mm in verticale

## 2.2 Saldature autogene per pressione

La saldatura autogena si può ottenere anche per pressione e corrispondentemente si sono sviluppate le tecniche di saldatura a resistenza elettrica: si ha così la *saldatura per punti, per rilievi, a rulli, di testa*.

Questa tecnica di unione è assai impiegata nell'industria per la semplicità e rapidità di esecuzione, per l'eliminazione del materiale d'apporto e dei protettivi (gas o polveri), per la buona estetica della saldatura, per la sua economicità; tutto ciò rende il procedimento interessante per l'unione di pezzi in particolare lamiere ove non siano richieste elevate caratteristiche di resistenza meccanica.

Il metodo utilizza la **legge di Joule**:

$$Q = R I^2 t$$

Dove:

- Q è la quantità di calore sviluppata
- R è la resistenza elettrica
- I è l'intensità di corrente
- t è il tempo di passaggio della corrente

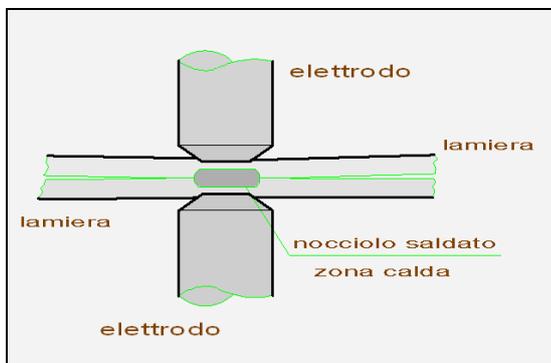
### 2.2.1 Metodo di testa

Il metodo di testa prevede l'unione sulle superfici frontali accostate ove, per il contatto imperfetto, si ha un'alta resistenza elettrica e quindi sviluppo di calore che porta i lembi allo stato pastoso e quindi esercitando una pressione si realizza il giunto saldato.

### 2.2.2 Metodo a punti

Più interessante e più utilizzato è il metodo a punti utilizzato per unire lamiere di piccolo spessore. In questo caso le *quattro fasi* di saldatura che avvengono in pochi secondi sono:

- applicazione della pressione sui lembi (forza da 1 a 10 kN)
- passaggio di corrente fra i lembi ( $I = 5-20\text{kA}$  per 1 sec)
- interruzione della corrente
- rilascio della pressione



Gli elettrodi sono in rame elettrolitico in genere raffreddati ad acqua per contenere il loro riscaldamento; gli elettrodi hanno la parte terminale tronco-conica per concentrare la pressione e il riscaldamento in una zona limitata.

### 2.2.3 Metodo a rulli

Il concetto è identico a quello della saldatura a punti con la differenza che i punti di saldatura sono ottenuti dalla rotazione continua di due elettrodi a disco, il superiore di trascinamento, l'inferiore folle, i quali serrano e trascinano le lamiere sovrapposte da saldare. L'intervallo di tempo delle pulsazioni della corrente è ottenuto con dispositivi più o meno sofisticati, ma comunque essendo possibile regolare questi intervalli possono ottenersi punti di saldatura a passo costante a volte talmente vicini da realizzare una saldatura continua. Questa saldatura è particolarmente indicata per le lavorazioni di serie.

## 3. METODI DI SALDATURA ETEROGENA

Sono caratterizzati dal fatto che pezzi da saldare (metallo base) vengono uniti con l'ausilio di un metallo d'apporto la cui temperatura di fusione è inferiore a quella dei pezzi da assemblare; il metallo base *non viene portato a fusione*. Le saldature eterogene vanno ordinariamente sotto il nome di **brasature** e, più specificatamente, si possono distinguere in *saldobrasature* e *brasature capillari*.

Nella saldobrasatura i lembi da unire vengono smussati ai bordi come nella saldatura per fusione; nella brasatura capillare i lembi da unire vengono accostati senza preparazione; la giunzione avviene per infiltrazione capillare del metallo d'apporto fra le superfici da

unire. A seconda della temperatura di fusione del metallo d'apporto la brasatura può essere **forte** se tale temperatura è superiore a 400°C, oppure **dolce**, se la temperatura di fusione del metallo d'apporto è minore o uguale a 400°C.

### **Utilizzo e tecniche**

Il metallo d'apporto penetra per capillarità fra i pezzi da assemblare, previamente sottoposti a decapaggio.

La brasatura è molto spesso impiegata per l'installazione di impianti sanitari e idrici o per la fabbricazione di biciclette.

Per la brasatura forte è necessaria una fiamma potente e riducente (acetilene).

La brasatura è il più antico procedimento utilizzato dall'uomo per unire, per fusione, due pezzi metallici. Infatti era già conosciuto ed usato dai Fenici e dagli Etruschi.

Attualmente è un procedimento assai diffuso sia nell'industria, sia dagli artigiani.

Per la brasatura si utilizzano le stesse apparecchiature della saldatura ossiacetilenica, però è di esecuzione molto rapida.

La temperatura di esecuzione del giunto è meno elevata di quella richiesta dalla saldatura ossiacetilenica.

La brasatura non richiede operazioni meccaniche di finitura e le deformazioni del pezzo, dovute alle dilatazioni, sono trascurabili o ridotte al minimo.

La brasatura è impiegata in sostituzione della saldatura autogena quando:

- . E' necessario diminuire il riscaldamento del pezzo.
- . **I giunti sono costituiti da materiali difficilmente saldabili.**
- . **I pezzi sono di natura differente e la loro saldatura è impossibile.**
- . **L'aspetto estetico del giunto è di importanza prioritaria o indispensabile.**

Senza citare tutti i campi di applicazione, ricordiamo i più importanti, quali:

- .Industrie ciclo e motociclo.
- .Industrie elettrodomestici.
- .Impianti chimici e termosantari (brasatura di tubazioni in rame con giunto a bicchiere).
- .Caldareria, materiali agricoli, costruzioni ferroviarie, metalmeccaniche e navali.