



Applicazioni Industriali

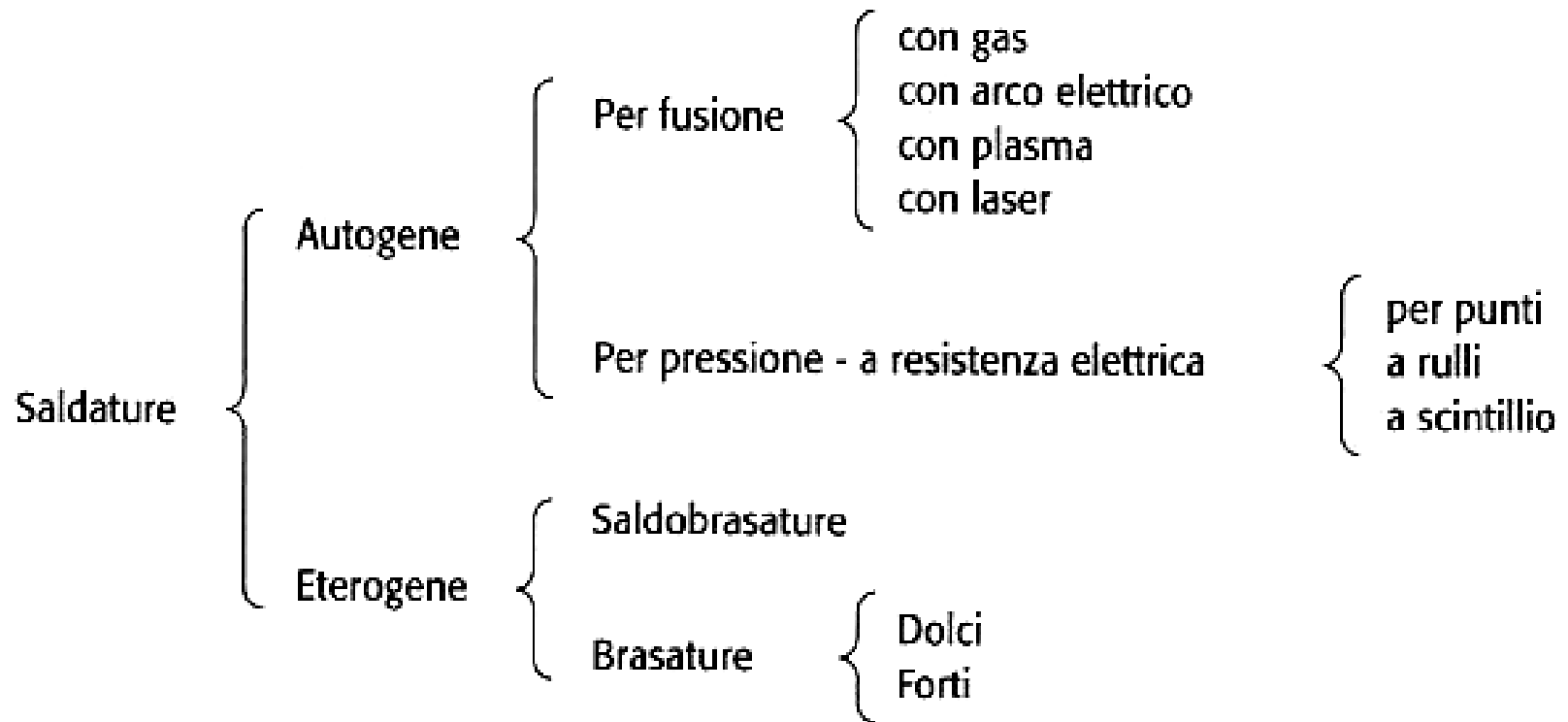
Saldatura

Marco Raimondi
e-mail: mraimondi@liuc.it

La saldatura

- **È un processo di unione permanente di due componenti meccanici effettuabile con diversi procedimenti da scegliersi sulla base di:**
 - Tipo di materiale da saldare
 - Spessore delle parti
 - Posizione di saldatura
 - Tipo di produzione
 -
- **Il risultato prende il nome di giunto saldato formato dal metallo base costituenti le due parti ed il metallo d'apporto utilizzato per procedere con l'operazione**

Classificazione



Classificazione

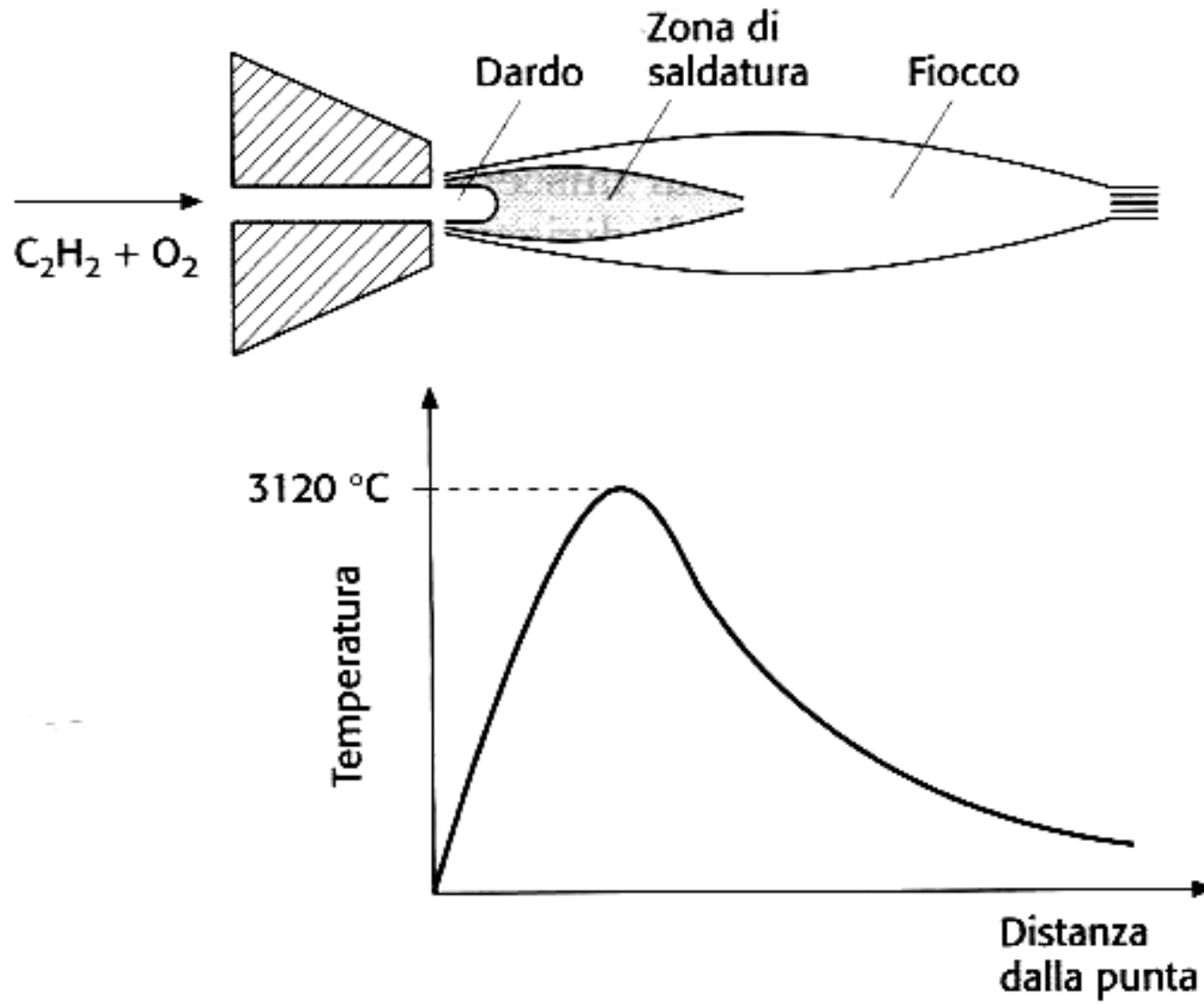
- **Si definiscono:**
 - **Saldature autogene** quelle in cui il metallo base prende parte, fondendo, alla formazione del giunto con presenza o meno del metallo di apporto
 - **Saldature eterogene** quelle in cui il metallo base non prende parte alla formazione del giunto che viene realizzato esclusivamente dal metallo di apporto che è quindi sempre diverso dal metallo di base

Saldatura con gas

- **Utilizza, quale sorgente di calore, la fiamma ottenuta dalla combustione, all'estremità di un cannello, di un gas con l'ossigeno**
- **Caratteristiche del gas utilizzato:**
 - **Alta temperatura di fiamma**
 - **Elevato contenuto termico**
 - **Bassa reattività con il metallo base e di apporto**
 - **Stabilità e facilità di regolazione della fiamma**
- **Il gas più comunemente utilizzato è l'acetilene C_2H_2**

Saldatura con gas

- **La fiamma viene detta dardo e deve essere di colore bianco, in caso contrario possono presentarsi diversi inconvenienti**
 - **Eccesso di acetilene (stoccata nella bombola arancione) provoca la fiamma “carburante” (riconoscibile dal colore giallo) con emissione di prodotti carboniosi che possono inquinare il giunto**
 - **Eccesso di ossigeno (stoccato nella bombola bianca) provoca la fiamma “ossidante” (riconoscibile dal colore azzurro) con sviluppo di alta temperatura e rischio di perdere il controllo del processo**
- **Il cannello deve prevedere un efflusso di gas a velocità superiore alla propagazione della fiamma al fine di evitare pericolosi ritorni di fiamma**

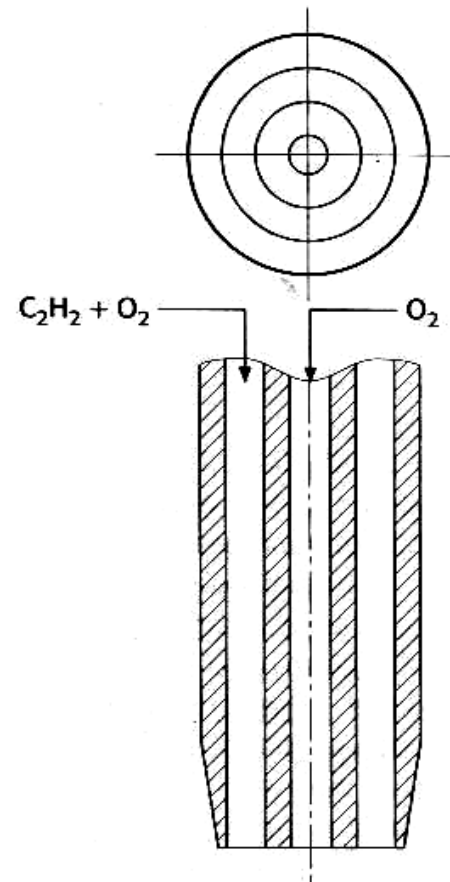


Saldatura con gas

- **Tale saldatura può essere autogena ma sempre più spesso è eterogena: vengono utilizzati allo scopo delle bacchette di materiale simile ai lembi da saldare**
- **Le superfici da saldare devono essere pulite per eliminare ossidi, oli e grassi che potrebbero inquinare il giunto. A tale scopo è possibile utilizzare anche polveri disossidanti**
- **È un processo facilmente controllabile ed adatto per spessori sottili, i grossi spessori sono più facilmente saldabili con altri procedimenti**
- **L'attrezzatura consta di un carrello con le due bombole ed un cannello: risulta dunque economico e facilmente trasportabile**

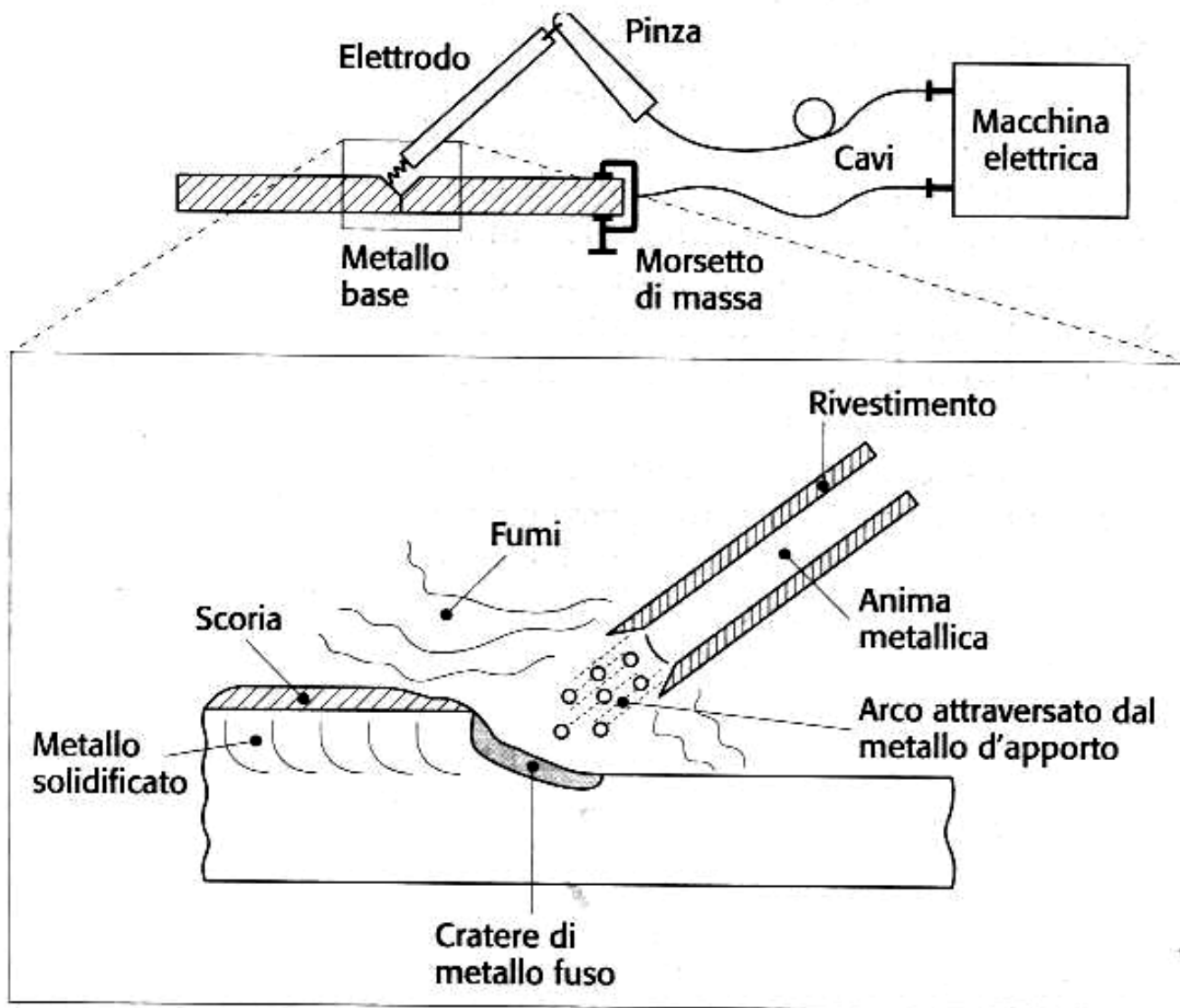
Taglio con cannello ossiacetilenico

- Mediante un cannello diverso è possibile effettuare anche operazioni di taglio.
- L'ossigeno in pressione fuoriuscente dalla parte centrale del cannello provvede ad evacuare il materiale fuso lasciando un taglio in luogo della saldatura



Saldatura ad arco elettrico

- Il calore necessario per la saldatura è ricavato da un arco elettrico tra un elettrodo metallico fusibile (coperto da un particolare materiale) ed il metallo base
- L'elettrodo è infatti montato su una pinza collegata ad uno dei due poli di un generatore di corrente elettrica. L'altro polo è costituito da un morsetto fissato sul materiale di base
- L'arco si innesca toccando il metallo base con l'elettrodo che deve poi essere mantenuto a pochi millimetri di distanza:
 - Distanze troppo $>8\text{mm}$ danno luogo ad archi difficilmente controllabili e scarsa qualità del giunto
 - Distanze $<3\text{mm}$ provocano rischio di incollaggio della bacchetta sul giunto e spegnimento dell'arco



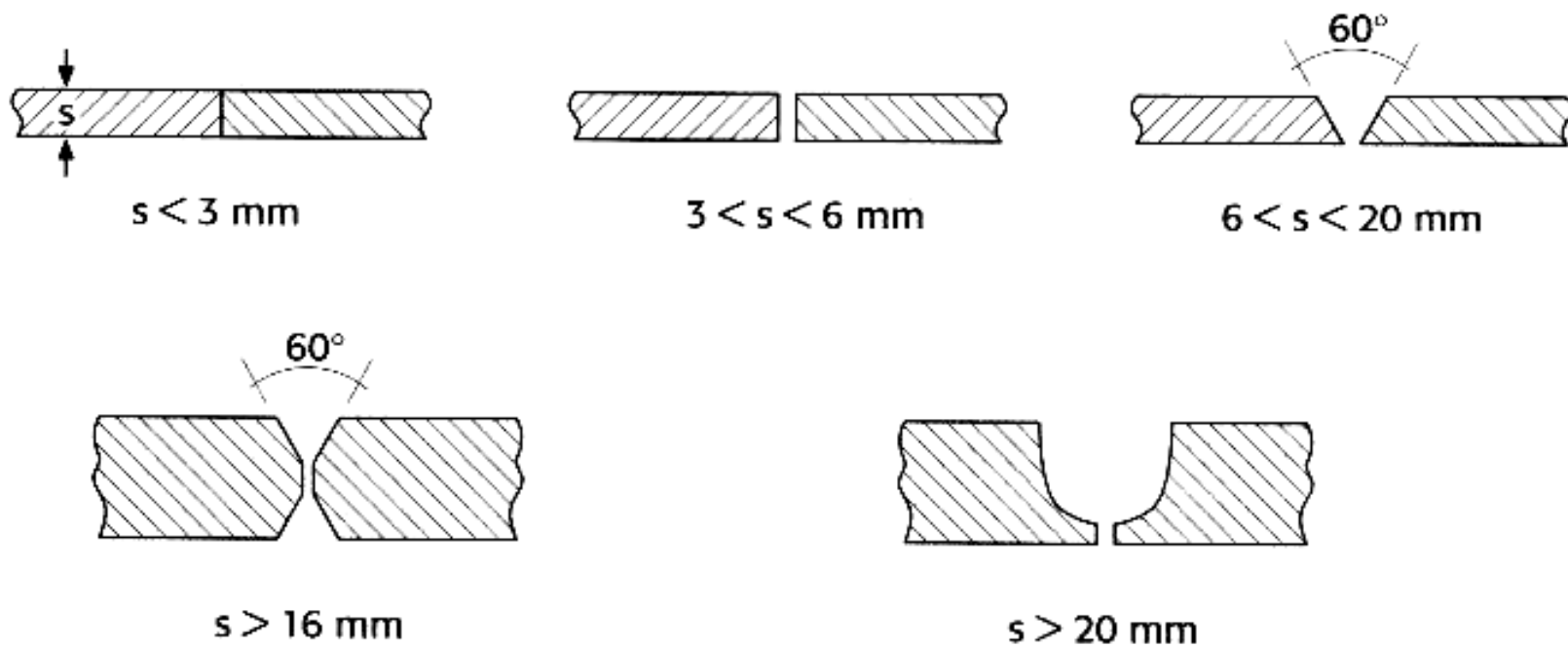
Saldatura ad arco elettrico

- **L'alta temperatura (6000-7000°C) che si sprigiona ionizza l'aria circostante e dunque genera passaggio di elettroni dal polo negativo al positivo**
- **Il rivestimento della bacchetta contiene materiali che gassificano in idrogeno ed anidride carbonica che proteggono il cratere di fusione da possibilità di ossidazione a contatto con l'atmosfera. Eventuali impurità presenti nel metallo base inoltre reagiscono con i gas fluendo nella scoria fluida che ricopre il giunto proteggendolo**
- **Il rivestimento può avere altre funzioni:**
 - **Sviluppo di gas ionizzanti che stabilizzano l'arco**
 - **Immissione di sostanze desolforanti nel cratere di fusione**
 - **Influenza sulla forma del giunto (piano, concavo, convesso, ...)**

Saldatura ad arco elettrico

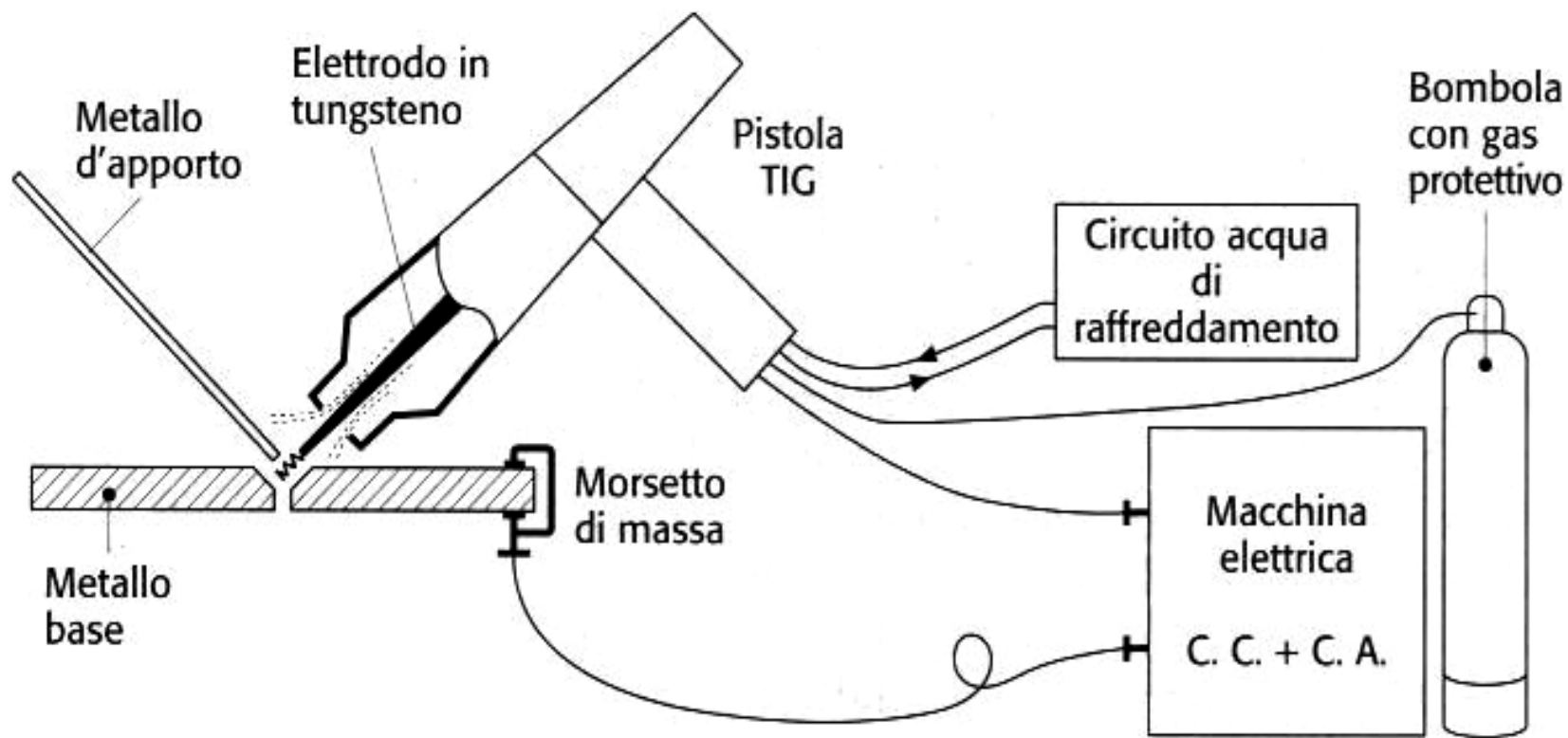
- **Il calore generato fa passare il materiale della bacchetta sul giunto mediante:**
 - Il proprio peso
 - Le forze elettromagnetiche
 - L'azione del gas del rivestimento
 - Le forze magnetodinamiche
- **In particolare le forze elettromagnetiche che si sprigionano tendono a deviare continuamente la bacchetta e tale fenomeno è chiamato soffio magnetico**
- **Preparazione del metallo base:**
 - I lembi vengono preparati al fine di
 - Ottenere un giunto sano
 - Semplificare le operazioni di saldatura
- **È un'operazione adatta per spessori abbastanza elevati, il costo dell'attrezzatura è limitato ed è la classica saldatura per le attività di manutenzione**

Cianfrinatura delle superfici



Saldatura ad arco TIG – Tungsten Inert Gas

- È un tipo particolare di saldatura ad arco ove l'arco si sviluppa tra una bacchetta di tungsteno ed il metallo di base.
- Il tungsteno non prende parte al processo in quanto ha un'altissima temperatura di fusione
- Il metallo di apporto viene fornito a parte sotto forma di bacchette o filo
- Tutto il processo avviene in atmosfera controllata a base di argon o elio per evitare fenomeni di ossidazione
- Una scintilla pilota serve per innescare l'arco che può avvenire in corrente alternata o continua a seconda dei materiali

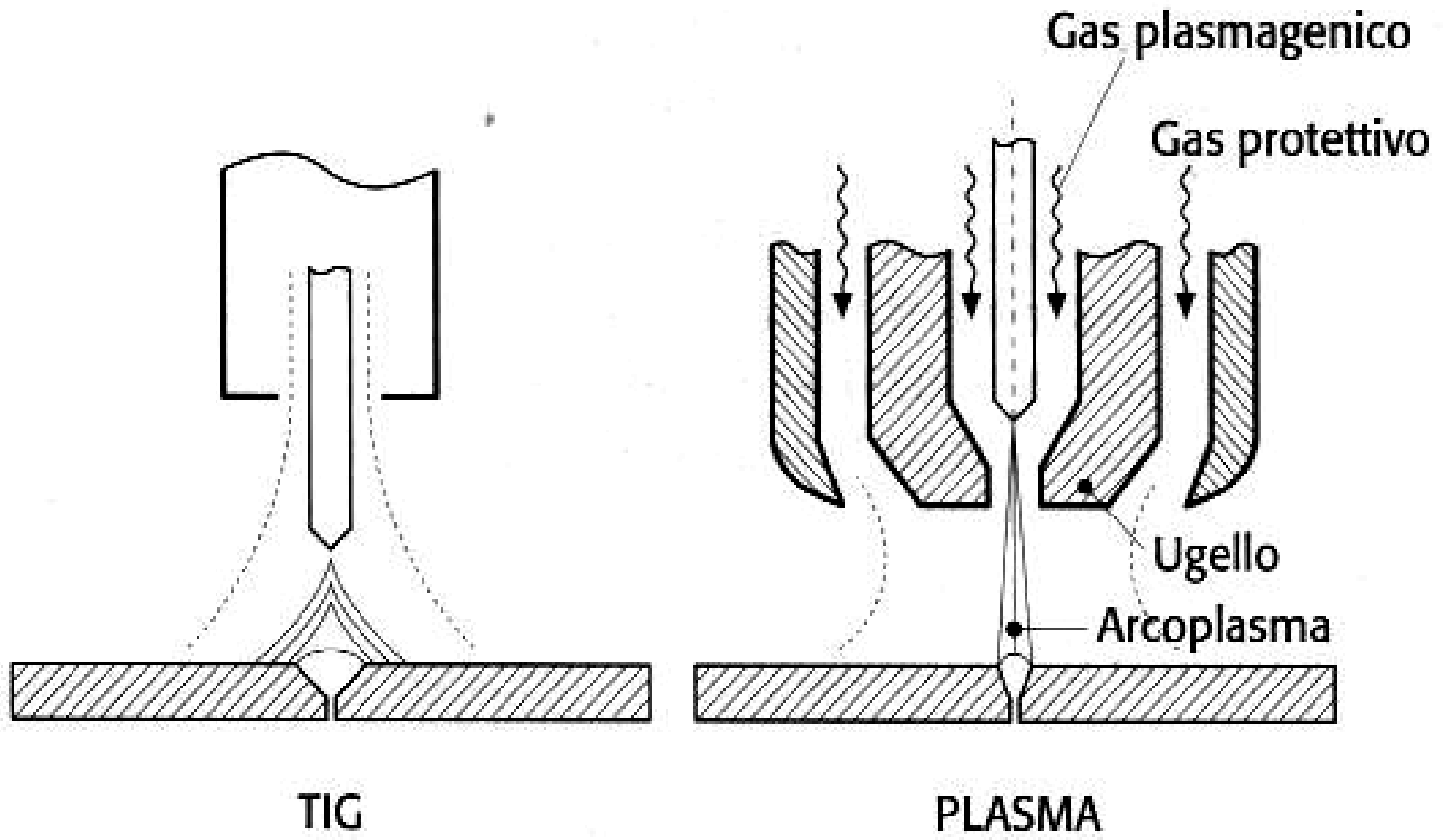


Saldatura TIG

- **Consente di ottenere saldatura di elevata qualità su tutti materiali metallici tranne quelli con temperatura di fusione troppo bassa**
- **E' adatta nel caso di spessori sottili date le caratteristiche di stabilità dell'arco**
- **E' un metodo costoso riservato per materiali pregiati**
- **Non è esclusa la contaminazione del metallo base con inclusioni dure e fragili di tungsteno**

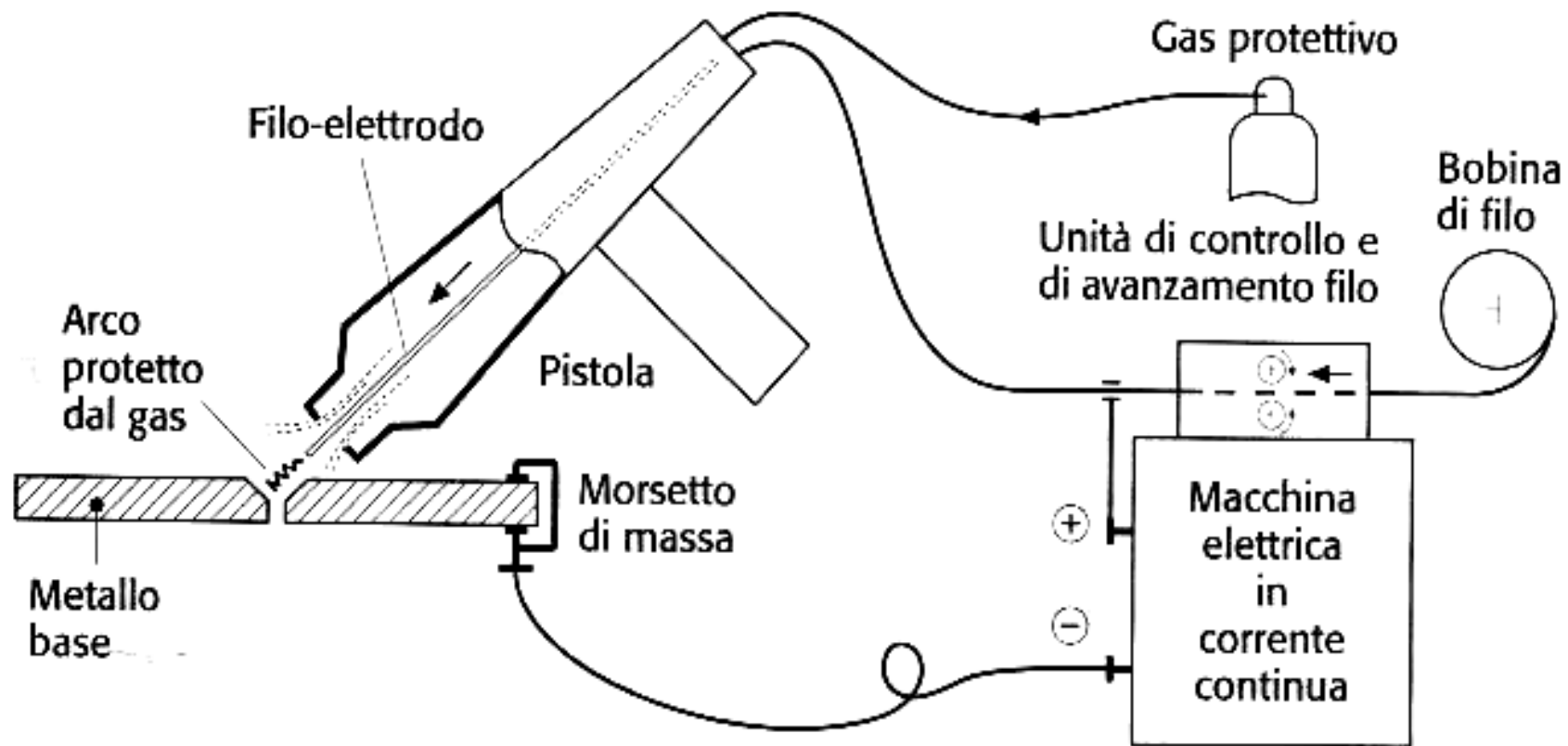
Saldatura al plasma

- La macchina elettrica utilizzata è simile a quella del processo TIG dove però l'elettrodo è interno all'ugello ed è avvolto da una corrente di argon ed elio che ionizzando creano una miscela allo stato di plasma a temperatura elevatissima (20.000°C)
- Si possono avere due tipi di arco elettrico:
 - Diretto: che avviene tra elettrodo e materiale di base
 - Trasferito: che avviene tra elettrodo ed anodo interno alla pistola
- La saldatura può avvenire secondo due tecniche:
 - Per fusione simile alla saldatura TIG
 - Per key hole per valori di corrente elevate ove si crea un foro attorno al quale si crea la successiva solidificazione. Se non ben controllato provoca taglio anziché saldatura



Saldatura MIG – Metal Inert gas e MAG –Metal Active Gas

- **È detto anche processo a filo continuo ed è simile al processo TIG**
- **L'elettrodo è fusibile sotto forma di materiale di apporto che è contenuto in un filo che si alimenta all'interno della pistola.**
- **L'elettrodo è avvolto da un gas che consente di operare in atmosfera controllata**
- **Esistono diversi modi di transizione del materiale di apporto:**
 - **Short-arc (tensione <20V) mediante grosse gocce che interrompono l'arco. Adatto per piccoli spessori, di veloce solidificazione e saldatura in qualunque posizione**
 - **Spray-arc (tensione >25V) mediante piccole gocce che si susseguono velocemente. Adatto per grossi spessori ma solo per saldature in piano**
 - **Pulsed-arc (tensione fluttuante) al fine di sfruttare tutti i vantaggi dei metodi precedenti**



Saldatura

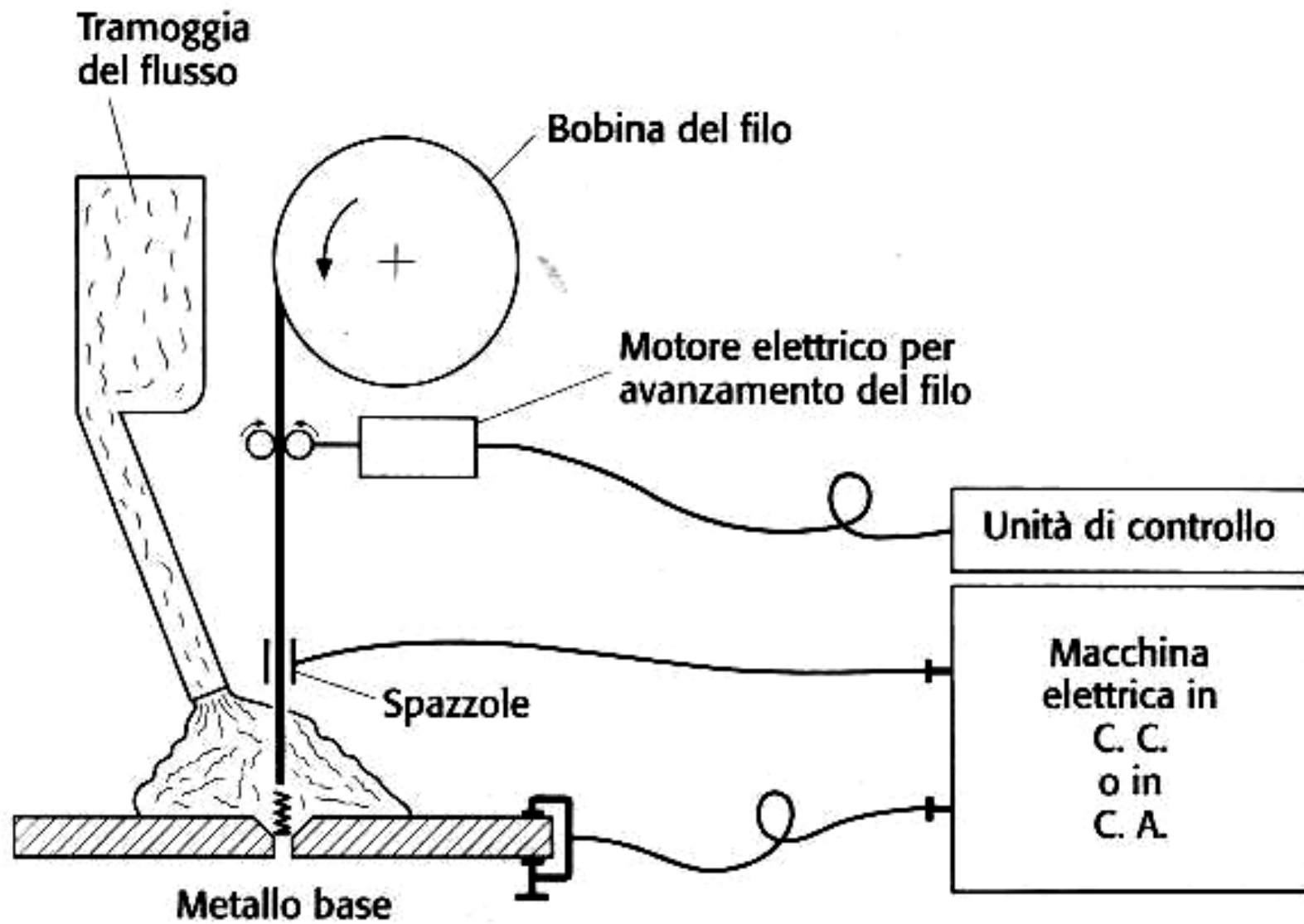
MIG– Metal Inert gas

MAG –Metal Active Gas

- **La differenza tra i due metodi consiste nel gas utilizzato e nel campo di applicazione**
 - **MIG**
 - Utilizza argon ed elio che garantiscono ottimi risultati ma a costi piuttosto elevati
 - **MAG**
 - Utilizza anidride carbonica a bassi costi che comporta però trasferimento di gocce grosse e spruzzi e richiede uso di fili con presenza di disossidanti quali silicio e manganese
- **Sono tecnologie adatte a tutti gli impieghi industriali:**
 - Non richiedono alta specializzazione degli operatori
 - Consentono alte velocità di esecuzione
 - Per contro le macchine sono costose

Saldatura in arco sommerso

- È un procedimento diffuso in quanto consente di operare automaticamente su saldature di elevata lunghezza
- Nella testa saldante fluisce un elettrodo costituito da un filo svolto in continuo da una bobina costituente il metallo di apporto
- Un flusso di materiale granulare fluisce da una tramoggia e ricopre l'area di saldatura così da nascondere completamente l'arco che avviene in atmosfera controllata
- Il flusso in parte fonde reagendo con le scorie che vengono evacuate oppure con il metallo di apporto prendendo parte alla saldatura. La quota non fusa è aspirata e riutilizzata



Saldatura in arco sommerso

- **La macchina elettrica utilizzata tiene sotto controllo i seguenti parametri che sono tra loro correlati:**
 - **L'intensità di corrente che influenza la velocità di fusione del filo e dunque la penetrazione della saldatura e la portata di flusso.**
 - **L'intensità può arrivare a 2000A e può essere continua od alternata**
 - **La tensione d'arco che influenza la lunghezza dell'arco e dunque comunque la portata di flusso ed inversamente la penetrazione della saldatura**
 - **La velocità del filo che influenza la velocità di saldatura e dunque la probabilità di inclusioni di scoria ed inversamente la penetrazione**

Saldatura in arco sommerso

- **Il metallo di apporto si presenta in filo da 2-8 mm contenente rame e manganese**
- **Il flusso è costituito da una miscela di ossidi, carbonati, silicati, ferroleghie e ne esistono due tipi base:**
 - **Prefusi, ovvero ottenuti per fusione dei componenti e successiva macinazione, consentono reazioni solo fisiche durante il processo, basse lunghezze d'arco e dunque basse tensioni e limitata presenza di scoria nei pressi del giunto**
 - **Agglomerati, ottenuti per macinazione e successiva miscelazione, reagiscono chimicamente nella saldatura anche con azione disossidante. Consentono di risparmiare rinunciando all'impiego di acciai legati per i fili**

Saldatura in arco sommerso

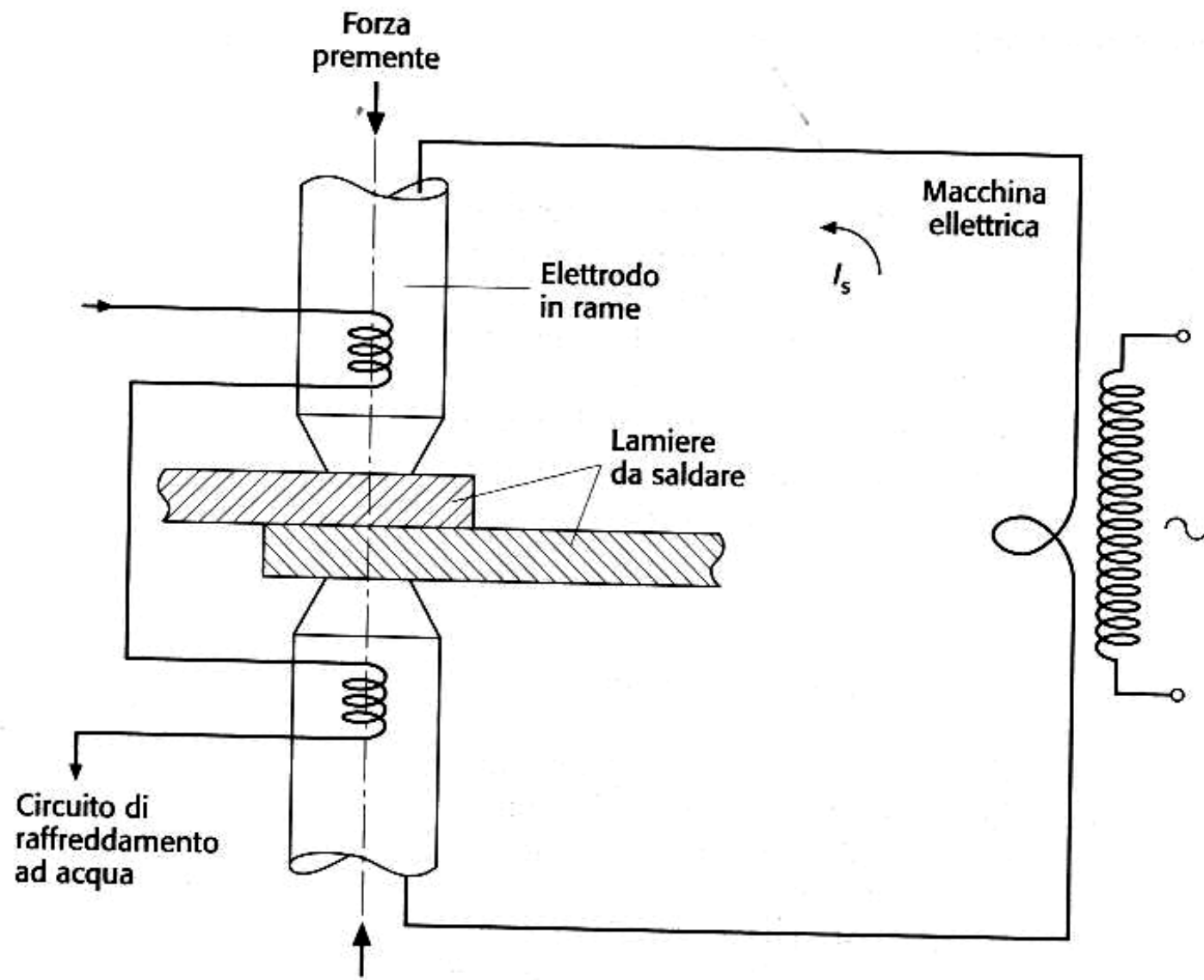
- **Campo di applicazione:**
 - Tutte le leghe di acciaio
 - Escluse le leghe di alluminio data la scarsa protezione all'ossidazione data dal flusso
- **Caratteristiche**
 - Il collegamento elettrico con il filo è dato da spazzole poste in prossimità dell'arco consentendo, grazie alle elevate intensità di corrente:
 - Elevate penetrazioni
 - Elevate velocità di deposizione
 - Giunti uniformi e lisci di elevata qualità
 - Lavorazioni di spessori da 1,5 mm a salire
 - Completa automazione del ciclo
 - Minima deformazione dei pezzi grazie alla concentrazione dell'intervento
 - Posizioni piane o ad angolo

Saldatura per resistenza elettrica

- **È una saldatura autogena per pressione infatti consiste nel fondere i due lembi da saldare per effetto Joule e comprimerli l'uno contro l'altro saldandoli senza materiali di apporto**
- **È un processo utilizzato per produzione in serie dato che è caratterizzata da:**
 - **Tempi rapidi di esecuzione**
 - **Investimenti elevatissimi per le macchine necessarie**

Saldatura per punti

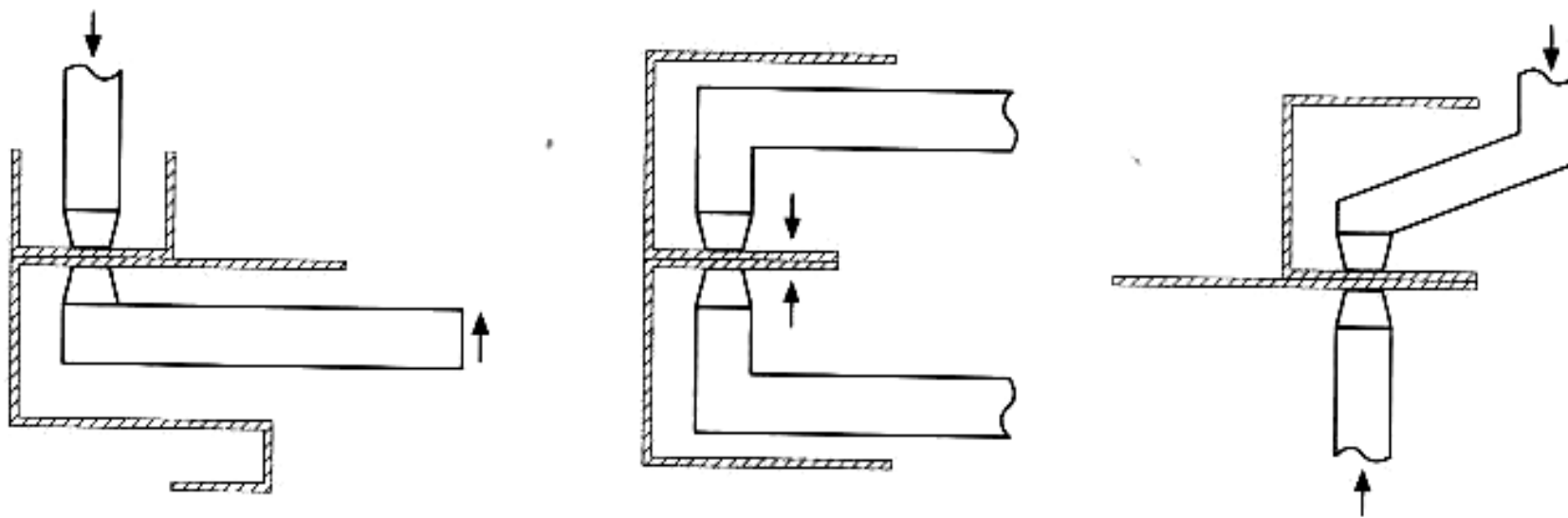
- È un processo adatto per saldare lamiere di basso spessore in processi di serie
- Due elettrodi di rame premono uno contro l'altro i due lembi di lamiera da saldare
- Una macchina elettrica fa scorrere per un intervallo di tempo brevissimo una corrente di elevata intensità
- L'elevata resistenza elettrica tra le lamiere provoca per effetto Joule lo sviluppo di un'intensa quantità di calore che porta il materiale a fondere in un punto e quindi a solidificare creando il "punto" di saldatura
- Non è adatto per situazione in cui serve impermeabilità ai liquidi
- Non offre le stesse caratteristiche di resistenza meccanica offerte da altri processi



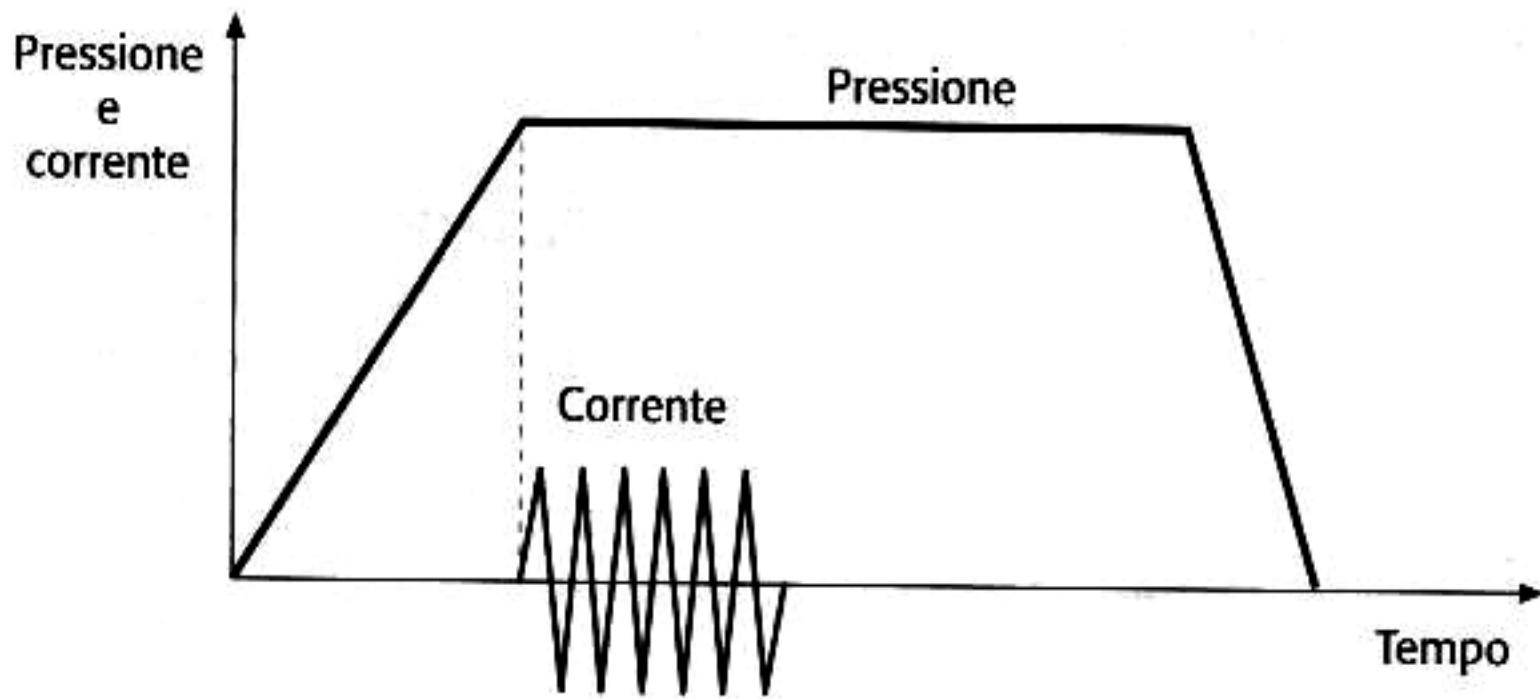
Saldatura per punti

- **La saldatura non avviene tra elettrodi e lamiera in quanto:**
 - La resistenza lamiera-lamiera è maggiore di quella lamiera-rame
 - Gli elettrodi sono raffreddati con acqua
- **Parametri fondamentali del processo sono:**
 - Pressione esercitata da un dispositivo idraulico che deve essere un compromesso tra false saldature e rischio di eccessiva penetrazione degli elettrodi
 - Tempo di scarica che deve essere breve anche per evitare il pericolo di fusione su larga scala e penetrazione dell'elettrodo stesso
 - Intensità di corrente che deve essere elevata per consentire la saldatura in tempi brevissimi (da 1.000 a 100.000A)

Saldatura per punti

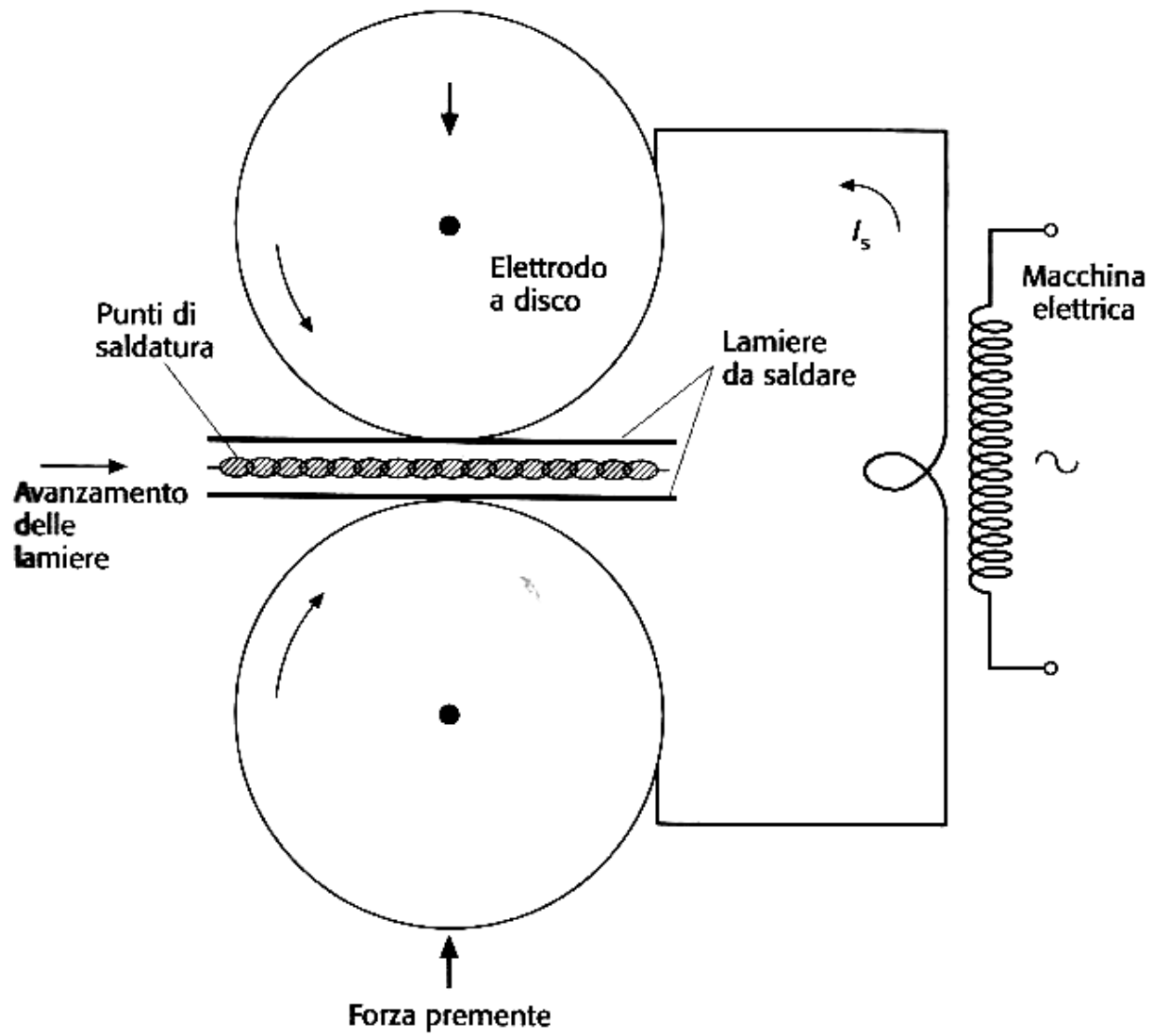


Ciclo di saldatura a punti



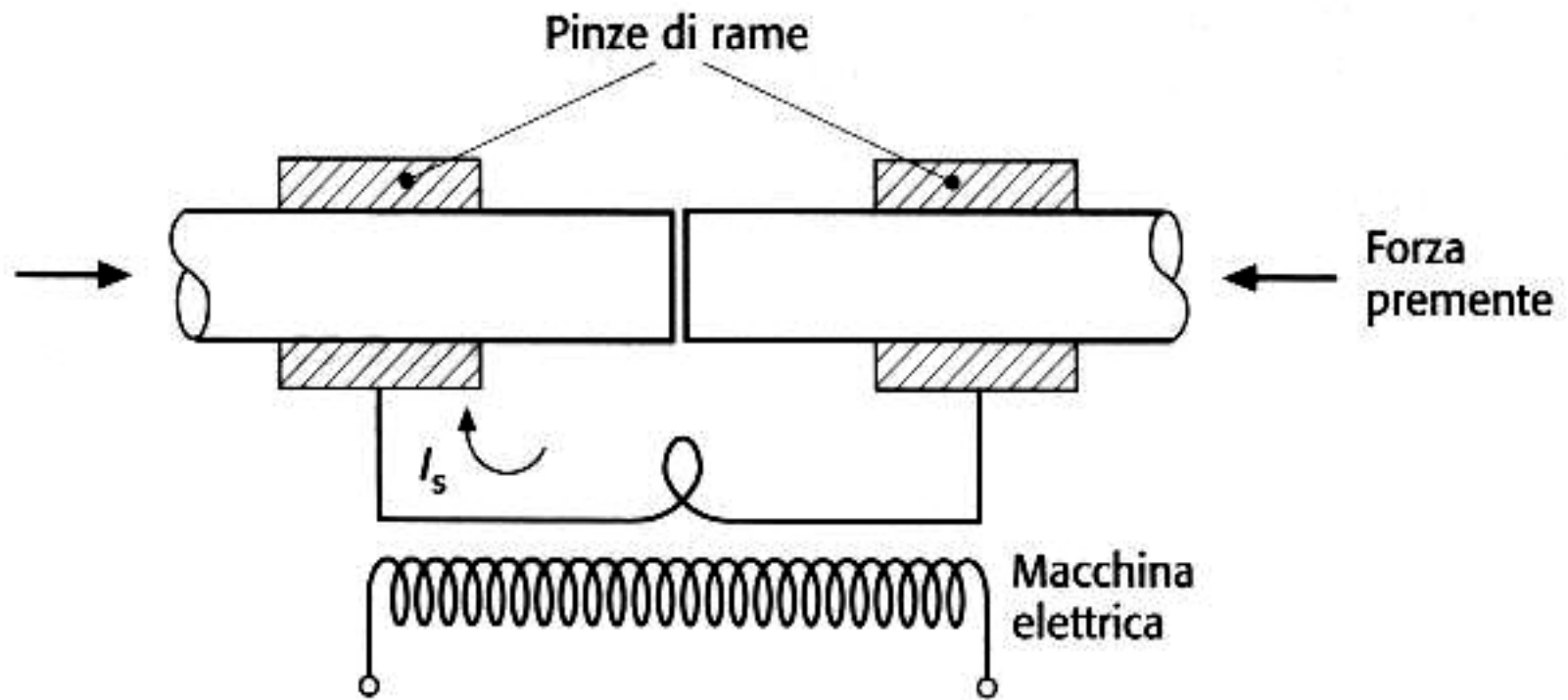
Saldatura a rulli

- È la versione di saldatura a punti utilizzata per saldare lamiere soggette a problemi di tenuta per la presenza di liquidi.
- Gli elettrodi sono due rulli che premono i due lembi e sono sottoposti a scariche di corrente con frequenza scelta in funzione della velocità di avanzamento dei rulli stessi



Saldatura di testa per scintillio

- È il processo utilizzato per saldare in testa due barre mediante l'applicazione di pinze in rame fungenti da elettrodi come nel caso della saldatura a punti
- L'operazione si realizza in tre fasi:
 - Preriscaldamento delle barre con passaggio di corrente a bassa intensità
 - Scintillio mediante l'applicazione di corrente ad alta intensità tesa a creare archi elettrici tra le due teste, microfusioni ed espulsione di scorie
 - Compressione delle barre per consentire la fusione del giunto
- È un'operazione semplice e veloce presentante l'unico rischio di ricalcatura delle superfici a creare un "collare"



Saldobrasatura

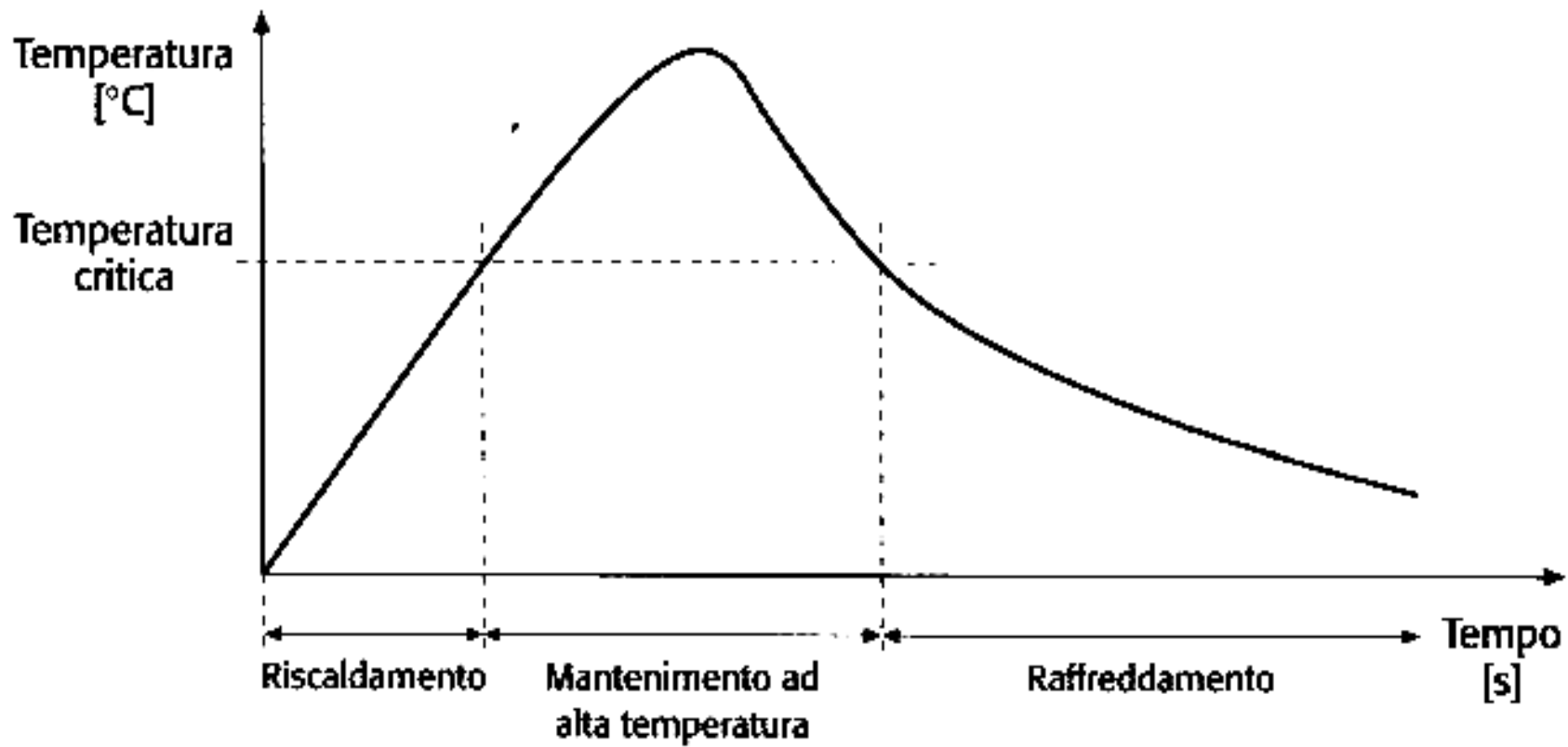
- È un processo di saldatura esogeno in cui i due lembi da saldare sono preparati con cianfrinatura e sostanze deossidanti per ripulire le superfici a contatto
- Le superfici vengono riscaldate fino alla temperatura di fusione del materiale di apporto che riempie la cianfrinatura e bagna le superfici del giunto
- Il giunto ottenuto risulta elastico grazie alle caratteristiche del materiale di apporto: basso punto di fusione, buona scorrevolezza, buona resistenza meccanica ed elasticità
- Tale processo è utilizzato per saldare acciai a basso tenore di carbonio, bronzi, ghisa (riparazione di getti)

Brasatura

- Si differenzia dalla saldobrasatura per il fatto che non presenta alcuna cianfrinatura delle superfici che si presentano dunque semplicemente appoggiate l'una sull'altra
- Il materiale di apporto risulta dunque solo presente come un sottile strato tra le due superfici del giunto e deve avere grandi caratteristiche di scorrevolezza
- Il giunto così ottenuto ha comunque scarse caratteristiche di elasticità e resistenza meccanica
- Le brasature si differenziano in
 - Dolci se il materiale di apporto ha basse temperature di fusione (es. stagno a 400°C)
 - Forti se il materiale di apporto ha temperature di fusione più alte (es. rame-argento a 600°C)

Ciclo termico di saldatura

- **È necessario osservare come una saldatura comporti il sottoporre il metallo ad un ciclo termico comunque rilevante che lascia delle conseguenze più o meno importanti in funzione dei tempi**
- **Si distinguono infatti:**
 - **Cicli dolci per riscaldamenti e raffreddamenti caratterizzati da tempi lunghi**
 - **Cicli severi nel caso di riscaldamenti e raffreddamenti caratterizzati da tempi lunghi**



Ciclo termico

- **Il ciclo termico di saldatura è influenzato da:**
 - **Posizione del punto:** più il punto del materiale è lontano dal giunto, meno subirà cicli severi
 - **Tipo di saldatura:** in effetti più l'apporto termico specifico, inteso come quantità di calore per unità di lunghezza del giunto, è elevato, tanto più il ciclo sarà dolce in quanto sarà tanto più grande la quantità di calore che ogni punto dovrà smaltire
 - **Spessore del giunto:** tanto maggiore è lo spessore tanto maggiore sarà la velocità di smaltimento e dunque tanto più severo sarà il ciclo. Anche la forma del giunto è influente da questo punto di vista

Ciclo termico

- **Materiale base:** di fatto conducibilità termica e calore specifico influenzano il ciclo. L'alluminio ha alta conducibilità, dunque alta velocità di raffreddamento e dunque cicli severi. Materiali con alto calore specifico necessitano di maggiori tempi di smaltimento e dunque cicli più dolci
- **Temperatura iniziale:** tanto più è elevata la temperatura iniziale, tanto più il raffreddamento sarà lento e tanto più il ciclo sarà dolce

Caratteristiche del giunto

- **Si possono evidenziare tre aree del giunto saldato:**
 - **Zona fusa dove il materiale trattato è arrivato alla fusione è ha cambiato la propria struttura.**
 - **Da tenere presente che una struttura cristallina fine è da preferirsi e non tutte le tecniche di saldatura danno lo stesso risultato.**
 - **Passaggi di saldatura successivi possono migliorare tale aspetto**
 - **Zona termicamente alterata dove una trasformazione dello stato solido ha comunque modificato le caratteristiche strutturali del materiale**
 - **Zona inalterata dove la struttura interna non ha subito alterazioni sensibili**

Principali difetti

- **Attenzione alla presenza di ossidi che possono dar luogo a cricche a caldo**
- **Cricche a freddo possono invece manifestarsi in situazioni ove si manifestano fenomeni locali di tempra a volte agevolati da rapporti di diluizione particolari (alto tenore di carbonio concentrato)**
- **Tensioni residue possono aversi laddove il materiale di apporto non è sufficientemente elastico da consentire una deformazione del giunto**

Trattamenti termici dopo la saldatura

- **Per evitare i difetti visti è possibile intervenire in taluni casi con interventi di distensione**
- **Ciò è importante in taluni casi:**
 - **Acciai legati o a medio tenore di carbonio**
 - **Saldature complesse con cordoni intrecciati**
 - **Saldature di parti soggette ad operazioni successive di asportazione di truciolo**
 - **Saldature sottoposte a basse temperature o ambienti corrosivi**
- **La distensione consiste in:**
 - **Riscaldamento lento a 600°C**
 - **Permanenza a tale temperatura per un tempo pari a 2 minuti per ogni millimetro di spessore**
 - **Raffreddamento lento in forno fino a 200°C**