

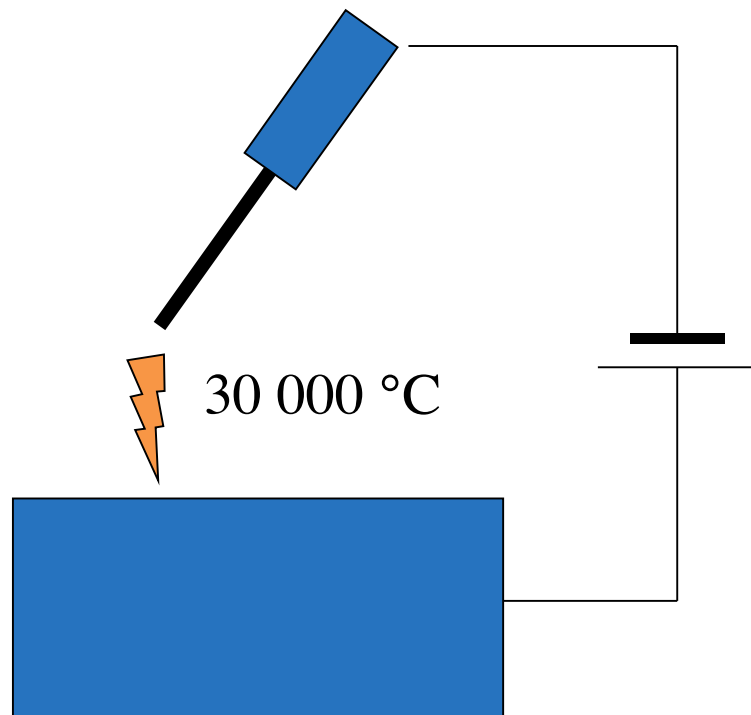
Le Saldature

Corso di Tecnologie Meccaniche
A.A. 2001-02

Tipologie di Saldatura

- Fusione
 - ◆ Ad arco (arc welding)
 - ◆ A fascio di energia (energy beam welding)
- A stato solido
- Brasatura
- Incollaggio

Saldatura ad Arco



Elettrodi:

- consumabili
- non consumabili

Problema:

- protezione del fuso dall'ossidazione

Saldatura ad Arco

Resistenza	Elevata
Parti Piccole	No
Parti Grandi	Sì
Tolleranze	Basse
Ispezione	Difficile
Costo	Medio

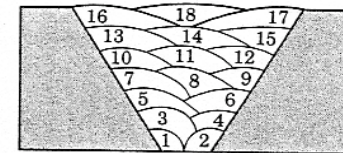
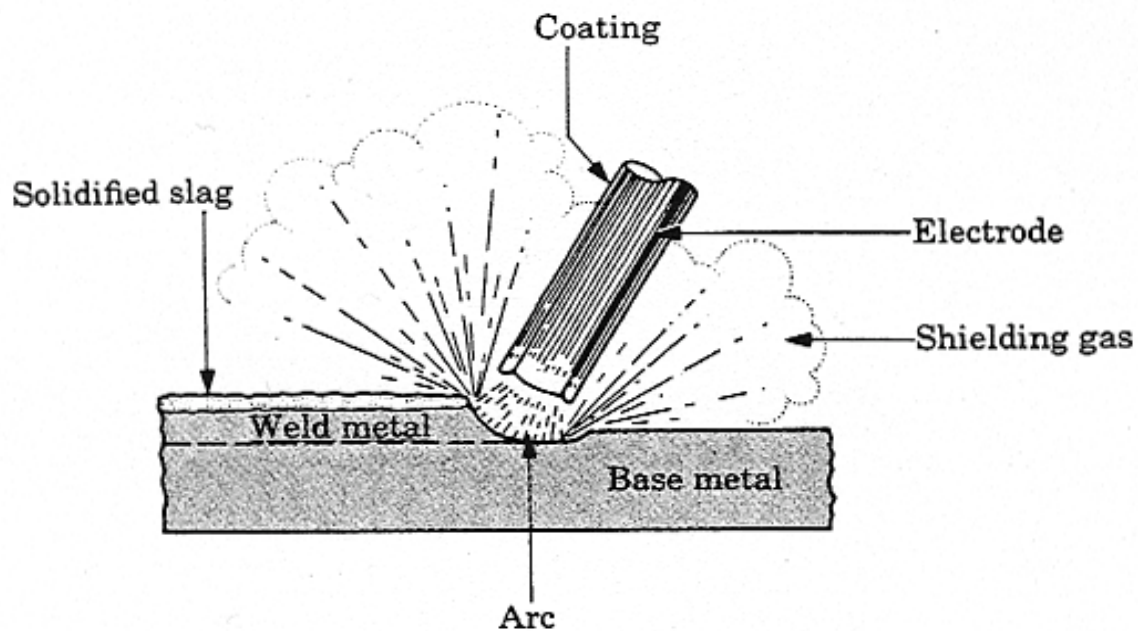
Elettrodi Consumabili

- Shielded Metal Arc Welding
- Submerged Arc Welding
- Gas Metal Arc Welding (MIG)
- Flux-Cored Arc Welding
- Electrode Gas Welding
- Electroslag Welding

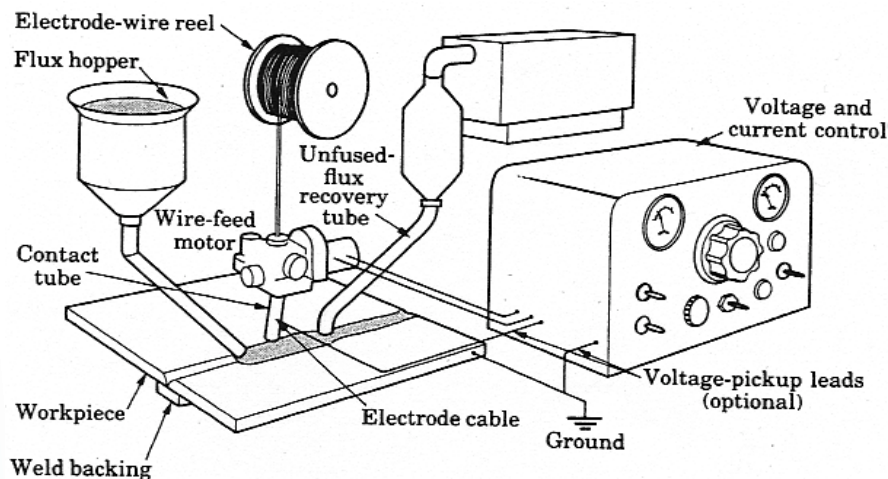
Shielded Metal Arc W. (SMAW)

- Elettrodi in forma di bastoncini con rivestimento disossidante
- Correnti: 50–300 A, <10 kW
 - ◆ polarizzazione diretta: + sul pezzo
 - bassa penetrazione
 - gap molto ampi
 - ◆ polarizzazione inversa: – sul pezzo
 - alta penetrazione
 - ◆ corrente alternata: arco pulsante
 - sezioni ed elettrodi spessi, correnti molto alte

Shielded Metal Arc W. (SMAW)

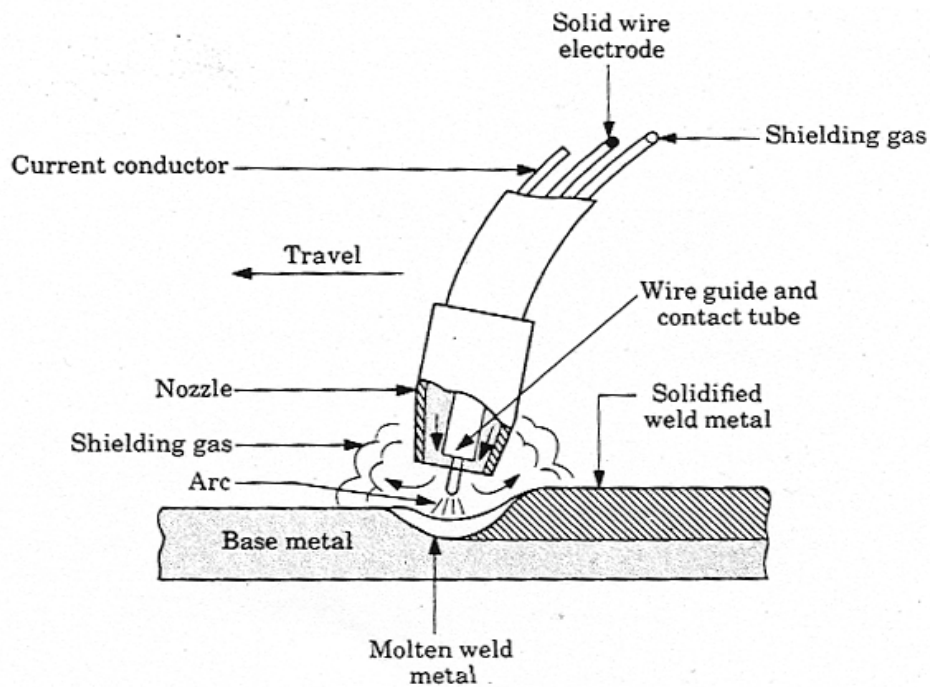


Submerged Arc Welding (SAW)



- 300–2000A
- Veloce (5 m/min)
- Alta qualità
- Produttività (4 ÷ 10xSMAW)
- Automatizzabile
- Sicura
- Solo superfici orizzontali

Gas Metal Arc Wld. (GMAW)



- Atmosfera disossidante fornita da gas (Ar, He, CO₂)
- Produttività (2xSMAW)
- Automatizzabile

Gas Metal Arc Wld. (GMAW)

Trasferimento:

1. Spray:

stabile, Ar, elettrodi spessi, DC

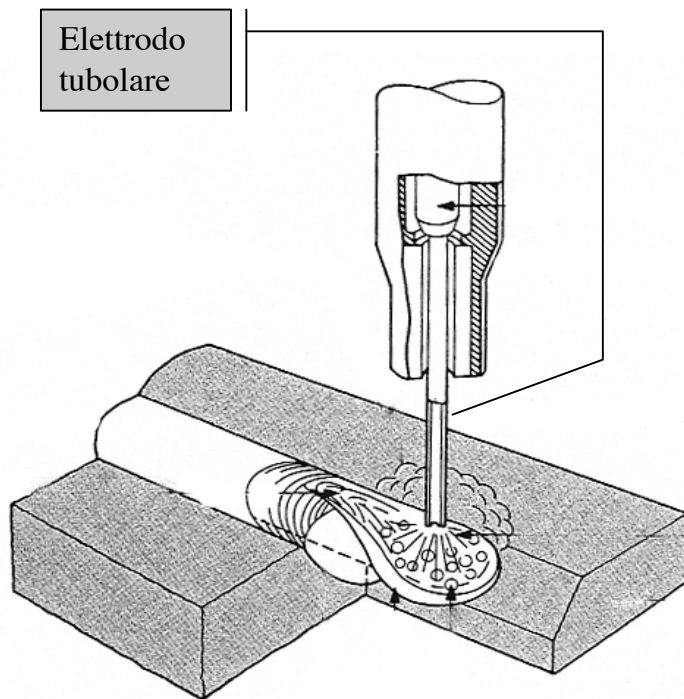
2. Globulare

spatter, CO₂, elevata penetrazione, DC/PC

3. Corto circuito

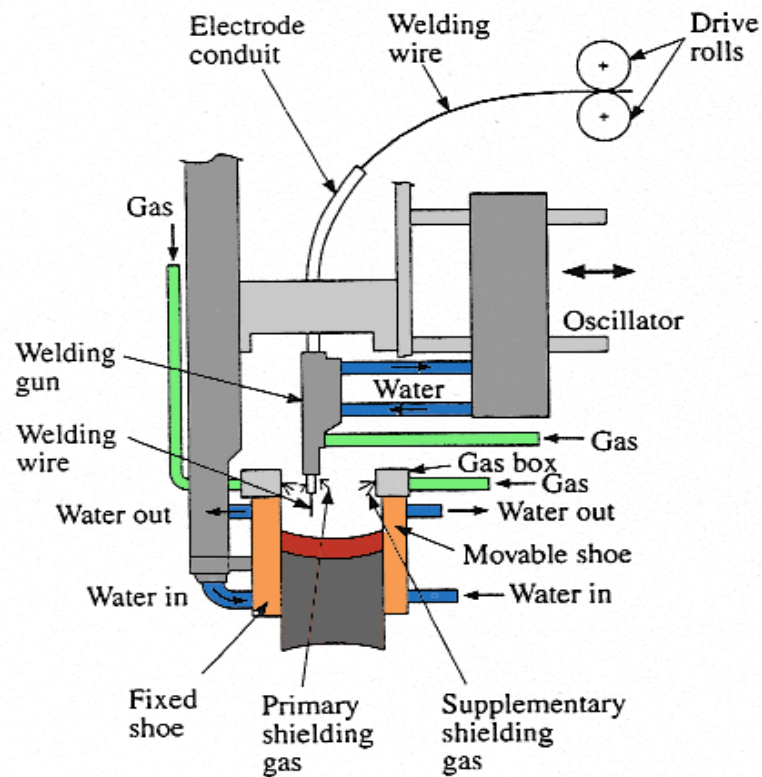
correnti e temp. basse, elettrodi sottili,
adatto a lamiera, DC

Flux-Cored Arc Wld. (FCAW)



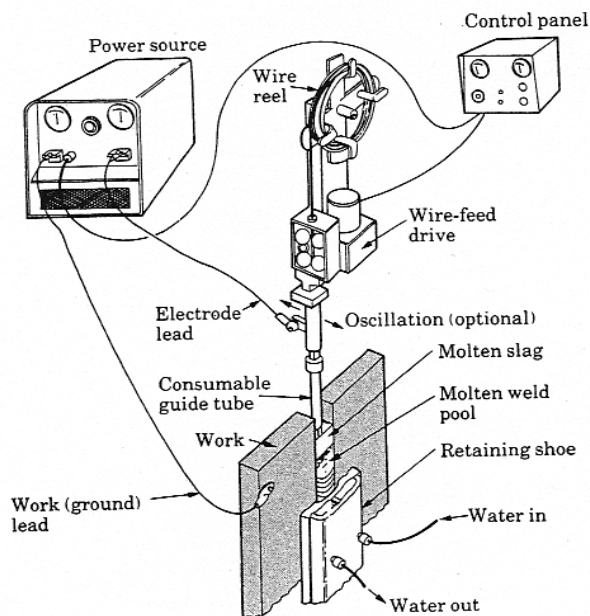
- Elettrodi 0.5–4 mm
- Alta precisione
- Spessori sottili
- Alta qualità
- Più veloce della GMAV
- Controllo della composizione

Electrogas Welding (EGW)



- Elettrodi tubolari o solidi
- Elevati spessori (12–75mm)
- Oscillatore per gli spessori più elevati
- Solo pareti verticali
- Solo a macchina

Electroslag Welding (ESW)



- L'arco si estingue dopo il primo contatto
- Il calore di fusione viene fornito per resistenza nel fuso
- Spessori da 50 a 900 mm in una passata

Elettrodi: specifiche

- Identificati da codici numerici o colori
- Tolleranza sul diametro nominale: 0.05 mm
- Saldature in più passate richiedono la rimozione delle scaglie per spazzolatura

Elettrodi: rivestimento

Il **coating** è costituito da silicati, ossidi, carbonati, fluoruri, leghe metalliche e cellulosa. Il coating deve:

- ◆ stabilizzare l'arco
- ◆ generare gas riducenti
- ◆ controllare la velocità di fusione
- ◆ formare la “slag” (scoria) protettiva
- ◆ controllare la composizione della lega

Elettrodi: designazione

Resistenza a trazione
minima in **kpsi**
(1 kpsi = 6.89 MPa)

1: tutte le posizioni
2: in piano e in
orizzontale

E XXX Y ZZ - LN

E: saldatura
ad arco

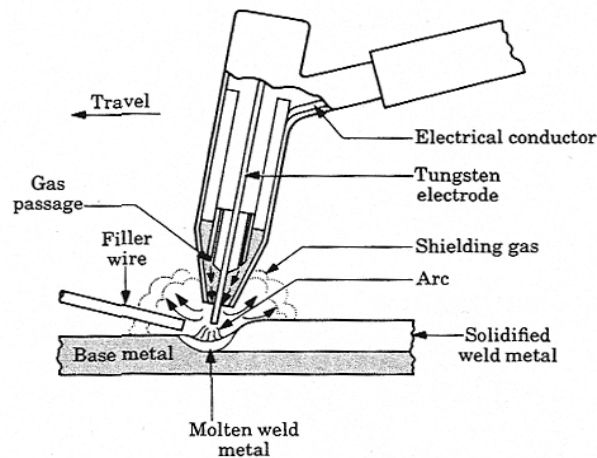
Tipo di rivestimento e
corrente

Leghe depositate
(es.: A1 = 0.5% Mo
B1 = 0.5 % Mo, 0.5 % Cr
B2 = 1.25% Cr, 0.5% Mo)

Elettrodi non consumabili

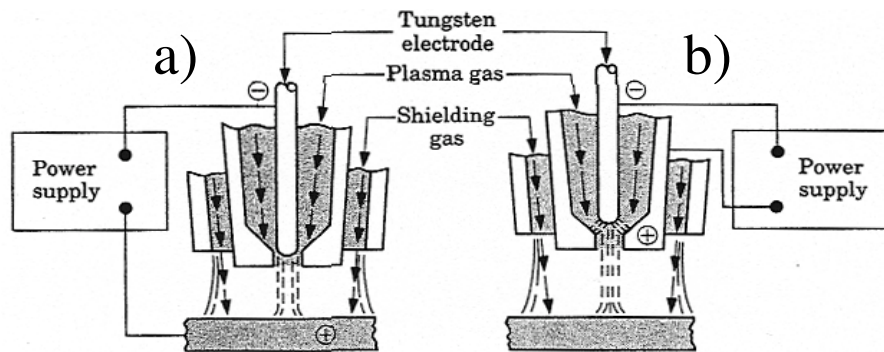
- Gas Tungsten Arc Welding (TIG)
- Plasma Arc Welding

Gas Tungsten Arc W. (GTAW)



- Metallo fornito da un filo (lega e diametro ottimizzati)
 - Configurazione molto stabile, saldature regolari
 - Adatto a lamiere sottili
-
- Alimentazione:
 - ◆ 500 A ac (azione pulente su leghe Al, Mg)
 - ◆ 200 A dc
 - Potenza: da 8 a 20 kW

Plasma Arc Welding (PAW)



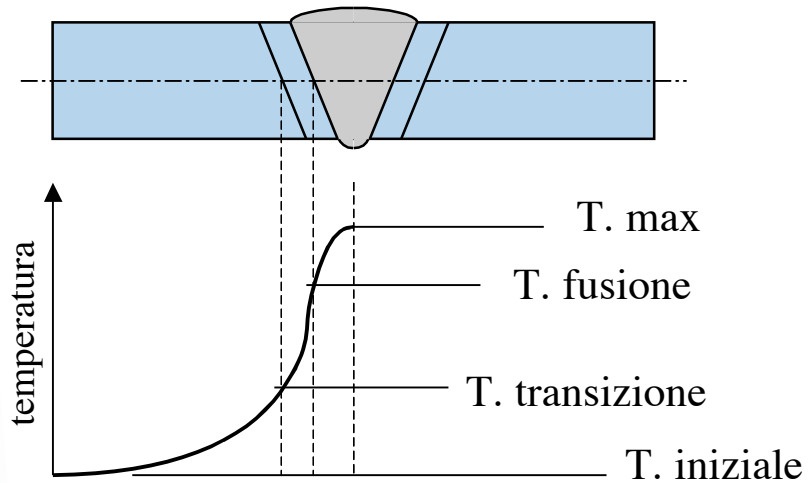
a) arco trasferito
b) arco non trasferito

- Alte temperature: 33000°C
- Anche autogena, o esogena con *filler wire*
- Alta focalizzazione e concentrazione del calore
- Alta velocità (1m/min)
- Spessori < 6 mm
- Basse distorsioni termiche e sforzi residui

Energy Beam Welding

	Laser Beam	Electron Beam
Vuoto	No	Sì
Automatizzabile	Facilmente	In parte
Raggi X	No	Sì
Difettosità	Minima	Porosità, distorsioni
Potenza	<100 kW	<100 kW
Velocità	<80 m/min	<12 m/min
Spessori	<25 mm	<150 mm
Rapporto d/w	4-10	10-30

Il giunto saldato



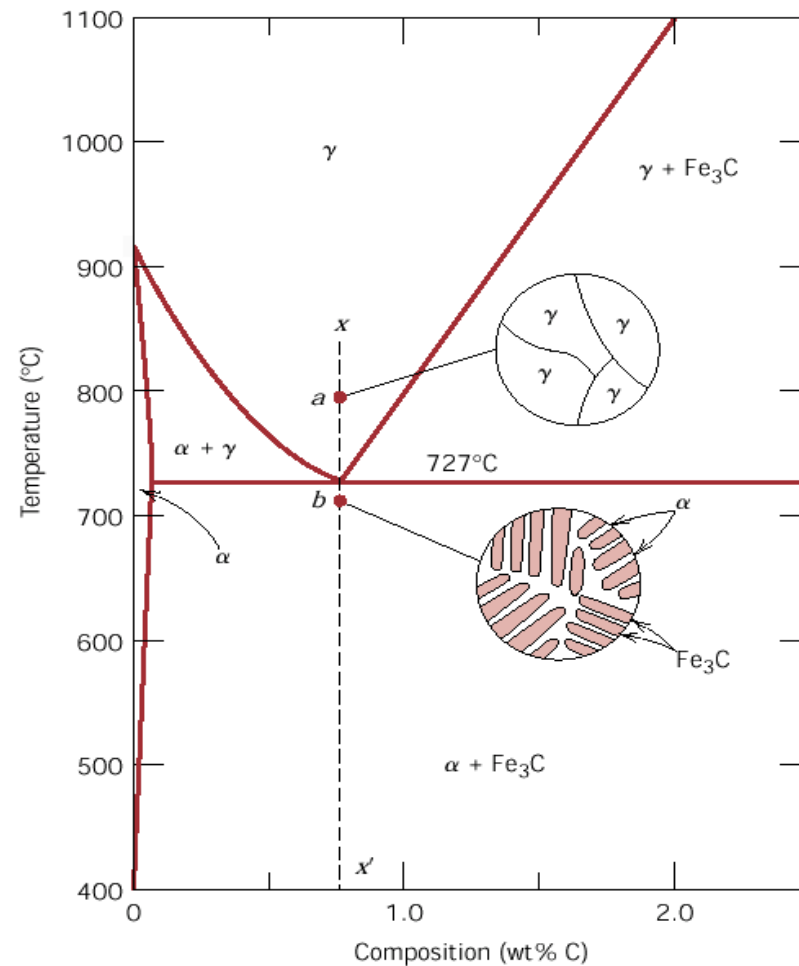
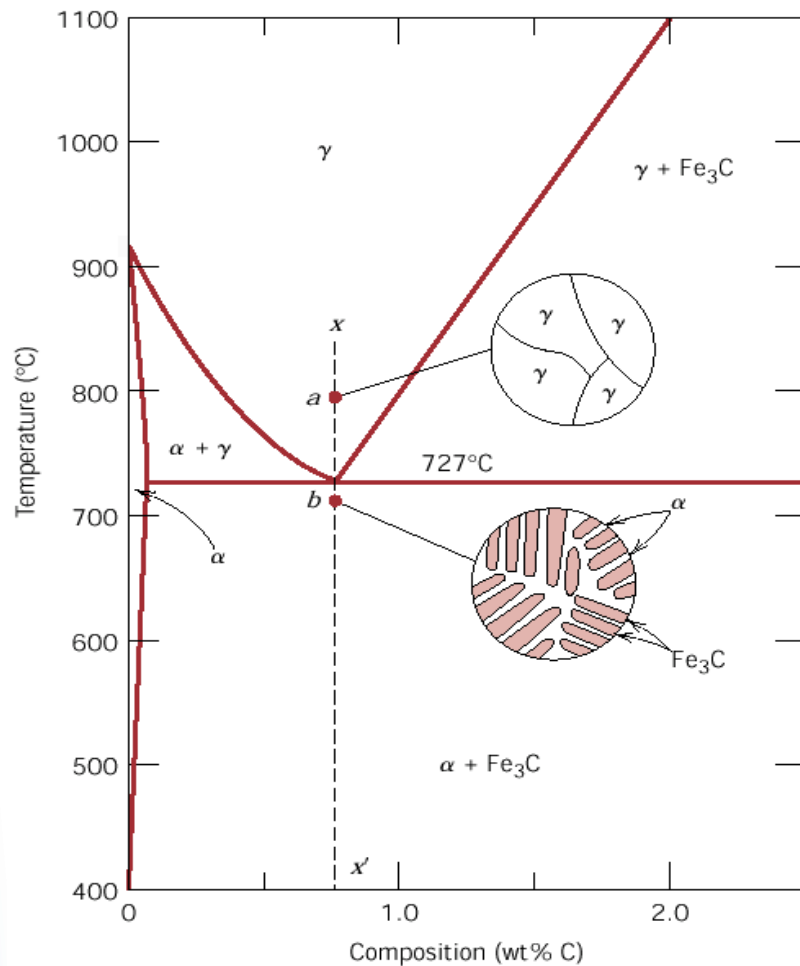
Tre zone:

1. Metallo base
2. Z.T.A. (H.A.Z.)
3. Zona fusa
(composizione base nelle s. autogene)

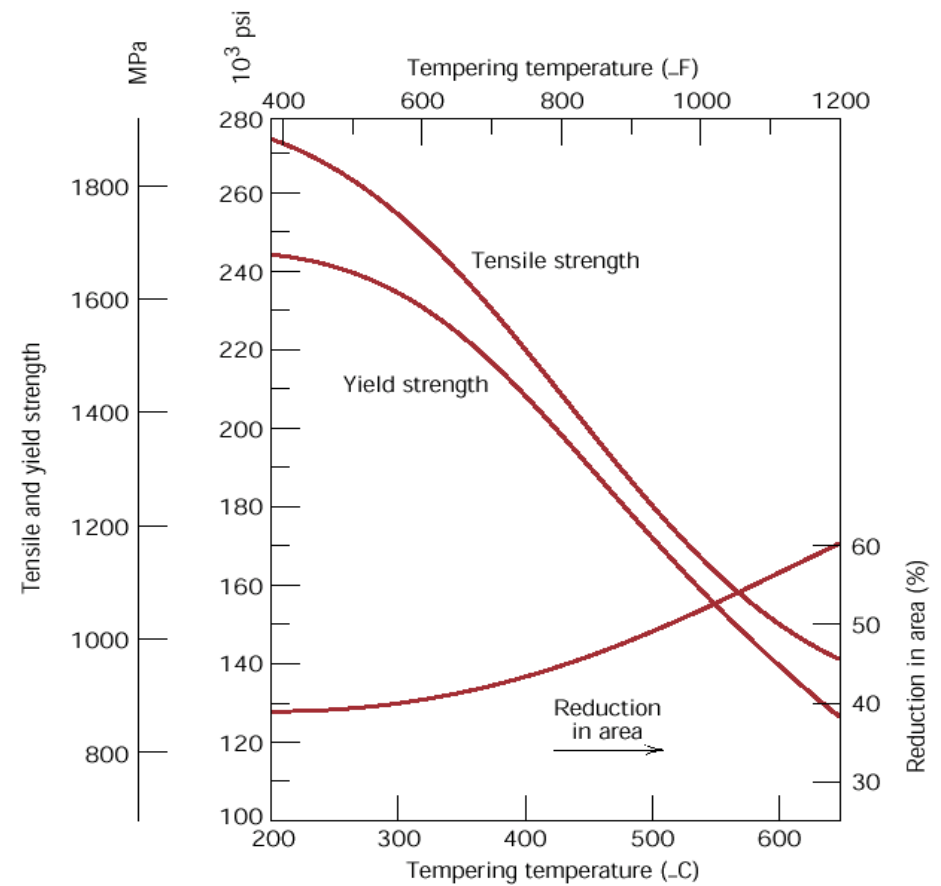
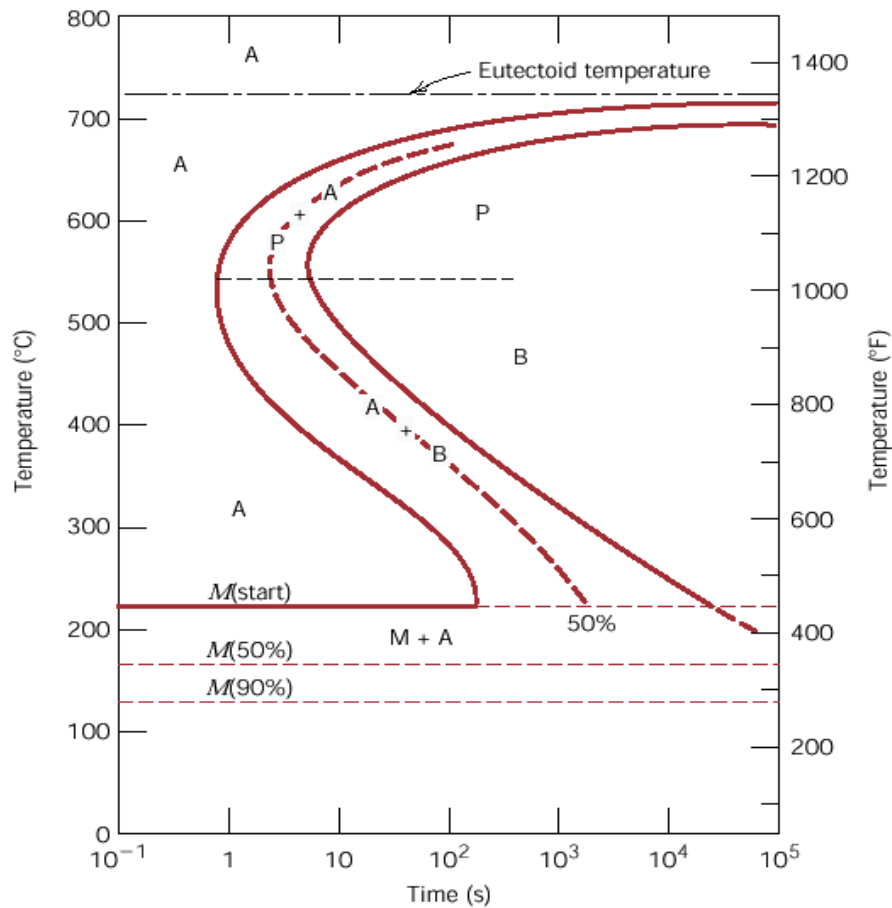
La zona fusa

- La solidificazione della zona fusa avviene lentamente
- La crescita dei grani procede nella direzione di massimo flusso
- La grana risultante è
 - ◆ grossolana
 - ◆ anisotropa
- Scarse proprietà meccaniche
- Sensibilità alla **corrosione**
- ➔ Necessità di trattamenti termici

Temperatura e Composizione



Raffreddamento e Composizione



Difetti: porosità

- Cause:

- ◆ Gas prodotti per reazioni chimiche nel fuso
- ◆ Gas o vapori risultanti dal *filler*
- ◆ Gas o vapori prodotti da contaminanti
- ◆ Gas di schermatura

- Soluzioni:

- ◆ Accurata scelta degli elettrodi e della composizione del filler
- ◆ Preriscaldamento
- ◆ Pulitura dopo ogni passata
- ◆ Diminuire la velocità di deposizione

Difetti: inclusioni

- Cause:
 - ◆ Frammenti della scaglia non rimangono a galla
 - ◆ Atmosfera non completamente riducente
 - ◆ Irregolarità di processo
- Soluzioni:
 - ◆ Pulizia della superficie prima di ogni passata
 - ◆ Controllo del gas schermante
 - ◆ Design del giunto che consenta la distribuzione omogenea del fuso

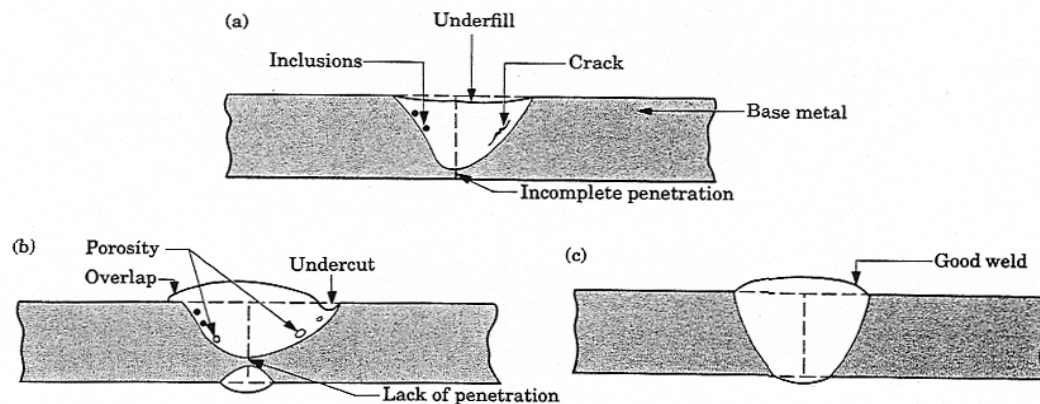
Difetti: fusione parziale

Causa mancata adesione col metallo base

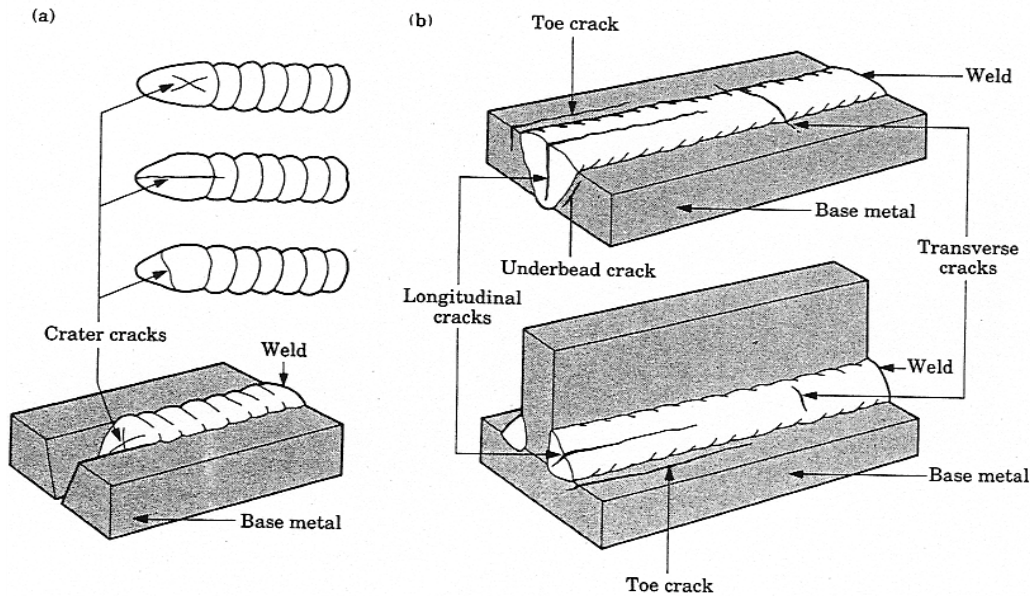
- ◆ Preriscaldare i pezzi
- ◆ Aumentare la potenza termica
- ◆ Pulire le superfici
- ◆ Modificare il profilo del giunto
- ◆ Modificare la composizione dell'elettrodo
- ◆ Modificare la composizione del gas

Difetti: profilo del giunto

- Underfilling (riempimento insufficiente)
- Incomplete penetration (incollatura)
- Undercutting (incisioni marginali)
- Overlapping (sbordamento)



Difetti: cricche



- Longitudinali
- Di piede
- Trasversali
- Di cratere
- Sotto cordone

Difetti: cricche

Cause:

- ◆ Gradienti termici elevati
- ◆ Gradienti di composizione (dilat. termica)
- ◆ Infragilimento per segregazione
- ◆ Infragilimento da idrogeno

Soluzioni:

- ◆ Cambiare la geometria per ridurre gli sforzi
- ◆ Cambiare i parametri di processo
- ◆ Preriscaldare i giunti
- ◆ Evitare bruschi raffreddamenti

Difetti: sforzi residui

Gli sforzi residui sono dovuti a differenti velocità di raffreddamento e a differenti composizioni finali.

Causano:

- ◆ Distorsioni
- ◆ *Stress-corrosion cracking*
- ◆ Instabilità nelle lavorazioni successive
- ◆ Ridotta vita a fatica
- ◆ Resistenza meccanica alterata

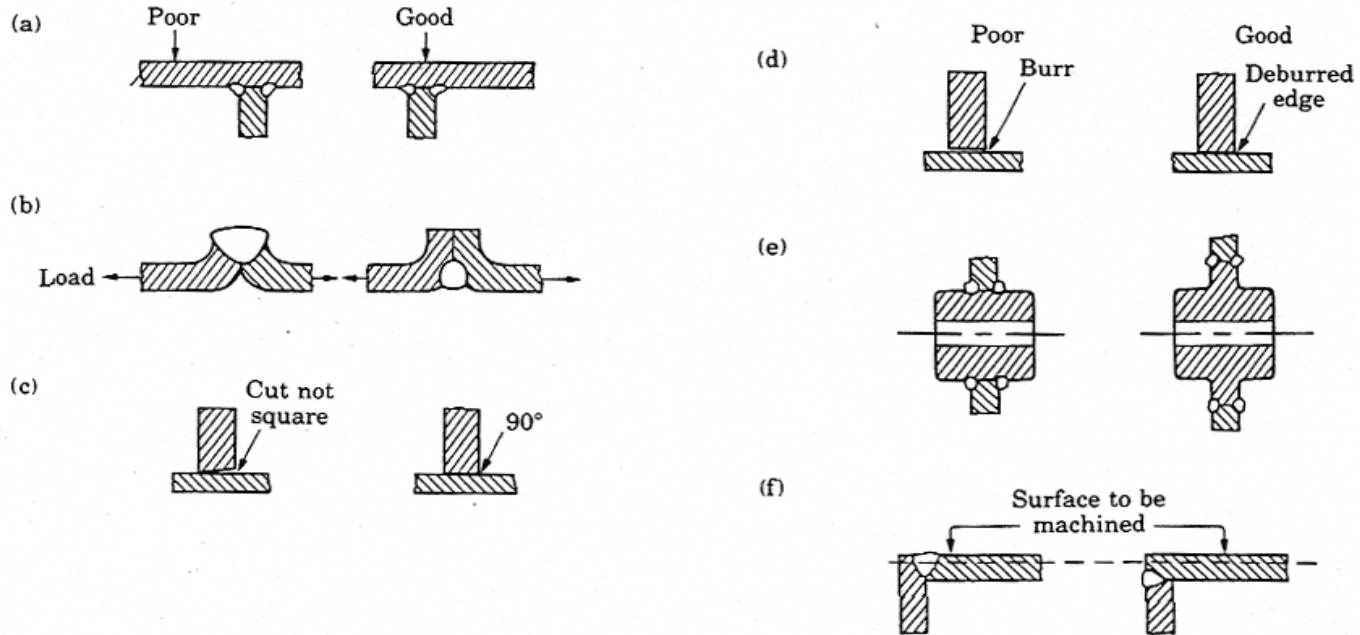
Soluzioni:

- ◆ Preriscaldare
- ◆ Ricottura (*stress relieving*)

Saldabilità delle leghe

Legha	Saldabilità
Acciai al carbonio	Da eccellente a scarsa, all'aumentare di %C
Acciai basso-legati	Da eccellente a scarsa, all'aumentare di %C
Acciai legati	Buona, ma sensibile alle condizioni di processo
Acciai inox	Difficile
Leghe di alluminio	Richiedono alta potenza; no leghe con Zn o Cu
Leghe di rame	Come alluminio
Leghe di magnesio	Atmosfera molto protettiva
Leghe di nichel	Come per acciai inox
Leghe di titanio	Atmosfera molto protettiva
Leghe di tungsteno	Sensibile alle condizioni di processo
Leghe di molibdeno	Sensibile alle condizioni di processo

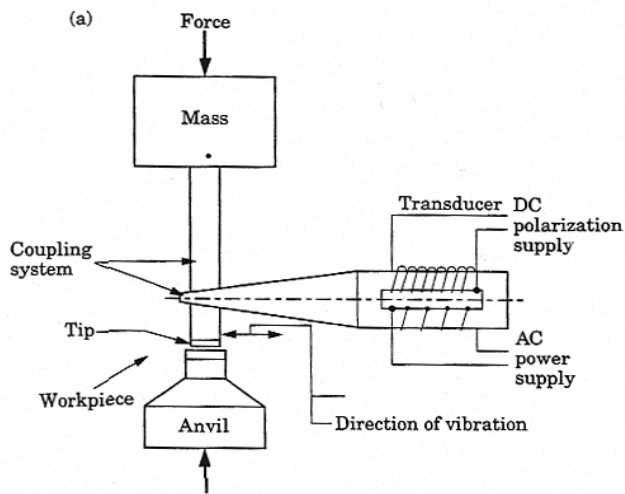
Progettazione



Saldature a freddo

- Energia fornita dalla deformazione meccanica
- Adatta a metalli simili
- Roll bonding (calandratura) per ottenere rivestimenti protettivi
 - ◆ alluminio puro su leghe
 - ◆ acciaio inox su acciaio al carbonio
- Richiede pulizia e preparazione delle superfici

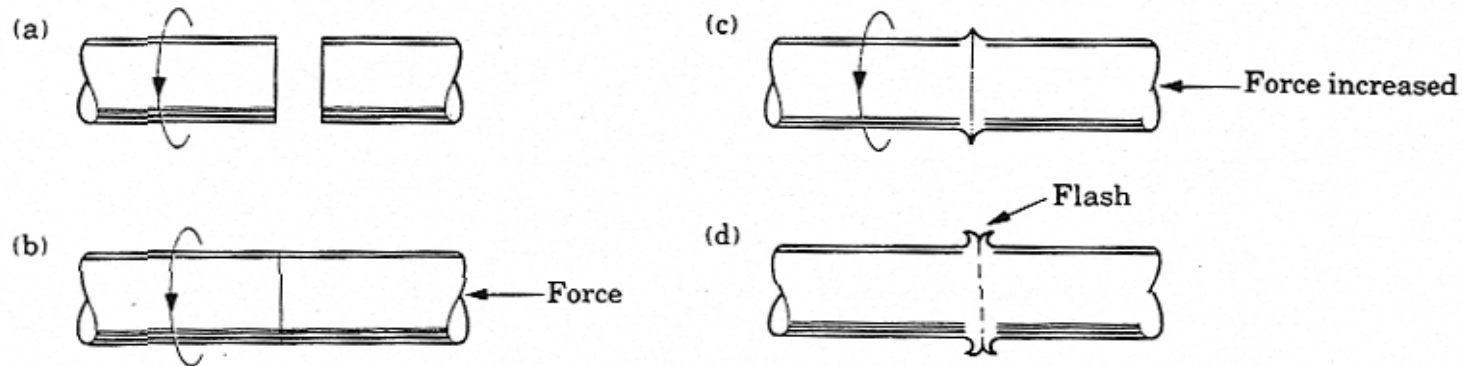
Ultrasonic Welding



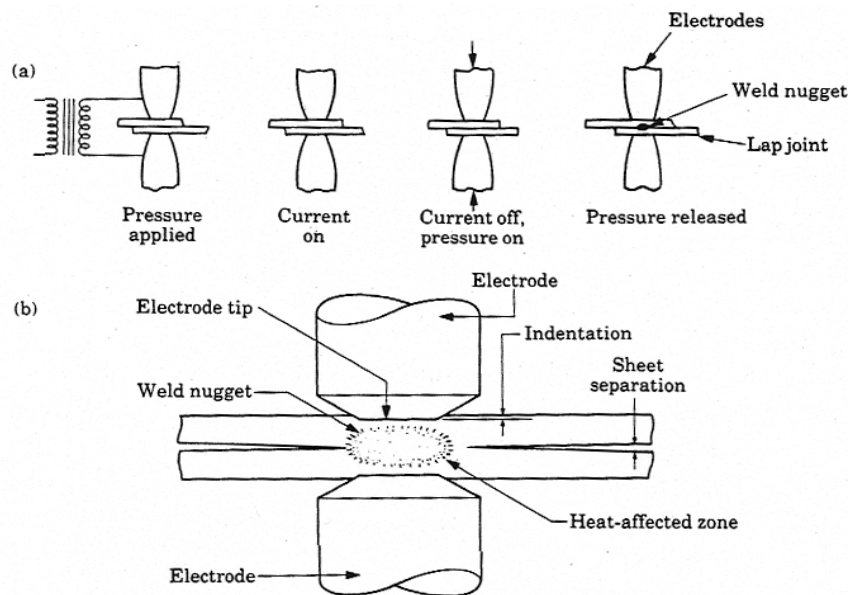
- Frequenze: 10–75 kHz
- ➔ Eliminazione ossidi
- Afferraggi incompatibili col metallo da saldare
- $T_{\max} \approx T_f / 3$ [K]
- Adatta anche a plastiche

Friction Welding

- Rapida, automatizzabile e veloce
- Adatta a tubi e alberi
- Variante avanzata: a volano (*inertia friction welding*)
- Velocità: fino a 900 m/min



Resistance Welding



Parametri:

◆ $H = K I^2 R t$, $K < 1$

◆ $a = \frac{1}{c \rho}$

Correnti: fino a
100000 A

Tensioni: fino a 10 V

Explosion Welding

- Altissima velocità di impatto (3600 m/s)
- Ancoraggio meccanico
- Espulsione ossidi nella modalità con gap ad angolo

