

LE LAVORAZIONI PER SALDATURA



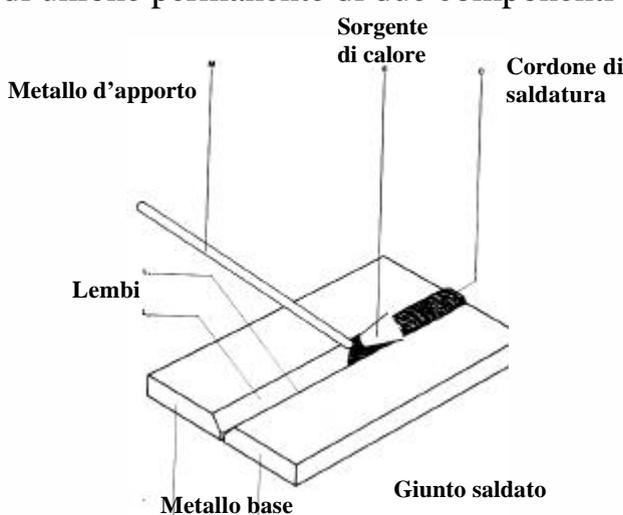
Dipartimento di Meccanica
Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione

1

Tecnologia Meccanica II

Saldatura

Processo di unione permanente di due componenti meccanici



Labels in the diagram:

- Metallo d'apporto
- Sorgente di calore
- Cordone di saldatura
- Lembi
- Metallo base
- Giunto saldato



Dipartimento di Meccanica
Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione

2

Tecnologia Meccanica II

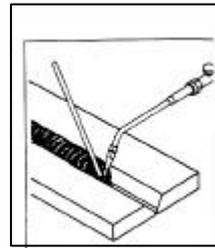
Una saldatura è detta:

- *omogenea*
- *eterogenea*
- *autogena*
- *eterogena*



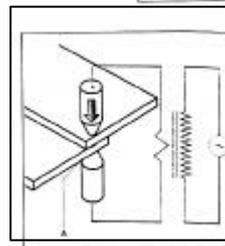
Saldatura per fusione

Fusione e susseguente solidificazione
dei lembi con o senza materiale d'apporto
Fusione con gas o tramite arco elettrico



Saldatura per pressione

Pressione meccanica combinata col
riscaldamento dei pezzi da unire



Brasatura

Fusione elettrica o chimica
del solo metallo d'apporto



Classificazione dei procedimenti di saldatura

Autogene		Eterogene	
Gas	- Ossiacetilenico	Brasatura	- Dolce - Forte
Arco	- Elettrodi rivestiti - Arco sommerso - Tig - Mig - Mag	Saldobrasatura	
Resistenza	- Rulli - Punti		
Stato solido	- Attrito - Ultrasuoni		
Altre	- Laser - Fascio elettronico - Alluminotermica - Plasma -		

Dipartimento di Meccanica
Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione
5
Tecnologia Meccanica II

Posizioni del giunto rispetto all'operatore

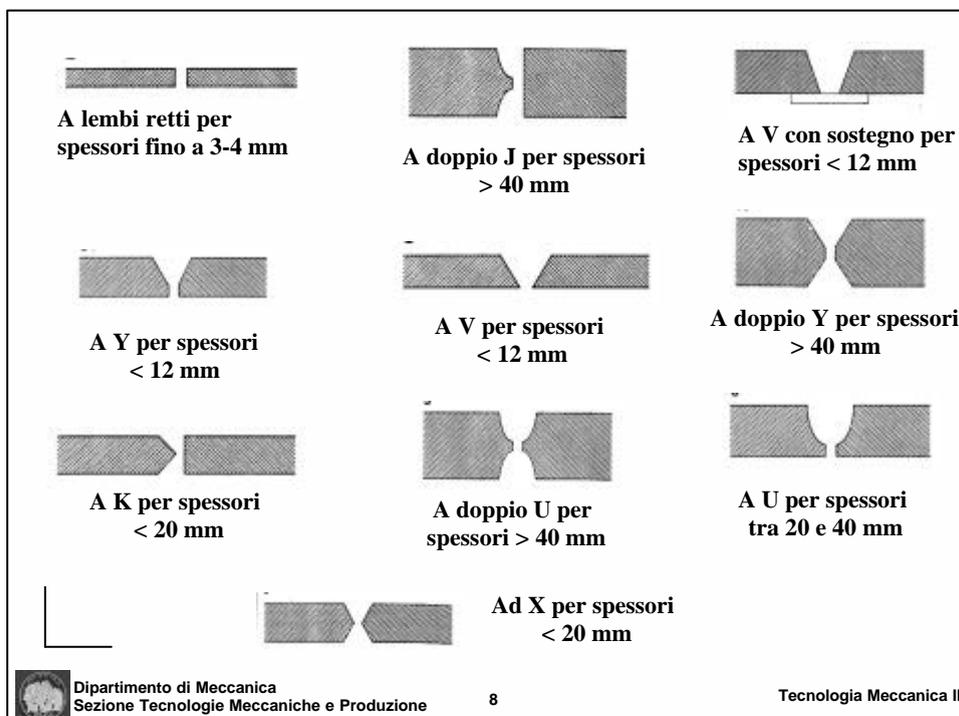
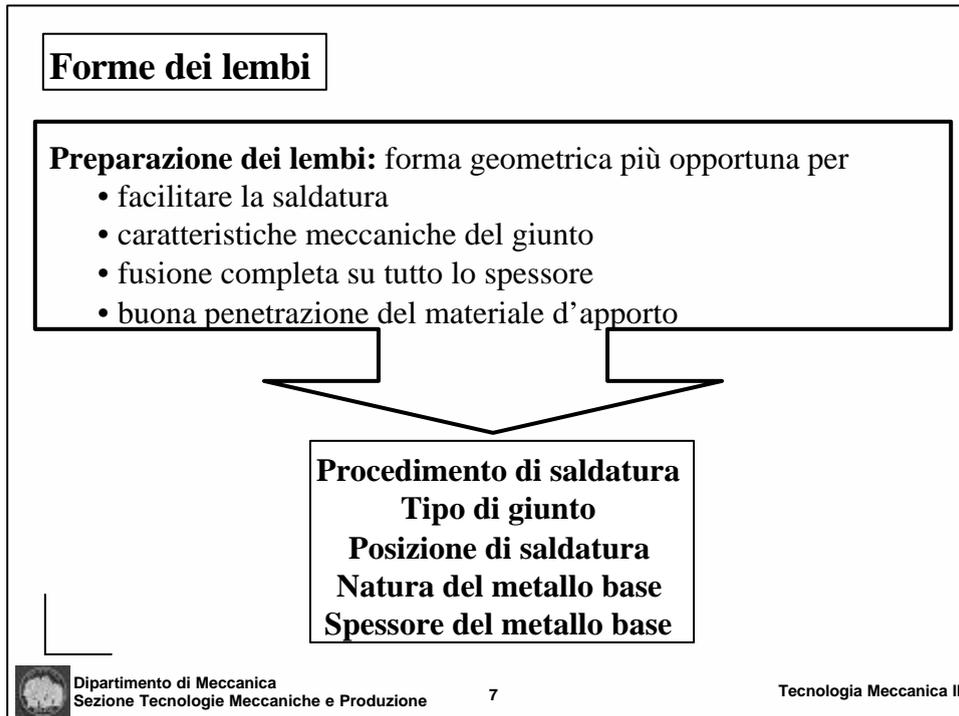
1 in piano 3 verticale 2 frontale 4 sopra testa 5 inclinata

Tipo di giunto (posizione reciproca dei pezzi da saldare)

di testa
a L
di spigolo
a T
d'orlo

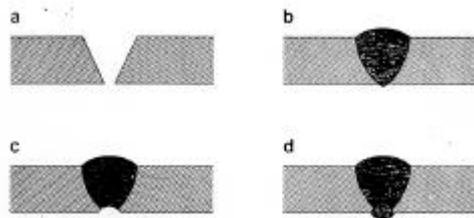
a sovrapposizione
su tre lamiera

Dipartimento di Meccanica
Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione
6
Tecnologia Meccanica II



Ripresa al rovescio

- operazione eseguita se possibile operare dalla parte opposta
- aumenta la tenacità del giunto
- **Preparazione dei lembi**
- **Esecuzione del giunto**
- **Solcatura al vertice**
- **Passata di ripresa**



Forma della superficie esterna del cordone di saldatura

Cordone a forma piana

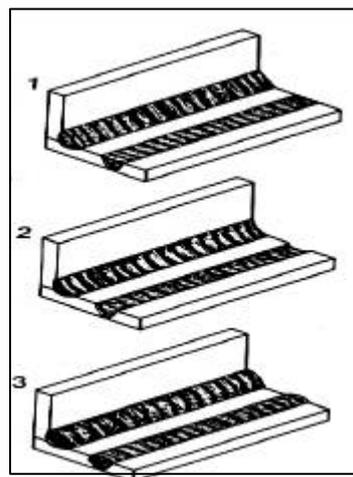
Cordone a forma concava

Cordone a forma convessa

Economia del MA

Resistenza del giunto

Esigenze estetiche e pratiche



Saldabilità

Attitudine con cui un materiale si presta alla realizzazione di unioni saldate di volute caratteristiche con un determinato procedimento

Fattori costruttivi

↔

Fattori metallurgici

Metallo	Temperatura
acciaio	1300 °C + 1400 °C
alluminio	680 °C
bronzo-ottone	900 °C
ghisa	1200 °C
rame	1080 °C
stagno	230 °C

Dipartimento di Meccanica
Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione

11

Tecnologia Meccanica II

Cicli termici di saldatura

Variazione di temperatura nel tempo

⇒

Variazioni della struttura metallografica

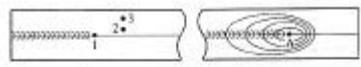
⇒

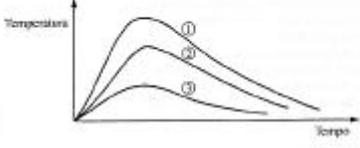
Caratteristiche fisiche e tecnologiche

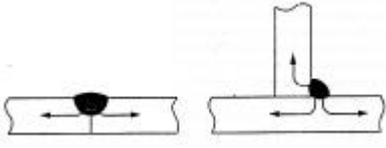
Dipartimento di Meccanica
Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione

12

Tecnologia Meccanica II

Posizione del punto → 

Procedimento di saldatura (apporto termico specifico) → 

Spessore e tipo di giunto → 

Materiale base (conducibilità termica e calore specifico)

Temperatura iniziale

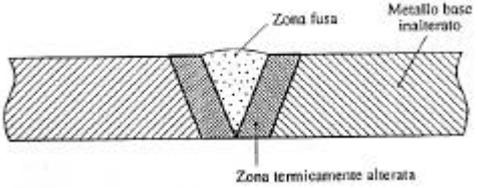
Severità misurata in ? 8/5

 Dipartimento di Meccanica
Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione

13

Tecnologia Meccanica II

Struttura metallurgica del giunto



ZF Rapporto di diluizione = $(V_{mb, fuso} * 100) / V_{tot}$ zona fusa

Solidificazione da esterno a interno
Struttura dendritica
Dimensione grani dipende dal ciclo termico (velocità di raffreddamento)

Le nuove passate rifondono quelle precedenti
► migliora la tenacità

	Rd
Brasatura	0%
Sald senza ma	100%
TIG	20 - 40%
Arco sommerso	10 - 65%
MIG - MAG	5 - 40%

 Dipartimento di Meccanica
Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione

14

Tecnologia Meccanica II

ZTA: trasformazioni allo stato solido

- Massima temperatura
- Severità del ciclo termico
- Composizione chimica MB

Acciai a basso contenuto di carbonio:

- *ingrossamento del grano*
- *affinamento della grana (normalizzazione)*
- *trasformazione della austenite in ferrite e perlite con grana più fine*

Caratteristiche meccaniche simile a MB

Acciai a medio tenore di carbonio: strutture fragili, cricche a freddo

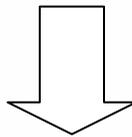


Ritiri, deformazioni e tensioni residue

Strutture sollecitate che lavorano a bassa T: rottura fragile

Strutture soggette a corrosione: le tensioni accelerano il processo

Strutture soggetti a carichi di punta: le tensioni interne aumentano l'instabilità



Trattamenti termici di distensione



Difetti nelle saldature

Cricche a caldo (ZF)	Elevato tenore di carbonio Elevato tenore di impurezze nel MB Tensioni di ritiro elevate
Cricche a freddo (ZTA)	Strutture dure e fragili Presenza di idrogeno Tensioni di ritiro elevate
Rottura fragile	Strutture che lavorano a bassa T Strutture con intagli Tensioni di ritiro elevate



Saldatura con gas

- **Fiamma ottenuta mediante la combustione di un gas con l'ossigeno**
- **Cannello**
 - ossigeno: comburente**
 - gas: combustibile**
- **Caratteristiche gas:**
 - **alta temperatura di fiamma**
 - **elevato contenuto termico**
 - **bassa reattività della fiamma con il metallo base e d'apporto**
 - **stabilità e facilità di regolazione della fiamma**



Saldabilità dei materiali alla fiamma

- **Acciaio**
 - $C < 0.4$ facilmente saldabile
 - $0.4 < C < 0.6$ cattiva saldabilità (MA basso tenore di C)
 - $C > 0.6$ preriscaldamento dei lembi
- **Ghise** preriscaldamento del pezzo
- **Rame** ottima saldabilità
- **Alluminio** pericolo ossidi
- **Ottone** cattiva saldabilità
- **Bronzo** cattiva saldabilità



• **Gas utilizzati**

Combustibile	Fiamma	Temp
Idrogeno	Ossidrica	2500 °C
Metano	Ossimetanica	2750 °C
Propano	Ossipropanica	2750 °C
Butano	Ossibutanica	2850 °C
Acetilene	Ossiacetilenica	3200 °C

Spessore pezzi	ϕ Bacchetta
1 ÷ 2	1 ÷ 2
3 ÷ 4	2,5 ÷ 3
5 ÷ 6	3,5 ÷ 4
7 ÷ 8	5 ÷ 6
9 ÷ 12	6 ÷ 7
oltre 12	7 ÷ 8

- **Metallo d'apporto**
Filo metallico di diverse dimensioni, composizione e caratteristiche



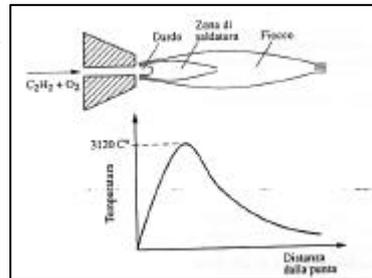
Saldatura ossiacetilenica



- T di fiamma 3200 °C
- Maggior quantità di calore generato nell'unità di tempo
- Minor consumo di ossigeno
- Prodotti di combustione (CO e H) riducenti

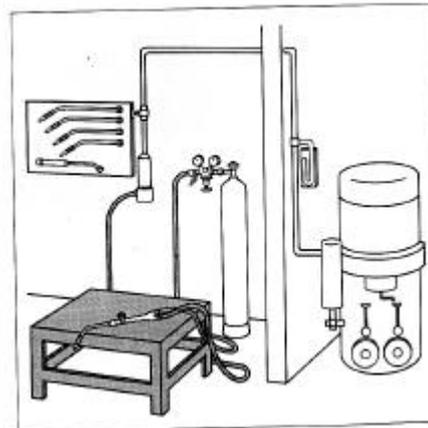


Fiamma neutra (acciai, ghisa, rame, Al)
 carburante (proc di indurimento superficiale)
 ossidante (bronzi e ottone)



Attrezzature

- alimentatore di ossigeno
- alimentatore di acetilene
- organi di collegamento e regolazione
- cannello
- posto di lavoro con utensili e attrezzature ausiliarie



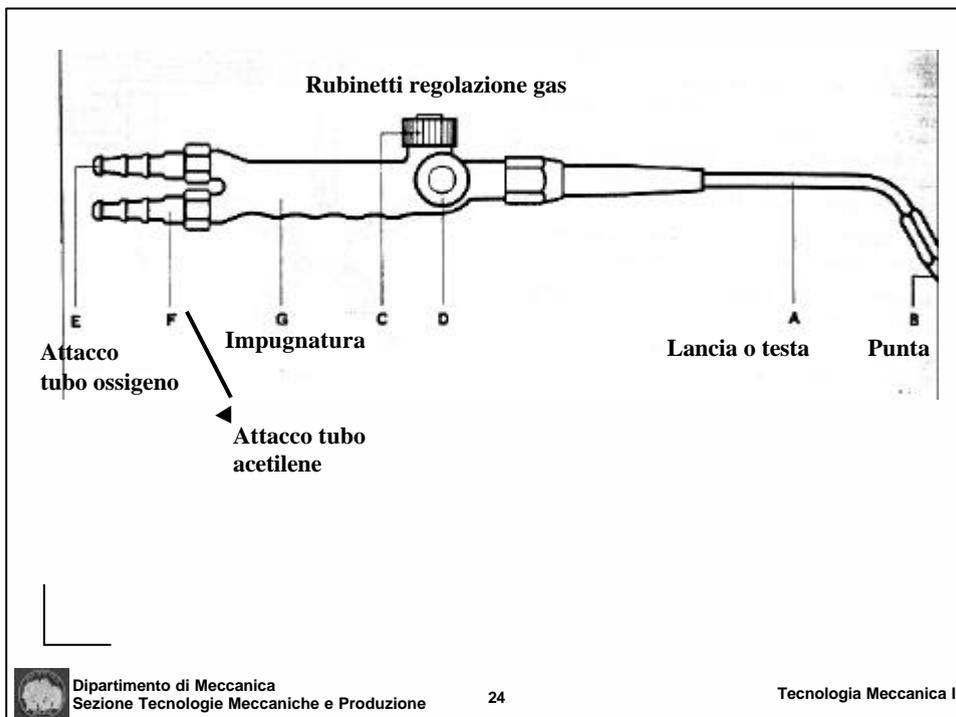
Cannello

- miscela i due gas
- permette la regolazione della fiamma
- dirige la fiamma localizzando l'apporto termico

Potenza del cannello

litri di C_2H_2 bruciati in un'ora

Spessore (mm)	Potenza (l/h di C_2H_2)
0,3 - 1	25 - 100
1 - 2	100 - 200
2 - 4	200 - 400
4 - 6	400 - 600
6 - 9	600 - 900
9 - 12	900 - 1200



Cannello a bassa pressione

O₂: 0,1 – 0,3 MPa

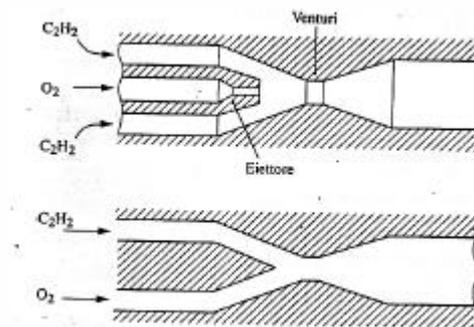
C₂H₂: 0,01 MPa

Cannello ad alta pressione

O₂ - C₂H₂: 0,075 MPa

Più pericolosi

Erogazione fissa



Modalità operative

- Senza metallo d'apporto per spessori sottili
- Materiale d'apporto simile a metallo base
- Pulizia superfici

Caratteristiche e prestazioni

- no leghe reattive
- acciai a basso tenore di carbonio
- buona controllabilità del processo
- scarsa penetrazione
- adatto a spessori sottili
- costi e tempi elevati per grossi spessori
- equipaggiamento versatile, trasportabile e di basso costo



Taglio con cannello ossiacetilenico

Taglio per ossidazione

Adatto per acciai al carbonio o debolmente legati

- T_{ossidazione} < T_{fusione metallo}
- reazione di ossidazione fortemente esotermica
- T_{fusione ossido} < T_{fusione metallo}

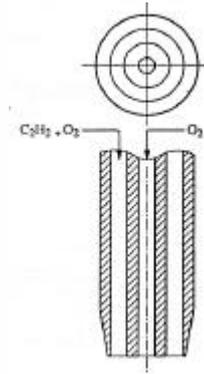
Manuale: spessori 50mm, vel 7/9 m/h

A CN: spessori fino a 500mm, vel 34 m/h

Se T_{fusione ossidi} > T_{fusione metallo}

(Acciai inox e ghisa)

iniezione polvere di ferro nella zona di taglio



Arco elettrico

- Elettrodi rivestiti
- Arco sommerso
- TIG
- MIG/MAG



Sorgente di calore di natura termoelettrica

Il calore è fornito da un arco voltaico che scocca tra i pezzi da saldare e il materiale d'apporto

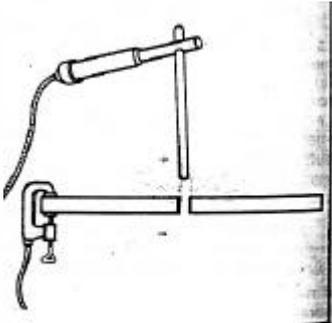
Scarica elettrica continua tra i due poli a diverso potenziale

Iniziale contatto fra i due elettrodi

Corrente ionizza aria che permette passaggio di corrente anche senza contatto elettrodi

L'arco può essere:

- DIRETTO
- INDIRETTO



Dipartimento di Meccanica
Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione

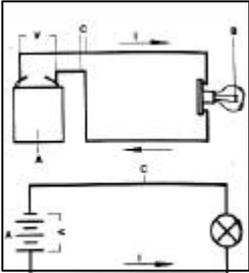
29

Tecnologia Meccanica II

Richiami

Circuito elettrico

- generatore
- utilizzatore
- cavi di collegamento



Grandezze caratteristiche

$I [A]$

$? V [V]$

Legge di Ohm

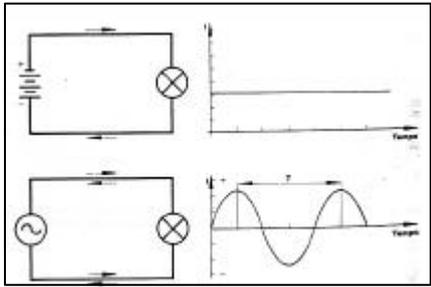
$? V = R I$

Corrente continua

I costante nel tempo
Senso di percorrenza costante
Polo + e polo -

Corrente alternata

I non costante nel tempo
Senso di percorrenza varia



Dipartimento di Meccanica
Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione

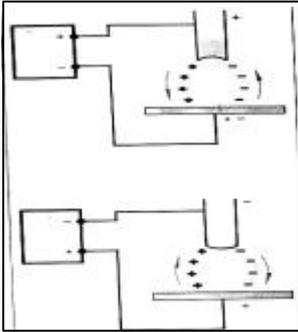
30

Tecnologia Meccanica II

Gli elettroni vanno verso l'anodo (+)
Gli ioni positivi sono diretti verso il catodo (-)

Corrente continua
 temp anodo 3500-4000 °C
 temp catodo 2600-2800 °C

Corrente alternata
 temp catodo = temp anodo



Dipartimento di Meccanica
 Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione

31

Tecnologia Meccanica II

Generazione dell'arco

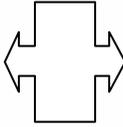
Corrente continua
 arco stabile
 cordone uniforme

Corrente alternata
 sistema costoso
 assenza di soffio magnetico
 alta deposizione

Polarità diretta
 Alta penetrazione

Polarità inversa
 Alta deposizione

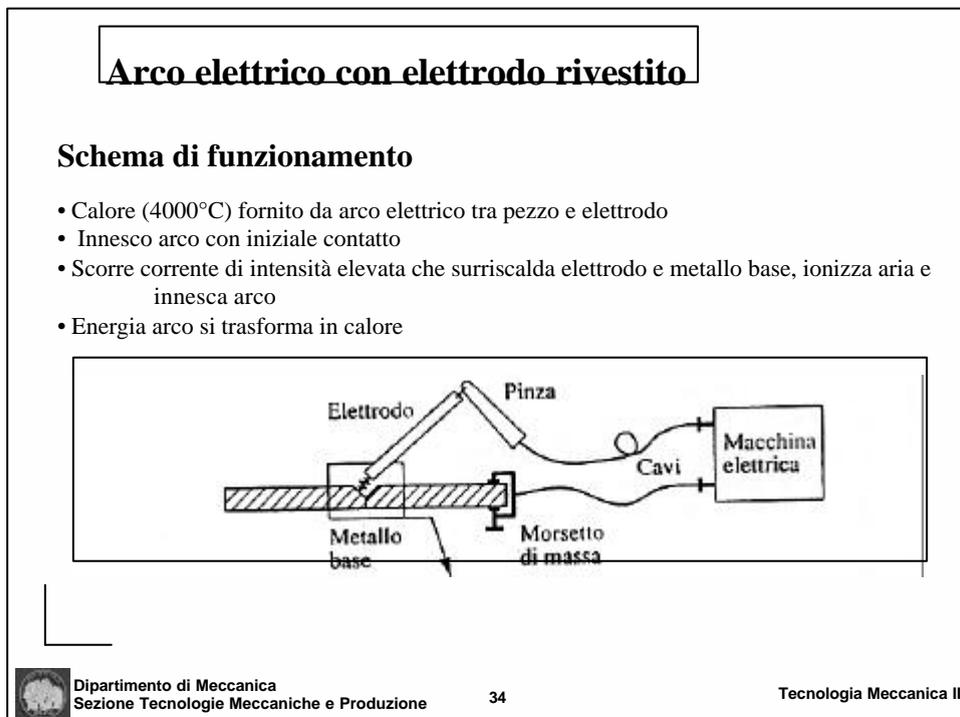
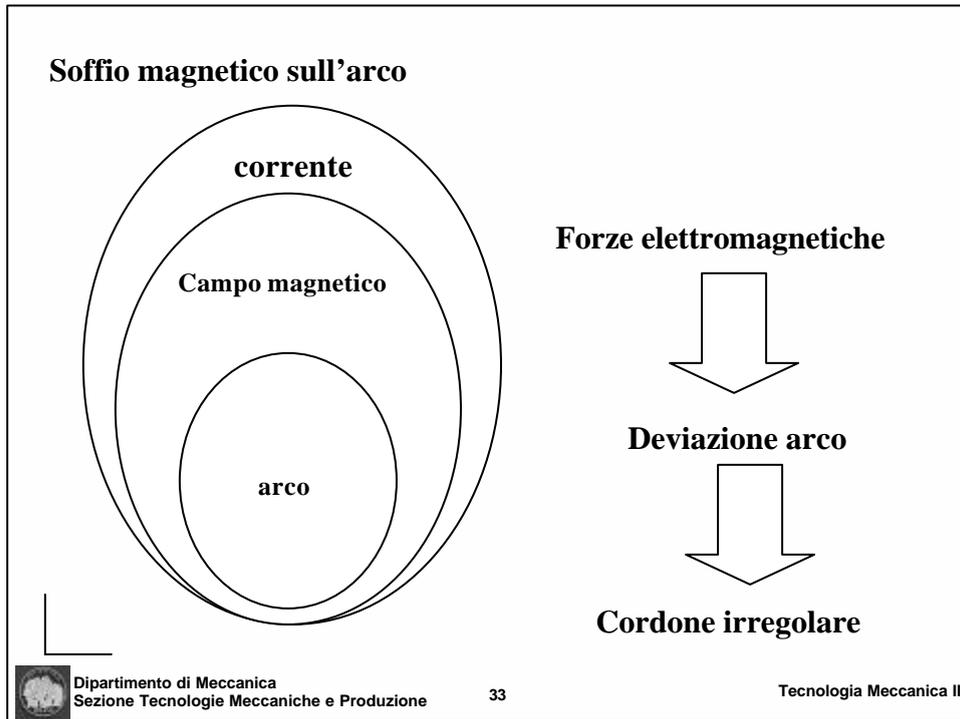
Pezzi di notevoli spessori: polarità diretta
Pezzi sottili: polarità inversa



Dipartimento di Meccanica
 Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione

32

Tecnologia Meccanica II



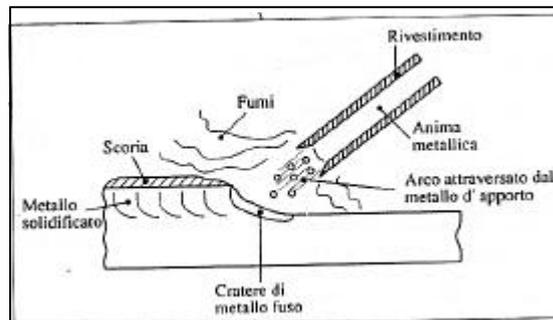
Anima e rivestimento fondono

Arco proietta gocce di anima fusa
sul pezzo che si amalgamano nel bagno di fusione

Rivestimento:

parte gassosa avvolge l'arco

parte liquida galleggia sopra bagno di fusione e solidifica (scoria)



Elettrodi

- 1) materiale da saldare
- 2) bacchetta

Anima (Filo metallico metallurgicamente simile a metallo base)

- conduce corrente
- fornisce metallo d'apporto

Rivestimento (miscela di sostanze particolari)

Parte gassosa:

- protegge il bagno di fusione dalle ossidazioni
- favorisce la stabilità dell'arco (in caso di corrente alternata) con lo sviluppo di gas ionizzanti

Parte liquida:

- trattiene impurezze presenti nel MB
- protegge il cordone di saldatura da ossidazioni superficiali
- se rivestimento contiene carbonati di calcio o magnesio depura il bagno da sostanze nocive (zolfo e fosforo)
- apporto di elementi che migliorano le caratteristiche meccaniche e tecnologiche del cordone



Materiale rivestimento

La composizione del rivestimento influenza sensibilmente i risultati dell'operazione di saldatura

Ossidante: a base di ossidi di ferro, manganese e silicio
Bassa penetrazione, scoria spessa e solida, facilmente asportabile
Caratteristiche meccaniche e tecnologiche del giunto basse
Saldature in piano

Acido: a base di ossidi metallici e ferroleghie
Buona qualità del giunto, penetrazione buona
Anche per saldature frontali e verticali



Basico: a base di carbonato di calcio e fluorite
Elevate proprietà meccaniche e tecnologiche del giunto
Saldature di qualunque posizione

Cellulosico: a base di materie organiche
Buone qualità meccaniche e tecnologiche del giunto, scoria facilmente asportabile
Bassa penetrazione, elevato sviluppo di fumi
Saldature in tutte le posizioni

Al rutilo: a base di ossidi di titanio
Buona stabilità dell'arco, Aspetto cordone buono

Ad alto rendimento: a base di polvere di ferro, rend fino a 160%
Rendimento= Peso metallo depositato sul cordone/Peso anima metallica consumata

A forte penetrazione: a base di ossido di titanio e cellulosa
Penetrazioni doppie rispetto al normale



Si acciai al carbonio, acciaio inox, leghe leggere, ghisa, rame, nickel e sue leghe

No metalli a basso punto di fusione (a base di stagno, piombo e zinco)
metalli reattivi (titanio e zirconio)

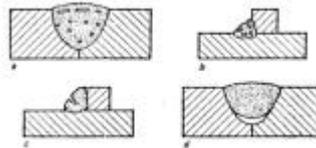
Caratteristiche

- L'elettrodo va sostituito (interruzione operazione)**
- Eliminazione scoria dopo ogni passata**
- Attrezzatura semplice e portatile**
- Velocità maggiore e costo inferiore a saldatura ossiacetilenica**
- Saldatura di parti di diversi spessori**
- Poco competitivo rispetto altri processi ad arco**
- Giunzione di testa di tubi per trasporto fluidi**
- Spessore minimo 1 mm**



Difetti tipici:

- inclusione scoria nel cordone
- porosità
 - impurezze del metallo base
 - umidità assorbita dal rivestimento
 - elevata velocità di saldatura che impedisce l'evaporazione dei gas
- cretti longitudinali
 - formazione di cricche a caldo durante la deposizione di cordoni sottili su pezzi di grosso spessore, a causa di un ritiro ostacolato
 - cricche a freddo per le tensioni di ritiro in pezzi di grande spessore e rigidità
- discontinuità derivanti da incompleta fusione dei lembi da saldare
 - corrente di saldatura elevata ► fusione di una massa eccessiva di elettrodo in un tempo troppo breve ► non totale riempimento ai bordi



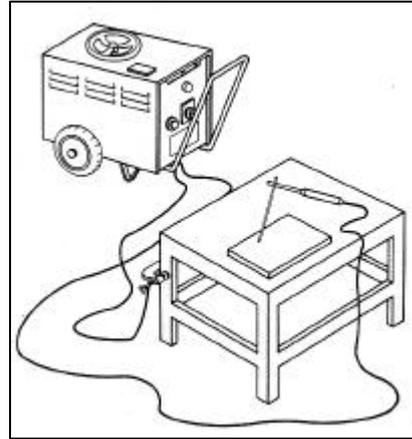
Impianti e apparecchiature

Generatore di corrente

Pinza portaelettrodo

Morsetto

Banco di lavoro



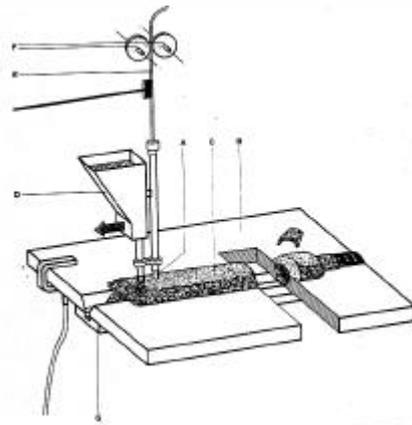
Arco sommerso

Arco scocca tra elettrodo e metallo base e rimane sotto la protezione di un flusso granulare

Materiale d'apporto: filo nudo continuo
Flusso granulare protegge da ossigeno ed azoto

Unità di controllo:
intensità di corrente, tensione d'arco
velocità del filo

Corrente continua
o alternata



Spazzola di rame trasmette corrente al filo

Flusso granulare in abbondanza

scoria **Parte in eccesso aspirata**

Flussi prefusi o neutri:
 costituiti da fluoruro di calcio, carbonato di calcio, e silicato di manganese
 Cotti in forno e successivamente macinati
 Solo funzione protettiva (le reazioni chimiche fra gli elementi avvengono nella fase di cottura)

Flussi agglomerati o attivi:
 costituiti da silicati, ferroleghie di manganese, silicati di sodio e potassio, ossidi di tungsteno
 Componenti macinati, agglomerati in forno con leganti ed essiccati
 Funzione protettiva e metallurgica

 Dipartimento di Meccanica
 Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione 43 Tecnologia Meccanica II

Caratteristiche

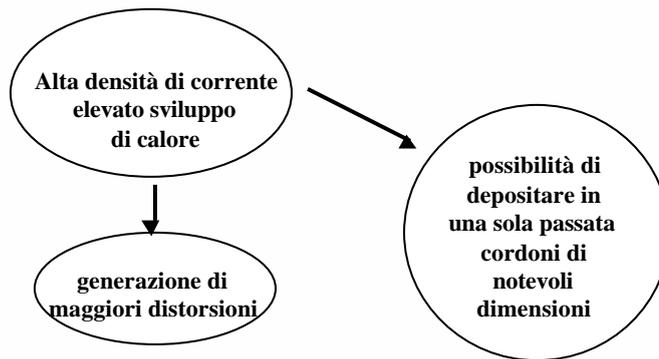
Vantaggi

- Funzionamento semiautomatico o completamente automatico
- Cordone è più pulito, uniforme e di composizione controllata mediante il flusso granulare
- Velocità di saldatura è maggiore rispetto al processo ad arco rivestito
- Riduzione del tempo di fermo impianto per la sostituzione degli elettrodi rispetto alla saldatura con elettrodi rivestiti
- Alta penetrazione e alta deposizione oraria (diminuzione del numero di passate)
- Deformazioni dei pezzi minime
- Correnti di saldature molto elevate (nella zona dell'arco la resistenza elettrica _____ diminuisce per la presenza del flusso fuso che diventa elettroconduttore)

 Dipartimento di Meccanica
 Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione 44 Tecnologia Meccanica II

Limitazioni

- Flusso preservato da contaminazioni, che potrebbero causare porosità nel cordone di saldatura
- Metallo base completamente privo di scaglie, ruggine, grassi e altre sostanze contaminanti
- Eliminazione scoria prima di effettuare eventuali passate successive
- Posizione di saldatura: in piano o d'angolo



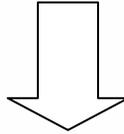
- Si** acciai al carbonio, acciaio inox, acciai debolmente e mediamente legati, nickel e sue leghe
- No** leghe leggere, acciai da utensili, ghisa

Applicazioni

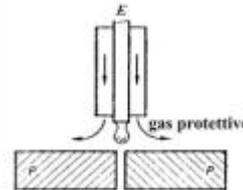
- saldatura longitudinale di tubi anche di ampio raggio
- saldature su grossi pannelli di elevato spessore (fino a 60 mm) carpenteria navale e ferroviaria



Nelle saldature elettriche azione ossidante dell'aria sia del bagno di fusione che dell'arco
Azione protettiva rivestimento spesso non è sufficiente



Uso di gas inerti o di gas attivi
TIG - MIG - MAG



Gas inerte: non si combinano con altri elementi del bagno di fusione ed escludono l'aria dal contatto con la zona da saldare

Gas attivi: si combinano con elementi presenti nel metallo base



- saldatura in tutte le posizioni
- qualità molto elevata
- no scoria
- complessità, e scarsa trasportabilità dell'apparecchiatura necessaria
- costo elevato
- elettrodo corto per permettere l'afflusso del gas protettivo alla zona di saldatura
- problemi in ambienti fortemente ventilati
- conveniente per saldature di piccoli spessori (fino a 12 mm)
spessore minimo circa 2 mm



TIG (Tungsten Inert Gas)

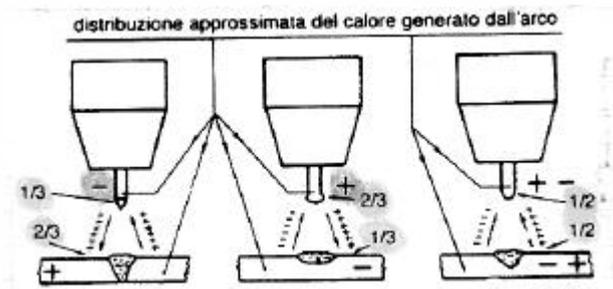
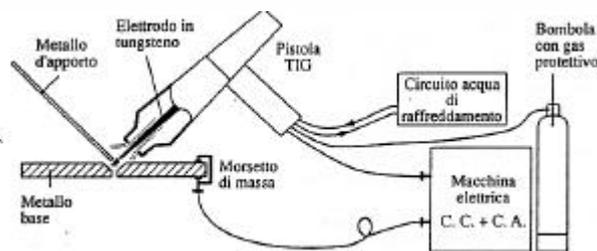
Gas: argon, elio, miscele di Ar-He, Ar-CO₂

Elettrodo: astina di tungsteno (T fusione 3000°C) → infusibile

Materiale d'apporto: bacchetta(manuale) o filo (automatico)

Arco tra elettrodo e metallo base

Arco, elettrodo, metallo base fuso e metallo d'apporto in ambiente inerte



Polarità diretta: flusso di elettroni verso materiale da saldare
alta penetrazione

Polarità inversa: flusso di elettroni verso elettrodo
surriscaldamento elettrodo

Bombardamento ioni positivi distrugge ossidi formati con leghe di Al e Mg
inclusioni di tungsteno nel bagno

Corrente alternata



Caratteristiche:

- Adatto per qualsiasi materiale (leghe di Al e Mg e materiali molto reattivi - Ti,Zr)
- Costo elevato gas
- Non si formano scorie
- Facilità di esecuzione
- Qualità ottima ad eccezione materiali a T_{fusione} bassa (stagno, piombo e zinco)
- Velocità di avanzamento bassa
- Poco competitivo per spessori medi e grossi

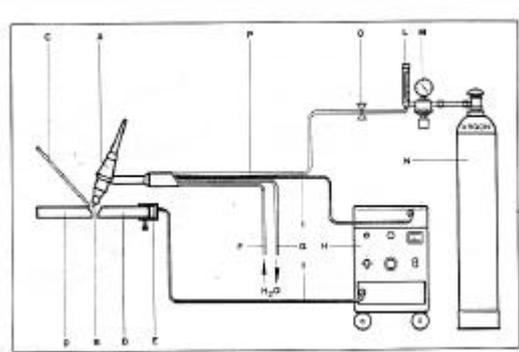


Usi:

acciai pregiati, acciai inox, rame, ottone, leghe leggere (alluminio e magnesio)
materiali molto reattivi (titanio e zirconio)

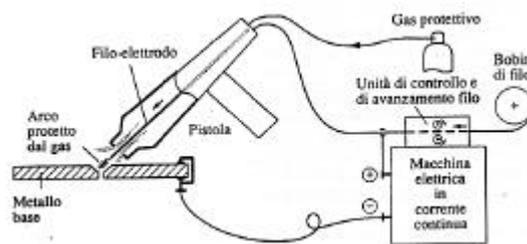
Componenti

- torcia
- elettrodo di tungsteno
- metallo d'apporto
- pezzo
- entrata acqua
- scarico acqua
- generatore
- flussometro
- Manometro
- Bombola di gas
- Economizzatore
- Tubo del gas



MIG (Metal Inert Gas) - MAG (Metal Active Gas)

Gas protettivo	MIG: argon, elio	MAG: CO ₂	azione disossidante
Elettrodo:	filo continuo fusibile		affidata al filo elettrodo
Arco tra filo e metallo base			che contiene elementi
Dispositivi semiautomatici o automatici			di lega di
Corrente continua con polarità inversa			manganese e silicio
Arco, metallo base fuso e metallo d'apporto in ambiente inerte			



Saldature semiautomatiche ed automatiche

Velocità alte
Apparecchiature più costose e complesse → **meno trasportabili**
Assenza di scoria
Forte penetrazione
No per zone difficili da raggiungere

MIG

Gas costosi
Al, rame acciai inox con spessori notevoli

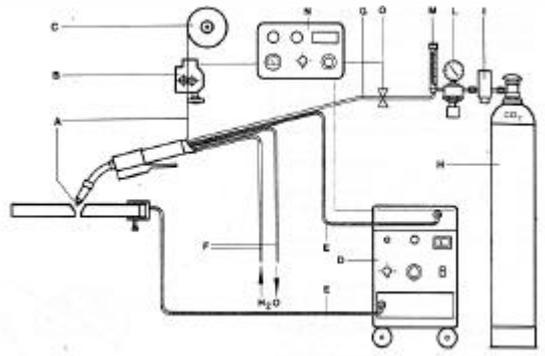
MAG:

Qualità inferiori a TIG e MIG
Meno costoso
acciai dolci o basso legati di grossi spessori



Componenti

- motore e dispositivo avanzamento filo
- filo elettrodo
- pezzo
- cavi circolazione acqua
- condotto gas alla pistola
- generatore
- flussometro
- Manometro
- Bombola di gas
- Economizzatore
- Unità di controllo



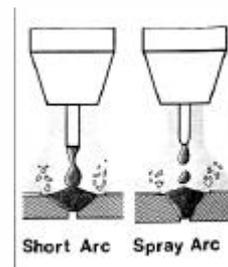
Trasferimento del metallo d'apporto (TIG - MIG - MAG)

Modalità "short-arc"

tensioni d'arco < 20 V, gocce grosse che spengono momentaneamente l'arco
bagno di fusione freddo, rapida solidificazione
Spessori sottili in qualunque posizione

Modalità "spray-arc"

Tensioni d'arco > 25 V, tante gocce piccole, non spengono l'arco
Spessori grossi, elevata penetrazione e deposizione oraria



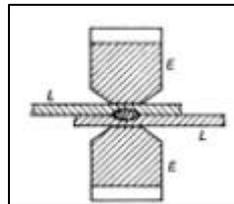
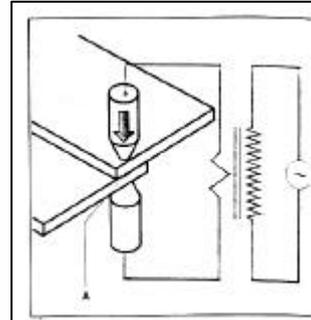
Modalità "pulsed-arc"

ottenibile con particolari macchine: due diversi livelli di correnti sull'elettrodo, il più basso per surriscaldare l'elettrodo e l'altro per far distaccare la goccia (riduzione distorsioni)
Piccoli spessori



Saldatura elettrica a resistenza per punti

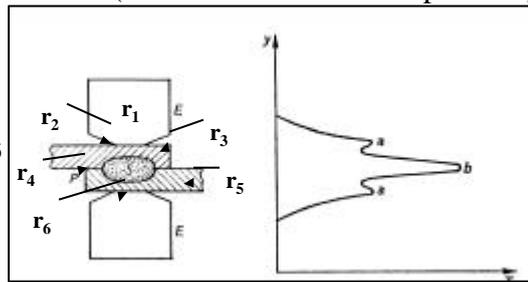
- Forte riscaldamento localizzato in una regione ristretta di contatto tra le lamiera da collegare, ottenuto attraverso la circolazione di una corrente di elevata intensità e bassa tensione
- Pressione sui due lembi attraverso l'azione di due elettrodi
- No metallo d'apporto
- Realizzazione di vari punti di saldatura
- Scioglimento del metallo base
Superfici esterne e elettrodi: surriscaldamento



Calore sviluppato per effetto Joule = f (resistenza elettrica complessiva)

$$Q = k I R_{tot}^2 t$$

$$R_{tot} = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6$$



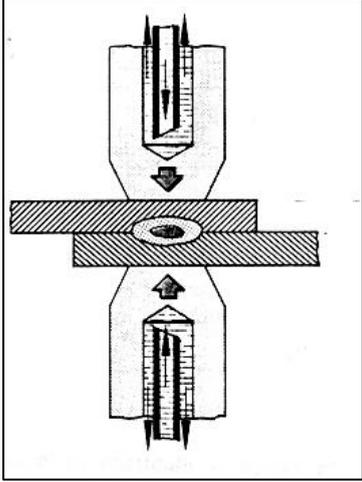
- r_1 : resistenza degli elettrodi
- r_2 : resistenza di contatto fra l'elettrodo superiore e la superficie esterna della lamiera sovrastante
- r_3 : resistenza della lamiera superiore
- r_4 : resistenza di contatto derivante dall'aderenza delle facce interne delle lamiere
- r_5 : resistenza della lamiera inferiore
- r_6 : resistenza di contatto fra l'elettrodo inferiore e la superficie esterna della lamiera sottostante



Idealmente:
 $r_4 \gg r_1, r_2, r_3, r_5, r_6$

In pratica:
 $r_4 = r_2 > r_6 = r_1$

Elettrodi in rame (r_1 bassa)
Circuito di raffreddamento ad H₂O
 $r_2 = f$ (forma elettrodi, pressione)



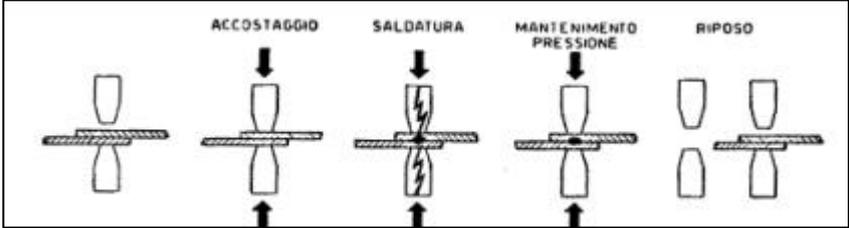


Dipartimento di Meccanica
Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione

59

Tecnologia Meccanica II

Easi di realizzazione di un punto di saldatura



Accostaggio: elevata pressione (aderenza dei materiali e debellamento tensioni residue)

Saldatura: circolazione di corrente di elevata intensità e bassa tensione

Mantenimento a pressione: transizione da configurazione fusa a solida

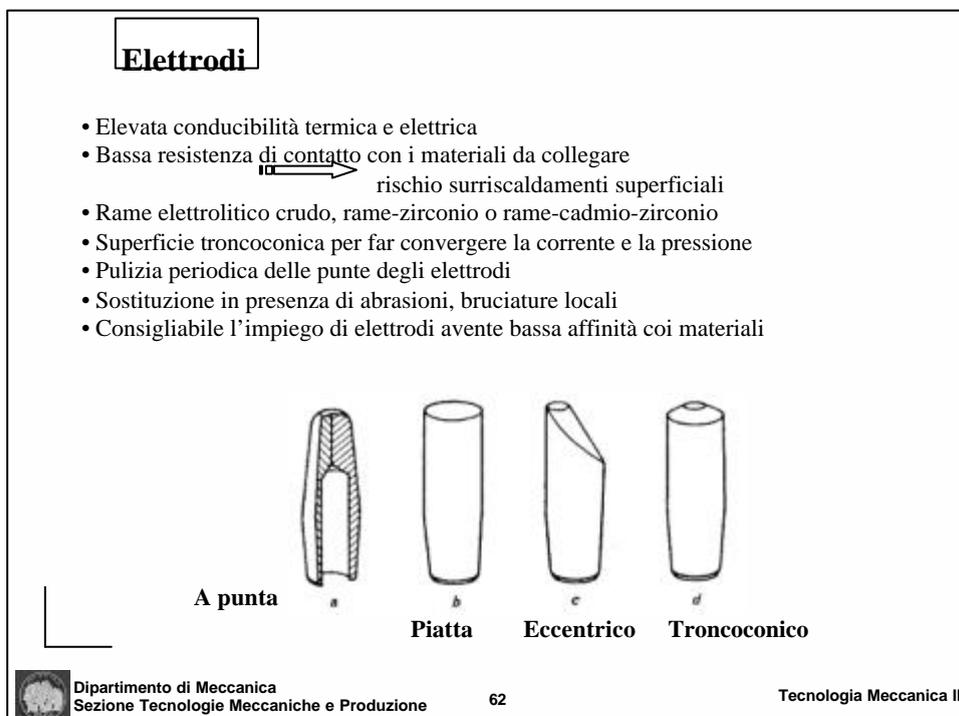
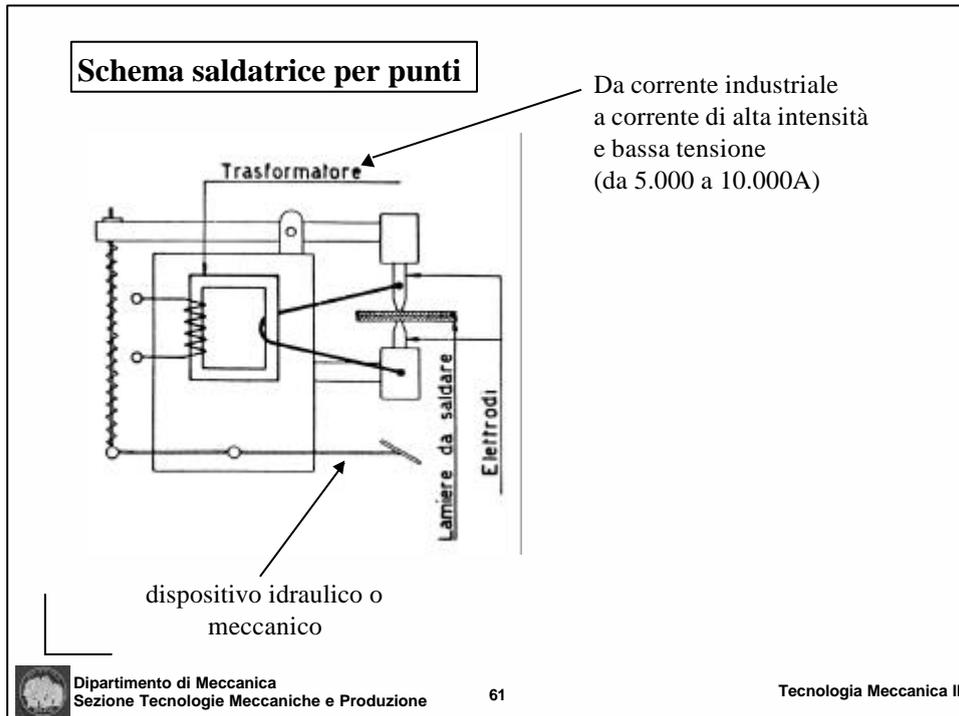
Riposo: distacco elettrodi



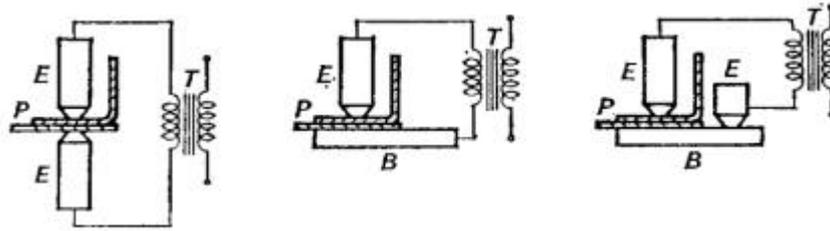
Dipartimento di Meccanica
Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione

60

Tecnologia Meccanica II



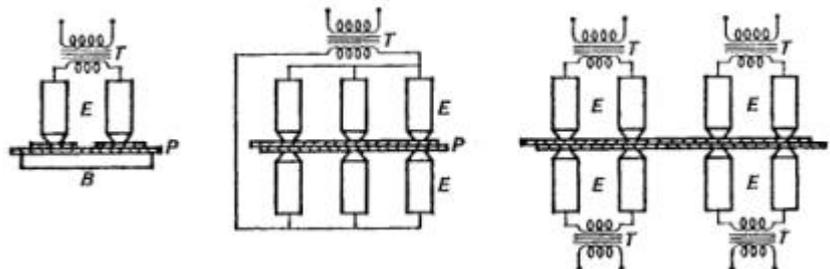
Schemi di saldatura per punti



E = elettrodi
P = pezzi da saldare
T = trasformatore
B = base di sostegno



Schemi di saldature multiple



Giunzione di due pezzi attraverso la realizzazione di vari punti di saldatura, opportunamente distanziati e distribuiti sulla superficie di contatto



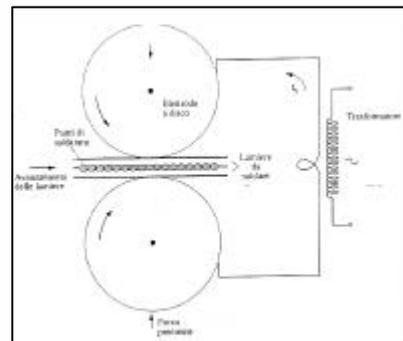
- Collegamento di lamiere, anche di diversi materiali e spessori
- Facilmente ed economicamente adattabile a produzioni industriali attraverso un processo di automazione (automobilistico)
- Non necessita di metallo d'apporto, eventuali polveri o atmosfere protettive, lavori di finitura
- Possibilità di impiego di manodopera non specializzata
- Saldatura per sovrapposizione (spessori fino a 15mm)
- Giunzione di lamiere in acciaio rivestito superficialmente con metalli o leghe resistenti alla corrosione
- Consigliabile pulizia superfici delle lamiere



Saldatura elettrica a resistenza per rulli

- Rulli di rame motorizzati ($\phi = 50 \div 600$ mm): garantiscono pressione e avanzamento lamiere
 - Dispositivo automatico controllato elettronicamente fornisce impulsi di corrente di intensità richiesta ad intervalli di tempo prefissati
 - Sistema di contatti striscianti
- $t \rightarrow 0$

 linea di giunzione continua
 (saldatura continua a resistenza)



Vantaggi rispetto a saldatura a punti:

- Ottenimento di giunzioni stagne
- Tutti i comuni tipi di materiali metallici e le loro leghe (no rame)

Svantaggi rispetto alla saldatura per punti:

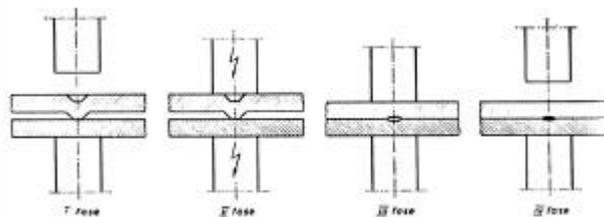
- si possono realizzare linee rette
- le lamiere non devono presentare marcate variazioni di spessore



Saldatura a resistenza a proiezione

Analoga a saldatura per punti ma in una lamiera viene realizzata una sporgenza

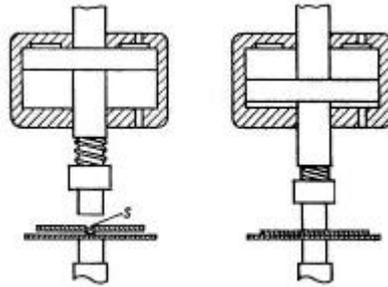
Lamiere di piccolo spessore (0.25 - 3.5mm)



I fase: accostamento; II fase: saldatura; III fase: raffreddamento sotto pressione; IV fase: distacco elettrodi



Schema impiantistico per saldatura a proiezione (S = sporgenza)



Vantaggi e svantaggi rispetto a saldatura per punti

l'usura degli elettrodi diminuisce

migliore qualità del giunto realizzato

tempi di saldatura ridotti

preparazione dei rilievi

utilizzo di saldatrici di potenza elevata

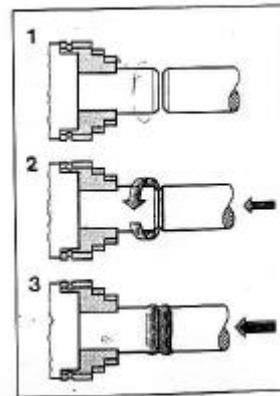


Saldatura per attrito

Calore prodotto dall'attrito di strisciamento tra 2 superfici

Compressione e rotazione di uno

Tubi barre cilindriche

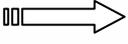


Dipartimento di Meccanica
Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione

71

Tecnologia Meccanica II

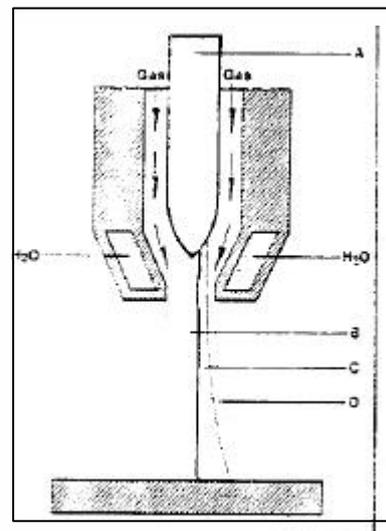
Saldatura al plasma

Arco elettrico scalda gas
Aumento energia cinetica del gas
Si liberano e dagli urti

 plasma

Torcia

Elettrodo di tungsteno
Arco elettrico ionizza gas
Raffreddamento ad acqua

Con o senza MA
MA: bacchetta o filo continuo



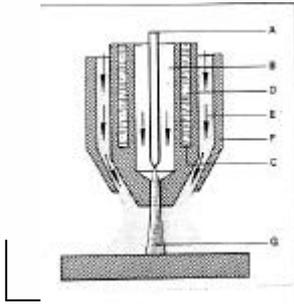
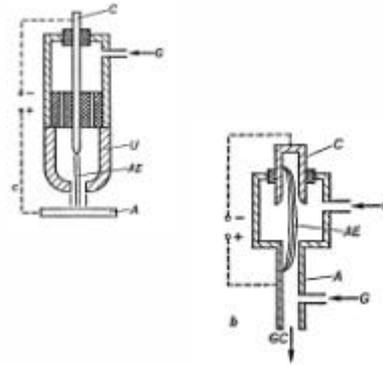
Dipartimento di Meccanica
Sezione Tecnologie Meccaniche e Produzione

72

Tecnologia Meccanica II

Tipologie di archi

Arco diretto: operazioni di taglio e di saldatura
 Arco indiretto: saldatura di piccoli spessori
 (basso potere calorifico)
 Pot alto



Utilizzo di un secondo gas (Ar e miscele):
 funzione protettiva

- A: Electrodo**
- B: Gas plasma**
- C: Canale raffreddamento**
- E: Canale gas protezione**
- F: Boccola**
- G: Arco**



Gas Plasma

No ossidante (problemi di usura elettrodo)

Argon → Più adatti ma costosi
 Elio
 Azoto
 Idrogeno
 Miscela azoto e idrogeno

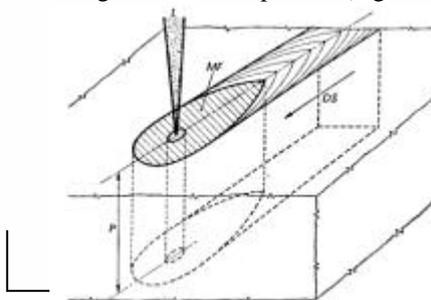


Adatta a tutti i materiali
Usi: acciai inox, nickel, rame, ottone, titanio, alluminio, leghe leggere
Saldatura più veloce, spessori maggiori, riduzione numero di passate
Alta concentrazione dell'arco plasma \Rightarrow ZTA \downarrow



Saldatura laser

- Calore apportato da fascio laser
- Mezzi ottici (lenti e specchi concavi) concentrano su superfici di area ridottissima
- L'aumento di temperatura prodotto dall'incidenza e il successivo assorbimento del fascio sulle superfici da unire è tale da provocare la fusione o addirittura la volatilizzazione di qualunque metallo
- No MA
- Uso di gas inerte di copertura (argon, elio, azoto)



L = raggio laser
MF = metallo fuso
DS = direzione di avanzamento della
saldatura
P = profondità di penetrazione



Tipologie di saldature laser

Rapporto di forma = Profondità di penetrazione / larghezza cordone

Scarsa penetrazione

$R_f = 1$ Pot fino a 1.5kW per CO2 e 100W per Nd:YAG

Poco affidabile

Lamiere di piccolo spessore e sigillatura

Profonda penetrazione

R_f fino a 10

Pot = 5 kW CO2 1.5kW Nd:Yag



Interazione laser-materia

Riflessione

Assorbimento

Trasmissione

A: coeff assorbimento superficiale

R: coeff. Riflessione superficiale

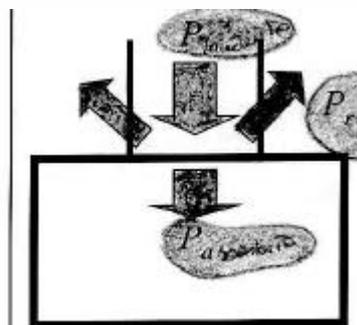
$$A + R = 1$$

$$P_i = P_a + P_r$$

$$P_r = R P_i$$

$$P_a = (1-R) P_i$$

A: f (materiale, lunghezza d'onda del laser, finitura superficiale)



Vantaggi:

- le tensioni residue, le distorsioni e le modificazioni microstrutturali nel metallo limitrofo minime producendo un riscaldamento limitato ad una ristretta zona di saldatura
- Saldatura di ottima qualità con cordoni piccoli e ZTA contenuta
- Notevoli velocità
- Possibilità di automazione

Svantaggi:

- accoppiamento perfetto
- schermature di sicurezza che proteggano gli occhi dell'operatore sia dal fascio diretto, sia dagli eventuali raggi riflessi

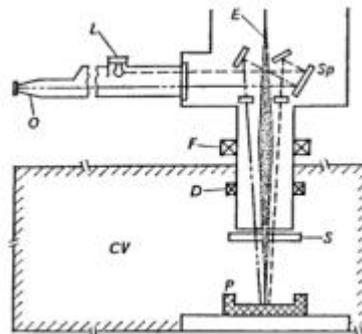
Usi:

- Metalli
- Metalli ad alto punto di fusione



Saldatura a fascio di elettroni

- Fortemente impiegata per la giunzione di pezzi di spessore molto piccolo o di semigiunti molto sottili su altri di spessori elevati
- Riscaldamento locale della zona da saldare mediante il bombardamento con un fascio elettronico di elevata velocità: nella zona di impatto degli elettroni si verifica la conversione dell'energia cinetica in calore
- No MA



E = fascio elettronico; F, D = dispositivi per focalizzare e deflettere il fascio; CV = camera del vuoto; P = pezzo da saldare; S = schermo termico; Sp, O = specchi e oculare per la visione della zona di saldatura; L = sorgente luminosa



semigiunti in una camera a vuoto per ridurre al minimo le dispersioni di energia cinetica posseduta dagli elettroni nelle collisioni con le molecole di gas contenute nell'aria

dispositivi elettrici o magnetici per garantire la focalizzazione del fascio in una zona molto limitata (diametro dell'ordine dei decimi di mm)

Si riescono a raggiungere nella zona di impatto potenze intensissime e temperature molto elevate (anche oltre i 2500 °C), in grado di fondere, e addirittura volatilizzare, praticamente qualunque metallo

Usi:

Realizzazione di strutture complesse derivanti dal collegamento di numerosi componenti

Metalli non saldabili con metodi tradizionali



Vantaggi:

- penetrazione elevata (anche oltre 12 mm) in un'unica passata in un brevissimo intervallo temporale
- elevata precisione dimensionale e eccellente qualità della saldatura ottenuta
- elevata sicurezza: svolgendosi in vuoto esclude ogni pericolo di contaminazione

Svantaggi:

- elevato costo delle apparecchiature
- produzione discontinua
- limite sulla dimensione dei pezzi



Saldature eterogene

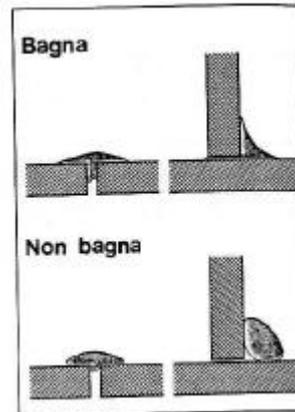
MB non prende parte alla formazione del giunto

MA fuso tra i lembi da unire

Riscaldamento dei lembi

$T_{\text{fusione MA}} \ll T_{\text{fusione MB}}$

Bagnatura: capacità del MA fuso di aderire al MB



Brasatura

MB non prende parte alla formazione del giunto

Riscaldamento MB a $T < T_{\text{fusione MB}} > T_{\text{fusione MA}}$

MB interposto fra parti da unire, fonde

Lembi strettamente accostati

MA: rame e argento (fili, nastri o polveri)

Giunto sottile

Resistenze scadenti su pezzi portati ad alta temperatura

Problemi estetici (diversa colorazione della giunzione rispetto al metallo base)

Brasatura al cannello

in forno

per induzione

per effetto Joule

per immersioni



Brasatura dolce

MA: leghe di piombo e stagno $T_{\text{fusione}} < 400^{\circ}\text{C}$

Scarse caratteristiche meccaniche

Brasature forti

MA: leghe con $T_{\text{fusione}} > 400^{\circ}\text{C}$

Elevate caratteristiche meccaniche



Saldobrasatura

Procedimento simile a saldature autogene

MA bassa T_{fusione} : bacchette di ottone di silicio e di ottone al nichel

Preparazione dei lembi

Fonte di calore: fiamma ossiacetilenica

Lembi portati a T_{fusione} MA

MA fonde e viene depositato come per saldatura a gas

Pulizia dei lembi

Giunto resistente ed elastico

Ghisa

Lamiere e tubi zincati, bronzi, rame, ottone



Confronto tra le differenti metodologie

- produttivi
- economici
- affidabilistici
- legati alla sicurezza
- applicativi
- legati alla tenuta
- geometrici
- legati a particolari funzioni supplementari



TECNICHE DI COLLEGAMENTO	Sald. ad arco con elettrodo rivestito	Sald. ad arco sommerso	Sald. ad arco con gas protettivi	Sald. a resistenza per punti	Sald. a resistenza a proiezione	Sald. a fascio di elettroni	Saldatura laser	Saldatura a gas	Saldatura al plasma	Brasatura
Aspetti produttivi										
Produttività	3	4	4	4	5	3	3	3	4	5
Possibilità di automazione	2	4	4	4	4	4	3	2	4	4
Aspetti economici										
Spese di preparazione	1	3	3	3	3	2	4	4	3	1
Spese di giunzione	2	2	3	3	4	2	1	2	2	3
Spese di materiale	2	1	1	4	4	4	4	4	1	3
Spese per post-trattamento	2	1	2	3	4	4	4	4	2	2
Aspetti affidabilistici										
Controllo di produzione	1	3	3	3	3	2	2	2	3	3
Collaudo semplice	4	4	4	2	3	3	3	3	4	2
Riparabilità	3	3	3	1	2	1	1	1	3	3
Aspetti legati alla sicurezza										
Antifortunistica	1	1	1	4	3	3	2	1	2	1
Protezione sanitaria	1	1	1	3	2	3	1	1	1	1

