

COLLEGAMENTI PERMANENTI

Nell'industria i procedimenti tecnologici per unire in maniera permanente due particolari sono

- ❑ INCOLLAGGIO
- ❑ AGGRAFFATURA
- ❑ CHIODATURA
- ❑ SALDATURA



ADESIVI STRUTTURALI

- Vengono prodotti ed utilizzati colle ed **adesivi strutturali** per vari materiali : metallo, legno, calcestruzzo, grés, ceramica, vetro, laminati, fibre minerali, materiali espansi, strutture a nido d'ape, materiali compositi e materie plastiche.
- Vengono particolarmente utilizzati nei settori : dell'auto, lapideo, componenti architettonici, navale, nautico, pannelli sandwich, compositi, industria aeronautica, spaziale, meccanica e dei metalli.

TIPI DI ADESIVI

1

Epossidici

INCOLLAGGIO "STRUTTURALE"

Utilizzati da molto tempo per l'incollaggio di strutture, questi adesivi sono conosciuti per le loro ottime caratteristiche meccaniche, per la resistenza agli agenti chimici ed alle alte temperature.

PRESTAZIONI	SUBSTRATI	APPLICAZIONI TIPO
Resistenza meccanica Resistenza agli agenti chimici Tenuta in temperatura	Metallo, compositi Vetro, cemento Legno	Incollaggi strutturali Incollaggio pannelli nido d'ape Incollaggio materiale ferroviario



2

Poliuretanic

INCOLLAGGIO "MORBIDO"

Questi adesivi sono noti principalmente per le loro proprietà di morbidezza ed elasticità che conferiscono loro un'ottima resistenza alle vibrazioni, agli urti ed alle basse temperature.

PRESTAZIONI	SUBSTRATI	APPLICAZIONI TIPO
Giunti flessibili Tenuta agli urti ed alle vibrazioni Elevata resistenza al peeling (pelatura)	Metallo, compositi Termoplastico Elastomero, vetro	Incollaggio carrozzeria compositi Incollaggio componenti elettronici Incollaggio nel settore nautico



3

Metacrilati

INCOLLAGGIO "TENACE"

I metacrilati combinano le caratteristiche di morbidezza e tenuta meccanica ad eccellenti proprietà d'adesione su un'ampia gamma di materiali, in modo particolare sui termoplastici. Sono inoltre particolarmente reattivi al momento della loro messa in opera.

PRESTAZIONI	SUBSTRATI	APPLICAZIONI TIPO
Prestazioni meccaniche Elevata reattività	Metallo, compositi Termoplastico	Incollaggio carrozzeria compositi Incollaggio di pezzi termoplastici



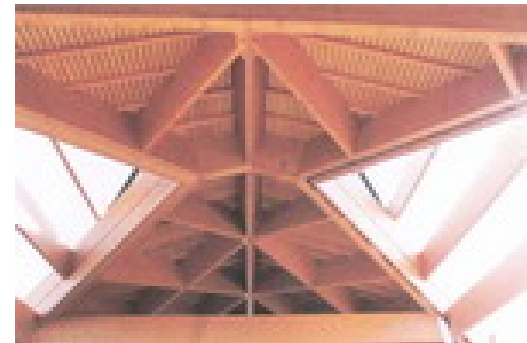
ESEMPI INCOLLAGGI



Ferrowlario: Incollaggio tavolo TGV



Aerospaziale: Incollaggio bordo d'attacco delle pale dell'elicottero



COME AVVIENE L'INCOLLAGGIO

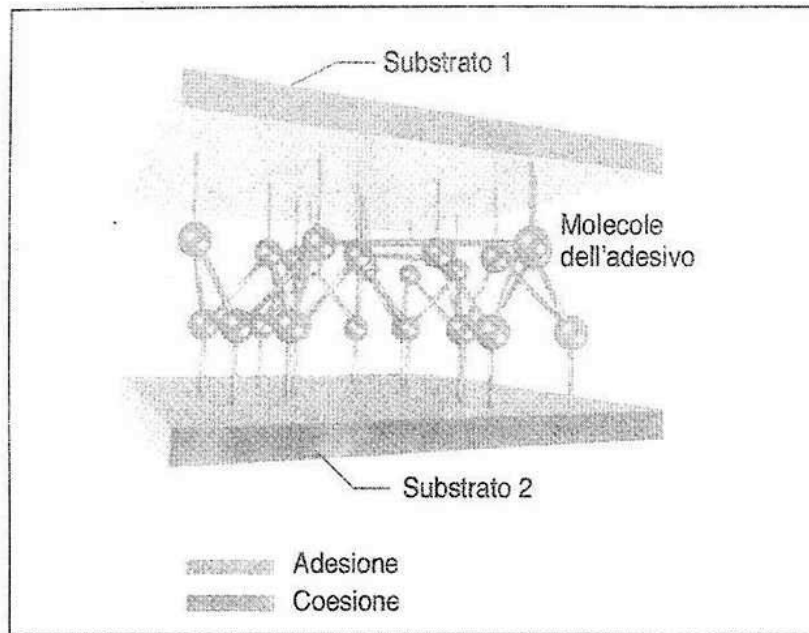


Fig. 39. L'incollaggio si basa sull'adesione fra il collante e lo strato superficiale del pezzo e sulla coesione fra le molecole del collante.

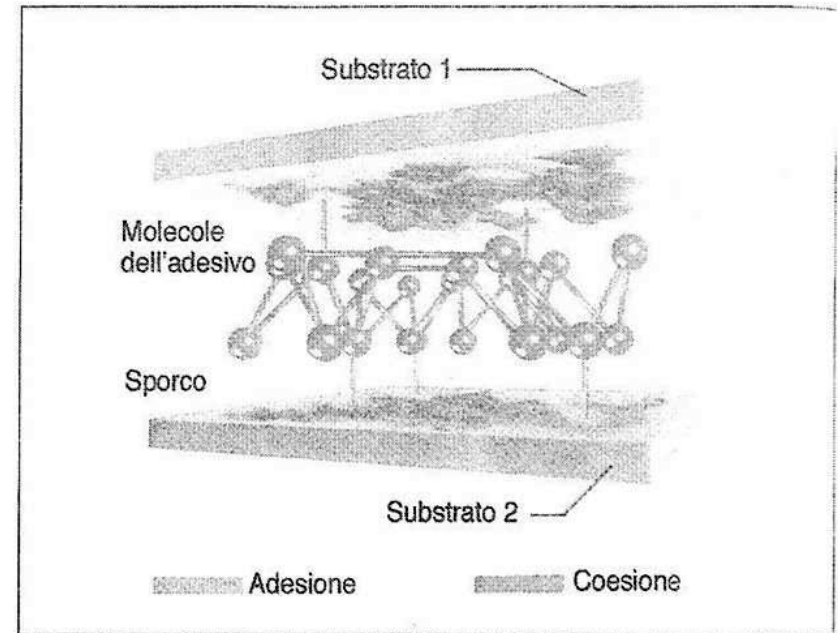
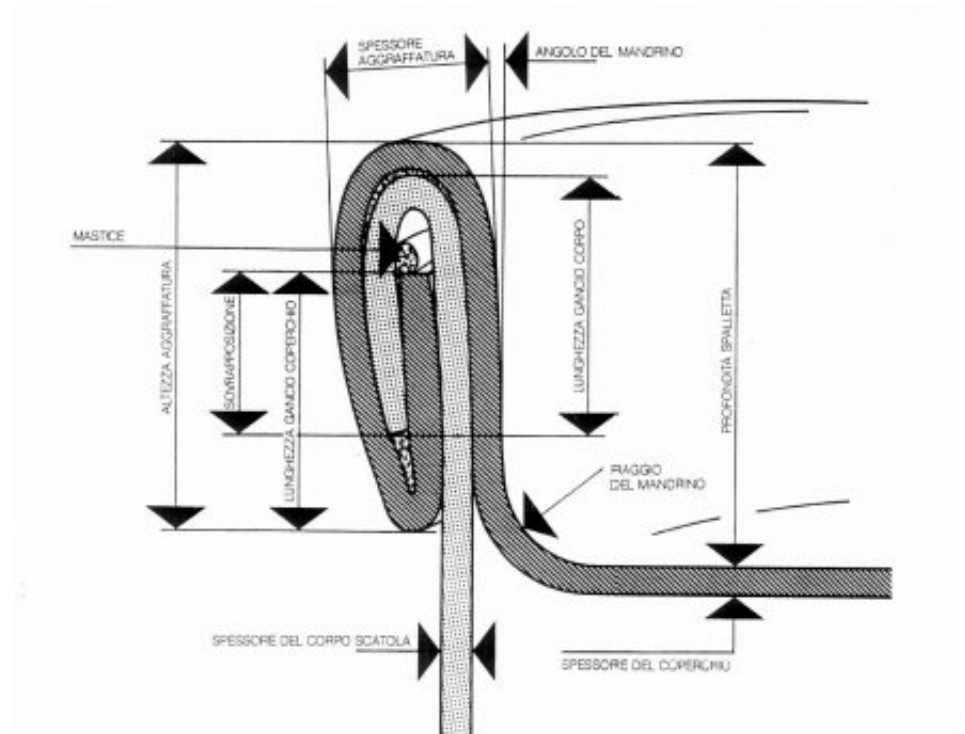
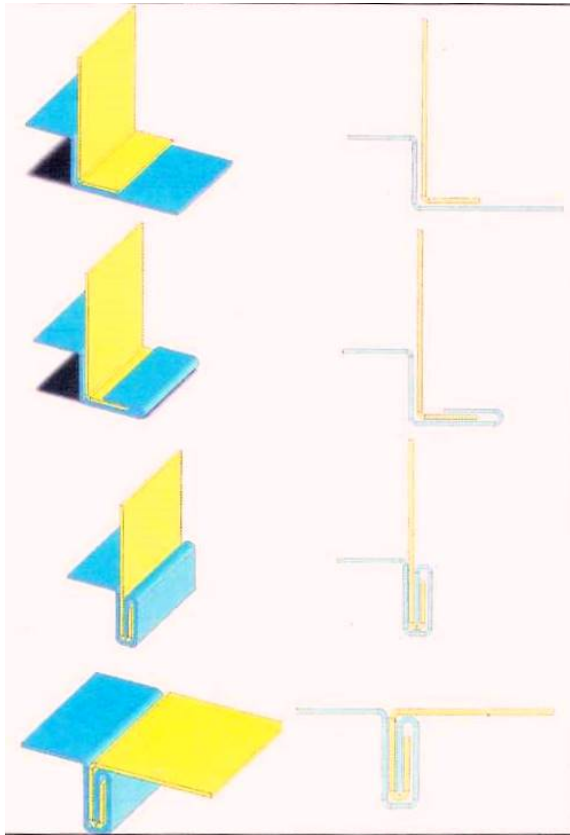


Fig. 40. La presenza di zone sporche sulle superfici riduce grandemente la "bagnabilità" e quindi l'adesione.

AGGRAFFATURA

Particolare aggraffatura
scatola in banda stagnata



CHIODATURA

- In un recente passato , il metodo più usato per unire lamiere e profilati era la chiodatura.
- La chiodatura consiste nel praticare fori corrispondenti sui pezzi da unire ; nei fori vengono infilati i chiodi caldi che vengono subito ribaditi .
- Oggi la saldatura ha soppiantata la chiodatura, poiché è più economica e più affidabile .

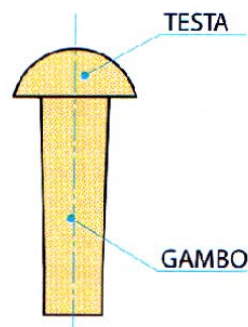


Figura 17
Chiodo e definizione dei suoi elementi.

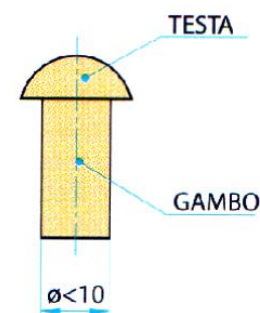


Figura 18
Ribattino o rivetto.

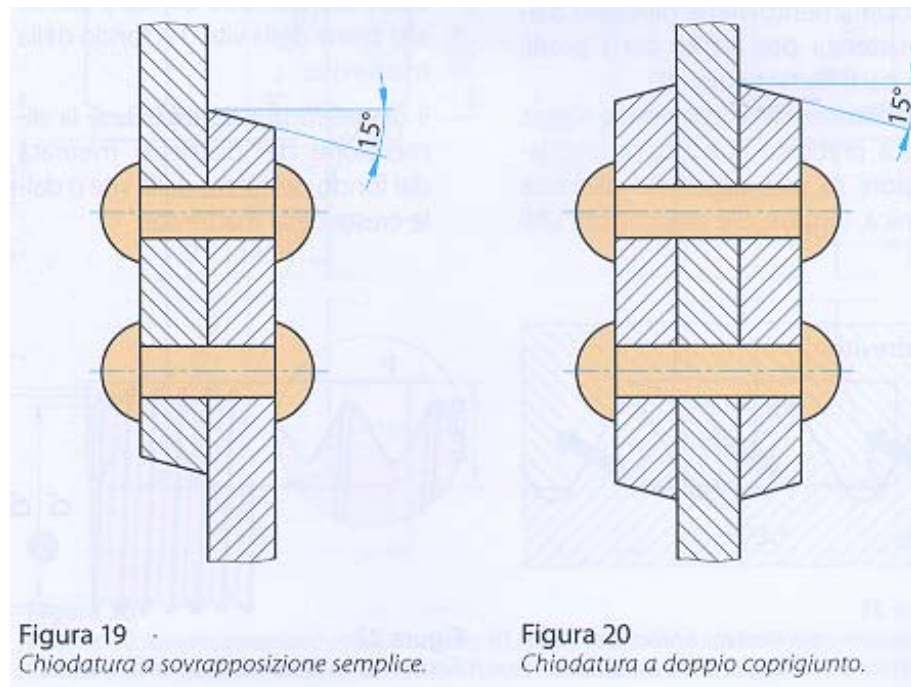


Figura 19
Chiodatura a sovrapposizione semplice.

Figura 20
Chiodatura a doppio coprigiunto.

IMPIEGO DELLA CHIODATURA

Le chiodature non vengono quasi più utilizzate perché :

- ❑ La saldatura è più conveniente e non appesantisce i giunti
- ❑ La saldatura può essere fatta più agevolmente in opera
- ❑ Le chiodature richiedono una elevata precisione nel montaggio

Le chiodature sono ancora molto utilizzate in aeronautica perché

- ❑ I materiali compositi usati non possono essere saldati
- ❑ La bulloneria crea problemi aerodinamici e di sicurezza
- ❑ La saldatura provoca alterazioni termiche nel materiale , vicino ai lembi saldati .

GRANDI OPERE IN ACCIAIO CHIODATO

La tour Eiffel



La Stazione di Milano

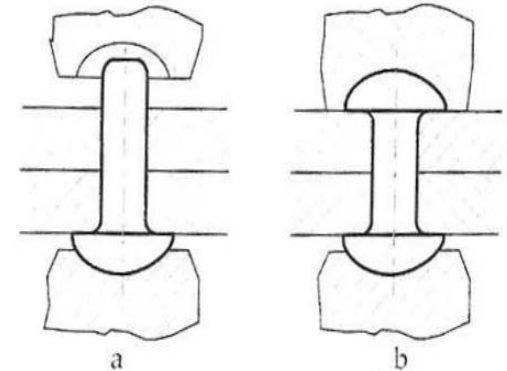


Copertura Galleria Umberto I a Napoli

ESECUZIONE DELLA CHIODATURA

Le fasi per una chiodatura sono:

- ❑ Foratura lamiera
- ❑ Cianfratura : svasatura della parte esterna del foro per adeguarlo alla forma del chiodo
- ❑ Inserzione del chiodo "a color rosso"
- ❑ Ricalcatura della controtesta



TIPI CHIODATURA

- ❑ **Chiodatura a caldo** : con chiodi in acciaio extradolce
diametro del gambo 8 – 40 mm
- ❑ **Chiodatura a freddo** : con ribattini o rivetti in alluminio,
ottone , rame ; diametro < 8 mm

MATERIALI PER CHIODATURE

Chiodature a freddo con rivetti :

- ❑ Acciai dolci ed extradolci
- ❑ Ottone, rame, leghe leggere
- ❑ Metalli duttili

Chiodature a caldo con chiodi :

- ❑ Acciai dolci ed extradolci
- ❑ perché poco temprabili

NORME UNI PER CHIODI

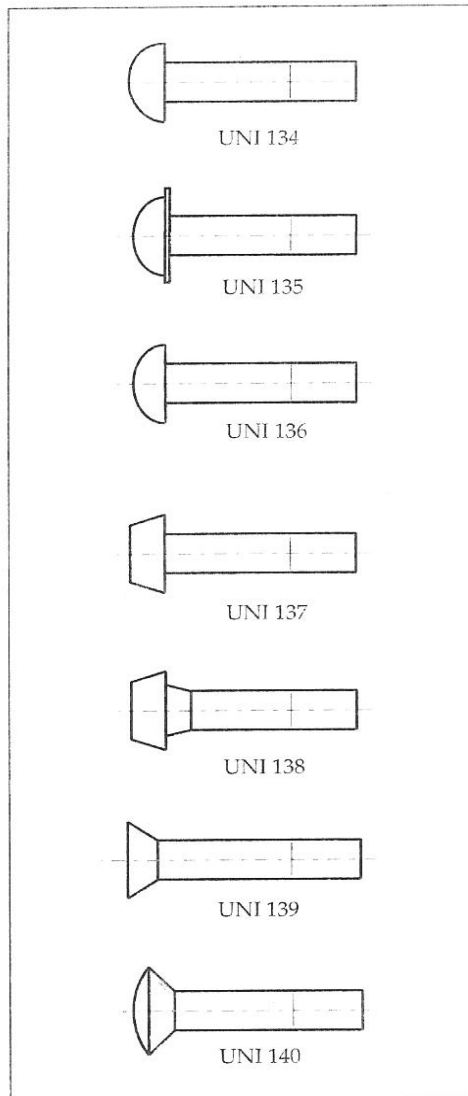


Fig. 4. Alcuni tipi di chiodi unificati.

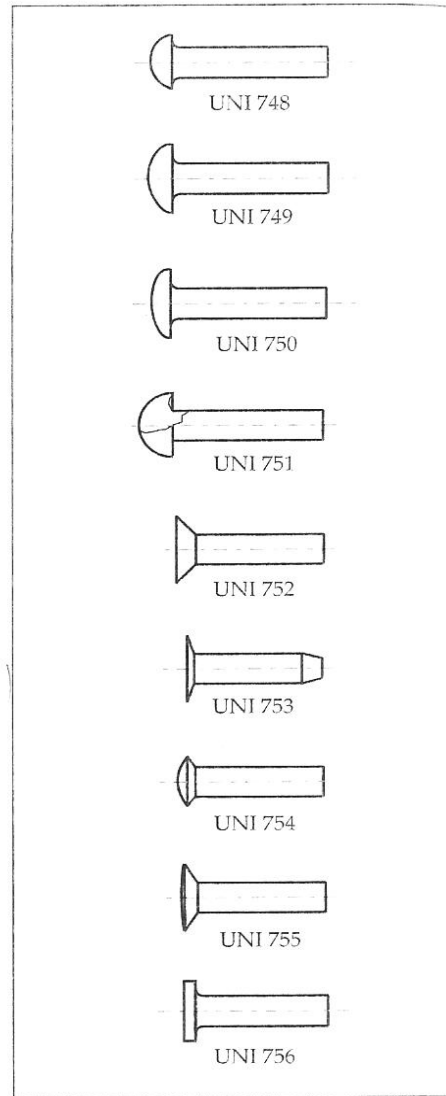
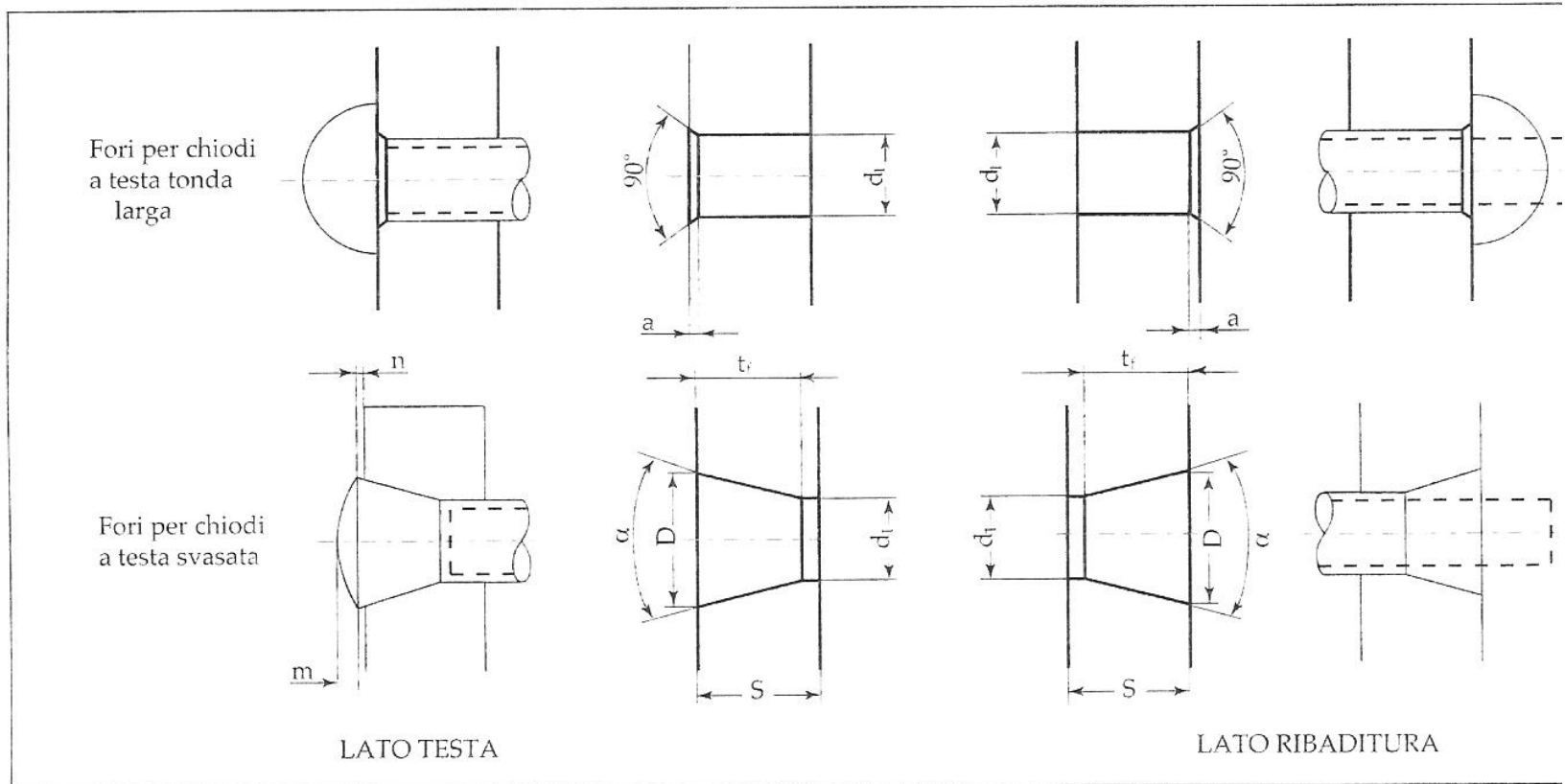


Fig. 5. Alcuni tipi di ribattini unificati.

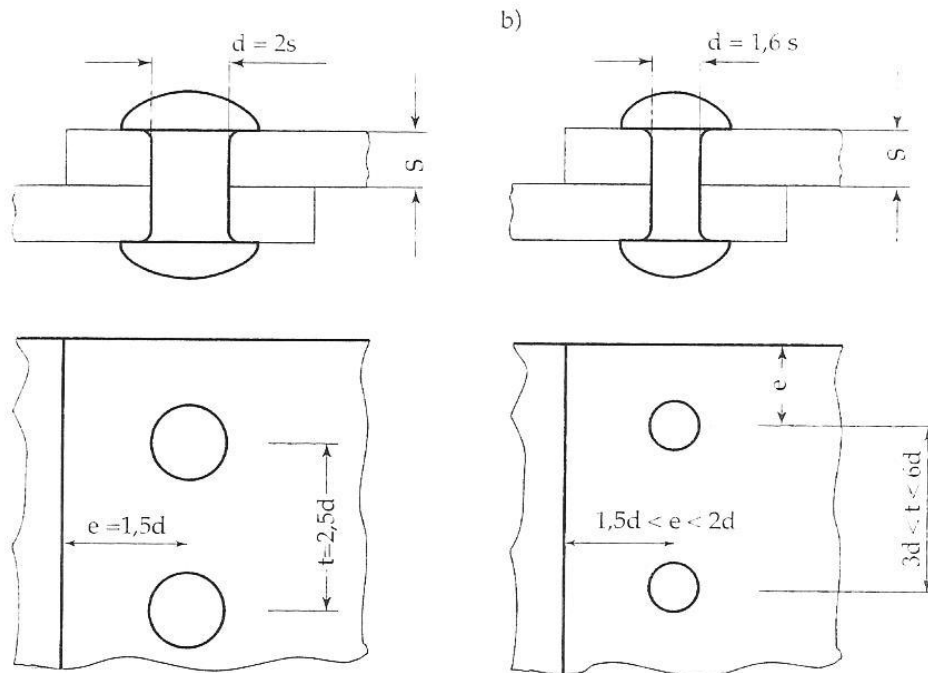
CHIODATURE:

Chiodi e rivetti, normativa UNI di riferimento

FORATURE PER CHIODI



DIMENSIONAMENTO

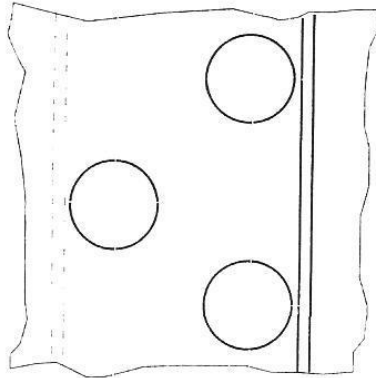
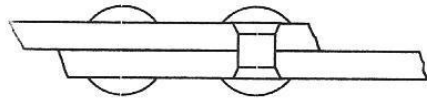


Nelle norme UNI sono previsti rapporti tra :

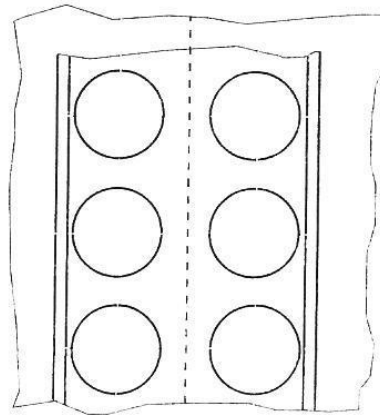
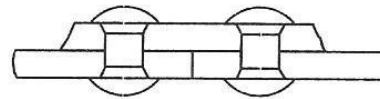
- dimensioni chiodi
- spessori lamiera
- posizionamento fori

GIUNZIONE LAMIERE

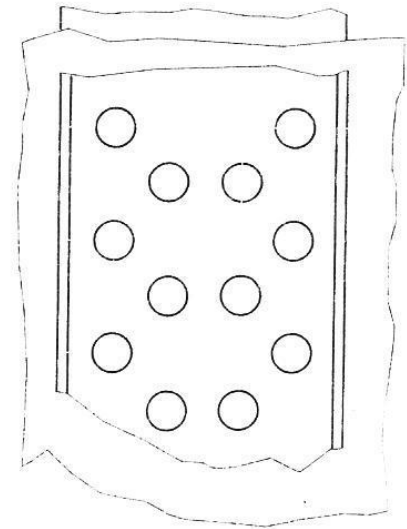
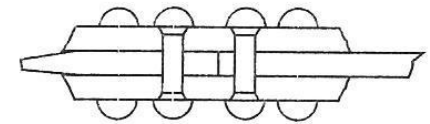
Sovrapposizione



Coprigiunto,



Doppio coprighiunto



RIVETTI PER AERONAUTICA

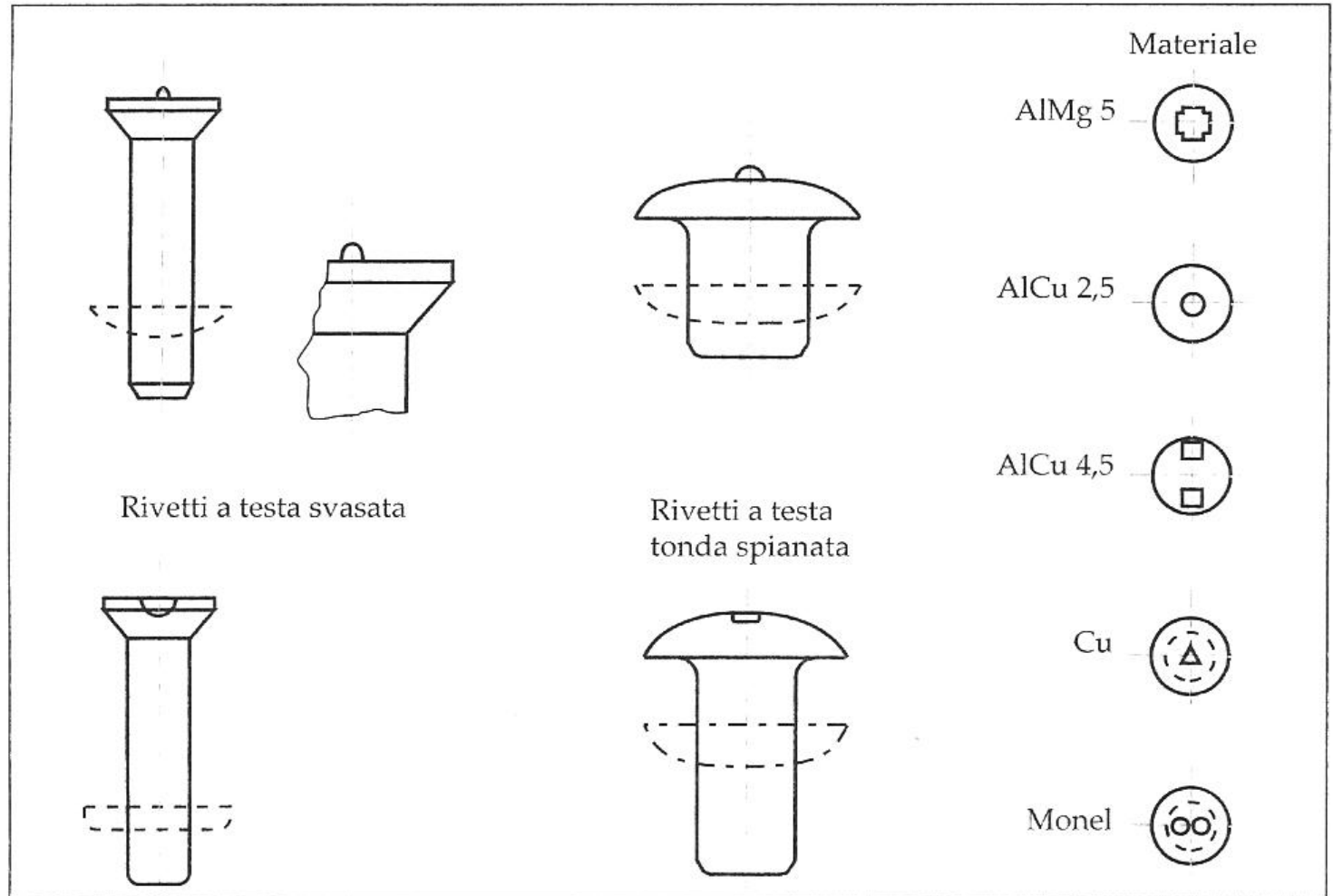


Fig. 11. Rivetti (opportune marcature della testa identificano il materiale).

RAPRESENTAZIONE GRAFICA

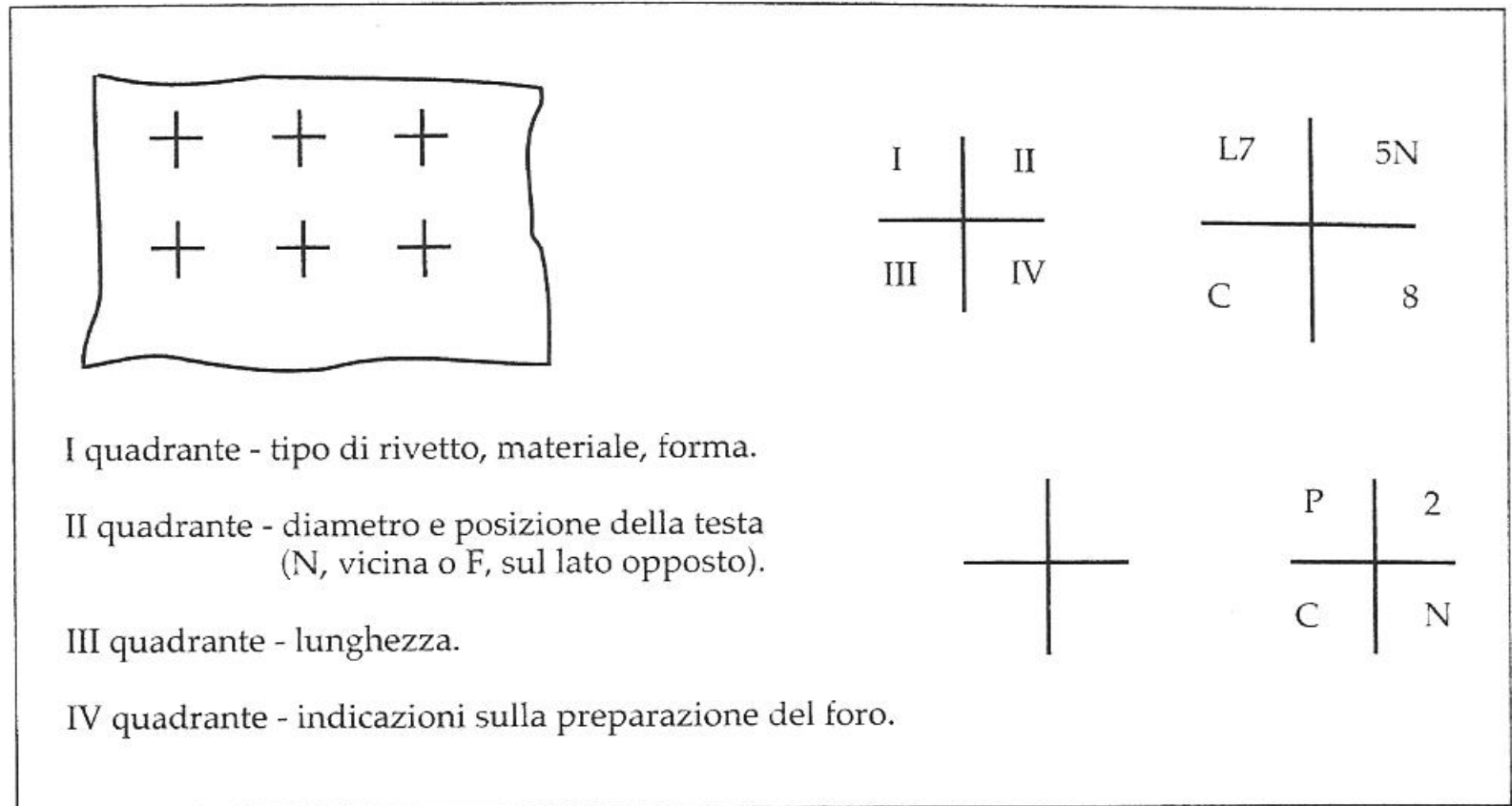
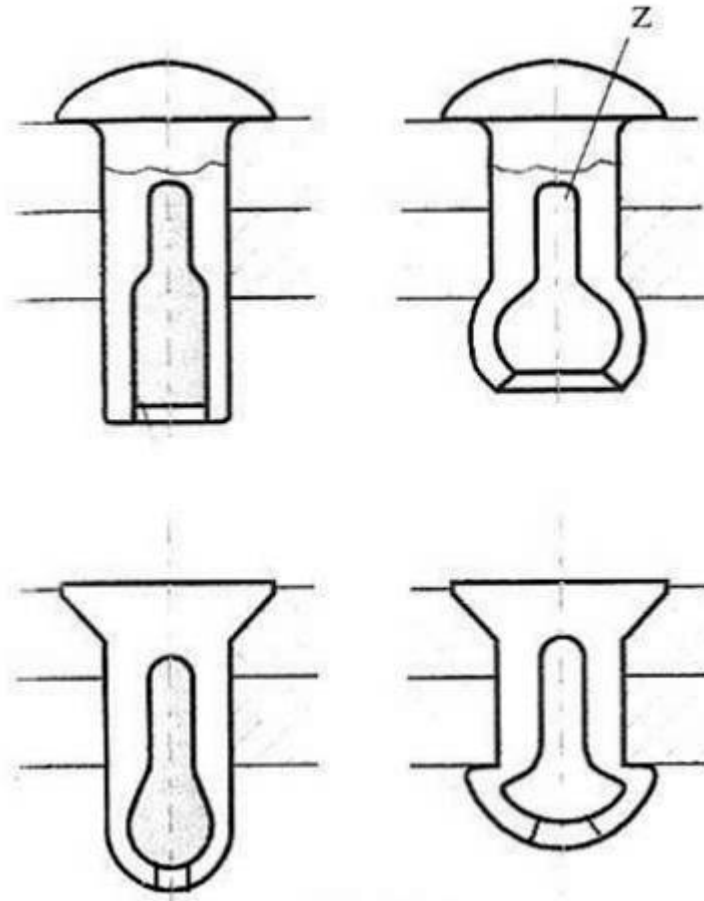


Fig. 16. Rappresentazione convenzionale dei collegamenti rivettati.

RIVETTI ESPLOSIVI



RIVETTI ESPLOSIVI

SALDATURA E SALDABILITÀ

- ❑ **Saldatura** : unione permanente di due parti **metalliche** ottenuta realizzando la continuità del collegamento , con impiego di una sorgente di calore
- ❑ **Saldabilità** : attitudine di un materiale a prestarsi alla realizzazione di collegamenti saldati con le volute caratteristiche meccaniche

LA SALDATURA

- ❑ I **giunti saldati** sono di impiego molto comune per le loro caratteristiche di robustezza, economia, leggerezza, ermeticità.
- ❑ La saldatura è il procedimento con cui si realizza l'unione di **pezzi metallici** , in modo tale da ottenere la continuità fisica delle parti da unire.
- ❑ I lembi dei pezzi da saldare vengono riscaldati ad alta **temperatura** superiori a quella di **fusione** e, solidificando, danno origine a un giunto saldato. Il riscaldamento può essere realizzato con mezzi diversi.
- ❑ Insieme al materiale dei pezzi da unire , chiamato anche **metallo base** , può essere fuso anche materiale di analoga composizione , che prende il nome di **metallo d'apporto** .

TIPOLOGIE SALDATURE

□ Brasatura

Una sorgente termica porta a fusione **solo** un volume di metallo d'apporto , che risolidificando tra i lembi da unire crea il collegamento

□ Saldatura per fusione

Una sorgente termica concentra una potenza sufficiente per portare a fusione i lembi da unire e il metallo d'apporto .
Il metallo di apporto può anche mancare

□ Saldatura a pressione

l'unione dei lembi da unire avviene sotto l'azione contemporanea di una pressione e di un riscaldamento dei lembi

GRANDI OPERE IN ACCIAIO SALDATO

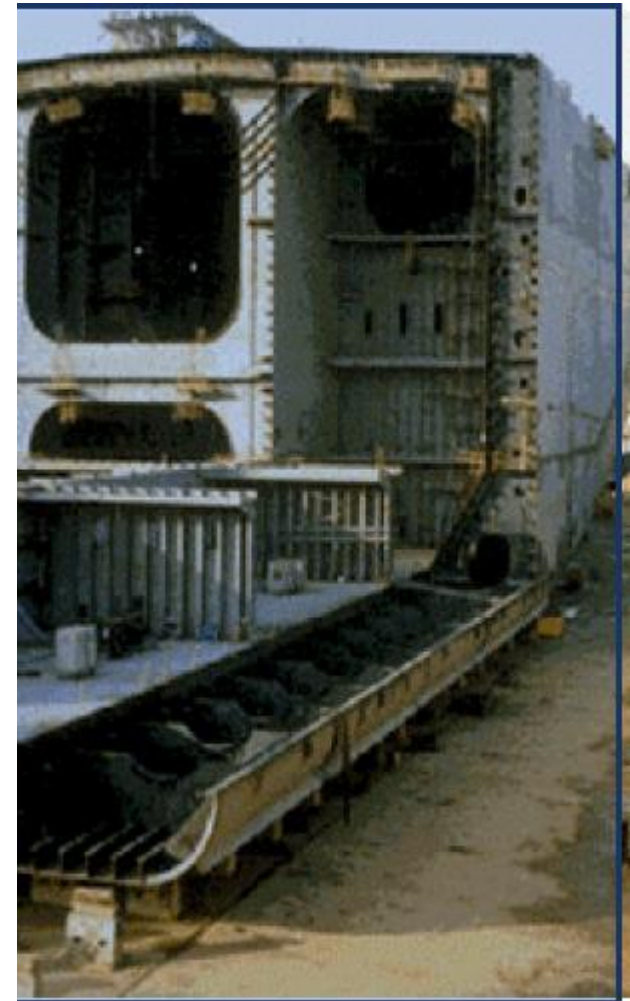


Strutture di un
Grattacielo

Un moderno ponte

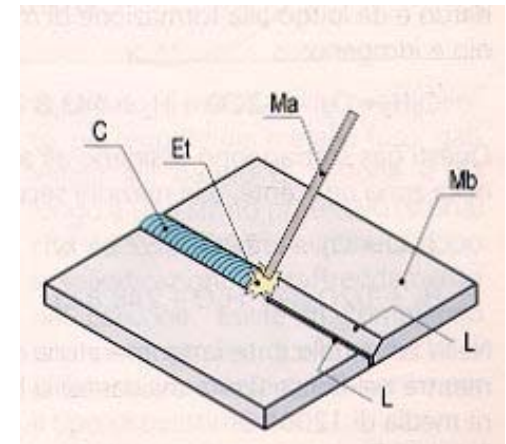


La stiva di una nave

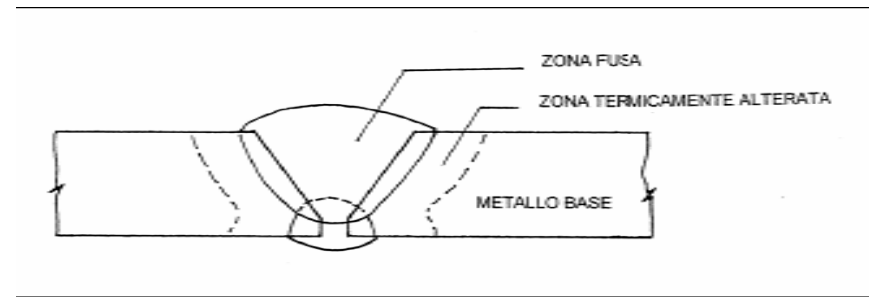
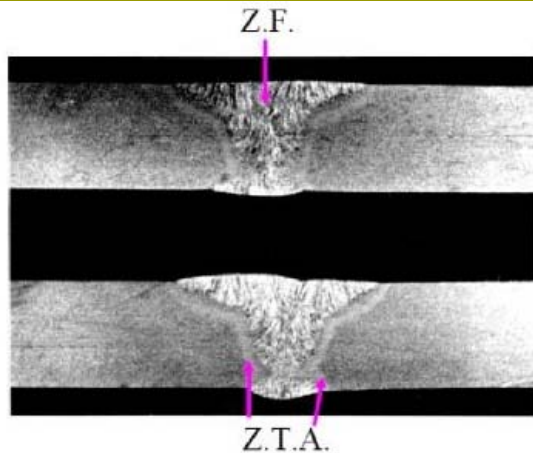


ELEMENTI DI UN GIUNTO SALDATO

- ❑ **Giunto saldato**: è comunemente detto "saldatura"; indica la zona di unione dei due pezzi, originata dal processo di fusione-solidificazione dei lembi dei pezzi;
- ❑ **Metallo base (Mb)**: è il materiale di cui sono costituiti i pezzi da saldare.
- ❑ **Metallo d'apporto (Ma)**: è il metallo che, fuso insieme al metallo base, concorre alla formazione del giunto.
- ❑ **Cordone di saldatura (C)**: è costituito dal metallo base e da quello d'apporto (se presente), solidificati per raffreddamento dopo la fusione.
- ❑ **Lembi (L)**: sono le superfici estreme dei pezzi interessate dalla saldatura.
- ❑ **Energia termica (Et)**: è il calore necessario per la fusione del metallo base e di quello d'apporto. La fonte di calore può essere di natura diversa (fiamma ossiacetilenica, arco elettrico, luce laser, ecc.)



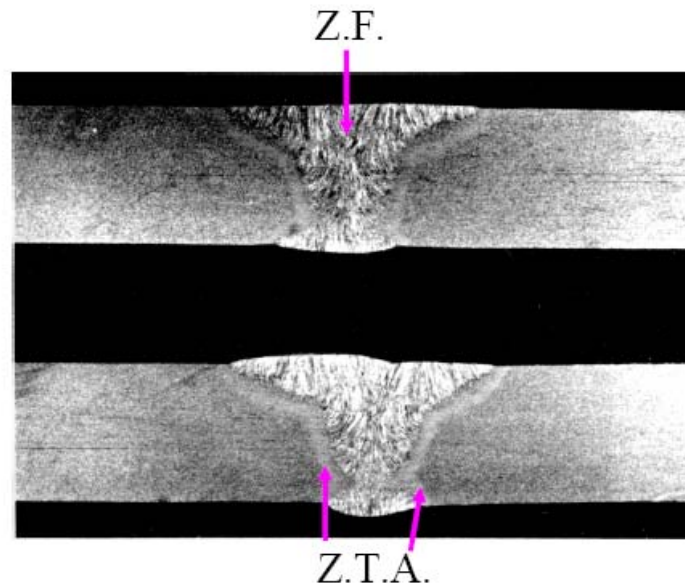
STRUTTURA DI UN GIUNTO



- ❑ **Zona fusa (ZF)** : rappresenta la porzione di lega metallica che raggiunge la temperatura di fusione ; è composta dal metallo base e dall'eventuale metallo d'apporto
- ❑ **Zona termicamente alterata (ZTA)** : parte del giunto saldato che non raggiunge la fase liquida ma subisce modifiche microstrutturali per i cicli termici di saldatura
- ❑ **Metallo base**: la rimanente porzione del giunto saldato a distanza sufficientemente elevata dalla saldatura da non subire alterazioni apprezzabili nella microstruttura e, quindi, nelle caratteristiche

RADIOGRAFIA DI UN GIUNTO SALDATO

Struttura di un giunto saldato per fusione



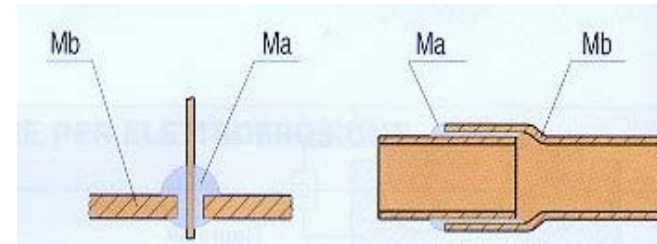
BRASATURA

- Il metallo base (**Mb**) non fonde ma si porta a fusione *solo il metallo d'apporto (Ma)*, che si interpone tra i pezzi da unire , solidifica e li congiunge stabilmente.
- Le brasature sono saldature **eterogene** , ciò significa che giunto è costituito dal solo metallo d'apporto



Figura 114

Brasatura di un giunto tra tubazioni (Castolin - Milano).



BRASATURE

BRASATURA → temperatura < 450 °C

- ❑ Sempre con metallo d'apporto bassofondente rispetto agli elementi da giuntare (i pezzi possono essere saldatati varie volte)
- ❑ Pezzi non devono essere a contatto altrimenti non è possibile interporre il metallo d'apporto e devono essere puliti

SALDOBRASATURA → temperatura > 600 °C

- ❑ Preparazione del giunto tipica della saldatura autogena
- ❑ Leghe di apporto fondenti a temp. inferiori ai metalli del giunto
- ❑ Ottoni fondenti a temperature relativamente elevate : per la saldobrasatura dell'acciaio tra 800÷950°C, per la ghisa tra 650÷800°C, per il rame e i bronzi tra 850÷950°C.)

CLASSIFICAZIONE SALDATURE

ETEROGENE	<ul style="list-style-type: none">▪ Brasatura▪ Saldobrasatura
AUTOGENE per Fusione	<ul style="list-style-type: none">▪ Elettrica ad arco (idrogeno atomico, plasma, atmosfera protettiva, ad arco sommerso, ad arco protetto) ;▪ Gas (ossidrica, ossiacetilenica) ;▪ Laser ;▪ Alluminotermica ;
AUTOGENE a Pressione	<ul style="list-style-type: none">▪ Attrito▪ Esplosione▪ Ultrasuoni▪ Elettrica a resistenza (a punti o cucitura ,con scintillio , a rulli)

SALDABILITA' DELLE LEGHE

Lega	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

SCELTA PROCESSO DI SALDATURA

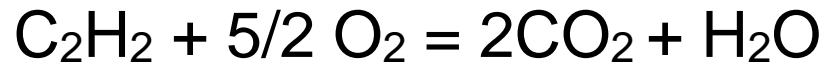
Procedimento di saldatura	Materiale							
	Acciai al carbonio	Acciai debolmente legati	Acciai inossidabili	Ghisa	Rame e sue leghe	Alluminio e leghe leggere	Magnesio e sue leghe	Titanio e sue leghe
Ossiacetilenica	O	B	B	O	B	B	S	N
Ad arco	O	O	O	B	S	B	N	N
A resistenza	O	O	B	N	B	O	B	B
A scintillio	O	O	B	S	B	B	S	B
TIG	B	B	O	B	O	O	O	O
MIG	B	B	B	S	O	O	B	B
MAG	O	B	B	S	S	S	S	S
Brasatura	O	B	B	S	B	O	S	B
Saldobrasatura	B	S	B	O	O	O	S	B

Legenda: O = ottimale, B = buono, S = sconsigliabile, N = non applicabile

SALDATURA PER FUSIONE A GAS

Il calore necessario è derivato da una reazione di **combustione** :

Fiamma ossiacetilenica

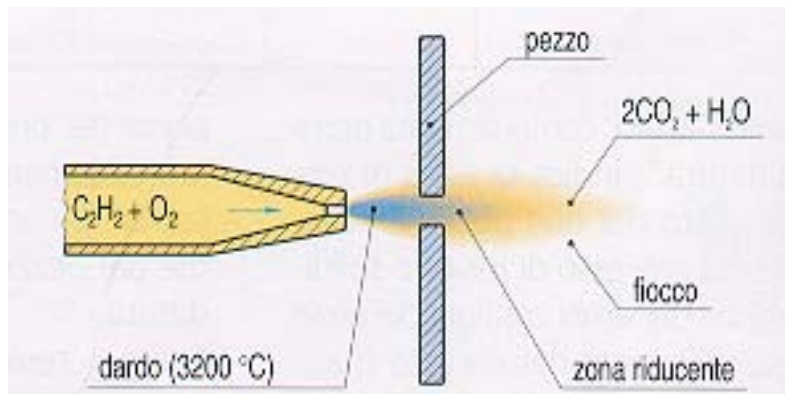


Fiamma ossidrica



L'ossigeno è fornito dall'ambiente ma soprattutto dalla bombola. La fiamma ossidrica sviluppa principalmente vapore acqueo. L'uso delle fiamme è per la saldatura (non industriale), per la saldobrasatura, per il taglio alla fiamma

SALDATURA OSSIACETILENICA



- Il calore necessario alla fusione dei lembi da saldare è ottenuto dalla combustione di una miscela di ossigeno O_2 e acetilene (C_2H_2).
- La fiamma ossiacetilenica è composta di tre zone :
il **dardo**, la **zona riducente** e il **fiocco** (vedi figura).
- La zona di massima temperatura (circa **3200 °C**) è situata alla punta del dardo (è la zona usata per la saldatura).
- La reazione esotermica primaria avviene nel dardo e dà luogo alla formazione di monossido di carbonio e idrogeno
- Nella zona riducente la temperatura è di circa 2600 °C, mentre nel fiocco (zona ossidante) si ha una temperatura media di 1200 °C.

SALDATURA OSSIACETILENICA

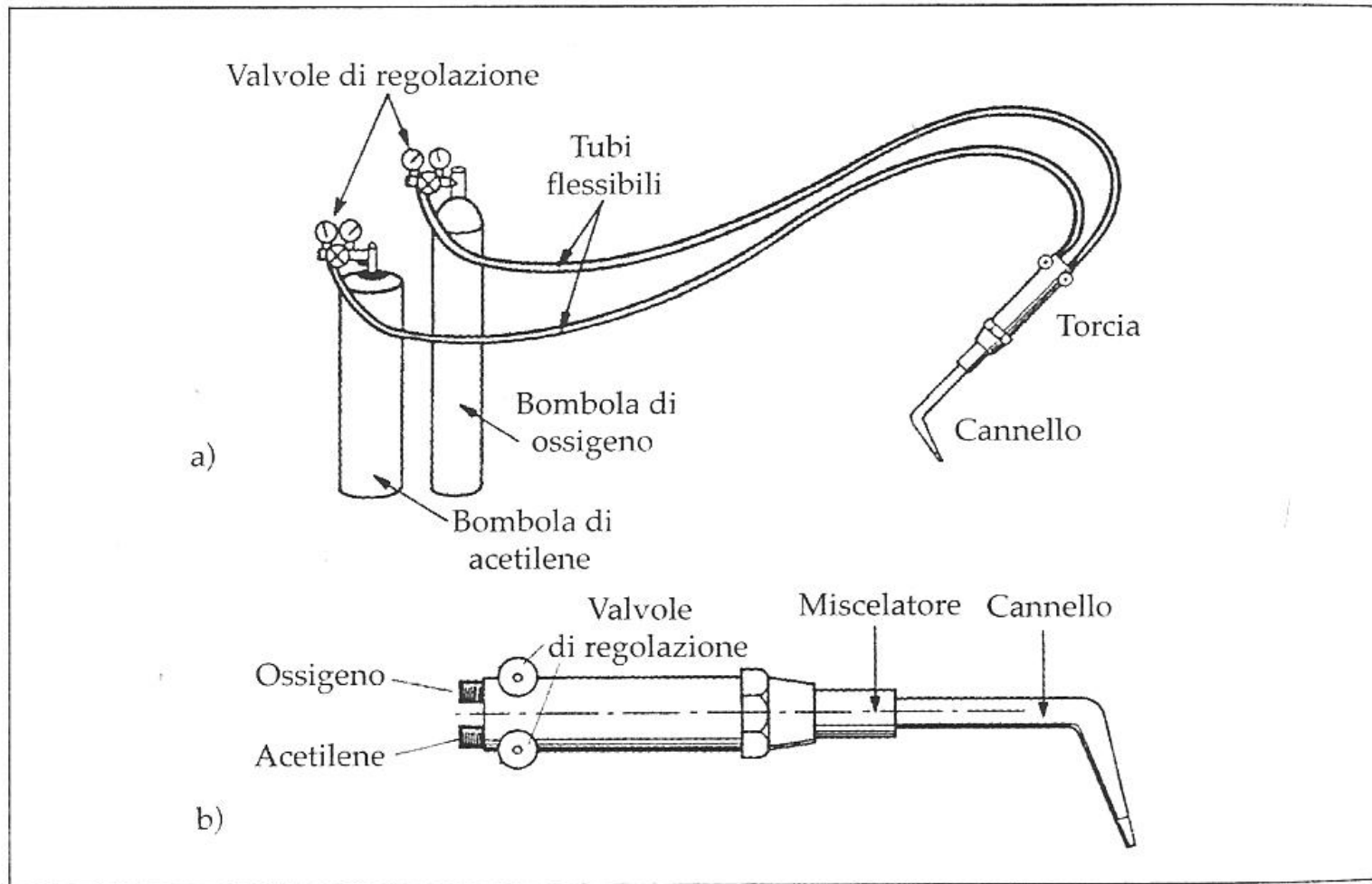
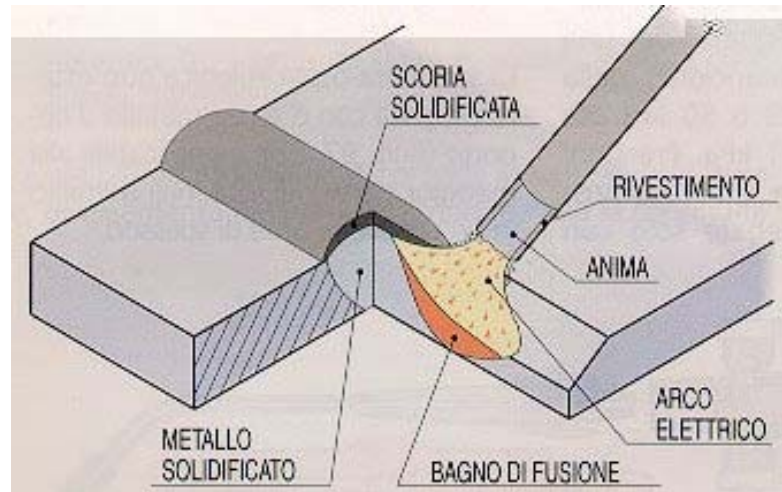


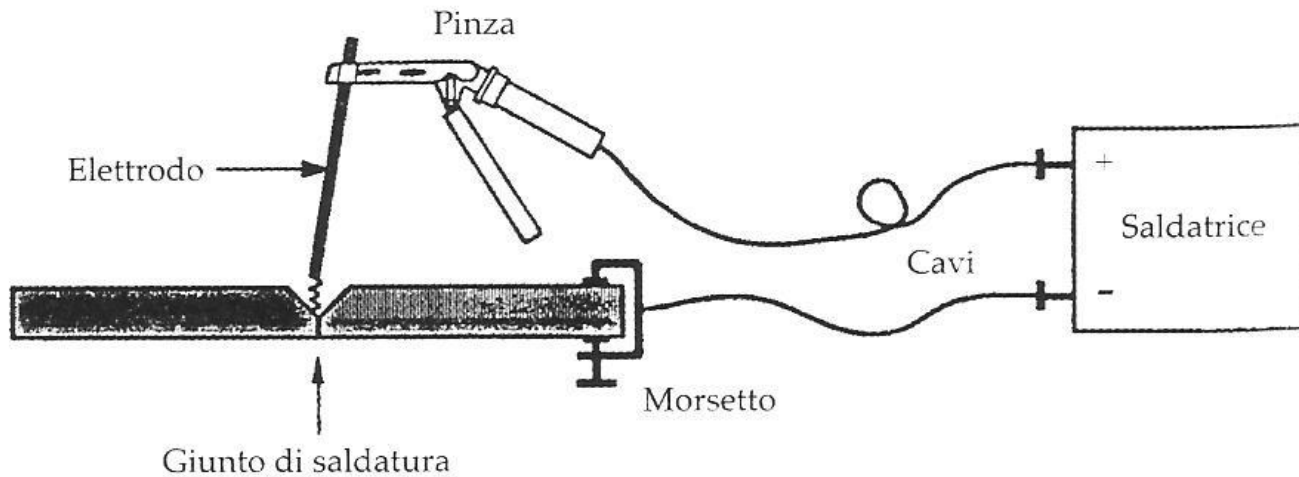
Fig. 17. a) Attrezzatura per la saldatura ossiacetilenica; b) particolare del cannello.

SALDATURA ELETTRICA AD ARCO



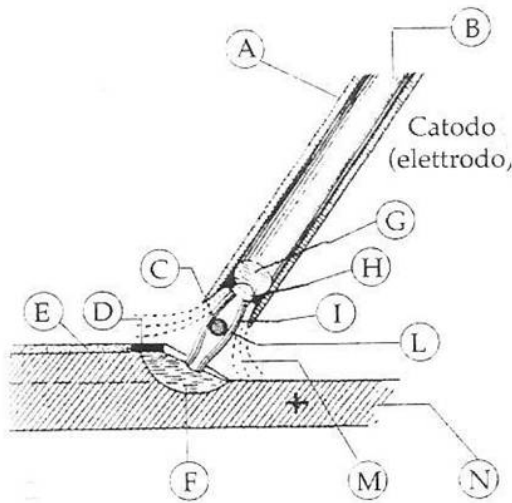
- Il calore necessario per la fusione del metallo è ottenuto per mezzo di un **arco voltaico** che scocca tra un elettrodo e i pezzi da saldare. La temperatura dell'arco è di oltre **3200 °C** e provoca la fusione sia del materiale base sia dell'elettrodo; quest'ultimo costituisce quindi il metallo d'apporto.
- In genere si utilizzano **elettrodi rivestiti**, costituiti da un filo metallico (anima) di diametro variabile tra i 2 e 4 mm, e da un rivestimento che ricopre l'elettrodo per quasi tutta la sua lunghezza.

SALDATURA ELETTRICA AD ARCO



Attrezzatura per Saldatura ad arco elettrico
(con elettrodo a perdere)

ELETTRODO RIVESTITO



- A. Rivestimento
- B. Anima metallica
- C. Goccia di metallo
- D. Scoria fluida
- E. Scoria solidificata
- F. Cratere di metallo
- G. Metallo liquido
- H. Scoria liquida
- I. Calice
- L. Arco
- M. Gas protettivi
- N. Pezzo da saldare (anodo)

❑ Il rivestimento è composto da una miscela di sostanze che hanno lo scopo di facilitare la saldatura, eliminare le impurezze e proteggere il bagno di fusione dalle contaminazioni esterne e dall'ossidazione.

❑ Il rivestimento può anche contenere degli elementi di lega che, combinandosi con il metallo base, possono migliorare le proprietà chimiche e meccaniche del giunto saldato.

❑ Il materiale del rivestimento, più leggero del metallo fuso, galleggia sul bagno di fusione e dà luogo a uno strato protettivo (scoria), che viene facilmente eliminato dopo la solidificazione e il raffreddamento del cordone.

SALDATURA AD ARCO PROTETTA

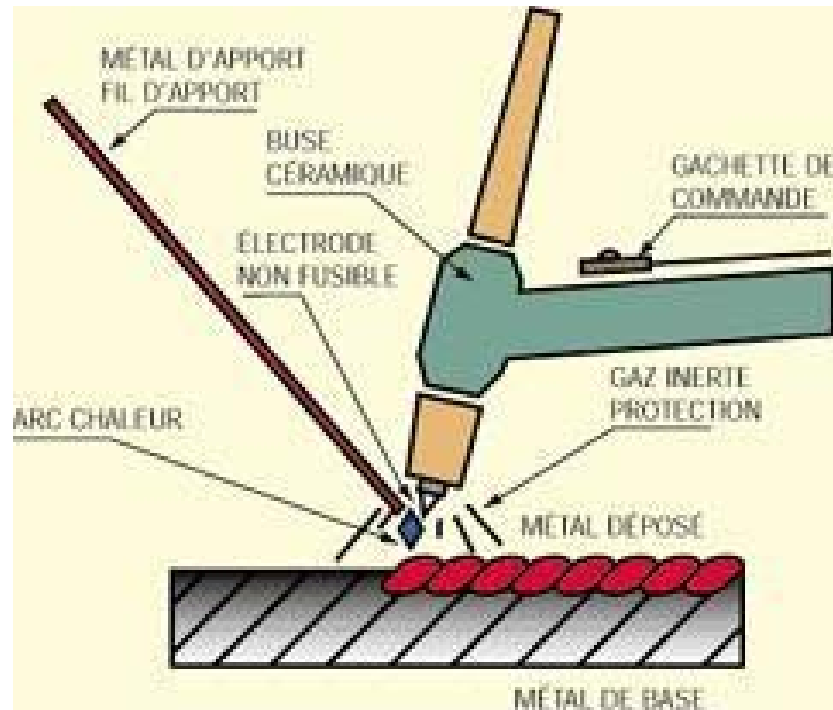
Nella saldatura in atmosfera controllata la protezione del bagno di fusione è affidata a un flusso di gas (inerte o attivo). Esso ha la funzione di favorire il mantenimento dell'arco ed di protegge il bagno di fusione da reazioni chimiche indesiderate (in particolare dall'ossidazione).

I principali procedimenti di saldatura ad arco in atmosfera controllata sono denominati:

- **TIG** (Tungsten Inert Gas);
- **MIG** (Metal Inert Gas);
- **MAG** (Metal Active Gas).

SALDATURA TIG

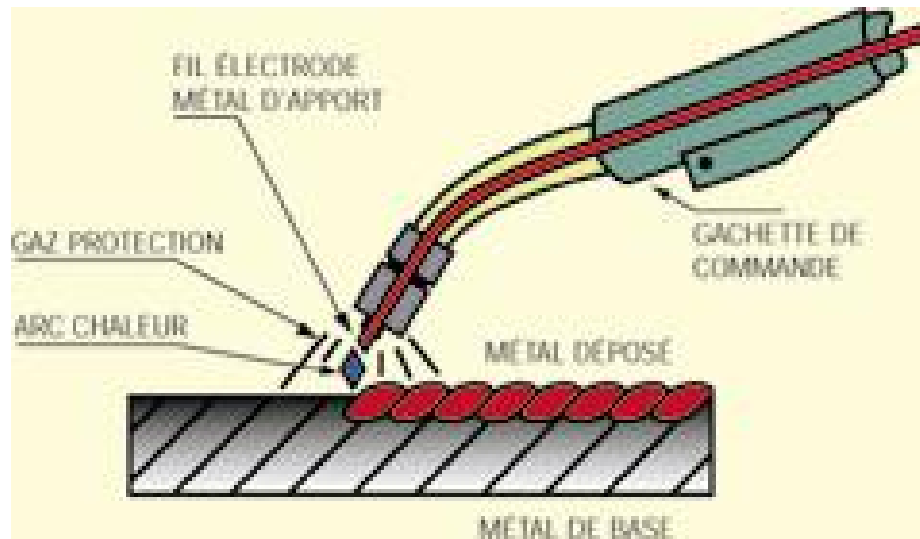
- ❑ TIG (Tungsten Inert Gas): viene utilizzato per saldare acciai comuni ma anche per acciai inossidabili, inconel, rame e sue leghe.
- ❑ Elettrodo : è di tungsteno infusibile
- ❑ Gas di protezione inerte : elio, argon
- ❑ Metallo di apporto : bacchette fusibili .



TORCIA per TIG

SALDATURA MIG

- ❑ Nel procedimento MIG l'elettrodo è costituito da un filo metallico fusibile che fuoriesce in modo continuo dalla torcia. Il filo viene prelevato da una matassa e inviato alla torcia da un sistema motorizzato di trascinamento.
- ❑ Nella saldatura MIG il filo metallico svolge la duplice funzione di elettrodo e metallo d'apporto.



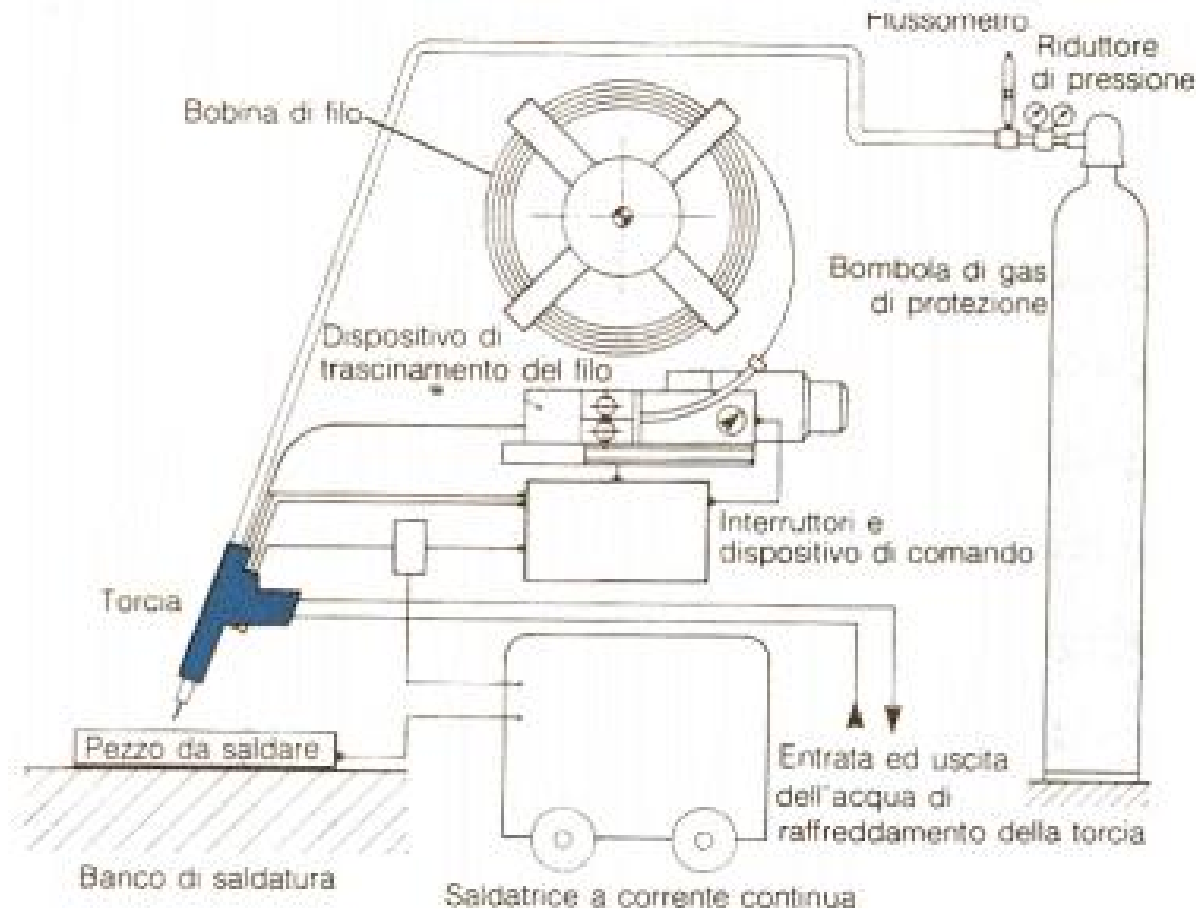
MIG (Metal Inert Gas)
Elettrodo : Filo metallico fusibile
Gas di protezione inerte :
azoto, elio

SALDATURA MAG

- ❑ Il procedimento è analogo a quello della saldatura MIG, ma in questo caso i gas inerti sono sostituiti da un gas attivo, generalmente anidride carbonica (CO₂).
- ❑ I vantaggi di questo procedimento rispetto ai sistemi TIG e MIG consistono nella maggiore penetrazione e nel **minor costo del gas** protettivo.
- ❑ Il sistema MAG (Metal Active Gas) è utilizzabile solo per la saldatura di **acciai al carbonio** e di alcuni acciai inossidabili.
- ❑ Elettrodo : filo acciaio ramato ;
- ❑ Gas di protezione : CO₂ o sue miscele

G.M.A.W. (Gas Metal Arc Welding)

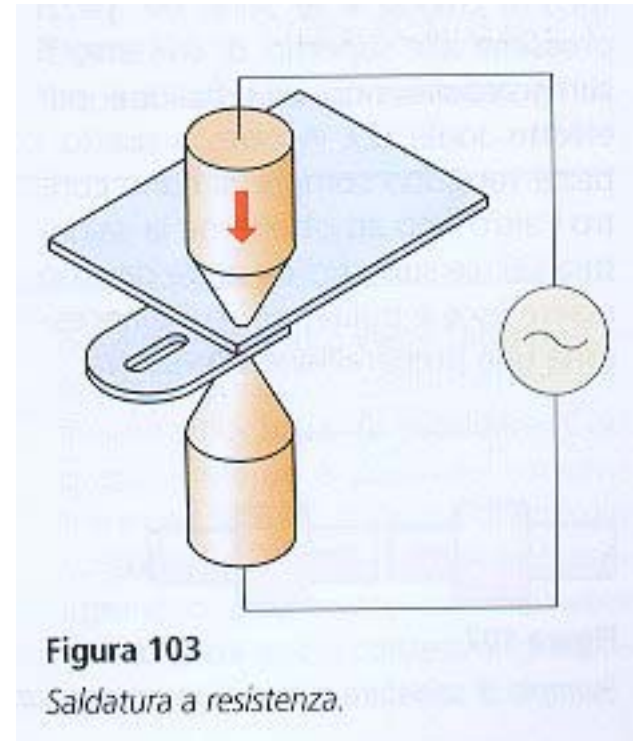
La sigla G.M.A.W. (Gas Metal Arc Welding) ha sostituito le precedenti Simbologie TIG , MIG e MAG



La saldatura
MIG e MAG è
anche detta
a filo continuo.

SALDATURA ELETTRICA A RESISTENZA

- ❑ La saldatura si realizza per l'azione combinata del *calore* e della *compressione* dei pezzi da unire.
- ❑ I procedimenti di saldatura a resistenza sono di esecuzione semplice, rapida ed economica, producono giunti di buon aspetto estetico e permettono la saldatura tra materiali diversi.
- ❑ Il calore necessario per la fusione localizzata del metallo è ottenuto facendo attraversare la zona di giunzione da una corrente elettrica di forte intensità. Per effetto Joule si produce una quantità di calore $\longrightarrow Q = R \times I^2 \times t$

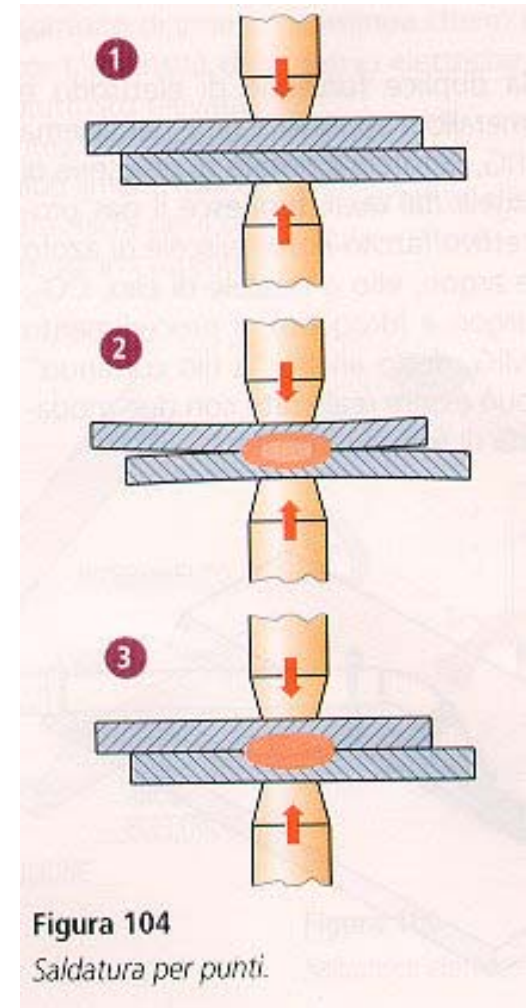


SALDATURA A PUNTI

Questo tipo di saldatura è idoneo per la saldatura di **lamiera sottili** ; si realizza per mezzo di apposite saldatrici che prendono il nome di **puntatrici**.

Il procedimento di saldatura avviene in tre fasi :

- 1) sovrapposizione dei lembi da saldare e accostamento degli elettrodi;
- 2) passaggio di corrente e fusione localizzata del metallo nella zona di contatto dei pezzi ;
- 3) compressione dei pezzi tra gli elettrodi e consolidamento della giunzione.



SALDATRICE A PUNTI

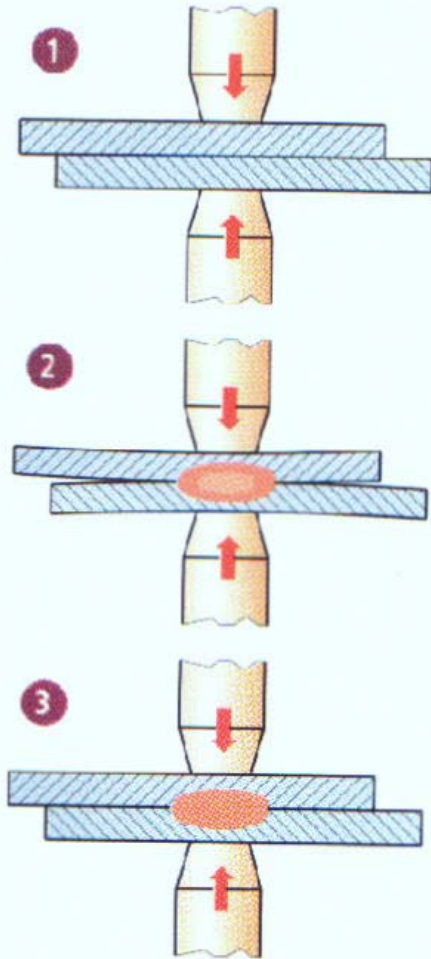


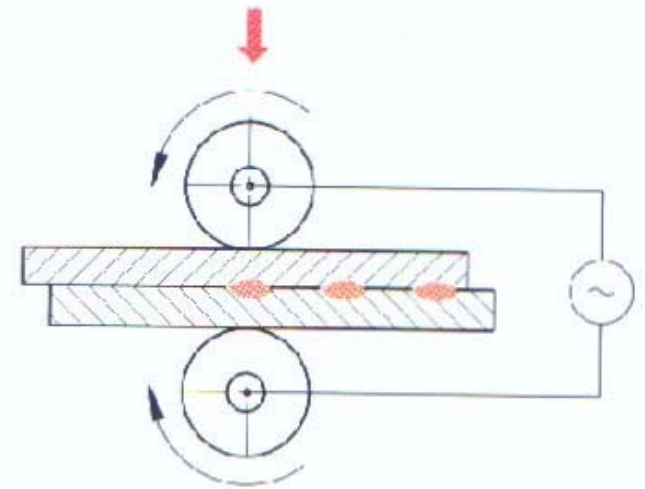
Figura 104
Saldatura per punti.



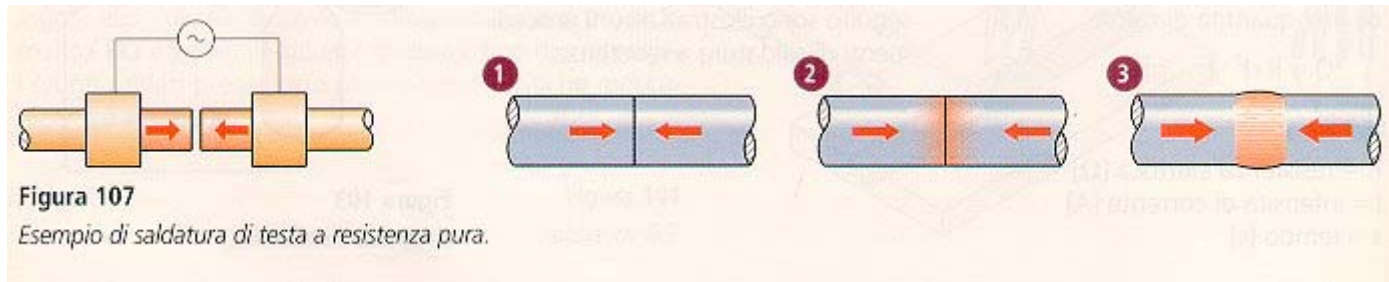
Figura 105
Puntatrice (Telwin - Vicenza).

SALDATURA A RULLI

- ❑ Il principio di funzionamento è analogo a quello della saldatura per punti, ma in questo caso gli elettrodi sono costituiti da rulli.
- ❑ La corrente viene inviata a intervalli regolari, mentre i rulli rotolano sui pezzi esercitando contemporaneamente la pressione necessaria alla saldatura.
- ❑ Le lamiere di piccolo spessore devono essere decapate prima della saldatura.



SALDATURA DI TESTA A RESISTENZA PURA



E' impiegata per la saldatura di testa di **pezzi cilindrici** e **tubi** e si svolge secondo queste fasi (vedi figura):

- 1) I pezzi sono serrati su morsetti collegati al circuito elettrico della saldatrice accostando i pezzi;
- 2) Il circuito elettrico si chiude e le zone dei pezzi prossime alle superfici di contatto si surriscaldano fino alla fusione per effetto Joule .
- 3) A questo punto i pezzi vengono compressi l'uno contro l'altro fino ad ottenerne la saldatura .

Le superfici da unire devono essere lisce e pulite, per cui è necessaria una preparazione preventiva.

SALDATURA AL PLASMA

- ❑ Il plasma , spesso definito il quarto stato della materia , è un **gas ionizzato** ; si ottiene riscaldando un gas a temperature molto alte .
- ❑ Infatti quando un gas viene riscaldato a temperature elevate , i suoi atomi si scindono in ioni che sono dotati di cariche elettriche positive e negative .
- ❑ La presenza di elettroni liberi in moto disordinato produce una enorme quantità di calore , che può essere sfruttata per la saldatura .
- ❑ La saldatura al plasma è applicabile a **tutti i materiali** ed è particolarmente adatta alla saldatura di acciai inossidabili , nichel , rame , ottone , alluminio e sue leghe , titanio .
- ❑ Risulta più veloce rispetto al sistema TIG e consente la saldatura di **pezzi di grande spessore** , riducendo contemporaneamente le deformazioni

TORCIA AL PLASMA

- ❑ La TORCIA è dotata di un elettrodo infusibile in tungsteno e di ugello calibrato attraverso cui viene lanciato il gas ionizzato (plasma) ad elevata temperatura **30.000 ° C**.
- ❑ Il riscaldamento del gas avviene attraverso un arco elettrico che scocca d un elettrodo infusibile di tungsteno ed il pezzo da saldare.
- ❑ I gas più usati per la produzione del plasma sono costituiti da miscele di argon ed idrogeno.
- ❑ Nella saldatura al plasma, la torcia è provvista anche di ugelli anulari per l'emissione di un gas inerte che circonda il getto di plasma e protegge il bagno di fusione.
- ❑ A causa delle elevate temperature, l'ugello deve essere raffreddato con circolazione di acqua.

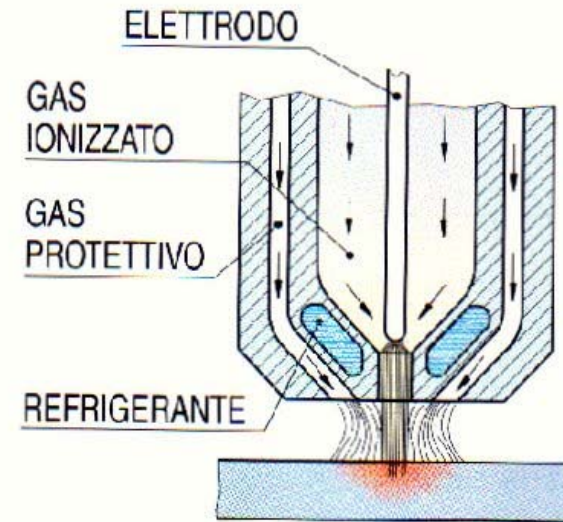


Figura 110

Torcia al plasma ad arco trasferito.

GENERATORE LASER

- ❑ Il termine Laser è un acronimo di " Light Amplification Stimulation Emission of Radiation " (Amplificazione della Luce attraverso un'Emissione Stimolata di Radiazioni):
- ❑ Un generatore di luce laser è un apparecchio in cui un mezzo, gassoso o solido, viene stimolato al fine di emettere **un raggio di luce coerente e monocromatico** (ad onda sincronizzata, di singola lunghezza).
- ❑ Il fascio luminoso può essere focalizzato concentrando un'elevata quantità di energia in un singolo punto. L'energia così concentrata permette di raggiungere, in breve tempo, temperature molto elevate, superiori alla temperatura di vaporizzare diversi materiali. Si possono eseguire sia operazioni di taglio, sia di saldatura di metalli.
- ❑ I due tipi più comuni di laser industriali sono il laser a CO_2 e il laser a neodimio (Nd:YAG).
Il laser a CO_2 utilizza un mezzo laserante gassoso, mentre il laser Nd:YAG impiega un materiale laserante cristallino.
I laser a CO_2 sono disponibili con potenze fino a 40 kW; mentre i Nd:YAG fino a 5 kW.

SALDATURA LASER

- ❑ La saldatura laser (LBW) produce una fusione del metallo tramite la radiazione emessa da un **raggio concentrato di luce coerente**; per proteggere il bagno fuso viene utilizzato un gas protettivo.
- ❑ La saldatura può avvenire con o senza metallo di apporto ed è utilizzabile sui **principali metalli**, (acciaio al carbonio, acciaio inossidabile, alluminio, titanio, nickel, rame e numerose altre leghe di metallo).
- ❑ I vantaggi di tale tipo di saldatura sono l'altissima velocità di avanzamento, la riduzione delle zone alterate dal calore, le caratteristiche meccaniche e la bassa deformazione del pezzo saldato, l'assenza di scorie e spruzzi, nonché l'elevata possibilità di automatizzare il processo.
- ❑ I sistemi laser a CO₂ ad elevata potenza sono indicati per saldature strette, a singola passata. Un'importante particolarità del laser a neodimio è che il raggio può essere trasmesso tramite fibre ottiche, rendendolo particolarmente indicato per azionamenti robotizzati, per la saldatura di strutture .

TESTA PER SALDATURA LASER

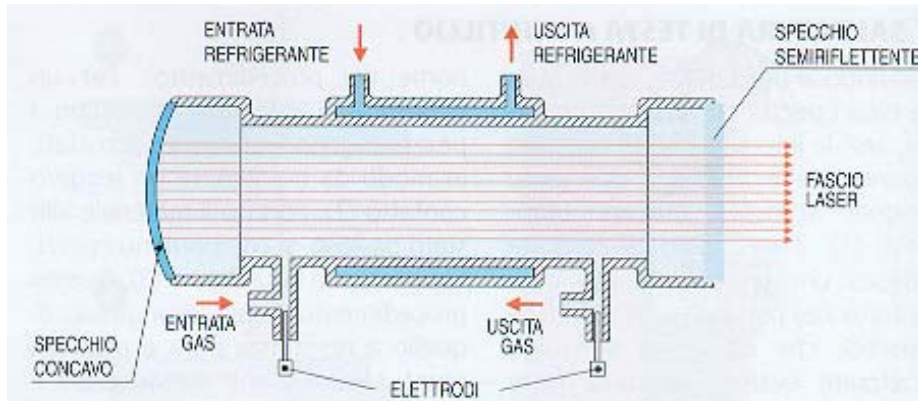


Figura 111
Generatore laser al CO_2 .

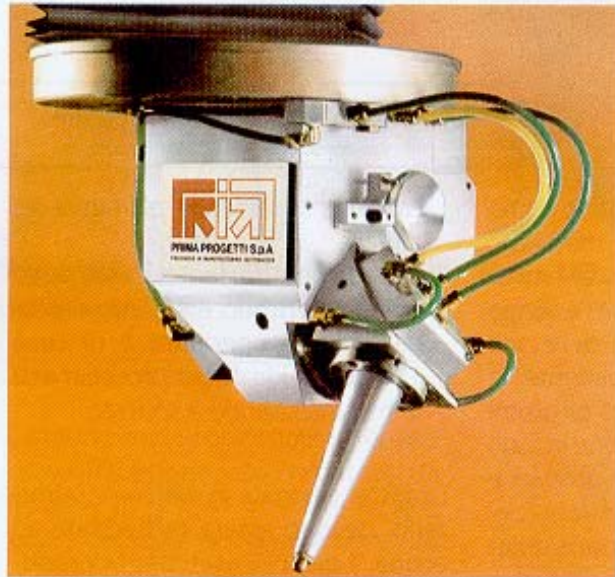
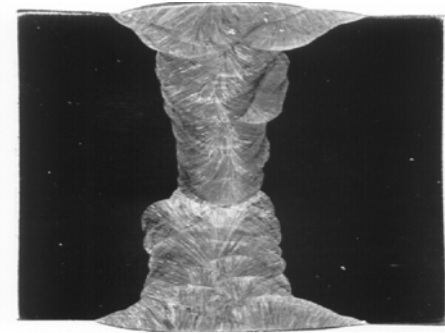
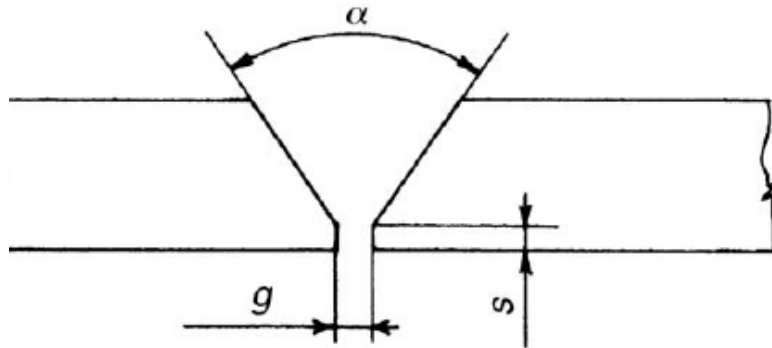


Figura 112
Testa per saldatura laser (Prima - Torino).

- ❑ La saldatura Laser consente di saldare **materiali diversi o con scarsa saldabilità**, con spessori da 50 micron a 2,5 mm
- ❑ I pezzi sono soggetti a **ridottissimi stress termici**
- ❑ I giunti saldati hanno **ottime caratteristiche estetiche e tecniche**

GIUNTO A PIENA PENETRAZIONE



- Per ottenere la massima efficienza del giunto è necessario realizzare la **completa penetrazione** della zona fusa
- Per piccoli spessori è sufficiente la **saldatura con lembi retti** in una o due passate contrapposte
- Per spessori maggiori si ricorre alla preparazione dei lembi (**cianfrino**) e alla saldatura multipassata

CIANFRINATURA

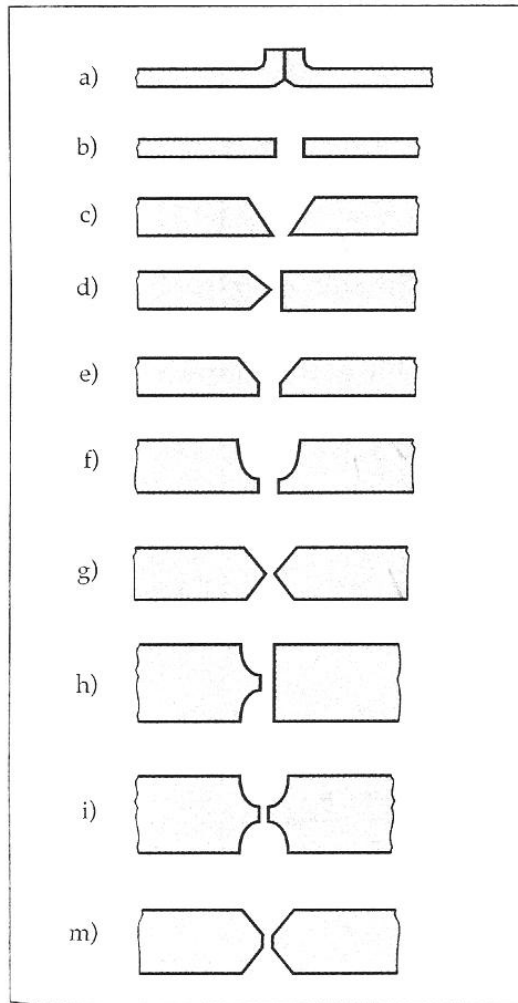
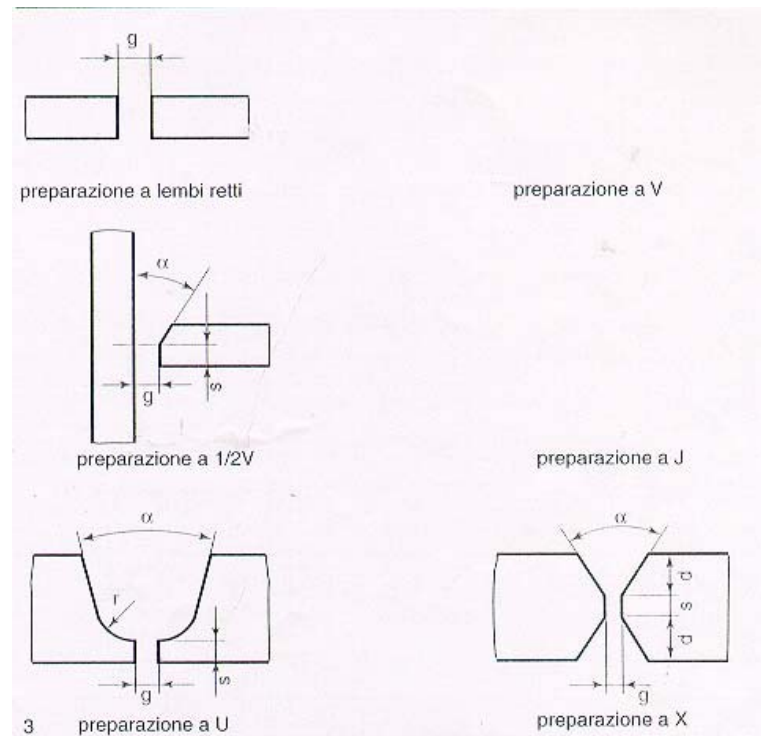


Fig. 25. Preparazione dei lembi nella saldatura testa a testa (lo spazio fra i due lembi, che viene riempito dal cordone di saldatura, prende il nome di **cianfrino**).

Per ottenere saldature di qualità , quasi sempre occorre preparare i lembi da saldare in maniera opportuna .

Tale operazione è detta cianfrinatura ; la forma e le dimensioni dei cianfrini sono riportate nelle norme tecniche



TIPI DI GIUNTO

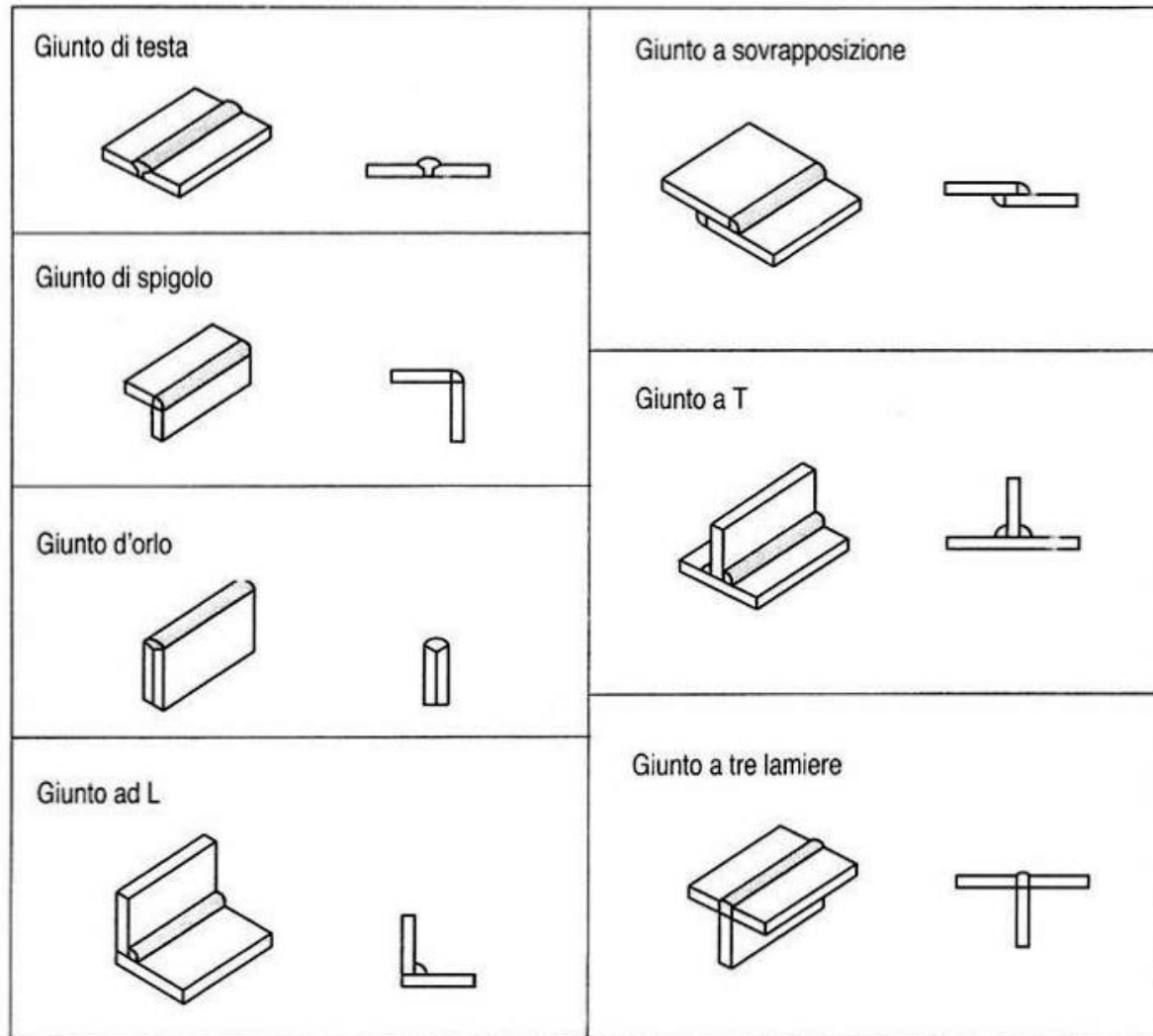


Fig. 26. Tipi di giunto.

CONVENZIONI GRAFICHE

In base alla norma **UNI EN 22553** , una saldatura viene individuata schematicamente con i seguenti elementi :

- ❑ Un segno grafico elementare che indica la forma della sezione della saldatura
- ❑ Un segno grafico ulteriore che indica la forma del profilo esterno del cordone
- ❑ Una quotatura convenzionale
- ❑ Una serie di indicazioni complementari

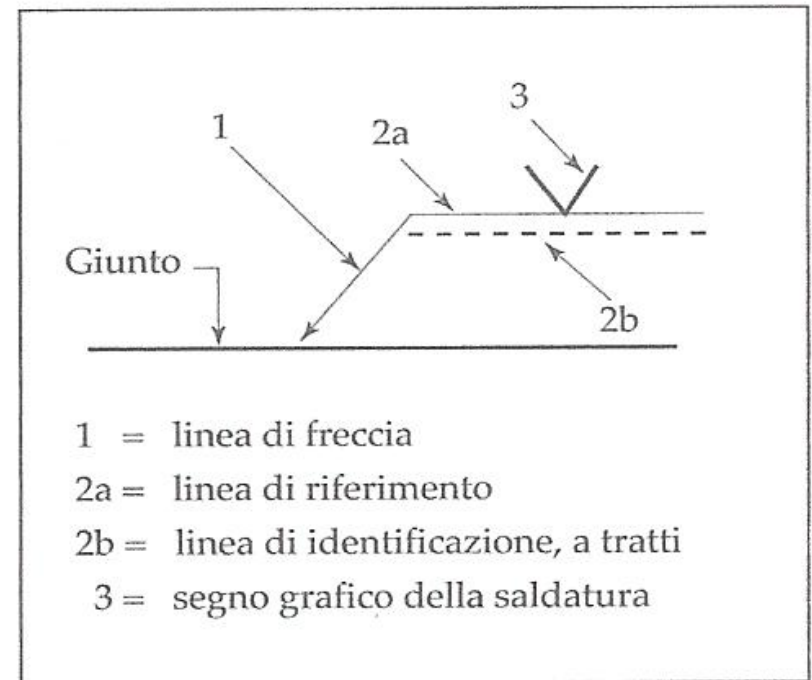


Fig. 29. Indicazione di una saldatura secondo la UNI EN 22553.

DESIGNAZIONE SALDATURE

In un disegno ,per individuare i lembi ove si deve eseguire una saldatura si usa un simbolo chiamato **Linea Freccia** e la **doppia linea di riferimento**

Doppia linea di riferimento

La doppia linea di riferimento è composta da una linea continua fine e da una linea parallela a tratti fine. Quest'ultima può essere posta indifferentemente sopra o sotto la linea continua fine (fig. 7). La posizione del segno grafico assume un significato particolare: se tale segno è posto sulla linea a tratti la saldatura deve essere eseguita sul "la-

to opposto alla linea di freccia", se è posto sulla linea continua la saldatura deve essere eseguita sul "lato di freccia" (fig. 8).

Nel caso di saldature simmetriche, viene rappresentata la sola linea continua di riferimento, con i segni grafici posti in contrapposizione (fig. 9).

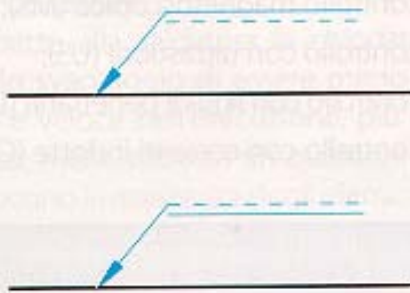


Figura 7

La linea a tratti può essere posizionata indifferentemente sotto o sopra la linea continua fine.

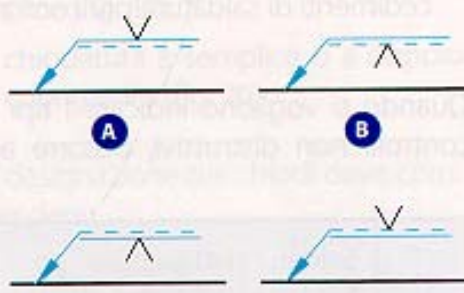


Figura 8

A) saldatura da eseguire sul lato di freccia;
B) saldatura da eseguire sul lato opposto alla linea di freccia.

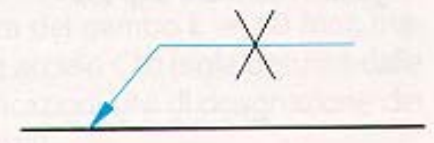


Figura 9

Saldature a V simmetriche.

DESIGNAZIONE SALDATURE

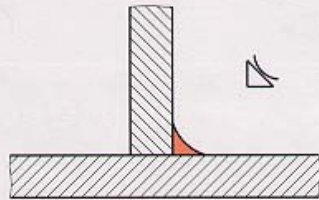


Figura 4
Esempio di applicazione del segno grafico elementare con il segno grafico supplementare.
Saldatura d'angolo con cordone concavo.



Figura 5
Elementi per completare la rappresentazione della saldatura.

Linea di freccia

Disegnata con linea continua fine, serve per indicare i lembi su cui deve essere eseguita la saldatura. La posizione della linea di freccia rispetto al giunto identifica il "lato di freccia" e il "lato opposto alla linea di freccia" o "altro lato" del giunto (fig. 6).

La linea di freccia può essere disposta in modo qualsiasi rispetto al giunto, tranne per i casi di saldatura a $1/2V$, a $1/2Y$ e a $1/2U$ (fig. 2), dove deve avere posizione obbligatoria verso il lato preparato delle parti.



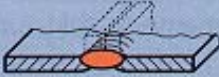





Figura 6

Tipo di saldatura	Segno grafico	Esempio di rappresentazione
Convessa		
Piana		
Concava		







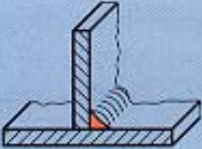





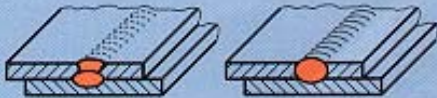

Segno grafico per la superficie esterna del cordone (convessa , piana , concava)

DESIGNAZIONE SALDATURE

La forma della sezione della saldatura viene individuata da un **segno grafico** convenzionale, come mostrato nella tabella seguente

N°	Denominazione	Disegno illustrativo	Segno grafico
1	Saldatura a bordi rilevati*		∩
2	Saldatura a lembi retti		
3	Saldatura a V		∨
4	Saldatura a $\frac{1}{2} V^{**}$		∨
5	Saldatura a Y		Y
6	Saldatura a $\frac{1}{2} Y^{**}$		Y

DESIGNAZIONE SALDATURE

Nr.	Denominazione	Disegno Illustrativo	Segno Grafico
7	Saldatura a U		
8	Saldatura a $\frac{1}{2}$ U o J**		
9	Saldatura ripresa al rovescio		
10	Saldatura d'angolo		
11	Saldatura entro intagli o fori		
12	Saldatura a punti (a resistenza o no)		
13	Saldatura in linea continua (a resistenza o no)		

QUOTATURA DELLE SALDATURE

Le dimensioni della saldatura vengono poste sui fianchi del segno grafico elementare, con i seguenti criteri:

- Le quote relative alla sezione **S** va posta alla sinistra del segno grafico ;
- La quota relativa alla lunghezza **L** del cordone va posta alla destra

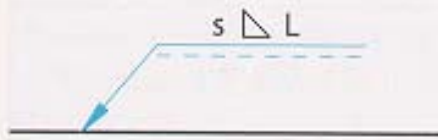


Figura 10
Quotatura delle saldature.



Figura 11
Quotatura delle saldature d'angolo.



Il simbolo
saldatura
con
cordone
curvato

QUOTATURA DELLE SALDATURE

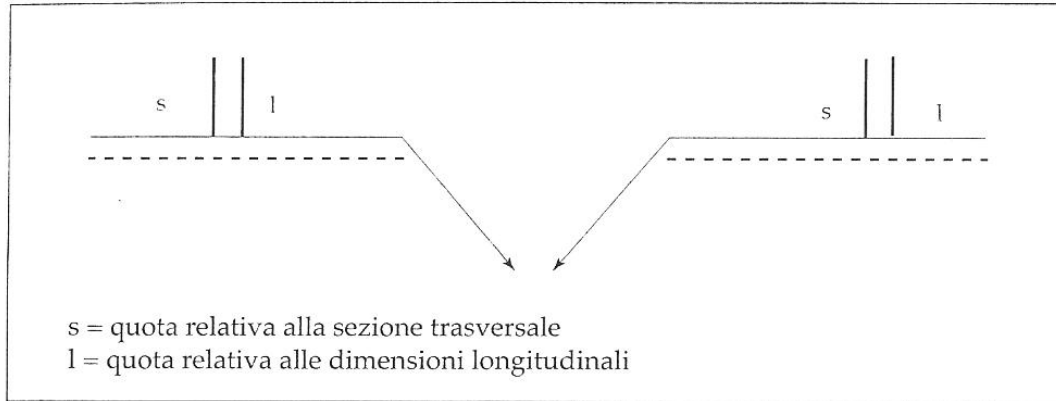


Fig. 31. Indicazione della posizione delle quote rispetto al segno grafico.

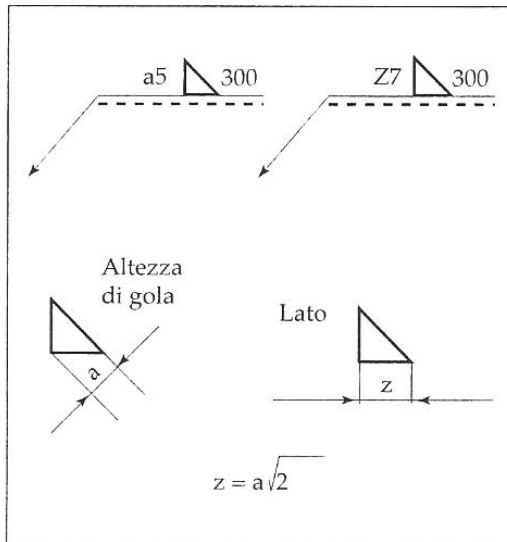


Fig. 32. Metodo di indicazione delle quote per le saldature ad angolo.

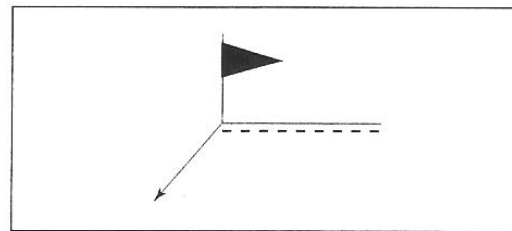


Fig. 34. Saldatura da eseguire in cantiere.

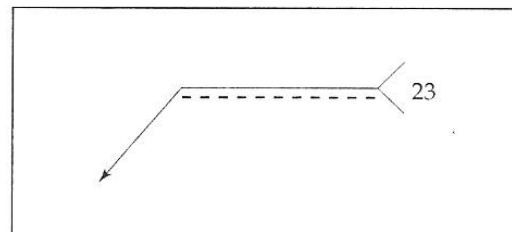


Fig. 35. Indicazione del procedimento di saldatura mediante codice numerico.

INDICAZIONI COMPLEMENTARI



Figura 12
Indicazione di saldatura perimetrale.



Figura 13
Indicazione di saldatura da eseguire in cantiere.



Figura 14
Indicazione del procedimento di saldatura.



Figura 15
Indicazione del tipo di controllo non distruttivo.

- Si possono specificare ulteriori caratteristiche della saldatura , come mostrato nelle figure
- Il procedimento di saldatura (ad arco , al plasma , ecc .), può essere indicato con un codice numerico posto nella forcina , riportato nelle norme UNI EN 24063;
- Il tipo di controllo non distruttivo , se richiesto , può essere indicato con una sigla aggiunta dopo il codice che indica il procedimento , (ad esempio RX = radiografia
US = ultrasuoni)

INDICAZIONI COMPLEMENTARI

Codici numerici secondo norme UNI EN 24063 per individuare il processo di saldatura

1	Saldatura ad arco
11	Saldatura ad arco senza protezione di gas
12	Saldatura ad arco sommerso
13	Saldatura ad arco con filo elettrodo fusibile sotto protezione di gas
14	Saldatura ad arco con elettrodo infusibile sotto protezione di gas
15	Saldatura al plasma
18	Altri procedimenti di saldatura ad arco
2	Saldatura a resistenza
21	Saldatura a punti
22	Saldatura a rulli
23	Saldatura a rilievi
24	Saldatura a scintillio
25	Saldatura testa a testa a resistenza pura
29	Altri procedimenti di saldatura a resistenza
3	Saldatura a gas
31	Saldatura a ossigas
32	Saldatura ad aria con gas combustibile
4	Saldatura allo stato solido; saldatura a pressione
41	Saldatura a ultrasuoni
42	Saldatura ad attrito
43	Saldatura per bollitura
44	Saldatura ad alta energia meccanica
45	Saldatura a diffusione
47	Saldatura a pressione a gas
48	Saldatura a pressione a freddo
7	Altri procedimenti di saldatura
71	Saldatura alluminotermica
72	Saldatura a elettroscoria
73	Saldatura elettrogas
74	Saldatura a induzione
75	Saldatura per radiazione luminosa (a luce focalizzata)
76	Saldatura a fascio elettrico
77	Saldatura a percussione (a scarica elettrica)
78	Saldatura di prigionieri
9	Brasatura forte e brasatura dolce
91	Brasatura forte
93	Altri procedimenti di brasatura forte
94	Brasatura dolce
96	Altri procedimenti di brasatura dolce
97	Saldobrasatura

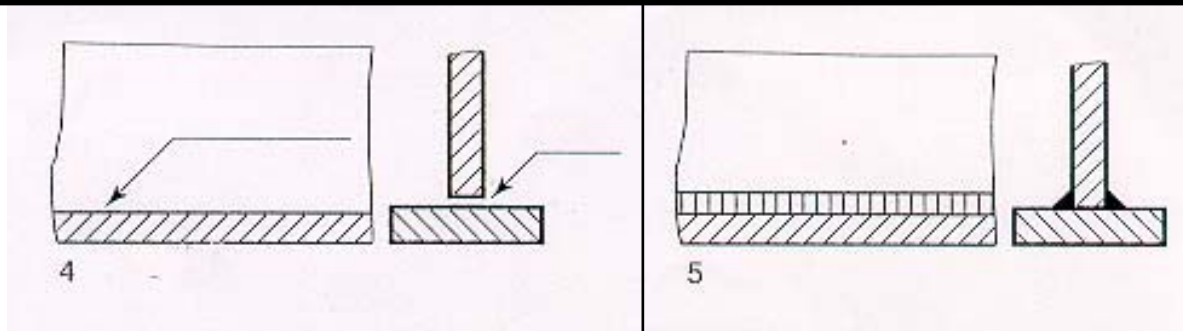
CONTROLLO SALDATURE

Metodi Superficiali	Metodi Volumetrici
<ul style="list-style-type: none">□ esame visivo□ esame con liquidi penetranti□ esame con particelle magnetiche.	<ul style="list-style-type: none">□ esame radiografico□ esame radioscopico□ esame ad ultrasuoni.

I controlli non distruttivi si suddividono in due famiglie:

- **controlli non distruttivi superficiali:** danno la possibilità di esaminare i particolari solo a livello superficiale ed al massimo sottopelle. Con l'applicazione di tali metodi di esame si ha solo la possibilità di localizzare l'eventuale presenza dei difetti, identificando solo la loro forma ed estensione, quindi non si riesce a quantificare in modo preciso la profondità del difetto.
- **controlli non distruttivi volumetrici:** al contrario dei metodi superficiali con l'applicazione dei controlli volumetrici si ha la possibilità di verificare l'integrità nel materiale, purtroppo in alcuni casi specifici non si riescono ad individuare difetti superficiali.

SIMBOLOGIA SALDATURE



RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA

I cordoni di saldatura non vengono rappresentati nel disegno .

Le saldature vengono individuate con la linea freccia , corredata con le altre informazioni sulla forma e dimensioni del cordone e sul metodo

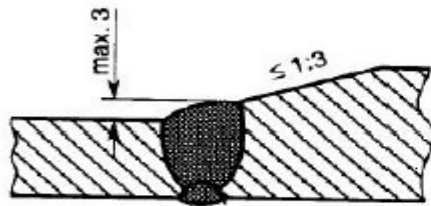
RAPPRESENTAZIONE COMPLETA

I cordoni di saldatura sono rappresentati in vista ed in sezione

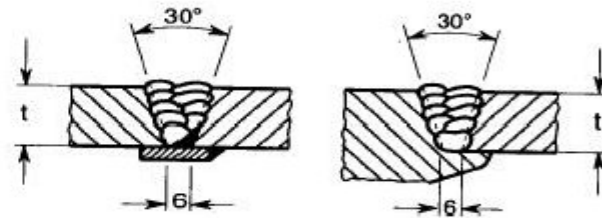
In vista si rappresentano con due linee parallele , riempite con archetti tracciati a mano libera

DETTAGLI GIUNTI SALDATI

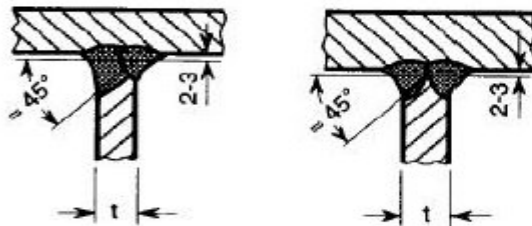
Dettagli dei collegamenti saldati



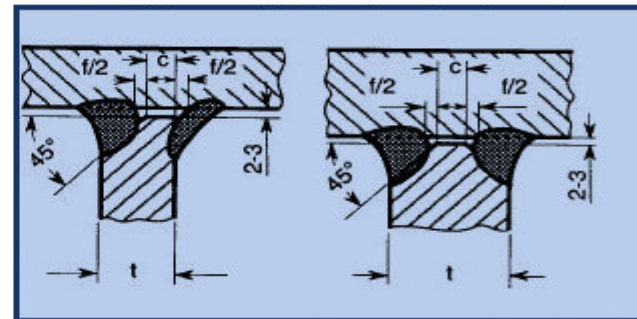
Collegamento di testa (diverso spessore lamiere)



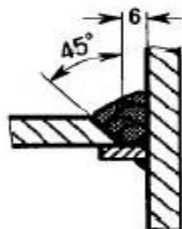
Con supporto di appoggio (dettaglio passate)



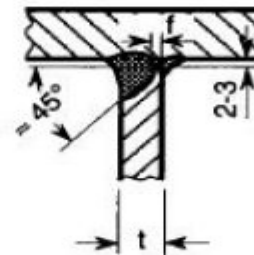
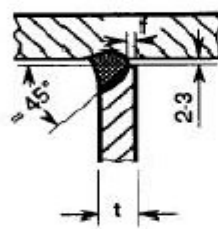
Saldatura d'angolo (piena penetrazione)



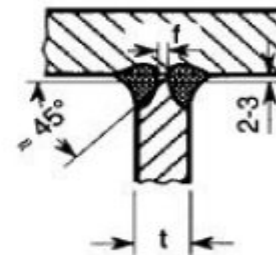
Saldatura d'angolo (senza piena penetrazione)



Saldatura d'angolo (con piatto d'appoggio, senza ripresa)



Saldatura d'angolo (con ripresa a rovescio)



SIMBOLOGIA SALDATURE

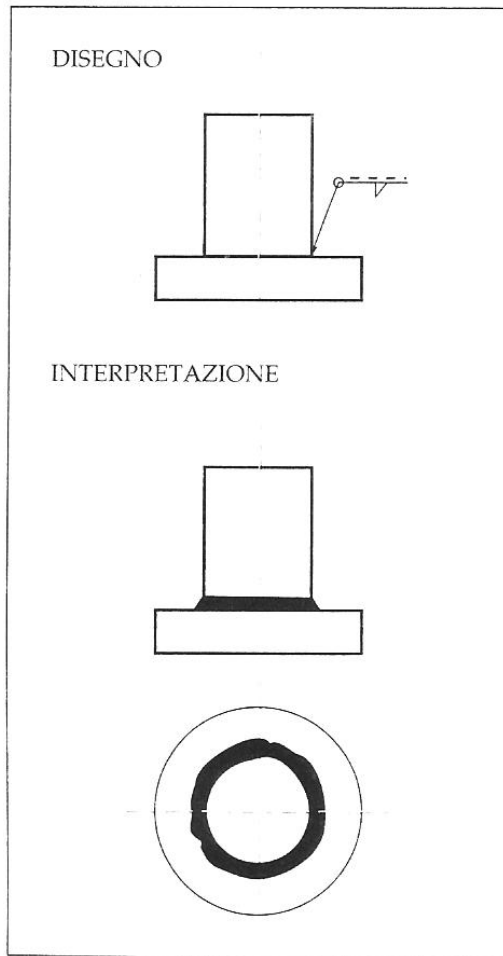


Fig. 33. Esempio di indicazione di una saldatura perimetrale.

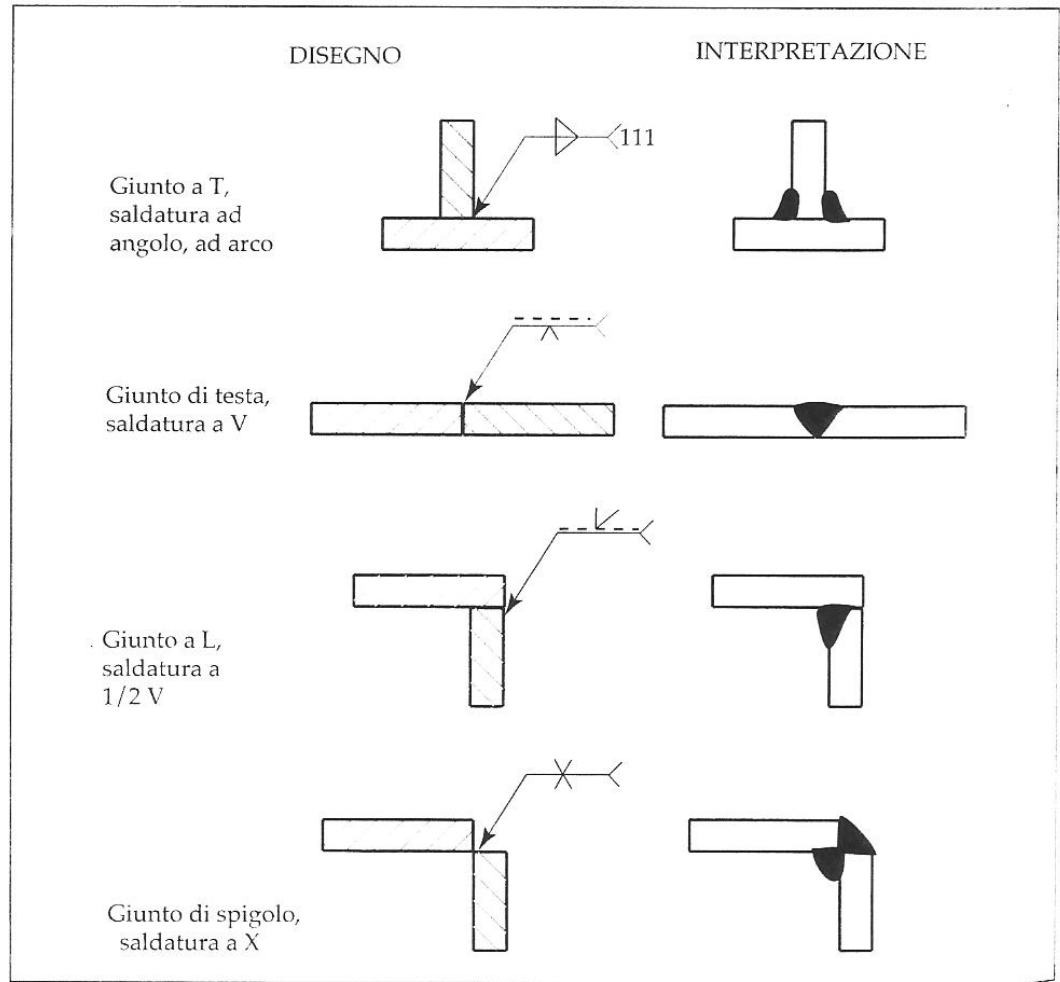


Fig. 36. Disegno e interpretazione di giunti saldati.

SIMBOLOGIA SALDATURE

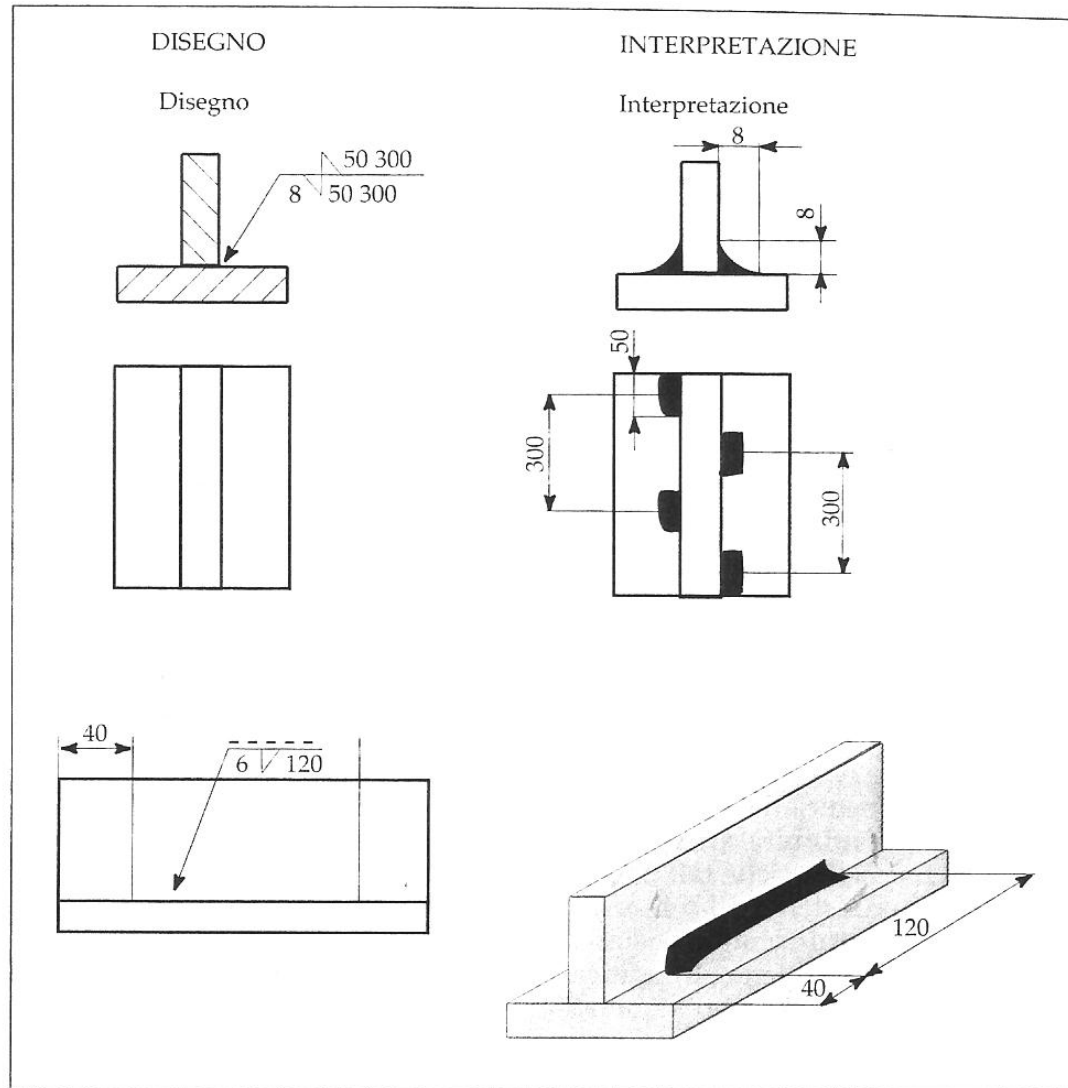


Fig. 37. Designazione di saldature continue e interrotte.

SIMBOLOGIA SALDATURE

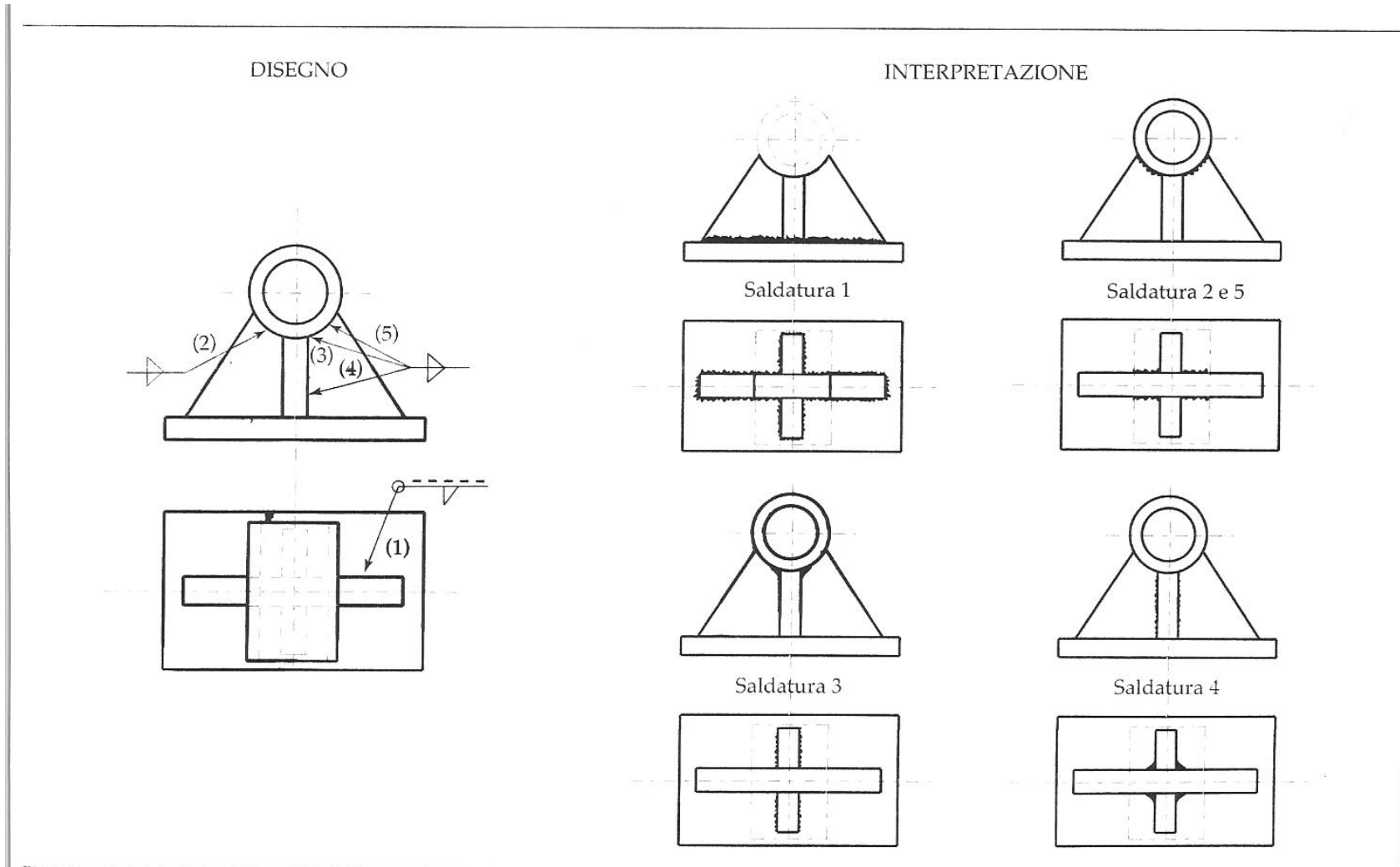


Fig. 38. Disegno di una struttura saldata: interpretazione dei segni grafici.