

**GUIDA TECNICA SULLA  
BRASATURA DEL RAME**



# SOMMARIO

## **1. Introduzione (principi base della brasatura)**

1.1 Bagnabilità

1.2 Capillarità

## **2. Definizioni**

## **3. Il rame**

## **4. Geometria dei giunti**

## **5. Lega brasante**

5.1 Scelta della lega

*5.1.1 Leghe contenenti fosforo*

*5.1.2 Leghe argento-rame-zinco-stagno*

*5.1.3 Leghe argento-rame-zinco-stagno rivestite*

5.2 Tempi di brasatura

## **6. Il disossidante**

6.1 Scelta del disossidante

6.2 Disossidanti tipo Gasflux

## **7. Scelta del processo e dei parametri di brasatura**

7.1 Brasatura a cannello

*7.1.1 Il cannello*

*7.1.2 I gas*

*7.1.3 I comburenti*

*7.1.4 Tecnica esecutiva*

7.2 Brasatura in forno

## **8. Giunti**

8.1 Rame-Rame

8.2 Rame-Acciaio ramato

8.3 Rame-Alluminio

## **9. Metodi di controllo dei difetti**

## 1. Introduzione (principi base della brasatura)

La brasatura è un processo di unione di materiali metallici, realizzato per fusione del solo metallo d'apporto detto lega il cui punto di fusione è più basso di quello del metallo base. La brasatura si suddivide in *brasatura forte* in cui il materiale d'apporto ha una temperatura di fusione superiore ai 450 °C, *brasatura dolce* nella quale la temperatura di fusione è inferiore ai 450 °C e *saldobrasatura*. La brasatura forte e dolce sono in grado di assicurare un legame metallurgico tra i materiali in virtù del fenomeno della bagnabilità e della capillarità, nella saldobrasatura è presente solo il fenomeno della bagnabilità.

### 1.1 Bagnabilità

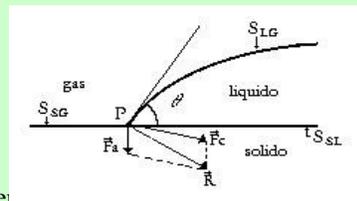
Un metallo si definisce bagnabile da una lega, quando ad una determinata temperatura, la lega è in grado di penetrare a livello intermolecolare nel metallo stesso, creando quindi uno strato superficiale intermedio tra lega e metallo che genera la giunzione degli stessi.

Di solito tale fenomeno avviene sempre alla temperatura di fusione della lega brasante, quindi la bagnabilità avviene quando il metallo di base è ancora allo stato solido, mentre la lega brasante è allo stato liquido. A questa determinata temperatura, la lega è in grado di penetrare a livello intermolecolare nel metallo di base e, viceversa, il metallo di base penetra nella lega fusa. In questo modo si forma uno strato intermedio superficiale tra metallo di base e lega che, al momento del raffreddamento, rappresenta la giunzione stessa. Ovviamente non tutte le leghe sono in grado di bagnare i metalli, devono essere scelte leghe e metalli compatibili, inoltre la superficie di base, per essere bagnata dalla lega, deve essere libera da ossidi e pulita da qualsiasi residuo di olio o sporcizia. Generalmente, per eliminare gli ossidi dalla superficie dei metalli si usano i disossidanti.

**La teoria:** La bagnabilità è regolata dalle tensioni superficiali agenti secondo piccoli angoli di contatto solido-liquido; le forze di coesione tra le molecole della lega liquida fanno sì che lo strato superficiale sia soggetto ad una forza attrattiva verso l'interno facendone assumere l'estensione minima ovvero quella sferica.

Le molecole sulla superficie della lega liquida possiedono una energia potenziale superiore a quelle dell'interno pertanto per aumentare l'estensione della superficie libera di un liquido occorre spendere un'energia proporzionale all'aumento di superficie. La tensione superficiale di un liquido rappresenta la quantità di energia richiesta per aumentare l'estensione della superficie di una unità mantenendo costante la temperatura del sistema. In presenza del metallo base, esso ha influenza sui valori della tensione superficiale ovvero le sue molecole svolgono attraverso le forze di adesione delle azioni sulle molecole dello strato superficiale del liquido. Quando solido e liquido vengono a contatto a causa delle interazioni tra diverse fasi (solido-liquido) si stabilisce una tensione interfacciale; il profilo di una parte della lega liquida posta sulla superficie del metallo base solido, formerà con essa un angolo  $\theta$ , che sarà maggiore o minore di 90 ° a seconda che nel punto di contatto P prevalga la risultante delle forze di adesione  $F_a$  o quella delle forze di coesione  $F_c$ . In definitiva si avranno le seguenti condizioni:

- $F_a > F_c \Rightarrow \theta < 90^\circ$  la superficie è bagnabile
- $F_a < F_c \Rightarrow \theta > 90^\circ$  la superficie è difficilmente bagnabile
- Casi limite:  $\theta = 180^\circ$  assenza totale di bagnabilità  
 $\theta = 0^\circ$  bagnabilità completa.



La bagnabilità è quindi favorita da: basse tensioni interfacciali, elevate energie superficiali, stato di levigatezza e presenza di impurità sulla superficie del materiale stesso.

### 1.2 Capillarità

La forza di capillarità rappresenta la capacità della lega fusa di penetrare all'interno di tutte le intercapedini presenti nei giunti che si vogliono unire. In questo modo la lega è in grado di riempire tutti gli interstizi realizzando una giunzione completa senza lasciare fori o porosità. La lega, infatti, alla temperatura di brasatura (stessa della bagnabilità) viene attratta all'interno dei giunti che si vogliono unire e può vincere anche la forza di gravità. È evidente che le tolleranze del giunto che si vuole unire devono essere corrette (né troppo strette, né troppo larghe), e che, quello che fa fede, sono le tolleranze alla temperatura di brasatura e non quelle a temperatura ambiente.

Si è dimostrato che anche la forma del giunto può influire sulla forza di capillarità, infatti forme di giunti triangolari o angolari hanno una forza maggiore rispetto a giunti rotondi o quadrati. In questo caso, per forma geometrica si intende la forma della luce all'interno della quale deve infilarsi la lega brasante al momento della brasatura.

## 2. Definizioni

**Decarburazione:** processo di rimozione del carbonio dalla superficie di un acciaio nel caso in cui sia posto a contatto con determinate atmosfere solitamente ad alta temperatura.

**Dew point:** o punto di rugiada rappresenta la temperatura alla quale a pressione costante l'aria diventa satura di vapore.

**Monel:** lega ad alta resistenza alla trazione formata principalmente da Ni e Cu e in quantità minori da Fe, Mn, Si, S, è inoltre altamente resistente alla corrosione atmosferica, l'acqua marina e a vari acidi e soluzioni alcaline. Aggiungendo Al e Ti acquisisce alta resistenza a fatica all'acqua di mare ed è utilizzato nei processi chimici che prevedono acidi organici, caustici e cloridrici

**Pelatura:** metodo di applicazione di una forza ad un giunto in cui uno o entrambi gli aderenti sono flessibili e lo sforzo è concentrato su di una linea di delimitazione, in meccanica rappresenta una lavorazione per asportazione di truciolo, eseguita su barre a sezione circolare. Le macchine preposte a tale lavorazione sono costituite da una testa pelatrice rotante (su cui sono disposti quattro utensili) e da una serie di rulli spintori che provvedono all'avanzamento della barra. La pelatura, che solitamente è seguita da un'operazione di rullatura ed eventualmente rettifica, provvede ad eliminare le difettosità superficiali dovute alla laminazione (cricche, porosità e sfoglie).

**Poise:** è l'unità di misura nel sistema CGS (centimetro-grammo-secondo) della viscosità dinamica viene indicata con il simbolo P. L'unità prende il nome dal fisico Jean Louis Marie Poiseuille:  $1 P = g/cm*s$  ( acqua = 0,0089 P a 25 °C e aria = 0,00018 P a 20 °C).

**Tough-Pitch Copper:** rame raffinato in forno a riverbero per correggere il contenuto di ossigeno ad una percentuale compresa tra 0,2 e 0,5 %.

## 2. Il rame

Elemento metallico marrone-rosso, di simbolo Cu e numero atomico 29, con struttura reticolare cubica a facce centrate. In natura si trova sotto forma di pirite ( $\text{CuFeS}_2$ ) nei giacimenti (fig.1). I dissolfuri di ferro, tra i più importanti minerali che contengono rame, vengono frantumati e concentrati tramite flottazione, quindi fusi in un forno a riverbero, dove si produce rame metallico grezzo. In questo stato il rame non è utilizzabile in quanto contiene molte impurità come zolfo e ossigeno. Quindi è necessario un processo di raffinamento condotto in appositi forni con atmosfere controllate in modo da ossidare lo zolfo e l'ossigeno, oppure, per una purificazione più accurata, si adottano processi elettrochimici come la deposizione elettrolitica fino a ottenere un prodotto puro al 99,9%.

Il rame fonde a  $1083^\circ\text{C}$ , la densità relativa è  $8,96 \text{ g/cm}^3$  ed è caratterizzato da elevata conducibilità termica  $397 \text{ W/mK}$  ed elettrica, buona resistenza alla corrosione, malleabilità, duttilità e trova quindi moltissime applicazioni.

Il rame puro è molto morbido e per essere lavorato deve essere indurito; al contrario le leghe di rame, sono dure e resistenti, hanno elevata resistenza elettrica e di conseguenza non possono essere utilizzate come materiale conduttore. Le proprietà meccaniche del rame dipendono sensibilmente dalle sue caratteristiche microstrutturali e dai processi meccanici ai quali è stato sottoposto come rullatura, pressatura, forgiatura e lavorazioni a freddo. La resistenza a trazione del rame così come esce dalla fonderia è di circa  $160 \text{ N/mm}^2$ . La rullatura a caldo e la forgiatura, seguite da ricottura, modificano la microstruttura del rame ed accrescono la sua resistenza a trazione fino a  $220 \text{ N/mm}^2$ . Le lavorazioni a freddo, come la martellatura e la pressatura, induriscono il rame e ne aumentano ulteriormente la resistenza ma allo stesso tempo ne riducono la duttilità.

Lavorazioni a freddo molto pesanti possono portare il rame ad una resistenza paragonabile a quella dell'acciaio dolce, ma a questo punto la duttilità è drasticamente ridotta. Le più importanti leghe sono l'ottone, una lega di zinco, il bronzo e una lega di stagno; il rame viene anche utilizzato in lega con oro, argento e nichel.

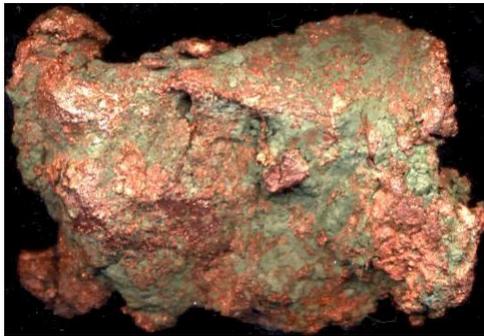


Fig. 1: pirite

Il rame e le sue leghe possono essere facilmente assemblate attraverso uno dei vari processi meccanici (aggraffatura, rivettaggio, bullonature), o di saldatura (saldatura a stagno, brasatura, saldatura ad arco), comunemente usati per unire componenti metallici. Stagno e zinco riducono la capacità di brasare leghe di rame, mentre i residui fosforosi la aumentano, in quanto il fosforo si combina con l'ossigeno assorbito, prevenendo la formazione di ossidi di rame durante la brasatura. La scelta del miglior metodo di giunzione è fatta in base a: requisiti di impiego, configurazione della giunzione, spessore dei componenti e composizione delle leghe.

Nel rame da fusione il contenuto di ossigeno varia tra il 0.025% e il 0.080% e si trova sotto forma di minuscole particelle di ossido ( $\text{CuO}_2$ ). La quantità di ossigeno nel rame è molto importante sotto l'aspetto della brasatura, durante la fusione, l'ossido di rame forma un eutettico con il rame e tende a depositarsi lungo i bordi dei grani. Questo fenomeno riduce la duttilità del metallo e ne aumenta drasticamente la tendenza a frattura. Se inoltre è presente dell'idrogeno  $\text{H}_2$ , come nel caso di una fiamma riducente, questo reagisce con l'ossido di rame liberando acqua. Quest'ultima, che ovviamente si trova in fase vapore, crea porosità nel rame aumentando la tendenza a frattura. A questo scopo si impiegano elementi disossidanti che vengono aggiunti al bagno di fusione come fosforo, silicio, litio, magnesio, che si combinano con l'ossigeno presente nel rame.

Le lavorazioni a freddo generano un gran numero di dislocazioni quindi per recuperare malleabilità si deve effettuare una ricottura sopra i  $500^\circ\text{C}$  seguita da un raffreddamento rapido per rimuovere impurità e incrostazioni superficiali. Durante la ricottura avviene la ricristallizzazione ovvero la formazione di nuovi grani essendo questa crescita molto lenta in fase di raffreddamento le caratteristiche microstrutturali restano invariate.

Lo 0.05% di arsenico nel rame ha effetti di migliorare le proprietà di tenacità e resistenza del metallo. Inoltre viene migliorata la resistenza a fatica e incrementata di circa  $100^\circ\text{C}$  la temperatura di rilassamento degli sforzi in modo da rendere il rame resistente a temperature più alte. Tuttavia, nei processi di brasatura, l'arsenico è un elemento indesiderato perché rende più difficile la brasatura stessa e richiede una maggior competenza dell'operatore.

## 4. Geometria dei giunti

Il giunto deve essere progettato correttamente e fabbricato alle tolleranze che consentiranno un flusso adeguato del metallo di apporto, la sua geometria svolge un ruolo significativo sia nella resistenza che nell'economia. La tolleranza tra le superfici affacciate alla temperatura di brasatura rappresenta, quindi, il più importante parametro per la correttezza dell'accoppiamento, in considerazione anche delle variazioni indotte dall'espansione termica al variare della temperatura.

In generale la resistenza meccanica del giunto cresce al diminuire della distanza tra i lembi; ciò è dovuto al vincolo meccanico che il materiale base esercita nei confronti dello scorrimento della lega, quando quest'ultima è sottoposta ad uno stato tensionale. Tipicamente, i materiali d'apporto hanno una resistenza al taglio inferiore rispetto ai materiali base e pertanto la distanza tra i lembi deve essere sufficiente a creare un legame tra i due; per giunti tubolari, alla temperatura di brasatura, è buona norma che le distanze tra i lembi siano comprese tra 0,025 mm e 0,125 mm. Meati più grandi sono difficili da riempire e determinano un maggior consumo di materiale d'apporto senza aumento della resistenza, mentre meati più piccoli possono essere non completamente riempiti per difficoltà di penetrazione del materiale d'apporto. Il tipo di giunto più utilizzato è quello a lembi sovrapposti perché sono facilmente allineabili e autobloccanti. In caso di tubazioni la sovrapposizione può avvenire tra due tubi con diametri differenti, utilizzando manicotti di raccordo oppure creando un "bicchiere" su uno dei due tubi da collegare tramite un espansore calibrato. L'area di unione può essere variata, ma la massima resistenza alle sollecitazioni di taglio si ottiene con lunghezza di sovrapposizione pari a tre volte lo spessore dell'elemento più sottile, si raccomanda, comunque, una minima lunghezza di sovrapposizione pari a 5 mm. Nei giunti a sovrapposizione vi è un incremento del diametro e una concentrazione delle tensioni, il giunto correttamente brasato risulterà però, avere una resistenza maggiore rispetto a quella del materiale base.

Oltre al giunto a sovrapposizione esistono altri tipi di collegamenti ovvero: testa a testa, a T, misto e a lembi obliqui come indicato in fig. 2.

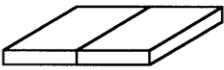
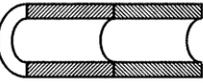
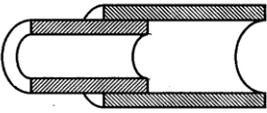
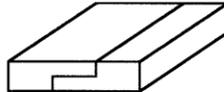
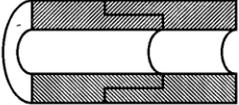
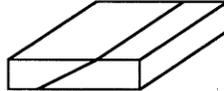
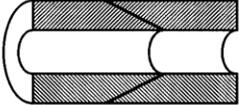
Giunti	Piani	Tubolari
di testa		
a sovrapposizione		
misto		
a lembi obliqui		

Fig. 2: tipi di giunti

### Suggerimenti:

- ⇒ evitare sollecitazioni di pelatura;
- ⇒ prevedere giochi di brasatura paralleli (incrementare la sezione nella direzione di scorrimento della lega ha effetti negativi sulla capillarità);
- ⇒ le superfici rettificate e lucide sono difficilmente umettabili, prevedere quindi una rugosità  $R_a=10-25 \mu\text{m}$ , favorevoli sono le rigature di lavorazione nella direzione di scorrimento della lega;
- ⇒ prevedere nervature, pieghe e flangiature per scaricare le tensioni dei giunti in presenza di sollecitazioni dinamiche;
- ⇒ per brasatura a forno prevedere materiali base con pareti di spessore il più sottile possibile in modo che si riscaldino in ugual misura, in caso di materiali diversi fare attenzione alle diverse dilatazioni termiche;
- ⇒ assicurare lo scarico del flusso evitando cuscinetti d'aria che impediscano il riempimento completo della lega d'apporto.

## 5. Lega brasante

### 5.1 Scelta della lega

Le leghe d'apporto più utilizzate per la brasatura del rame possono essere del tipo: rame-fosforo, argento-rame-fosforo, argento-rame-zinco-stagno, tutte queste leghe sono caratterizzate da basse temperature di lavoro.

#### 5.1.1 Leghe contenenti fosforo

Le leghe *rame-fosforo* e *argento-rame-fosforo* sono auto-flussanti ovvero sono utilizzate senza l'uso del disossidante per giunti rame-rame visto la notevole affinità tra fosforo e ossigeno. Il fosforo reagisce con l'ossigeno dell'aria diventando il pentossido fosforico che reagendo con l'ossido di rame forma a sua volta sulla superficie del metallo base (rame) il metafosfato di rame. Questo composto ha un effetto flussante, ha un basso punto di fusione e allo stesso tempo copre con azione protettiva la lega fusa attraverso uno strato grigiastro; non è corrosivo quindi non è necessario rimuoverlo dopo la brasatura. Le caratteristiche meccaniche del giunto sono molto buone per quanto riguarda la resistenza a trazione, ma pessime per l'allungamento. E' da tener presente che il fosforo forma composti intermetallici fragili nel caso di brasature di materiali contenenti più del 3% di ferro, nichel o cobalto con la possibilità di rottura dei giunti se sottoposti a carichi modesti.

L'aggiunta dell'argento nelle leghe rame-fosforo provoca l'aumento della duttilità e la diminuzione della temperatura di solidus della lega. Per brasature in forno con atmosfera controllata o con gas inerte, le leghe contenenti fosforo possono essere applicate su rame e bronzi di rame-stagno senza l'impiego di disossidanti.

In generale le leghe contenenti fosforo non dovrebbero essere impiegate per brasare giunti esposti ad ambienti di lavoro ad alta concentrazione di zolfo (es. cartiere, zone vulcaniche) infatti con queste atmosfere avviene la rapida corrosione del giunto brasato con possibile rottura. Le applicazioni tipiche per questo gruppo di leghe sono nel settore condizionamento, refrigerazione e riscaldamento.

LEGA	%	%	%	%	%	INTERV. DI FUSIONE in °C	TEMP. DI LAVORO in °C	DIN EN	ISO
	Ag	Cu	P	Sn	Si			1044	17672
S 18	18	75	7	-	-	645	650	CP 101	CuP 286
S 15	15	80	5	-	-	645 - 800	700	CP 102	CuP 284
S 6	6	87	7	-	-	645 - 720	-	-	CuP283
S 5 special	5	resto	6	-	0,001-0,05	645 - 815	710	-	-
S 5	5	89	6	-	-	645 - 815	710	CP 104	CuP 281 <sup>a</sup>
S 5	5	89	6	-	-	645 - 815	710	CP 104	CuP 281
S 2 special	2	resto	6,3	-	0,001-0,05	645 - 825	740	-	-
S 2	2	91,7	6,3	-	-	645 - 825	740	CP 105	CuP 279
S2 AS	2	resto	7	-	-	643-788	732	-	CuP 280
S 606	0,6	93,2	6,2	-	-	710 - 870	-	-	-
S 805	0,5	92	7,5	-	-	710 - 870	-	-	-
S 802	0,2	91,9	7,9	-	-	715 - 875	-	-	-
S 94	-	93,8	6,2	-	-	710 - 890	760	CP 203	CuP 179
S 93 special	-	resto	7	-	0,001-0,07	710 - 820	730	-	-
S 93	-	93	7	-	-	710 - 820	730	CP 202	CuP 180
S 92	-	92,2	7,8	-	-	710 - 770	720	CP 201	CuP 182
S 86	-	86,2	6,8	7	-	650 - 700	700	CP 302	CuP 386



Fig. 3: le barrette



Fig. 4: il filo

### 5.1.2 Leghe argento-rame-zinc-stagno

Nelle leghe *argento-rame-zinc-stagno* la temperatura di lavoro diminuisce all'aumentare del contenuto d'argento mentre la fluidità aumenta con il suo incremento percentuale. Queste leghe sono ottime per la brasatura di diversi materiali rame-acciaio, rame-ferro, rame-ottone, necessitano sempre dell'uso del disossidante per permettere la bagnabilità delle superfici. Aggiungendo una piccola quantità di silicio si ottiene una lega che protegge il bagno fuso e disossida gli elementi più ossidanti della lega; la silice che si forma, essendo insolubile, si raccoglie come scoria sulla superficie del bagno di fusione migliorando le condizioni di bagnatura del metallo base. Queste leghe sono ecologiche ovvero non contengono cadmio, i cui fumi se inalati risultano cancerogeni.

La brasatura in forno con atmosfera riducente dell'ottone è sconsigliata in quanto con il riscaldamento i vapori di zinco condensano formando stalattiti di ossido di zinco nelle camere di raffreddamento compromettendo così il funzionamento del forno. Le applicazioni tipiche per questo gruppo di leghe sono giunzioni di materiali eterogenei oppure dove è necessaria una elevata resistenza alle sollecitazioni.

LEGA	%	%	%	%	%	INTERV. DI FUSIONE in °C	TEMP. LAVORO in °C	DIN EN	ISO
	Ag	Cu	Zn	Sn	Si			1044	17672
7501	74	18	8	-	-	740 - 780	-	-	-
7291	72	-	28	-	-	710 - 730	730	-	-
7200	72	28	-	-	-	780	780	AG 401	Ag 272
6751	67,5	23,5	9	-	-	700 - 730	730	-	-
6009	60	30	10	-	-	600 - 730	720	AG 402	Ag 160
6002	60	23	14,5	2,5	-	620 - 685	680	AG 101	-
6001	60	26	14	-	-	695 - 730	710	AG 202	-
5600	56	22	17	5	-	620 - 655	650	AG 102	Ag 156
5507	55	21	22	2	-	630 - 660	660	AG 103	Ag 155
4576	45	27	25,5	2,5	-	640 - 680	670	AG 104	Ag 145
4404	44	30	26	-	-	675 - 735	730	AG 203	Ag 244
4076	40	30	28	2	-	650 - 710	690	AG 105	Ag 140
3876	38	31	29	2	-	650 - 720	720	-	Ag 138
3500	35	31,5	33,5	-	0,15	685 - 755	-	-	-
3476	34	36	27,5	2,5	-	630 - 730	710	AG 106	Ag 134
3375	33	33,5	33,5	-	-	680 - 750	-	-	-
3076	30	36	32	2	-	665 - 755	740	AG 107	Ag 130

3075	30	38	32	-	-	680 - 765	750	AG 204	Ag 230
2576	25	40	33	2	-	680 - 760	750	AG 108	Ag 125
2500	25	40	35	-	-	700 - 790	780	AG 205	Ag 225
2009	20	44	38,85	-	0,15	690 - 810	810	AG 206	Ag 220
1875	18	46	36	-	-	690 - 810	-	-	-
1204	12	48	39,85	-	0,15	800 - 830	830	AG 207	Ag 212
503	5	55	39,85	-	0,15	820 - 870	860	AG 208	Ag 205

### 5.1.3 Leghe argento-rame-zinco-stagno rivestite

Le leghe argento-rame-zinco-stagno possono essere fornite in formato di barrette ricoperte con uno strato di disossidante. E' possibile in un'unica fase disossidare la superficie da brasare e successivamente applicare la lega d'apporto fruttando le diverse temperature di lavoro del flusso e della lega. Le barrette rivestite sono particolarmente adatte per la giunzione di tubazioni di diversi materiali dove è necessario l'uso del disossidante, riscaldando il giunto e portando a contatto la parte esterna della barretta si fonde il disossidante lasciando scoperta la lega d'apporto; continuando a riscaldare si raggiungerà la temperatura di fusione della lega. Le migliori leghe ricoperte in commercio risultano essere inodore, flessibili e non rilasciano fumo.

Le principali leghe rivestite:

LEGA*	% Ag	INTERVALLO DI FUSIONE in °C	TEMPERATURA DI LAVORO in °C
6009U	60	600 - 730	720
5600U	56	620 - 655	650
5507U	55	630 - 660	660
4576U	45	640 - 680	670
4404U	44	675 - 735	730
4076U	40	650 - 710	690
3876U	38	660 - 720	720
3476U	34	630 - 730	710
3375U	33	680 - 750	-
3076U	30	665 - 755	740
3075U	30	680 - 765	750
2576U	25	680 - 760	750
2500U	25	700 - 790	780
2009U	20	690 - 810	810
1875U	18	690 - 810	-
1204U	12	800 - 830	830
503U	5	820 - 870	860



Fig. 5: barrette rivestite

### 5.2 Tempi di brasatura

Il tempo minimo di brasatura è strettamente legato al tempo necessario per la pulizia del giunto. Con il riscaldamento oltre i 100 °C l'acqua contenuta nel disossidante evapora. Gli ossidi metallici del materiale base reagiscono con i borati alcalini e i fluoruri dissolvendosi. Il tutto avviene in circa 5-10 secondi.

Il tempo massimo di brasatura è stabilito dalla capacità di dissolvimento del flusso degli ossidi metallici. Essi, infatti, non possono essere riscaldati per periodi troppo lunghi. Nella fig. A si vede una superficie metallica ricoperta di ossido (strato nero) e sopra uno strato di flusso; durante il processo di riscaldamento, attraverso il rivestimento di

disossidante penetra costantemente una certa quantità di ossigeno che fa ossidare nuovamente la superficie metallica. Una volta raggiunta la temperatura di lavoro del flusso, quest'ultimo dissolve la pellicola di ossido ed anche l'ossido che si riforma immediatamente fig. B. Dopo circa 4 minuti di riscaldamento, il disossidante inizia ad essere saturo di ossidi metallici fig. C; continuando a riscaldare oltre i 5 minuti, il flusso non è più in grado di dissolvere gli ossidi metallici e sulla superficie si forma nuovamente una pellicola di ossido. Il tempo di brasatura in aria non deve superare i 5 minuti per mantenere integra l'azione del flusso, si consiglia di eseguire la brasatura in un tempo inferiore ai 2 minuti. Se un pezzo è stato riscaldato troppo lentamente ed il disossidante è quindi saturo di ossidi metallici, un'ulteriore applicazione di flusso è inutile, i pezzi da brasare devono essere puliti nuovamente e la brasatura dovrà essere ripetuta con una fonte di calore più potente che permetta tempi di brasatura ridotti. I tempi di brasatura e la durata del disossidante aumentano considerevolmente per quei pezzi che sono riscaldati in atmosfera povera di

ossigeno o senza ossigeno: tipicamente pezzi di grande spessore possono essere portati alla temperatura di brasatura soltanto in forno.

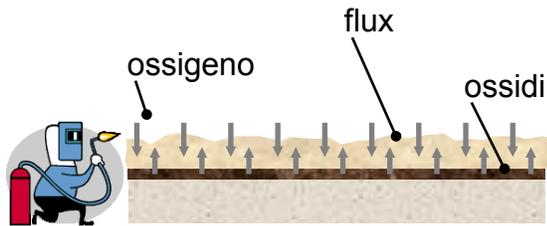


Fig. A: 0 minuti

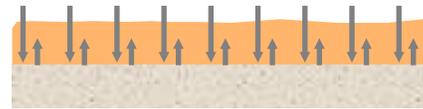


Fig. C: 4 minuti

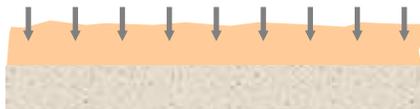


Fig. B: 0-0,5 minuti

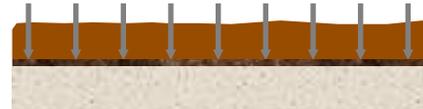


Fig. D: più di 5 minuti

Nella tabella sottostante è indicato un esempio di consumo medio di lega brasante BT 94 utilizzando un cannello per brasatura ossiacetilenica per giunzioni di tubo rame-rame in funzione del diametro del tubo.

CONSUMI IN FUNZIONE DEL DIAMETRO DEL TUBO		
Ø tubo in mm	Consumo di lega BT94 in g	Punta per brasatura ossiacetilene per tubi in rame DIN 8543
12	0,5	2
15	0,75	
18	0,90	3
22	1,55	
28	2,25	4
35	4,35	
42	6,00	5
54	9,00	

## 6. Il disossidante

### 6.1 Scelta del disossidante

La prima operazione da eseguire riguarda la pulizia dei componenti, in particolare lo sgrassaggio tramite solventi, agenti alcalini o soluzioni sgrassanti a vapore caldo. Successivamente si procede alla rimozione degli ossidi per via meccanica attraverso spazzolatura, raschiatura, smerigliatura, limatura o sabbiatura e utilizzando agenti chimici: i disossidanti.

Il disossidante è una sostanza non metallica che ha il compito prevalente di eliminare gli ossidi presenti sulla superficie di brasatura e sul metallo d'apporto e di evitarne la formazione, la base è composta da boro e miscele di sali. Affinché sia efficace il disossidante deve avere una temperatura di lavoro inferiore di almeno 50 °C rispetto al metallo d'apporto, inoltre deve formare una pellicola uniforme ed ermetica che si mantenga tale alla temperatura di brasatura. Il flusso fuso dovrà avere una viscosità compresa tra 1-10 Poise, ed essere abbastanza aderente alle superfici verticali per un tempo sufficientemente lungo ad eliminare gli ossidi ed avere una bassa adesione per garantire lo scambio completo con il materiale d'apporto.

I disossidanti possono essere in polvere, liquidi o in pasta, quest'ultimi hanno una consistenza ottimale, aderiscono anche su superfici inclinate o verticali e non sono rimossi dalla pressione dei gas della fiamma. La pasta di disossidante contiene particelle finissime di cristalli che garantiscono una fusione uniforme ed un rivestimento ermetico del pezzo in corrispondenza del giunto; se le particelle hanno dimensione minima si ha la migliore azione disossidante perché risulta massima l'area della superficie che reagisce con le impurezze. L'applicazione del flusso può avvenire manualmente o in automatico con distributore o a spruzzo o per immersione del materiale d'apporto caldo: esistono inoltre barrette di lega brasante rivestite di disossidante.

I fattori che influiscono sulla scelta del disossidante sono nell'ordine:

1. materiale base
2. materiale d'apporto
3. processo di brasatura
4. configurazione del giunto
5. metodo di dispersione del flusso
6. facilità di pulizia

#### Consigli per un buon disossidante:

- ⇒ campo termico d'azione possibilmente basso;
- ⇒ rapida dissoluzione degli ossidi;
- ⇒ capacità di proteggere la superficie del pezzo dal contatto diretto con l'aria mediante un rivestimento ermetico e di rapida formazione.

Flux	Stato	Range T. work °C	DIN EN 1045	Commenti
H	PT PS	550-800	FH10	Universale
H 80	PT	550-800	FH10	Adatto per processi ad induzione e tempi di brasatura inferiori a 30 sec
GF56 e G70	L	> 750 °C	-	Tipo Gasflux liquido
H280	PT	500-800	FH10	Adatto per l'applicazione con dosatore
N1/T	P	550-800	FH10	Universale
SUPER 1	P	550-800	FH10	Universale
P= polvere; PT= pasta; L= liquido; PS = polvere spruzzabile				

La quantità di flusso da applicare deve essere sufficientemente grande da dissolvere completamente gli ossidi (es. per metalli lucidi con strato di ossido è di 30-50 nm, per dissolverlo si vede applicare circa 0,01 mm di spessore di flusso, il doppio in caso di meato a due pareti), se la distanza dei metalli base risulta troppo ridotta e non si riesce a garantire una perfetta bagnatura del metallo d'apporto, la larghezza minima è di 0,02 mm: si consigliano meati di 0,05 mm e 0,1 mm rispettivamente per leghe d'apporto basso e alto fondenti.

I flussanti possono essere suddivisi in base alla tipologia dei loro residui nel seguente modo:

- corrosivi: composti da acidi e sali inorganici;
- autoneutralizzati: costituiti da acidi, basi organiche, alogeni organici, ammine ed amidi;
- non corrosivi: formati da resina e in alcuni casi da alcool.

Normalmente la scelta del disossidante, a parità di caratteristiche, ricade sul meno corrosivo, nella realtà ciò non sempre è possibile quindi dopo la brasatura si ricorre al raffreddamento del pezzo in aria fino alla solidificazione della lega brasante e a partire dai 400 °C in acqua. Il flusso vetrificato è rimosso con acqua calda o tramite spazzolatura oppure per una rimozione più rapida si utilizza una soluzione calda di acido solforico al 5-10%.

## 6.2 Disossidanti tipo Gasflux

Un altro metodo di pulizia delle superfici dagli ossidi consiste nell'impiego del disossidante tipo Gasflux. Questa tecnica è utilizzata per brasature con cannello a temperature molto alte, infatti l'efficacia si riscontra al di sopra dei 750 °C; il gas combustibile, che deve essere secco per evitare l'idrolisi del disossidante limitandone l'efficacia, è fatto passare attraverso la miscela di flusso liquido volatile (borati alcalini, fluoruri alcalini, esteri di acido borico e solvente) arricchendosi così di disossidante. La funzione disossidante si genera nella fiamma che acquista un colore verde, in essa, l'acido borico si deposita in forma liquida sul pezzo riscaldato dissolvendo chimicamente la pellicola di ossido presente sul metallo e proteggendo la superficie dall'ossidazione dovuta all'ossigeno nell'aria.

Il disossidante liquido si applica generalmente per tubazioni o tra pezzi con grande gioco (oltre 0,5 mm) con l'inconveniente di perdere l'azione capillare della lega d'apporto e di conseguenza un maggior consumo di lega; il disossidante non riesce a penetrare all'interno del meato quindi la sua efficacia si limita alla superficie colpita dalla fiamma e il metallo d'apporto non può bagnare le superfici dei giunti sovrapposti diminuendo così la resistenza della brasatura.

Un altro elemento da tenere è la riduzione dell'apporto di calore della fiamma causato dall'energia necessaria per riscaldare il disossidante ed il conseguente prolungamento del tempo di brasatura per raggiungere la temperatura di fusione della lega, condizione non raccomandabile per giunti a spessore sottile.

Per l'applicazione del disossidante tipo Gasflux è necessario usare occhiali, guanti e indumenti protettivi in quanto trattasi di materiale infiammabile, questo metodo ha però, due grandi vantaggi: 1) permette di evitare l'applicazione del disossidante "tradizionale" sul pezzo prima del riscaldamento riducendo i tempi del processo di brasatura; 2) lascia trascurabili residui idrosolubili sul giunto.

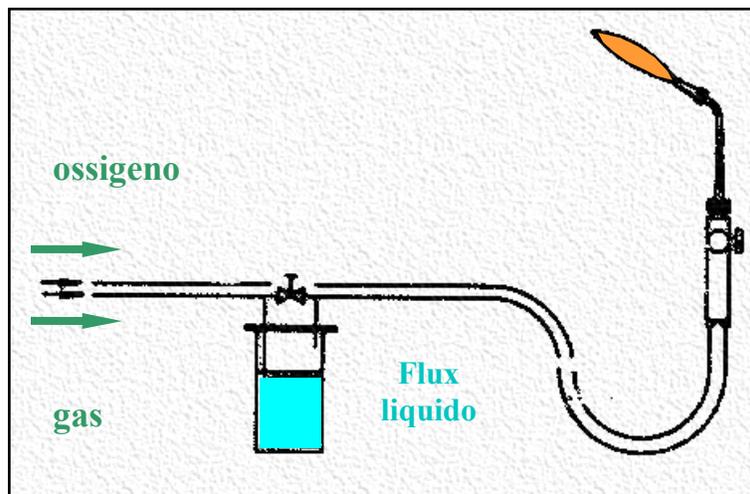


Fig. 6: cannello con disossidante tipo Gasflux

## 7. Scelta del processo e dei parametri di brasatura

La scelta del processo di brasatura da adottare dipende dal tipo di materiale base, dalle dimensioni dei pezzi, dalla produttività richiesta, dal livello di addestramento dell'operatore, dalla qualità richiesta e dal costo dell'impianto. Esistono diversi processi che si distinguono per le diverse modalità di riscaldamento.

Processi principali	Processi minori
Brasatura al cannello	Brasatura a fascio elettronico
Brasatura in forno	Brasatura esotermica
Brasatura ad induzione	Brasatura all'infrarosso
Brasatura a resistenza elettrica	Brasatura al laser
Brasatura ad immersione	Brasatura a fasi successive (step brazing)

### 7.1 Brasatura a cannello

La brasatura a cannello è detta anche brasatura con gas in quanto utilizza il calore di una fiamma ottenuta dall'unione di un gas con l'ossigeno; si esegue sia con torce manuali che con bruciatori automatici e rappresentano il processo più diffuso nel settore delle manutenzioni e riparazioni di tubi di piccolo diametro o manufatti leggeri. L'impianto di brasatura a cannello è facilmente trasportabile, ha un basso costo e permette di eseguire la brasatura in tutte le posizioni anche se il massimo spessore di materiale economicamente conveniente è attorno ai 6 mm.

#### 7.1.1 Il cannello

Il cannello è lo strumento che permette di miscelare al suo interno il combustibile e il comburente; è solitamente in alluminio con rubinetti di comando e punte o lance di varie dimensioni o forme (biforcute per un riscaldamento più veloce e uniforme) con cui se ne varia la portata dei gas. La potenza del cannello si misura in l/h di combustibile bruciato, tale parametro dipende dal tipo di punta adottata e dalla temperatura di brasatura a cui il giunto deve essere riscaldato.



Fig. 7: il cannello

Per l'accensione si provvederà dapprima all'apertura del rubinetto dell'ossigeno (1-4 bar) e quindi avvicinandolo ad una fiamma di aprirà il getto dell'acetilene (0,3-1 bar) invertendo la sequenza delle operazioni si avrà una fiamma fuliginosa che essendo scarsa di ossigeno sporcherà l'ugello. La regolazione deve essere tale da ottenere una fiamma stabile e morbida, in particolare si aumenterà di poco l'ossigeno con la conseguente riduzione del dardo azzurro al centro della fiamma poi si aumenterà il flusso di acetilene ottenendo l'allungamento della fiamma e del dardo azzurro. Ripetendo la regolazione più volte si otterrà una fiamma che può variare in lunghezza da 15-20 mm fino a 60-100mm a seconda del cannello.

La fiamma è costituita da diverse zone: 1) il dardo di colore bianco abbagliante situato in prossimità della punta in cui si ha la combustione primaria dei gas con la formazione di ossido di carbonio, idrogeno e calore; 2) zona di brasatura in cui i gas della prima combustione a contatto con l'ossigeno presente nell'aria si ossidano ulteriormente trasformandosi in CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O e raggiungendo la temperatura massima; 3) fiocco o pennacchio è un'area luminosa dovuta alla luce emessa dai gas e dai vapori alle alte temperature costituita essenzialmente dai prodotti finali della combustione (azoto e ossigeno atmosferico in eccesso).

Il ritorno di fiamma è un fenomeno che si verifica a causa del surriscaldamento od ostruzione della punta del cannello; la combustione si sposta all'interno del cannello dando luogo a detonazioni fino allo spegnimento. Si deve spegnere prima l'acetilene poi l'ossigeno quindi procedere al raffreddamento in acqua lasciando una piccola erogazione di ossigeno e pulire la punta con materiali in ottone e non ferro per non danneggiarla.

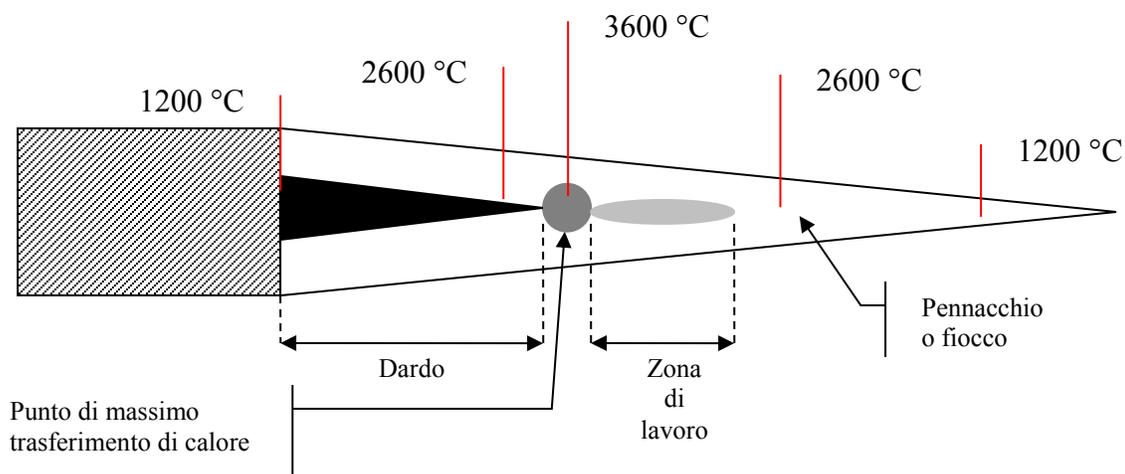


Fig. 8: andamento della temperatura in una fiamma ossiacetilenica

### Attenzione

- ⇒ Fiamma riducente o carburante (eccesso di acetilene) provoca una carenza di ossigeno. Per completare la combustione si utilizza l'ossigeno dell'aria circostante raggiungendo la massima temperatura, il dardo, frastagliato all'estremità, si allunga con emissione di fumo dalla zona esterna mentre la zona a valle appare di colore giallo-rossastro. I gas incombusti di idrogeno e carbonio tendono a passare nel bagno lambito provocando la formazione di carburi molto duri ma fragili e soffiature nel giunto. Questo tipo di fiamma si può utilizzare per la brasatura della ghisa o dell'acciaio ad alto tenore di carbonio.
- ⇒ Fiamma ossidante (eccesso di ossigeno) provoca l'attenuazione della luminosità e della lunghezza del dardo di colore azzurro, cede ossigeno al bagno lambito e può essere fonte di ossidi diffusi e di bruciatura del giunto. Questa fiamma è adatta per la brasatura di ottoni e bronzi.
- ⇒ Fiamma neutra (ugual portata volumetrica di ossigeno e acetilene) visivamente è formata da un cono bianco con netti contorni alla punta del cannello, se ben regolata ha una lunghezza di 25-30 mm ed è la condizione ottimale per la brasatura.

L'impianto per la brasatura a cannello richiede inoltre alcuni accessori quali: bombole, riduttori di pressione, valvole di sicurezza, tubazioni flessibili, economizzatore, pannelli parafiamma, aspiratori di fumi, guanti e occhiali protettivi.

### 7.1.2 I gas

La brasatura a cannello si può eseguire con cannelli ossi-gas o aero-gas: il gas più utilizzato è l'acetilene ma sono impiegati anche il metano, il propano, il butano, l'idrogeno, il gas illuminante, la benzina o il benzolo.

La scelta del gas combustibile e del relativo comburente è funzionale al tipo di fiamma che gli stessi producono, dell'applicazione, della sicurezza, dell'ecologia, della produttività e dell'economicità.

Combustibile	Comburente: tempo in minuti necessario per bruciare 1 m <sup>3</sup> di gas		Temperatura massima ottenibile °C	Potere calorifico inferiore in kCal		Potenza specifiche di superficie kW/cm <sup>2</sup>	Densità aria=1
	Ossigeno	Aria		per 1 kg	a 0°C, a 1atm, per 1m <sup>3</sup>		
Idrogeno	0,5	2,39	2830	28700	2570	8,5	0,07
Acetilene	2,5	11,95	3170	11600	13600	18	0,899
GPL	5,5	26	2940	11000	21700	5,5	1,56
Metano	2	9,56	2790	11900	8550	5,5	0,554
Proprano	5	23,9	2850	11050	22350	4,5	1,52

L'acetilene è un gas incolore che odora di uova marce a causa delle impurità (fosfine e arsine) presenti. Ha una densità inferiore all'aria, è poco solubile in acqua e si scioglie in diversi liquidi organici. La pressione massima di sicurezza per evitare esplosioni è 1,5 bar, generalmente la pressione media è di 50-500 mbar, mentre la bassa pressione è minore di 50 mbar. Esiste anche l'acetilene disciolto in acetone e compresso in bombole con riduttore fino a 10-15 bar, ciò permette di evitare i problemi connessi al pericolo aumentando la quantità immagazzinabile a parità di bombola.

Gas a base di idrogeno combinandosi con l'ossigeno genera una fiamma con temperatura più bassa rispetto all'acetilene, è quindi impiegato per brasature di metalli a basso punto di fusione come alluminio, piombo e magnesio. La fiamma ossidrica, ad esempio, è quasi invisibile e perciò è di non facile regolazione in teoria la proporzione della miscela consiste in due volumi di idrogeno e uno di ossigeno.

La benzina o il benzolo possono essere impiegati come combustibili al posto dei gas, per evitare l'aggressione e dissoluzione dei tubi tradizionali in gomma, arrivano al cannello attraverso un tubo di ottone a spirale. La fiamma principale è investita da una fiamma addizionale che serve a gassificare il combustibile; l'uso di questi combustibili è legato principalmente alla brasatura del piombo.

### 7.1.3 I comburenti

L'aria è una miscela composta per il 78% da azoto, per il 21% da ossigeno e per lo 0,03% da anidride carbonica, più altri componenti in quantità minori; l'aria è aspirata dall'ambiente attraverso ugelli nell'impugnatura del cannello, essa genera combinata con il gas una fiamma che riscalda meno, quindi questo comburente è adatto per brasature che richiedono un calore dolce e diffuso in particolare su piccoli pezzi e su spessori sottili.

L'ossigeno è un gas incolore, inodore e insapore poco più pesante dell'aria. Tramite il fenomeno dell'ossidazione si combina con diverse sostanze producendo luce e calore; l'ossigeno viene estratto dall'acqua con il costoso e poco usato metodo dell'elettrolisi oppure dall'aria attraverso il processo di liquefazione ottenendo un grado di purezza del 99,8%. L'ossigeno, stabile a tutte le pressioni e temperature, a freddo attacca lentamente vari metalli producendo gli ossidi ed è immagazzinato e trasportato in bombole d'acciaio. Le bombole utilizzate hanno capacità di 40 l contengono circa 5-6 m<sup>3</sup> di ossigeno alla pressione di 125-150 bar e pesano circa 75 Kg l'una.

Le fiamme ossi-gas hanno una maggiore e localizzata capacità di riscaldamento specialmente per pezzi spessi e di forte capacità termica, in combinazione con l'acetilene si raggiungono le più alte temperature, il più sicuro controllo termico e la maggiore rapidità di riscaldamento.

Consumo acetilene alla punta l/h	Consumo in l/h di ossigeno usando acetilene	
	a bassa pressione (12-30 mbar)	disciolto o compresso (100-500 mbar)
25	30-32	25-28
50	60-65	50-55
75	90-97	75-83
100	120-130	100-110
150	180-195	150-165
225	270-292	225-248
300	360-390	300-330
400	480-520	400-440
500	600-650	500-550
600	720-780	600-660
750	900-975	750-825
900	1080-1170	900-990
1000	1200-1300	1000-1100
1200	1400-1560	1200-1320
1500	1800-1950	1500-1650
2000	2400-2600	2000-2200

#### 7.1.4 Tecnica esecutiva

Il procedimento di brasatura manuale a cannello è molto antico in quanto è di facile adattabilità ai diversi pezzi ed è impiegato in presenza di produzioni di serie limitate. I giunti devono essere portati alla temperatura di scorrimento della lega brasante nel minor tempo possibile (solitamente si utilizzano cannelli con potenza relativamente elevata e di forma biforcuta) per non provocare cambiamenti nella microstruttura del materiale base, il riscaldamento deve avvenire in modo uniforme utilizzando il pennacchio della fiamma anziché il dardo. La fiamma deve essere mossa intorno, avanti e indietro, lungo tutta la superficie all'intorno del giunto insistendo sulla parte a maggior spessore, più pesante o che richiede maggiore apporto di calore. Il disossidante deve essere applicato sui lembi prima del riscaldamento in modo che il metallo base sia ripulito durante l'apporto di calore. La lega brasante si applica una volta che il giunto si presenta di colore rosso ciliegia opaco: la giusta temperatura può essere determinata empiricamente nel momento in cui il metallo d'apporto si diffonde rapidamente nel giunto per capillarità. Lo scorrimento della lega può essere guidato con la fiamma posizionandola e quindi riscaldando quella parte del giunto verso cui si vuole far arrivare la lega, la quale non deve ricevere calore direttamente dalla fiamma ma per conduzione dal pezzo. Solitamente si usano barrette con diametro 1-3 volte lo spessore dei pezzi base, un giunto correttamente brasato presenta un deposito di lega uniforme, compatto e ben raccordato.

La brasatura a cannello può essere automatizzata predisponendo nastri trasportatori e piattaforme girevoli con cannelli multipli fissi o mobili; il carico dei pezzi, il materiale d'apporto e il disossidante sono ad alimentazione automatica oppure manuale a seconda dei lotti e dei costi di produzione.

#### 7.2 Brasatura in forno

La brasatura in forno è un processo destinato a produzioni di grandi volumi in quanto l'investimento iniziale è elevato; il riscaldamento uniformemente distribuito permette di evitare surriscaldamenti localizzati per contro però, non potendo l'operatore intervenire in fase di brasatura, devono essere predisposti in maniera opportuna il materiale d'apporto in forma di fili, anelli, foglietti o pasta e del disossidante dove richiesto.

I forni per brasatura sono spesso ad atmosfera controllata per impedire l'ossidazione delle superfici da brasare, evitare l'uso di disossidanti, eliminare la necessità di ripulire i giunti dagli ossidi dopo la brasatura e non alterare le caratteristiche della lega brasante ad elevata temperatura. L'atmosfera normalmente utilizzata deve essere riducente ovvero che riduca gli ossidi sulla superficie del pezzo, a tale scopo si procede alla combustione parziale di un gas o alla dissociazione dell'ammoniaca. Regolando la miscela gas-aria è possibile variare la composizione dell'atmosfera riducente e il suo potere decarburante, in particolare si deve agire tenendo conto della temperatura e della quantità di ossidi presente sulla superficie del metallo base, al diminuire del rapporto gas-aria cresce il potere decarburante. E' consigliabile evitare infiltrazioni di aria dall'esterno per questo oltre a limitare le aperture nel forno è bene mantenere in pressione superiore a quella atmosferica il gas riducente per evitare dispersioni all'ingresso e all'uscita del forno.



Fig. 9: il forno

L'impiego di forni al vuoto è particolarmente indicato per quei materiali che temono l'ossidazione, poiché nel vuoto l'unico modo per trasmettere calore è per irraggiamento, per riscaldare i pezzi si utilizzano delle opportune resistenze mentre una serie di schermature confina la zona calda riducendo le perdite di calore verso l'esterno e rende uniforme quanto più possibile la temperatura all'interno.

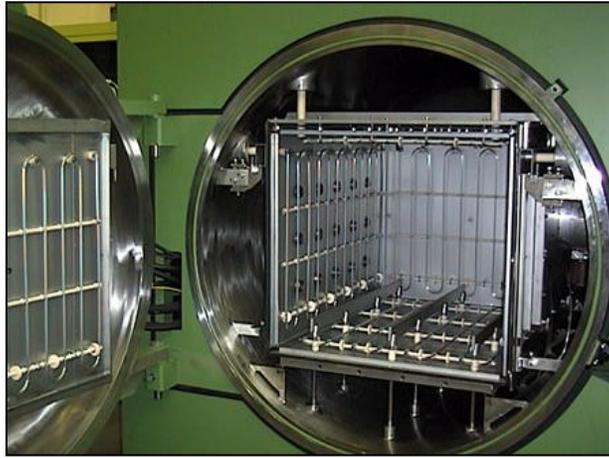


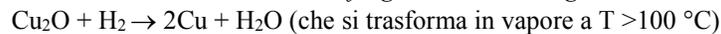
Fig. 10: il forno a vuoto

## 8. Giunti

### 8.1 Rame-Rame

Le giunzioni rame-rame o rame-leghe di rame sono solitamente brasate con materiale d'apporto CuP o AgCuP. Queste leghe sono autoflussanti e più economiche se comparate alle leghe d'argento. Il loro impiego è però sconsigliato in ambiente di lavoro con presenza di zolfo o di acqua salata poiché essi provocano la rapida corrosione del fosforo fino alla rottura del giunto; queste leghe, inoltre, non sono adatte per materiali base contenenti ferro, nichel o cobalto perché il fosforo reagendo con questi elementi forma uno strato fragile di fosfuro che provoca la rottura del giunto se sottoposto a modeste sollecitazioni.

In caso di TPC (Tough-Pitch Copper) o altri tipi di rame ad alta conduttività contenenti ossigeno si deve fare attenzione all'ambiente in cui si esegue il processo di brasatura: utilizzando il metodo a cannello con fiamma ossiacetilenica o ossi-gas si deve regolare la fiamma affinché risulti ossidante (eccesso di ossigeno). Se così non fosse gli ossidi contenuti in questi tipi di rame reagendo con una fiamma riducente formano vapore che intrappolato all'interno del rame provoca l'indebolimento del rame stesso: tale fenomeno è detto *infragilimento da idrogeno*.



Questo difetto è facilmente individuabile; ad esempio le lamine di rame sottoposte all'infragilimento da idrogeno risultano così deboli che si spezzano piegandole a mano. Esaminando la parte fratturata si nota che è di colore rosa salmone anziché color rame.



### 8.2 Rame-Acciaio ramato

La ramatura costituisce uno strato intermedio in cui il rame viene depositato per diversi motivi sul materiale base:

- come substrato per il nichel specie su leghe di zinco (Zama) per evitare l'attacco di queste da parte della soluzione di nichelatura;
- come substrato su ferro prima della nichelatura: vista la difficoltà di lucidare il ferro, lo si fa dopo la ramatura;
- per mascherare le parti di un pezzo di acciaio per le operazioni di carburazione nella produzione di circuiti stampati.

Due sono le tipologie di soluzioni di ramatura più utilizzate: quelle basiche al cianuro e quelle acide al solfato. Limitate applicazioni hanno ottenuto i bagni al pirofosfato e quelli al fluoborato. Il rame elettrodepositato da soluzioni allo stato bivalente (soluzioni rameiche) utilizzano solitamente bagni al solfato, al fluoborato, al solfammato mentre da soluzioni in cui è monovalente (soluzioni rameose) si utilizzano bagni al cianuro. Durante l'operazione di brasatura l'ossigeno presente nell'atmosfera ossida lo strato di rame superficiale del tubo ramato, successivamente l'ossido reagisce con il fosforo contenuto nella lega fusa; così facendo il materiale d'apporto dissolve lo strato di rame mettendo a diretto contatto il fosforo con l'acciaio. Il fosforo a contatto con il ferro dell'acciaio forma uno strato fragile di fosfuro di ferro Fe<sub>3</sub>P. Il giunto risulterà estremamente fragile con tendenza a rompersi a seguito di vibrazioni o carichi in esercizio.

La miglior soluzione in questo caso consiste nell'utilizzare una lega d'argento unitamente a del disossidante in modo che dopo aver dissolto lo strato di rame la bagnatura avvenga tra la lega d'argento e la superficie in acciaio.



### 8.3 Rame-Alluminio

Il rame fonde a 1083 °C mentre l'alluminio a 660 °C, per unire questi materiali non è possibile utilizzare una lega d'argento o di rame perché la loro temperatura di lavoro è maggiore della temperatura di fusione dell'alluminio, inoltre il giunto avrebbe una minor resistenza alla corrosione rispetto ai materiali base. Pertanto le leghe utilizzate per questa brasatura hanno (per base lo zinco con aggiunta di Al e/o Si), il loro punto di fusione è poco inferiore a quello del metallo base per cui occorre scaldare uniformemente il pezzo dopo averlo accuratamente pulito. I grossi pezzi di fusione sono riscaldati nei forni, mentre quelli di piccole dimensioni si riscaldano con il cannello passando rapidamente la fiamma sulla loro superficie.

Questa brasatura richiede l'impiego di particolari fondenti che hanno forma tubolare e contengono nel loro interno il disossidante specifico; per la corretta esecuzione di questa brasatura si devono tenere in considerazione alcuni aspetti:



1. La fiamma deve essere mossa intorno, avanti e indietro, lungo tutto il giunto, insistendo sulla parte a maggiore spessore, più pesante (Cu), e che richiede maggiore apporto di calore per raggiungere la temperatura richiesta.
2. La barretta di lega di apporto deve essere portata a contatto del giunto quando questo ha raggiunto la temperatura richiesta alla fusione della lega, che è visualizzata dalla fusione della lega di apporto a contatto del giunto.
3. Per favorire lo scorrimento della lega di apporto è bene muovere la fiamma attorno al giunto, così facendo si favorisce lo scorrimento della lega; questo tipo di lega è soggetta a scarsa capillarità e lavora principalmente per gravità, risulta quindi fondamentale la forma leggermente svasata del tubo contenente rispetto a quello contenuto e la posizione verticale della giunzione.
4. La barretta di lega non deve essere riscaldata direttamente dalla fiamma, ma deve ricevere il calore per conduzione dal pezzo e i giunti da brasare devono essere puliti da grassi o altre sostanze che interferiscono con la brasatura e che non sono eliminati dal disossidante.
5. La barretta deve essere posta a contatto con la giunzione sempre indirizzandone la punta e non la parte laterale questo per far agire il disossidante prima della fusione della lega.

Legha	Composizione in peso %			Intervallo di fusione in °C	Temp. di lavoro in °C
	Al	Si	Zn		
L 98/02	<5	<7,5	Resto	400-480	450

A seconda della forma del giunto è possibile impiegare anche una pasta brasante.

**La teoria:** L'alluminio ha un'elevata affinità con l'ossigeno, ciò spiega perché se esposto all'aria forma sulla sua superficie uno strato di ossido che ne inibisce la corrosione. L'ossido di alluminio (o allumina) è l'ossido ceramico dell'alluminio caratterizzato da formula chimica  $Al_2O_3$ . Questo materiale, all'apparenza molto fragile e poco utilizzabile, nasconde proprietà interessanti in campo industriale, quali la resistenza agli acidi e la scarsa conducibilità termica. E' anche catalizzatore d'interesse industriale e a temperatura ambiente si presenta come un solido bianco inodore.

L'alluminio ha un coefficiente di espansione lineare circa tre volte quello dell'ossido di alluminio, questa caratteristica è sfruttata per la brasatura in forno in vuoto: durante il riscaldamento la maggiore espansione termica dell'alluminio rispetto all'ossido causa sullo strato superficiale delle "crepe". Queste crepe permettono alla lega brasante di bagnare la superficie dell'alluminio. Durante il processo è necessario che il forno sia privo di ossigeno quindi la qualità del vuoto da ottenere deve essere maggiore o uguale a  $10^{-4}$  mbar.

Nella brasatura in forno ad atmosfera controllata si utilizza come gas:  $N_2$  oppure  $N_2$  con  $H_2$  diluito con dew point pari a  $-65$  °C.

## 9. Metodi di controllo dei difetti

Tutti i difetti riducono la resistenza meccanica del giunto, con l'ispezione visiva è possibile individuare cavità, cricche superficiali ed erosione del materiale base; anche l'aspetto estetico, forma e dimensione del raccordo di brasatura possono dare indicazioni su eventuale presenza di difettosità nel giunto. Per un'analisi più approfondita esistono metodi di controllo specifico che rilevano, grazie alle loro caratteristiche, diverse tipologie di difetti visivamente non apprezzabili.

METODI DI CONTROLLO				
Prova	Caratteristiche analizzabili	Difetti rilevati	Vantaggi	Limitazioni
Radiografia e raggi X	Differenze di spessore, variazioni di densità o di composizione	Vuoti, soffiature, porosità, inclusioni, cricche	Individuazione di difetti interni, impiegabile per una grande varietà di materiali, portatile, rimane la documentazione di prova	Costo, relativa insensibilità per i difetti di piccole dimensioni, pericoloso per la salute
Radiografia a neutroni	Composizione non omogenea, sensibile selettivamente a particolari nuclei atomici	Presenza, assenza o errata distribuzione dei costituenti interni di adeguata composizione	Buona penetrazione in molti materiali da costruzione, elevata sensibilità per i materiali favorevoli, rimane la documentazione	Costo, relativamente poco portatile, pericoloso per la salute
Liquidi penetranti	Discontinuità nella superficie di un materiale	Cricche, faglie, porosità e difetti superficiali di vario tipo	Di poco costo, facile da impiegare, portatile	Il difetto deve trovarsi su una superficie accessibile, le indicazioni che dà risultano confuse e sono legate all'operatore
Correnti parassite	Anomalie nella conduttività elettrica e nella permeabilità magnetica	Cricche, fessurazioni, variazioni strutturali dovute a trattamenti termici	Costo moderato, automatizzabile senza difficoltà, si può avere, volendo, con documentazione di prova	Utilizzabile solo con materiali conduttori, penetrazione poco profonda, sensibile alla geometria dei pezzi
Microonde	Anomalie nelle caratteristiche dielettriche, anomalie superficiali nei materiali conduttori	Cricche e difetti nei materiali dielettrici, cricche superficiali nei materiali metallici	Non è necessario il contatto, di facile automatizzazione, rapida esecuzione della prova	Non vi è penetrazione nei metalli, in confronto ad altri metodi l'individuazione dei difetti non è nitida
Polveri magnetiche	Anomalie del flusso magnetico sulla superficie dei pezzi	Cricche ed altri difetti superficiali, soffiature, porosità e inclusioni sotto "pelle"	Semplice, poco costoso, è sensibile sia ai difetti superficiali che sotto "pelle"	E' impiegabile solo con materiali ferromagnetici, non da indicazioni nitide, è necessaria una buona preparazione superficiale, può dare indicazioni false, l'interpretazione è affidata all'operatore
Flusso magnetico	Anomalie del flusso magnetico sulla superficie dei pezzi	Cricche, faglie, ricalcature e altri difetti superficiali, soffiature e inclusioni sotto "pelle"	Buona sensibilità per la individuazione e discriminazione delle cricche di fatica, automatizzabile senza difficoltà, moderata profondità di penetrazione, rimane la documentazione	E' impiegabile solo con materiali ferromagnetici, a volte risulta difficile magnetizzare in modo appropriato il pezzo in esame
Ultrasuoni	Anomalie dell'impedenza acustica	Cricche, vuoti, inclusioni, sdoppiature	Eccellente penetrazione, automatizzabile, buona sensibilità, basta l'accessibilità da un solo lato, documentabile	E' necessario il contatto con la superficie da esaminare, l'ispezione manuale è lenta, sono necessari degli standard di confronto, giudica l'operatore
Suoni	Anomalie dell'impedenza acustica per i suoni a bassa frequenza, anomalie delle vibrazioni naturali	Discontinuità, sdoppiature, grandi fessurazioni o vuoti in pezzi di forma semplice	Relativamente semplice da impiegare, automatizzabile, portatile	Sensibile alla forma del pezzo, non molto preciso
Olografia a ultrasuoni	Anomalie dell'impedenza acustica	Cricche, vuoti, porosità, sdoppiature	Consente di ottenere una immagine visibile dei difetti	Alto costo, impiego limitato a pezzi di piccole dimensioni, immagini meno precise di quelle ottenibili con i raggi X
Raggi infrarossi	Temperatura superficiale, anomalie della conduttività termica di superfici e del loro irraggiamento	Vuoti o discontinuità nei materiali non meccanici, localizzazione di zone calde o fredde di componenti o costruzioni sottoposti ad attività termica	Consente di ottenere una immagine visibile della distribuzione della temperatura superficiale	Alto costo, non molto preciso, è difficile controllare l'irraggiamento superficiale
Olografia ottica	Deformazioni meccaniche	Discontinuità, sdoppiature, deformazioni plastiche	Estremamente sensibile, consente di ottenere la rappresentazione del campo delle deformazioni, può rimanere la documentazione	Alto costo, il metodo risulta molto complesso, è necessaria una grande abilità
Rilevatori di fughe	Flusso di un fluido	Perdite che si verificano in un circuito chiuso	Buona sensibilità, è disponibile sul mercato una vasta gamma di strumenti	Richiedono che il sistema sia accessibile dall'interno e dall'esterno, elementi contaminanti possono interferire, può risultare costoso il controllo

L'importanza dei controlli non distruttivi (spesso chiamati CND) è andata crescendo negli anni, fino a diventare indiscutibilmente parte integrante dei processi di produzione, in particolare di quelli relativi alle apparecchiature a pressione, a prescindere da come si ottengono i semilavorati ed i manufatti. I controlli non distruttivi, nelle varie metodologie, vengono ampiamente applicati, per esempio nella verifica di semilavorati come lamiere, tubi, raccordi, forgiati, getti per valvole, ecc.

Questi metodi sono scelti in funzione del semilavorato oppure del manufatto da esaminare, ma anche del tipo di indicazione (difetto, anche se impropriamente detto) da ricercare. Non si deve dimenticare però che i controlli non distruttivi vengono efficacemente impiegati come metodo diagnostico sulle nuove costruzioni, sugli impianti, le apparecchiature e i componenti. Le attività di monitoraggio con l'applicazione dei CND stanno avendo sempre maggiore diffusione, atte a garantire oltre ad un sempre maggiore livello di sicurezza degli impianti, anche interventi sempre pronti e mirati di manutenzione, che migliorano l'efficienza dell'impianto stesso allungandone la vita operativa.

Un metodo largamente usato per il controllo non distruttivo consiste nella prova di tenuta dell'impianto sotto pressione (effettuato generalmente secondo le procedure adottate dai singoli costruttori per il collaudo dei sistemi).

E' possibile controllare la tenuta di un giunto o di un circuito formato da più giunti se, immergendoli in acqua e facendo passare al loro interno dell'aria in pressione, non si riscontrano perdite di gas traccianti, né cedimenti e fuoriuscite di fluidi (bolle d'aria) dai circuiti di prova realizzati.

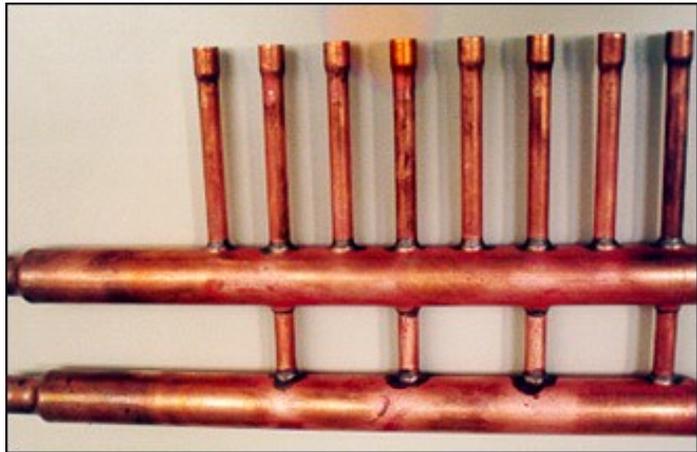


Fig. 11: distributore

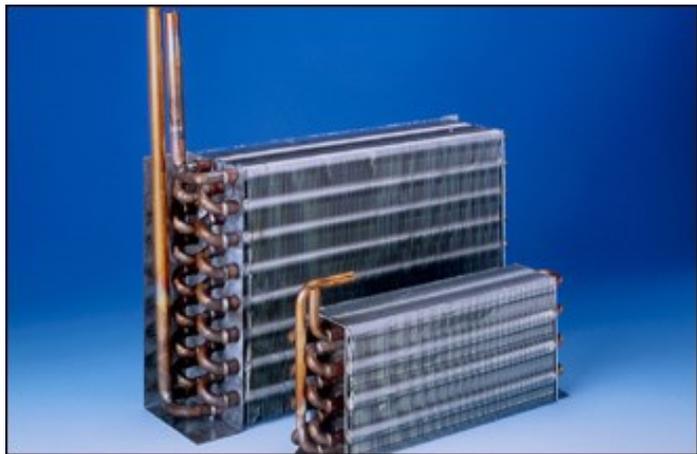


Fig. 12: radiatore



Fig. 13: circuito di raffreddamento

**ITALBRAS S.P.A.**  
**Strada del Balsego,6 - 36100 Vicenza (VI) – Italy**  
**Tel. (+39) 0444 347500 Fax (+39) 0444 347501**  
**E-mail [info@italbras.it](mailto:info@italbras.it) Web: [www.italbras.it](http://www.italbras.it)**