



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA
FACOLTA' DI MEDICINA E CHIRURGIA**

**Scuola di Specializzazione
in Medicina del Lavoro**

Direttore: Prof. L. Alessio

**SALDATURA:
FATTORI DI RISCHIO E PATOLOGIE**

Alessandra Corulli, Michela Sarnico, Paola Paglierini

Relazione presentata al meeting interno della Scuola di Specializzazione in Medicina del Lavoro dell'Università degli Studi di Brescia del 02/12/03.



*"La casa del fabbro"
Tarda età del ferro, Valcamonica, Brescia.*

1 INTRODUZIONE

La saldatura è un processo utilizzato per unire due parti metalliche riscaldate localmente, che costituiscono il *metallo base*, con o senza aggiunta di altro metallo che rappresenta il *metallo d'apporto*, fuso tra i lembi da unire.

L'ampia diffusione di questo processo, già utilizzato nel 1800, in realtà industriali e artigianali ha fatto sì che gli addetti alle operazioni di saldatura siano sempre più numerosi; regola sostanziale è però non considerarli un unico gruppo omogeneo in quanto raro è l'utilizzo di una sola tecnica di saldatura nella pratica quotidiana così come durante l'intera esperienza lavorativa.

2 TECNICHE DI SALDATURA

La saldatura si dice *eterogena* quando viene fuso il solo materiale d'apporto, che necessariamente deve avere un punto di fusione inferiore e quindi una composizione diversa da quella dei pezzi da saldare; è il caso della brasatura in tutte le sue varianti. La saldatura *autogena* prevede invece la fusione sia del metallo base che di quello d'apporto, che quindi devono avere simile composizione, o la fusione dei soli lembi da saldare accostati mediante pressione; si tratta delle ben note saldature a gas o ad arco elettrico, procedure più tradizionali ancora largamente utilizzate in virtù degli indubbi vantaggi, accanto a tecniche di saldatura che utilizzano fonti innovative di energia quali sorgenti laser, ultrasuoni e fasci di elettroni. (tabella 1).

2.1 SALDOBRSATURA

Nella saldobrasatura i pezzi di metallo da saldare non partecipano attivamente fondendo al processo da saldatura; l'unione dei pezzi metallici si realizza unicamente per la fusione del metallo d'apporto che viene colato tra i lembi da saldare. Per questo motivo il metallo d'apporto ha un punto di fusione inferiore e quindi composizione diversa rispetto al metallo base. E' necessario avere evidentemente una zona di sovrapposizione abbastanza ampia poiché la resistenza meccanica del materiale d'apporto è molto bassa. La lega generalmente utilizzata è un ottone (lega rame-zinco), addizionata con silicio o nichel, con punto di fusione attorno ai 900°C. Le modalità esecutive sono simili a quelle della saldatura autogena (fiamma ossiacetilenica); sono tipiche della brasatura la differenza fra metallo base e

metallo d'apporto nonché la loro unione che avviene per bagnatura che consiste nello spandersi di un liquido (metallo d'apporto fuso) su una superficie solida (metallo base).

2.2 BRASATURA

E' effettuata disponendo il metallo base in modo che fra le parti da unire resti uno spazio tale da permettere il riempimento del giunto ed ottenere un'unione per bagnatura e capillarità. A seconda del minore o maggiore punto di fusione del metallo d'apporto, la brasatura si distingue in dolce e forte. La brasatura dolce utilizza materiali d'apporto con temperatura di fusione $< 450^{\circ}\text{C}$; i materiali d'apporto tipici sono leghe stagno/piombo. L'adesione che si verifica è piuttosto debole ed il giunto non è particolarmente resistente. Gli impieghi tipici riguardano elettronica, scatolame, etc. La brasatura forte utilizza materiali d'apporto con temperatura di fusione $> 450^{\circ}\text{C}$; i materiali d'apporto tipici sono leghe rame/zinco, argento/rame. L'adesione che si verifica è maggiore ed il giunto è più resistente della brasatura dolce.

Tabella 1: Tecniche di saldatura

Saldatura eterogena	Saldatura autogena		
	A gas	Elettrica	Altre tipologie
Saldo-brasatura	A fiamma ossiacetilenica	Manual Metal Arc (MMA)	Per frizione
Brasatura dolce	A fiamma ossidrica	Metal Inert Gas (MIG)	A ultrasuoni
Brasatura forte		Metal Active Gas (MAG)	A fascio elettronico
		Tungsten Inert Gas (TIG)	Laser
		Ad arco sommerso	
		Al plasma	
		A resistenza	

Accanto alle tecniche di saldatura autogena di utilizzo più tradizionale si ritrovano attualmente tecniche di saldatura innovative, di ampio utilizzo, che sfruttano fonti diverse di energia (laser, ultrasuoni).

2.3 SALDATURA A GAS

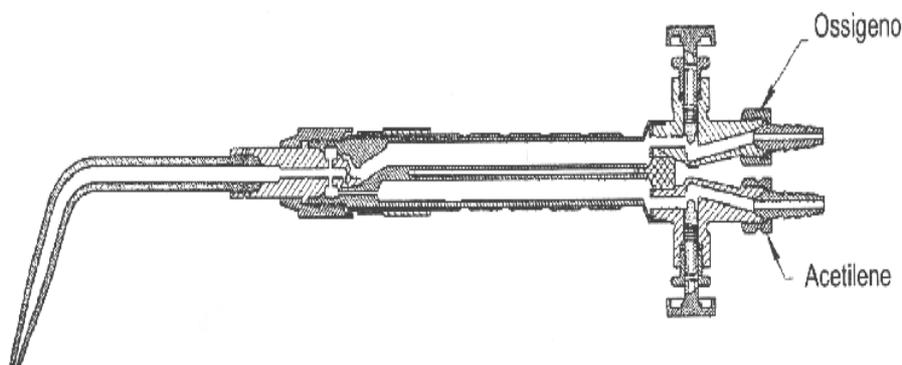
Alcune tecniche di saldatura utilizzano la combustione di un gas per fondere un metallo. I gas utilizzati possono essere miscele di ossigeno con idrogeno o metano, propano oppure acetilene.

2.3.1 Saldatura a fiamma ossiacetilenica:

La più diffusa tra le saldature a gas utilizza una miscela di ossigeno ed acetilene, contenuti in bombole separate, che alimentano contemporaneamente una torcia, ed escono dall'ugello terminale dove tale miscela viene accesa. Tale miscela è quella che sviluppa la maggior quantità di calore infatti la temperatura massima raggiungibile è dell'ordine dei 3000 °C e può essere quindi utilizzata anche per la saldatura degli acciai (figura 1).

Piccoli spessori (2-3 mm) possono essere saldati semplicemente fondendone i bordi, che devono solo essere sufficientemente accostati. Spessori superiori possono essere saldati allontanando i due lembi e riempiendo con il metallo d'apporto il giunto.

Figura 1: saldatura ossiacetilenica



2.3.2 Saldatura ossidrica:

E' generata da una fiamma ottenuta dalla combustione dell'ossigeno con l'idrogeno. La temperatura della fiamma (2500°C) è sostanzialmente più bassa di quella di una fiamma ossiacetilenica e di conseguenza tale procedimento viene impiegato per la saldatura di metalli a basso punto di fusione, ad esempio alluminio, piombo e magnesio.

2.4 SALDATURA ELETTRICA:

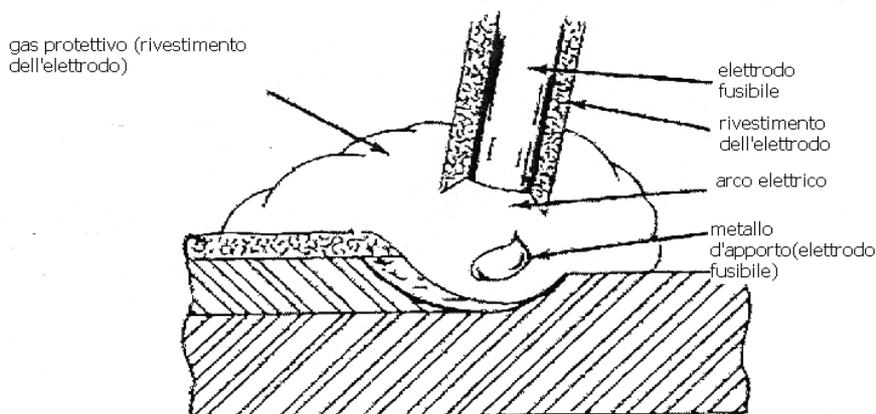
Il calore necessario per la fusione del metallo è prodotto da un arco elettrico che si instaura tra l'elettrodo e i pezzi del metallo da saldare, raggiungendo temperature variabili tra 4000-6000 °C.

2.4.1 Saldatura ad arco con elettrodo fusibile (MMA):

L'arco elettrico scocca tra l'elettrodo, che è costituito da una bacchetta metallica rigida di lunghezza tra i 30 e 40 cm, e il giunto da saldare; l'elettrodo stesso fonde costituendo il materiale d'apporto ed è rivestito superficialmente da un materiale che fondendo insieme ad esso, creando così un'area protettiva che circonda il bagno di saldatura (saldatura con elettrodo rivestito) (figura 2).

L'operazione impegna quindi un solo arto permettendo all'altro di impugnare il dispositivo di protezione individuale (schermo facciale) o altro utensile.

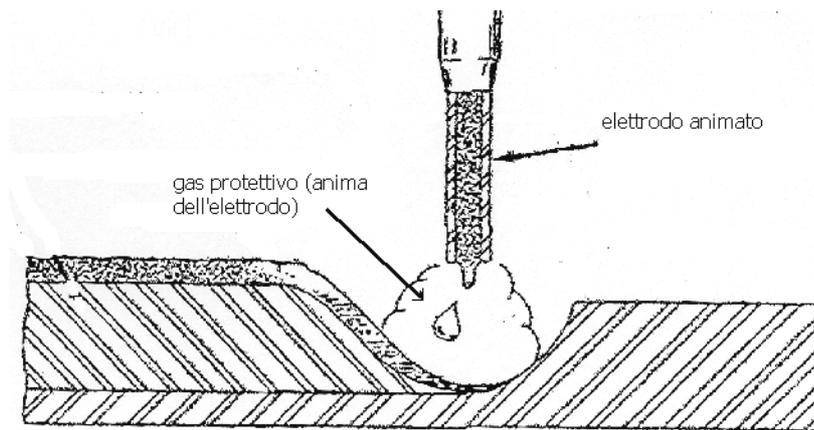
Fig. 2: Saldatura ad arco con elettrodo fusibile rivestito



Esistono vari tipi di rivestimento per l'elettrodo, da scegliersi in base al materiale da saldare, basico (carbonato e fluoruro di calcio + ferroleghie), acido (ossidi di Fe + silicati di Al + ferroleghie) o a base di rutilo.

Tali sostanze possono tuttavia essere contenute all'interno dell'elettrodo invece che rivestirlo svolgendo la medesima funzione protettiva (saldatura con elettrodo animato) (figura 3).

Fig. 3: Saldatura ad arco con elettrodo fusibile animato



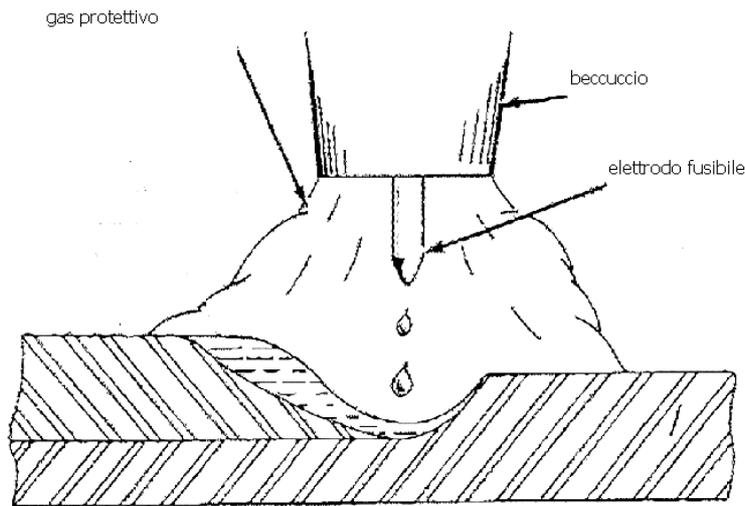
In entrambi i casi, il rivestimento o il cuore dell'elettrodo formano una scoria che ricopre la zona saldata proteggendo il giunto di saldatura da ossidazioni superficiali e inoltre rallentandone il raffreddamento: in questo modo, la zona fusa è protetta durante e dopo la solidificazione.

Dopo il raffreddamento, la scoria deve essere rimossa con martello e spazzola metallica.

2.4.2 Saldatura ad arco con protezione di gas con elettrodo fusibile

In questo caso l'elettrodo fusibile è un filo continuo non rivestito, erogato da una pistola mediante apposito sistema di trascinamento al quale viene imposta una velocità regolare tale da compensare la fusione del filo stesso e quindi mantenere costante la lunghezza dell'arco; contemporaneamente, viene fornito un gas protettivo che fuoriesce dalla pistola insieme al filo (elettrodo) metallico. I gas impiegati, in genere inerti, sono argon o elio (**MIG: metal inert gas**), che possono essere miscelati con CO_2 dando origine ad un composto attivo che ha la capacità, ad esempio nella saldatura di alcuni acciai, di aumentare la capacità di penetrazione e la velocità di saldatura, oltre ad essere più economico (**MAG: metal active gas**).

Fig 4: Saldatura ad arco con elettrodo fusibile e protezione di gas



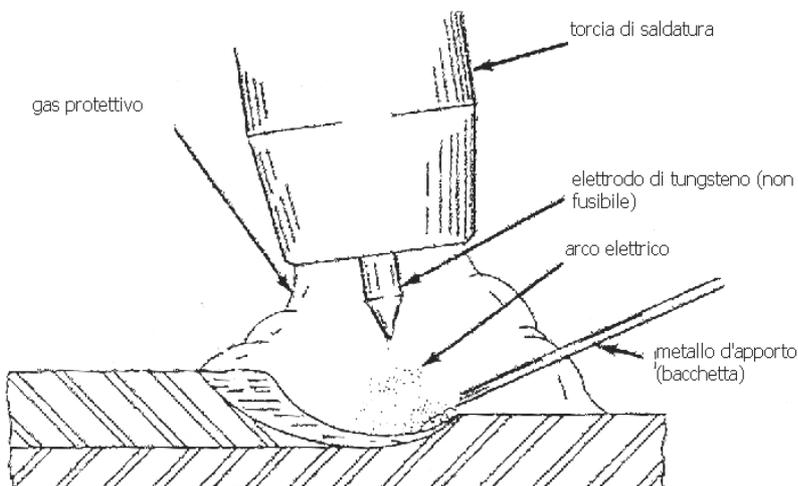
2.4.3 Saldatura ad arco con protezione di gas con elettrodo non fusibile:

L'arco elettrico scocca tra un elettrodo di tungsteno, che non si consuma durante la saldatura, e il pezzo da saldare (**TIG: Tungsten Inert Gas**). L'area di saldatura viene protetta da un flusso di gas inerte (argon e elio) in modo da evitare il contatto tra il metallo fuso e l'aria.

La saldatura può essere effettuata semplicemente fondendo il metallo base, senza metallo d'apporto, il quale se necessario viene aggiunto separatamente sotto forma di bacchetta. In questo caso l'operazione impegna entrambi gli arti per impugnare elettrodo e bacchetta.

Il processo di saldatura di tipo TIG ha raggiunto livelli di automazione talmente avanzata da farne una delle tecniche più diffuse.

Fig. 5: saldatura ad arco con protezione di gas ed elettrodo non fusibile



2.4.4 Saldatura ad arco sommerso:

In questa tecnica, contemporaneamente alla fusione dell'elettrodo metallico, si ha la immissione sull'arco di saldatura di un getto protettivo di polvere scorificante antiossidante a base di silicati di calcio, magnesio e ossido di manganese. Si tratta di una tecnica prevalentemente automatica, utilizzata per grossi spessori.

2.4.5 Saldatura al plasma

È simile alla TIG con la differenza che l'elettrodo di tungsteno pieno è inserito in una torcia, creando così un vano che racchiude l'arco elettrico e dove viene iniettato il gas inerte. Innescando l'arco elettrico su questa colonna di gas si causa la sua parziale ionizzazione e, costringendo l'arco all'interno dell'orifizio, si ha un forte aumento della parte ionizzata trasformando il gas in plasma. Il risultato finale è una temperatura dell'arco più elevata (fino a 10000 °C) a fronte di una sorgente di calore più piccola.

Si tratta di una tecnica prevalentemente automatica, utilizzata anche per piccoli spessori.

2.4.6 Saldatura a resistenza

La saldatura è effettuata per mezzo di una pinza costituita da due elettrodi, con i quali si serrano le lamiere da saldare, e attraverso i quali si ha il passaggio di corrente. Il conseguente riscaldamento delle lamiere crea una zona di fusione che corrisponde al punto di saldatura. Interrotto il passaggio di corrente, la solidificazione del pezzo saldato avviene rapidamente.

2.5 ALTRE TIPOLOGIE DI SALDATURA

2.5.1 Saldatura per frizione

E' una tecnica di saldatura che consiste nell'imprimere ad uno dei due pezzi da saldare una determinata velocità di rotazione e poi premere l'elemento in rotazione contro l'altro; l'energia cinetica, dissipata per attrito, fornisce il calore necessario per la saldatura.

2.5.2 Saldatura con ultrasuoni

Nella saldatura ad ultrasuoni gli elementi da saldare sono sovrapposti e serrati tra un trasduttore ultrasonoro ed un ulteriore sostegno.

L'immissione d'ultrasuoni provoca localmente un certo riscaldamento, ma l'unione delle parti è da attribuire a fenomeni elasto-plastici piuttosto che al calore sviluppato, non si arriva infatti mai alla fusione. L'interesse nella saldatura ad ultrasuoni è essenzialmente riservato alla possibilità di operare senza eccessivo riscaldamento, ciò è molto utile in quanto si evitano deformazioni plastiche delle parti saldate.

2.5.3 Saldatura a fascio elettronico

L'elevata energia fornita ad un sottile fascio di elettroni consente di realizzare la fusione delle parti da saldare; al momento dell'impatto degli elettroni sul pezzo da saldare l'energia cinetica viene trasformata in calore.

La saldatura a fascio elettronico deve essere effettuata necessariamente sotto vuoto per evitare la dispersione del fascio di elettroni nell'aria.

2.5.4 Saldatura LASER

In tale tecnica un fascio di luce (laser) è utilizzato per riscaldare fino a fondere la superficie investita del metallo.

A seconda della sorgente impiegata, si distinguono essenzialmente due tipi di laser; quelli utilizzati nelle lavorazioni meccaniche sono prevalentemente il laser a neodimio (YAG) o il laser alla CO₂.

3 SETTORI LAVORATIVI E IMPIEGO DELLE DIVERSE TECNICHE DI SALDATURA

La brasatura, in cui si ha bassa produzione di calore, viene utilizzata anche per l'unione di pezzi di acciaio e trova largo impiego nel settore idraulico ma soprattutto nelle saldature di precisione, nell'industria orafa ed elettronica.

La saldatura a gas non necessita di energia elettrica e può quindi essere utilizzata all'aperto, offre una saldatura di bassa qualità ma a costi contenuti e permette il raggiungimento di elevate temperature, tanto da essere utilizzata nella saldatura degli acciai. È impiegata in lavori di carpenteria, in siderurgia ma anche nell'industria navale ed aeronautica.

Le saldature ad arco elettrico sono molto utilizzate nelle tipologie industriali sopracitate ma presentano caratteristiche peculiari che impongono la scelta preferenziale di una tecnica rispetto ad un'altra. Quella ad elettrodo fusibile è molto versatile, quelle a filo continuo con

protezione di gas sono utilizzate per spessori ridotti sia negli acciai dolci che inox, quella con elettrodo di tungsteno non fusibile offre il miglior livello qualitativo oltre alla possibilità di utilizzo sia su superfici verticali, orizzontali o rovesciate.

La saldatura al plasma, simile alla precedente, raggiunge però elevate temperature associando alla elevata qualità la possibilità di saldare grossi spessori, naturalmente a discapito dei costi e dei consumi di gas.

Le principali caratteristiche, delle differenti tecniche di saldatura, sono schematizzate nella tabella 2.

Tabella 2: tecniche di saldatura e impieghi principali

Tipi di saldatura	Impieghi	Settore lavorativo
Brasatura	Microsaldature di precisione	Settore idraulico, Industria elettronica.
A gas	Spessori elevati, bassa qualità, anche all'aperto	Carpenteria, metalmeccanica, siderurgia, industria navale, aeronautica
MMA	Versatile (saldature all'aperto)	
MAG	Acciai dolci (MS), spessori ridotti, bassa qualità	
MIG	Acciai inox (SS), spessori ridotti, bassa qualità	
TIG	Piccoli spessori con miglior tenuta ed elevato livello qualitativo	
Al plasma	Spessori elevati, alta qualità	
A resistenza	Per saldatura di lamiere	

4. FATTORI CONDIZIONANTI TIPOLOGIA ED ENTITA' DELL'ESPOSIZIONE

La natura e l'entità dell'esposizione ai diversi fattori di rischio appena descritti dipende da numerose variabili correlate all'operazione di saldatura, all'operatore e all'ambiente.

Nello specifico, il materiale che costituisce l'elettrodo e il suo rivestimento, l'eventuale presenza di gas protettivo, l'utilizzo di materiale d'apporto, nonché la diversa temperatura raggiunta nei differenti procedimenti, sono tutti parametri che influiscono qualitativamente e quantitativamente sull'entità dell'esposizione degli addetti alle operazioni di saldatura.

Non da ultima va considerata l'eventualità che alcune di queste tecniche, utilizzate soprattutto in epoca recente, siano completamente automatizzate ed effettuate in cicli a circuito chiuso.

Il manufatto stesso influisce su tipologia ed entità dell'esposizione, non solo per il tipo di metallo di cui è composto e per le dimensioni, ma anche per la presenza di eventuali pre-trattamenti di verniciatura o molatura.

Fattori legati all'operatore sono rappresentati dalla distanza tra saldatore e sorgente delle emissioni, dalla postura, dalla durata dell'operazione e fondamentalmente dall'utilizzo di dispositivi di protezione individuale. Le caratteristiche dell'ambiente di lavoro sono importanti se si considera che la saldatura può essere effettuata all'aperto ma anche in ambiente confinato, in strutture prive di sistemi di ricambio d'aria naturali o artificiali, dotato o meno di sistemi di aspirazione.

5 FATTORI DI RISCHIO IN SALDATURA

I fattori di rischio ai quali possono essere esposti gli addetti alle operazioni di saldatura sono molteplici e possono essere distinti in due tipologie principali: chimici (fumi e gas) e fisici (radiazioni non ionizzanti, rumore, vibrazioni, elettricità).

I rischi chimici associati alle operazioni di saldatura derivano dallo sviluppo dei fumi di saldatura; per fumo di saldatura si intende una complessa miscela di più di 40 componenti chimici, inorganici e organici che si liberano durante la fase di riscaldamento ed eventuale fusione del pezzo da saldare. Naturalmente la composizione e la concentrazione dei relativi agenti chimici presenti nei fumi di saldatura sono strettamente dipendenti dal materiale che si salda, dalla composizione dell'elettrodo, dall'eventuale materiale d'apporto e da sostanze che ricoprono il pezzo manufatto da saldare.

Il rischio più rilevante connesso ai fumi di saldatura è rappresentato dalla presenza, nei fumi stessi, di metalli allo stato di vapore o di particolato. I fumi prodotti a seguito della saldatura di acciai inossidabili contengono metalli caratterizzati da alta tossicità quali cromo e nichel. Nel caso di saldature MIG di leghe leggere si può avere esposizione ad alluminio ma anche a manganese e piombo, presenti in particolari materiali d'apporto. Il cadmio è contenuto in alcuni tipi di leghe per brasatura e saldobrasatura; tungsteno e cobalto sono usati in particolari procedimenti di indurimento superficiale di metalli, ma costituiscono anche l'elettrodo infusibile della saldatura TIG, che nella tecnologia più avanzata può inoltre

contenere torio. Resta tuttavia ancora da approfondire un aspetto di notevole interesse teorico pratico, ovvero quello dello studio di metalli presenti in percentuali basse o non prevedibili nelle leghe, ricercando i possibili effetti correlabili con l'assorbimento dei singoli elementi e quelli dovuti alla contemporanea esposizione ai vari metalli identificati. I livelli di monitoraggio ambientale e biologico, riportati da uno studio condotto su lavoratori di fonderia (Crippa et al, 1991), hanno evidenziato, ad eccezione del piombo, una condizione espositiva a "microdosi" che, se da un lato non implica il rischio di comparsa dei classici quadri di intossicazione, dall'altro pone il problema dell'individuazione degli effetti precoci e dell'interpretazione degli indicatori biologici. Da qui la necessità di approfondire le esposizioni multiple a metalli presenti in basse concentrazioni (Tab. 3).

Tabella 3: concentrazione dei metalli aerodispersi nella produzione di cuproleghe (valori in mcg/mc)

Metallo	Azienda A (21 campionamenti)		Azienda B (9 campionamenti)		Azienda C (12 campionamenti)		TLV TWA ACGIH 89-90
	Media geometr.	Range	Media geometr.	Range	Media geometr.	Range	
Pb	74,1	35-662	52,1	25-186	51,4	34-112	150
Cu	147,9	49-1260	13,1	9,3-76	18,1	10-39	200 fumi 1000 polv.
Zn	416,9	45-1070	281,8	130-600	224,9	100-810	5000
Mn	0,4	0,1-3,2	2,6	1,1-15	3,2	0,9-17	1000 fumi 5000 polv.
Cr	1,1	0,2-4,8			0,02	0,02-0,1	500 Cr III 50 Cr VI
Ni	3,7	0,6-8,3	0,9	0,4-4,9	5,1	2-18	1000
Be	0,1	0,02-1,1	0,01	0,009-0,3	0,06	0,03-0,1	2
Sb	1,3	0,7-9,6	2,16	1,0-4,2	0,1	0,03-0,5	500

Azienda A: $2 \text{ mg/mc} \leq \text{Polv. tot.} \leq 10 \text{ mg/mc}$ Frazione respirabile $\approx 40\%$

Azienda B: $1 \text{ mg/mc} \leq \text{Polv. tot.} \leq 4,3 \text{ mg/mc}$ Frazione respirabile = 5%

Azienda C: $0,5 \text{ mg/mc} \leq \text{Polv. tot.} \leq 1,5 \text{ mg/mc}$ Frazione respirabile = 60%

In letteratura è stata valutata l'esposizione multipla a metalli in varie tipologie di saldatura: saldatura MMA di acciaio inossidabile e di acciaio medio-basso legato, saldatura a filo continuo, ad arco sommerso, saldatura laser, saldo-brasatura. In otto diverse situazioni lavorative è stato effettuato un monitoraggio ambientale, i cui risultati mostrano la presenza di ben 23 elementi non previsti. Le maggiori concentrazioni sono state riscontrate per alluminio, manganese, ferro, nichel, cromo, rame, zinco mentre per alcuni elementi quali

indio, neodimio, iodio e rubidio le concentrazioni sono risultate molto basse. Le miscele di elementi determinati sono risultate più complesse di quanto ci si aspettasse sulla base della composizione degli elettrodi e dei materiali saldati; più di 5 elementi misurati nei fumi di saldatura superavano i TLV e in un caso il TLV miscela è risultato superiore al limite per la presenza di cadmio. Comparando i TLV nelle postazioni esaminate con i TLV dei fumi di saldatura indicati dall'ACGIH (5 mg/m³) si evidenzia che in alcune situazioni il rischio viene sottostimato; tale sottostima non sembra essere giustificata in quanto il TLV dei fumi di saldatura dovrebbero tenere conto anche di altri composti quali per esempio i flussanti degli elettrodi che generalmente ha effetti irritanti. Tutto ciò indica che è necessario considerare il più ampio numero di elementi e considerare oltre al TLV dei fumi totali anche il TLV per le miscele (Alessio et al,1994; Apostoli et al, 1997) (Tab. 4). È stata inoltre osservata una variazione quantitativa e qualitativa nella composizione dei fumi in base alla distanza dal punto di saldatura, della quale pertanto si dovrebbe tenere conto nella valutazione delle esposizioni indirette. Di solito le più elevate concentrazioni di fumi si trovano nelle immediate vicinanze del saldatore, ma occasionalmente può essere necessario effettuare campionamenti in postazioni adiacenti o presso cabine sopraelevate di carroponi o simili (Tab 5).

Tabella 4: elementi aerodispersi (µg/m³) in 5 tipologie di saldatura con l'uso di elettrodi diversi (Alessio et al, 1994)

	MMA MS	MMA SS-Ni	MIG MS	S-A	S-B
Li*	0.4	0.3	7.8	—	—
Al	12	8	—	7	13
Cr(Al)	3	41	—	2	—
Mn	75	3	76	10	1
Fe	380	68	480	230	10
Co	0.3	0.5	18	0.2	6
Ni(+)	0.9	27	—	—	1
Cu	2	3	22	1.6	6
Zn	4	7	4	2	33
Ga*	0.3	0.2	—	—	—
As(++)	0.5	—	—	—	—
Rb*	0.1	—	—	—	—
Sr*	0.1	0.2	—	0.1	—
Nb*	—	1.5	—	0.3	—
Mo	0.5	4	—	3.3	—
Br	—	—	—	—	6
Ag	0.1	—	—	—	5
Cd	0.1	—	—	—	75
In	0.1	—	0.9	—	—
Sn	16	0.2	—	—	1
Sb	0.2	0.2	—	0.6	—
I	0.2	0.4	—	0.5	—
Ba	4	4	2.5	2.5	0.5
La*	—	—	—	0.005	—
W	0.1	0.1	2	—	0.9
Pb	0.7	13	2.8	1.8	1.5
Bi*	—	0.2	7.3	—	0.1
TLV mixture	0.13	0.95	0.67	0.10	1.75
TOTAL FUMES	1400	3910	2040	1100	2000
% TLV of total fumes	28	78	41	22	40

* Metals devoid of TLV (3).

A1 = confirmed human carcinogen; A2 = suspected human carcinogen (3).

(+) A1 (only Ni sulph.); (++) A2 (only As trioxide).

Legend: MMA-MS: Manual metal Arc-Mild Steel; MMA-SS-Ni: Manual Metal Arc-Stainless Steel high Ni; MIG-MS: Metal Inert Gas-Mild Steel; S-A: Submerged Arc; S-B: Silver-Brazing.

Tabella 5: elementi aerodispersi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in relazione alla distanza dalla sorgente emissiva (Apostoli et al. '97)

	Welding point	2 meters from welding point
Li	1	—
Al	10	6
Cr	0.9	2
Mn	3	3
Fe	29	35
Ni	10	15
Cu	0.8	0.7
Zn	18	1.7
Sr	0.1	0.1
Nb	0.5	0.1
Mo	1	0.7
Ba	0.5	0.5
Pb	0.2	0.8
TOTAL FUMES	4580	920

Durante i processi di trasformazione termica dell'aria o dei materiali di rivestimento o delle impurità, si possono liberare sostanze allo stato gassoso. L'ozono si forma dall'ossigeno atmosferico attraverso la radiazione UV prodotta dalla fiamma o dall'arco elettrico; il

monossido di carbonio si sviluppa a seguito di processi di combustione incompleta, mentre gli ossidi di azoto si formano dall'ossigeno e dall'azoto atmosferico attraverso processi termici.

I rischi fisici derivano dall'esposizione a radiazioni non ionizzanti, elevate temperature e rumore. Le radiazioni non ionizzanti vanno distinte a seconda della lunghezza d'onda in ultravioletto, luce visibile e raggi infrarossi. La fiamma, e in misura maggiore l'arco elettrico, emettono radiazioni ottiche sia nello spettro del visibile che in quello dell'invisibile. Le radiazioni ultraviolette, le più energetiche tra le radiazioni non ionizzanti e quindi le più pericolose, sono assorbite quasi totalmente dagli strati protettivi superficiali della cute e solo una piccola frazione (1%) penetra e agisce sui tessuti sottostanti.

La produzione di calore, in particolare di elevatissime temperature localizzate in vicinanza della zona di saldatura, è caratteristica comune delle tecniche a gas, ad arco elettrico, al plasma e al laser.

L'origine del rumore prodotto durante le operazioni di saldatura è riconducibile ad una combustione della miscela gassosa emessa ad alta pressione dal cannello nella saldatura a fiamma ossiacetilenica; allo scoccare dell'arco elettrico per le altre tipologie; alla fuoriuscita del plasma dall'ugello che produce un caratteristico sibilo nelle operazioni di saldatura al plasma. Non sono da sottovalutare il rumore emesso durante le operazioni successive quali molatura, smerigliatura ecc.

Alcune tipologie di rischio sono tuttavia specifiche di particolari tecniche di saldatura; ad esempio la saldatura a fascio elettronico può esporre il lavoratore a radiazioni ionizzanti (raggi x), la saldatura ad ultrasuoni può essere responsabile di un'esposizione professionale ad ultrasuoni. (tabella 6).

Tabella 6: Specifici fattori di rischio

FUMI	GAS	ENERGIA RADIANTE	ALTRI FATTORI DI RISCHIO
alluminio	CO ₂	ultravioletti	calore
cadmio	CO	visibile	rumore
cromo	NO ₂	infrarossi	vibrazioni
rame	NO		elettricità
ferro	O ₃		campi elettromagnetici
piombo			
manganese			decomposizione di
magnesio			sgrassanti, oli lubrificanti
molibdeno			e vernici (Pb, fosgene, NH ₃ , CO, HCl)
nichel			
titanio			
tungsteno			proiezione di metallo fuso
zinc			e scorie
fluoruri			posture incongrue

6. EFFETTI SULLA SALUTE

I fattori di rischio elencati hanno come bersaglio numerosi organi e apparati; più frequentemente interessati sono l'apparato respiratorio, via di ingresso preferenziale per gli innumerevoli agenti chimici, e l'occhio; gli agenti chimici possono essere causa di intossicazioni acute in seguito ad esposizione a dosi elevate, ormai sempre più rare anche nel campo della saldatura, o di forme croniche per assorbimento di sostanze presenti nell'ambiente di lavoro in "basse" quantità. Effetti si riscontrano anche a carico della cute, del sistema cardiovascolare, renale, riproduttivo, immunitario, uditivo, osteoarticolare e neurologico.

6.1 Effetti respiratori

Gli effetti più noti sono sicuramente quelli acuti (edema polmonare, febbre da fumi metallici, asma e asfissia), ma quelli di maggiore riscontro e per i quali il dibattito è ancora in atto sono gli effetti cronici (pneumoconiosi, broncopneumopatia cronica ostruttiva, aumentata suscettibilità alle infezioni, ulcere e perforazioni del setto nasale, cancerogenesi polmonare).

Effetti acuti:

Gli agenti coinvolti nella patogenesi dell'edema polmonare acuto sono ozono, prodotto per effetto dei raggi UV sull'ossigeno, cadmio, spesso costituente del core degli elettrodi, NO e NOx per ossidazione diretta dell'azoto atmosferico da parte dell'elevate temperature, e flogene (Sjogren e Langard, 2004). I meccanismi coinvolti sembrano soddisfare una relazione dose-risposta, infatti studi riportano casi di exitus per esposizioni a Cd ambientale superiori a 8 mg/m³ per almeno 6 ore o per esposizioni protratte per giorni a concentrazioni ambientali di ozono superiori a 10 ppm.

Effetto comune e noto è la febbre da fumi metallici, infatti il 30% dei saldatori ricorda almeno un episodio durante la propria storia lavorativa e negli Stati Uniti l'incidenza è di 1500-2500 casi/anno. Gli agenti coinvolti sono solo alcuni dei metalli presenti nei fumi di saldatura ed in particolare lo Zn, con verosimile azione stimolatrice sulla produzione di pirogeni endogeni (TNF-alfa, IL 6 e IL 8). Si tratta di una patologia a decorso benigno che si autolimita in 24-48 ore, caratterizzata febbre che insorge alla fine del turno lavorativo, da sudorazione profusa, gusto metallico, dispnea e tosse non produttiva. In letteratura sono stati reperite alcune segnalazioni di casi documentati di sindrome simil-“febbre da fumi metallici” (metal fume fever-like syndrome), insorta in uno o più lavoratori contemporaneamente, in occasione di inalazione di polveri o fumi contenenti ossidi di rame in varie mansioni lavorative (ad esempio, pulitura di targhe in rame, galvanica, fusione di leghe di rame); in alcuni casi è stata documentata transitoria granulocitosi. Alcune pubblicazioni non riportano misurazioni ambientali degli ossidi di rame come fumo o polvere, altre indicano che la sintomatologia si è manifestata dopo esposizione a polveri di rame superiori a 0,1 mg/m³ (granulometria compresa tra 0,05 e 0,5 µm); in tutti i casi documentati sono descritte circostanze occasionali di esposizione ad ossidi di rame molto elevata per entità e durata (ad esempio, mansioni svolte in ambienti confinati, scarsamente aerati (Borak et al, 2000; Balmes et al, 1997; Waldron, 1994). Casi analoghi sono riportati

per esposizione a Mg, Sn, Cd e Mn; nel caso del Cd il quadro sintomatologico può evolvere verso l'edema polmonare, con una frequenza che può raggiungere il 20%.

Il Cd, il Mn, i NO_x, l'O₃ e il fosgene, che si libera dalla decomposizione termica di olii lubrificanti o vernici, sono implicati nella genesi di quadri di polmoniti chimiche, attualmente meno frequenti rispetto al passato, probabilmente per la riduzione dei livelli di esposizione (McMillan, 2002).

L'asma occupazionale tra i saldatori è una patologia abbastanza rara, caratterizzata da evidenze contraddittorie circa i meccanismi eziopatogenetici in cui sarebbero coinvolti sia agenti sensibilizzanti, ad esempio Cr e Ni, liberati durante la saldatura di acciai inossidabili, che irritanti quali altri ossidi metallici, carbonati, fluoruri, CO₂, argon, NO_x e O₃ (Antonini, 2003). Inoltre, la saldatura su acciaio dipinto con vernici poliuretaniche è associata all'esposizione ad isocianati la cui inalazione è notoriamente implicata nello sviluppo dell'asma di origine occupazionale (Sjogren and Langard, 2004).

L'asfissia è una condizione acuta, a volte fatale, che si può verificare in ambienti confinati con inadeguata ventilazione; meccanismi in causa sono la deplezione di O₂ per combustione (CO₂ > 15%), la sua sostituzione da parte di gas inerti (argon) o di acetilene, la liberazione di CO da parte di elettrodi rivestiti con carbonato di Ca (CaCO₃) e, nel caso specifico della MAG, dalla riduzione di CO₂ a livello dell'arco (McMillan, 2002).

Effetti cronici.

La siderosi, pneumoconiosi considerata benigna in quanto causata dall'accumulo intrapolmonare di particelle fortemente radiopache ma biologicamente inerti, si riscontra classicamente nei saldatori di ferro e si può accertare già dopo pochi anni di esposizione, in genere 15. Normalmente tale condizione non comporta alterazioni della funzionalità respiratoria ma può a lungo andare essere complicata da fibrosi polmonare interstiziale in seguito ad esposizioni elevate e protratte (almeno 25 anni), avvenute in aree confinate e poco ventilate (Buerke et al, 2002).

Le evidenze epidemiologiche per le broncopneumopatie croniche ostruttive sono contraddittorie e non conclusive, evidenziando un'aumentata frequenza di bronchite cronica in saldatori fumatori per una probabile azione sinergica tra fumi di saldatura e fumo di sigaretta, nonché alterazioni reversibili della funzionalità respiratoria di tipo ostruttivo, presenti solo a fine turno lavorativo, per le quali pare esistere una relazione dose-risposta con gli anni di esposizione, anche in lavoratori non fumatori (Bradshaw et al, 1998).

Studi riportano una aumentata incidenza, durata e severità di infezioni del tratto respiratorio superiore e inferiore nei saldatori probabilmente imputabile a meccanismi di tipo cronico irritativo e immunosoppressivo di fumi metallici (solubili), fluoruri, NO_x e O₃; è stato ipotizzato che il Fe, in particolare, svolga un ruolo favorente la crescita microbica (Antonini et al, 2003).

In seguito a periodi piuttosto brevi di latenza (6-12 mesi), sono stati segnalati in letteratura casi di ulcere e perforazioni non dolorose e permanenti del setto nasale provocati da esposizione a Cr (Lee et al, 2002).

Il rischio di cancro al polmone nei saldatori risulta più elevato di circa il 30 % rispetto alla popolazione generale. La IARC classifica i fumi di saldatura come possibili cancerogeni per l'uomo (2B); l'organo bersaglio è il polmone e si ipotizza che il rischio sia limitato alla saldatura di acciaio inossidabile in quanto contenente Cr e Ni. Tuttavia, i dati epidemiologici disponibili attualmente sulla mortalità e sull'incidenza di cancro al polmone non forniscono chiare evidenze che il nichel e i composti del cromo esavalente costituiscono il fattore di rischio più importante (Sjogren and Langard, 2004). L'ACGIH non fornisce una classificazione della carcinogenicità dei fumi di saldatura. Una metanalisi su 49 studi conclude che tale aumento di rischio relativo non può essere spiegato dalla semplice esposizione a cromo e nichel ma anche all'esposizione combinata ad asbesto e a fumo di sigaretta (Moulin, 1997). Tuttavia un eccesso di tumori si è evidenziato anche nei saldatori di acciaio dolce che quindi non hanno esposizione professionale a cromo e nichel. Il ruolo cancerogeno dei fumi di saldatura è tuttora dibattuto soprattutto per le scarse evidenze che derivano dagli studi epidemiologici; i limiti principali della letteratura anche recente sono rappresentati dalla non uniformità delle variabili considerate, quali eventuali fattori di confondimento (fumo di tabacco e asbesto), tempo di latenza e durata dell'esposizione. Pochi e non conclusivi sono anche gli studi sperimentali su animali (Antonini, 2003).

6.2 Effetti oculari

Nei saldatori l'occhio è un organo bersaglio, sia in caso di eventi acuti come lesioni corneali da corpo estraneo, causa principale di infortunio nei saldatori, sia in caso di esposizioni protratte, potendo essere interessato da diverse forme morbose a carico di congiuntiva, cristallino e retina. (Narda et al, 1990; Reesal et al, 1989).

La congiuntivite cronica rappresenta l'afezione di più comune riscontro; gli agenti in causa sono in primo luogo le radiazioni UV nella saldatura ad arco e gli infrarossi nelle saldature a gas; non va sottovalutato il ruolo del particolato aerodisperso che può avere effetto irritativo cronico sia sulla cornea che sulla congiuntiva.

La pinguecola, lesione degenerativa del tessuto adiposo e fibroso della congiuntiva bulbare, può complicare una congiuntivite cronica o conseguire all'irritazione prolungata dell'occhio causata dalla presenza di corpi estranei. Alcuni studi riportano la comparsa di degenerazioni retiniche e maculopatie nei soggetti che effettuano la saldatura ad arco, con verosimile meccanismo di fotocoagulazione da danno termico (Brittain, 1988). Tra gli effetti riportati in letteratura sono da citare le blefariti, le nubecole corneali e la cataratta.

Una recente revisione della letteratura riporta un aumentato rischio di sviluppare melanoma oculare negli addetti alla saldatura ad arco elettrico (Dixon and Dixon, 2004).

6.3 Effetti cutanei

I dati della letteratura riportano un'alta incidenza di ustioni, in particolare ustioni di terzo grado, soprattutto a livello di polsi, mani, capo e collo e numerosi casi di eritema cutaneo per esposizione a radiazioni UV (Islam et al, 2000).

Gli infortuni più frequenti sembrano essere a carico delle mani, malgrado l'utilizzo di guanti protettivi che vengono penetrati dalle schegge metalliche incandescenti e proiettate ad alte velocità.

Spesso oltre al danno da trauma diretto, il calore dissipato dalla scheggia provoca un'importante necrosi tessutale che richiede escissioni chirurgiche più ampie; vanno inoltre ricordati i granulomi da corpo estraneo (Shanahan and Hanley, 1995).

Tra gli effetti cutanei è d'obbligo citare l'ampio capitolo delle dermatiti allergiche da contatto, imputabili alla liberazione di Cr e Ni durante le operazioni di saldatura.

E' possibile che i saldatori presentino un rischio aumentato rispetto alla popolazione generale di sviluppare tumori cutanei, ma attualmente mancano studi adeguatamente concepiti sull'argomento. Lo studio che maggiormente ha affrontato la relazione tra saldatura ad arco e tumore cutaneo non ha rivelato un'aumentata incidenza di tale patologia nei saldatori. Tuttavia, gli Autori sottolineano che essendo i saldatori esaminati provvisti di adeguati dispositivi di protezione per il corpo ed essendo la durata dell'esposizione limitata

tali risultati non possono essere estesi all'intera categoria lavorativa (Dixon and Dixon, 2004).

6.4 Altri effetti

Effetti sull'**apparato cardiovascolare**:

Evidenze riportano un aumento della mortalità per cardiopatia ischemica in una popolazione costituita da saldatori esposti a ossidi di zinco, CO e O₃ (Sjogren et al, 2002). E' stato ipotizzato un ruolo dell'IL-6 nella stimolazione della produzione epatica di fibrinogeno, che ad alti livelli plasmatici rappresenta un fattore di rischio per la cardiopatia ischemica. Una ridotta variabilità della frequenza cardiaca, secondo alcuni Autori dovuta all'esposizione ad ozono, può rappresentare un fattore di rischio aggiuntivo per la cardiopatia ischemica (Gold et al, 2000). Studi sperimentali su animali attribuiscono al carbonato o fluoruro di bario effetti sulla pressione arteriosa e sulla conduzione cardiaca (Hicks et al, 1986).

Gli studi che hanno valutato l'esposizione a metalli (Cr, Ni, Pb, Cd e Mn) negli addetti ad operazioni di saldatura per almeno 20 anni hanno concluso con scarsa evidenza di **effetti di danno renale** a lungo termine, ad eccezione di un lieve incremento di albuminuria e di alterazioni reversibili dopo circa 5 anni dalla sospensione dell'attività lavorativa, degli indicatori di danno tubulare quali ad esempio l'aumento di beta 2 microglobulina urinaria (Bonde and Vittinghus, 1996).

Nell'uomo sono segnalati **effetti a carico dell'apparato riproduttivo**, quali alterazioni quali-quantitative del liquido seminale (morfologia e conta degli spermatozoi) confermati da un aumento del tempo di concepimento e aumentata frequenza di aborti spontanei nelle mogli di saldatori. Sebbene le evidenze epidemiologiche siano scarse e contraddittorie, è stato ipotizzato che alcuni metalli (Pb, Ni, Cr), agenti fisici (calore) o chimici (solventi organici) siano in grado di agire direttamente sulla spermatogenesi o indirettamente a livello dell'asse ipotalamo-ipofisi-gonadi (Hjollund et al, 1998; Bonde, 2002).

Gli effetti a carico dell'**apparato uditivo** interessano in particolare alcune tecniche di saldatura (saldatura al plasma) caratterizzate da elevati livelli di rumorosità (intensità 110 dBA, frequenza 24-48 kHz); danni di tipo trasmissivo sono stati segnalati in seguito alla penetrazione di schegge nel condotto uditivo con sequele anche gravi, quali la perforazione timpanica, otorrea cronica e paralisi del nervo facciale (Panosian and Dutcher, 1994).

Patologie a carico dell'**apparato osteoarticolare** si rilevano con una elevata incidenza nei saldatori occupati in particolari settori come quello della cantieristica navale. I distretti interessati sono prevalentemente la spalla e il rachide, a causa del mantenimento di posture incongrue e statiche in relazione al particolare ambiente lavorativo caratterizzato da spazi confinati (Lowe et al, 2001).

Gli **effetti neurologici** rappresentano attualmente un campo di crescente interesse, in particolare per l'azione neurotossica del Mn costituente degli acciai speciali e presente nei metalli d'apporto o nell'elettrodo stesso, alla cui esposizione protratta sembrerebbe legata la comparsa di sintomi di tipo parkinsoniano anche per esposizioni a dosi minori rispetto a quelle documentate nel passato. La prevalenza di parkinsonismo riscontrata in un recente studio su un gruppo di saldatori è più alta rispetto al gruppo di controllo costituito da popolazione generale (Racette et al, 2005). L'evidenza che esposizioni a basse dosi di manganese possano essere associate allo sviluppo di segni e sintomi parkinsoniani per molti dei saldatori valutati implicherebbe che tale metallo non può essere escluso come agente eziologico in pazienti affetti da parkinsonismo e alterazioni motorie non meglio definite. Gli stessi Autori evidenziano come nella popolazione più giovane in studio ci sia una forte associazione tra età e diagnosi di parkinsonismo in un range di età compreso tra i 40 e i 64 anni, confermando precedenti risultati in cui l'insorgenza della malattia di Parkinson era precoce nei saldatori rispetto al gruppo di controllo (Racette et al, 2001). I soggetti che presentano segni di parkinsonismo mostrano comunque dal punto di vista clinico e neuroradiologico caratteristiche distintive rispetto a quelli con parkinson idiopatico. In particolare i pazienti con parkinsonismo presentano un quadro caratterizzato da precoce coinvolgimento della parola e dell'equilibrio, una relativa assenza di tremore a riposo, mancanza di asimmetria e scarsa risposta alla terapia con levo-dopa (Olanow, 2004). Sono segnalati altri sintomi neurologici quali l'insonnia, la confusione mentale e la perdita di memoria a breve termine.

7. DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE

I dispositivi di protezione individuale (DPI), indispensabili nelle operazioni di saldatura, sono volti alla protezione, oltre che del corpo attraverso indumenti specifici, alla protezione delle vie respiratorie, degli occhi e dell'udito.

I DPI per le vie respiratorie devono proteggere sia dai fumi metallici per i quali è necessario un filtro di classe P2 sia dai gas e dai vapori per i quali è necessario un filtro di classe A1; la classe minima del respiratore per saldatura è quindi FFA1P2 (Sarnico, 2003).

Una adeguata protezione degli occhi si ottiene con occhiali dotati di protezioni laterali e filtri colorati inattinici, con grado di oscuramento (DIN) e quindi di protezione, scelto in funzione dell'intensità della radiazione. Le lenti utilizzabili per la saldatura a gas devono avere un grado di oscuramento almeno pari a 3-5 DIN (lenti da 1 a 50 volte più scure di un vetro trasparente), mentre nella saldatura ad arco sono da preferirsi lenti con DIN pari a 11 (20.000 volte più scure di un vetro trasparente). Sono più utilizzati gli schermi facciali con filtro colorato inattinico, che riparano anche dagli spruzzi, durante le operazioni di saldatura ad arco elettrico od effettuate sopra la testa. Tale protezione è però parzialmente efficace, infatti l'operatore all'inizio della saldatura è costretto a spostare la maschera per mirare il punto esatto di inizio della lavorazione, esponendo gli occhi in tal modo alle radiazioni.

Sono da preferirsi le maschere a cristalli liquidi che si adattano in tempi brevissimi all'intensità luminosa evitando di innescare l'arco a maschera alzata; l'incremento del DIN è attivato automaticamente dallo scoccare dell'arco elettrico in meno di 1 millisecondo. E' inoltre importante proteggere tutti i lavoratori che si trovano nella zona di saldatura mediante occhiali a stanghetta o con mascherina con vetro oscurato (Sarnico, 2004).

In questa tecnica LASER non si ha produzione di raggi X ma è richiesta comunque protezione per gli occhi, per la cute e per le vie respiratorie.

Per la protezione dal calore e dalla proiezione di schegge è necessario indossare grembiuli di cuoio e tute in tessuto ignifugo, guanti isolanti e resistenti all'abrasione, taglio, strappo e perforazione, e scarpe di sicurezza con puntale di acciaio.

Uno studio riporta i risultati del monitoraggio biologico effettuato in un gruppo di saldatori-tubisti-carpentieri di un impianto di produzione di energia che utilizzano prevalentemente un procedimento di saldatura ad arco elettrico con elettrodo rivestito di tipo basico. I risultati hanno evidenziato valori di escrezione urinaria di nichel largamente superiori ai valori del gruppo di controllo. Allo scopo di indagare anche l'entità dell'esposizione agli altri metalli presenti in traccia nei fumi di saldatura, gli Autori hanno ritenuto opportuno determinare l'escrezione urinaria di Cr, Mn, Zn, Cu, Al, Pb; solo questi ultimi due sono risultati superiori ai limiti di riferimento e ben correlati ai valori urinari di nichel. L'efficacia dei provvedimenti preventivi, a livello individuale e collettivo, e l'entità dell'esposizione a

fumi di saldatura sono state successivamente controllate mediante dosaggio del nichel urinario a distanza di 12/18 mesi. I risultati hanno mostrato una progressiva e marcata riduzione dell'escrezione urinaria di nichel in tutti i saldatori confermando l'efficacia dei dispositivi di protezione individuale e dei programmi di formazione circa il loro corretto utilizzo (Carrer et al, 1992).

7. RUOLO DEL MEDICO COMPETENTE

La gestione delle misure di prevenzione nelle operazioni di saldatura risulta complessa per la molteplicità dei fattori di rischio e degli effetti sopra considerati. L'incidenza di patologie o di effetti avversi sulla salute, correlati all'attività lavorativa, dovrebbe stimolare l'immediata valutazione delle misure di prevenzione primaria (monitoraggi ambientali, controlli impiantistici e dispositivi di protezione individuale). Un programma di sorveglianza sanitaria si prefigge di integrare, non sostituire, tali misure.

Tra i compiti che spettano al medico competente, il D.Lgs 626/94, all'art.4 comma 6, prevede la collaborazione alla valutazione del rischio in azienda che non può prescindere dal sopralluogo conoscitivo degli ambienti di lavoro. È opportuno che il medico, avendo ben presente la possibilità di un'esposizione multipla e non sempre prevedibile a metalli, promuova la corretta misurazione dei livelli degli inquinanti presenti nel luogo di lavoro. Le attuali metodiche di spettrofotometria in assorbimento atomico permettono l'analisi qualitativa e quantitativa dei metalli presenti nei fumi di saldatura. Il medico in questa sede può fornire indicazioni utili sui fattori influiscono sull'esposizione, a partire dalla tipologia di mansione svolta, dalla tecnica di saldatura utilizzata e dalle condizioni lavorative. A seconda della combinazione di tali fattori, deve considerare l'opportunità di misurare i livelli ambientali di altre sostanze (CO, solventi ecc.) ed eventualmente dei campi elettromagnetici.

Ruolo centrale del medico competente resta ovviamente la prevenzione di alterazioni dello stato di salute conseguenti alla mansione di saldatore. Il medico predispone un piano di sorveglianza sanitaria con l'obiettivo di giungere ad una diagnosi clinica, e laddove possibile eziologica, e di individuare eventuali condizioni di ipersuscettibilità, allo scopo di formulare il giudizio di idoneità alla mansione specifica nonché di accertare precocemente l'insorgenza di condizioni tali da modificare il giudizio precedentemente espresso.

Il piano di sorveglianza sanitaria dovrebbe prevedere tre fasi; una preventiva all'atto dell'assunzione o all'eventuale cambio di mansione, una con periodicità stabilita dal medico stesso, una terza, straordinaria, su richiesta del lavoratore o al rientro dopo un periodo di assenza per infortunio. Gli accertamenti preventivi hanno come finalità la caratterizzazione della popolazione al "tempo zero" e la valutazione dei fattori di rischio individuali e rappresentano un momento adeguato per intraprendere un programma di educazione sanitaria. In questa fase è fondamentale la raccolta di un'anamnesi lavorativa mirata, oltre che fisiologica (comprensiva di notizie sulle abitudini di vita) e patologica. L'esame obiettivo deve valutare lo stato di salute generale del soggetto e deve essere integrato da esami ematochimici e strumentali: ad esempio, esame emocromocitometrico con formula leucocitaria, funzionalità epatica e renale; PFR, ECG, audiometria, Rx torace e visita oculistica. In corso di accertamenti preventivi è fondamentale l'individuazione di soggetti che più di altri potrebbero sviluppare patologie durante l'attività di saldatore per esposizioni anche inferiori a quelle proposte dalle agenzie internazionali al fine di proteggerli ed informarli in modo adeguato. L'ACGIH fissa 5 mg/m³ come valore limite (TLV-TWA), mentre il NIOSH considera i fumi di saldatura potenziali carcinogeni occupazionali e quindi ne raccomanda i più bassi livelli possibili.

Il medico competente, in fase preventiva, deve considerare la presenza di condizioni di ipersuscettibilità congenita, quali il deficit di G6PDH, in caso di esposizione a gas nitrosi, a Pb e O₃ per il rischio di sviluppare anemia emolitica o metaemoglobinemia, oppure il deficit eterozigote di α 1 antitripsina che potrebbe aumentare il rischio di sviluppare broncopneumopatia cronica ostruttiva negli esposti ad agenti broncoirritanti che nel caso dei saldatori sono composti nitrati, solforati, fosforati, Cd e O₃. Più agevole è la valutazione, sia in fase preventiva che periodica, di condizioni di ipersuscettibilità acquisita quali l'abitudine al fumo di sigaretta, l'eventuale assunzione di farmaci, la presenza di preesistenti condizioni patologiche a carico dell'apparato respiratorio e cardiocircolatorio.

L'obiettivo degli accertamenti periodici è l'individuazione di effetti precoci sulla salute o di eventuali alterazioni dello stato di salute che potrebbero essere aggravate dall'esposizione lavorativa, la formulazione del giudizio di idoneità, l'attuazione della formazione e informazione, e la stesura di una relazione sanitaria con valore di indagine epidemiologica anche in relazione a infortuni ed assenteismo. L'anamnesi deve ripercorrere le fasi prima citate in sede di accertamenti preventivi con particolare cura in quella patologica per la

registrazione di sintomi a carico dell'apparato respiratorio, oculare, neurologico e osteoarticolare. Per saldatori esposti a Mn dovranno essere valutate in particolare le funzioni neurocomportamentali e motorie.

La visita medica può essere integrata da esami strumentali e/o di laboratorio da effettuare con periodicità variabile. In funzione dei risultati della valutazione del rischio chimico e della disponibilità di indicatori biologici dotati di specificità e sensibilità, si potrà effettuare il monitoraggio con periodicità semestrale/annuale.

Il giudizio di idoneità è l'atto conclusivo della sorveglianza sanitaria e della valutazione dei rischi. Deve essere espresso non solo in funzione della specifica mansione, ma anche della particolare tecnica di saldatura utilizzata; non è definitivo, può variare nel tempo in funzione di cambiamenti dello stato di salute del lavoratore e di variazioni dell'esposizione.

Tale giudizio deve inoltre considerare l'adeguatezza dei DPI in relazione a tempi di utilizzo, alle condizioni e al carico di lavoro, oltre che alle condizioni di salute dell'utilizzatore e alle situazioni ergonomiche legate all'ambiente o all'organizzazione lavorativa.

BIBLIOGRAFIA

- Alessio L, Apostoli P, Crippa M. Multiple exposure to solvents and metals. *Occupational Hygiene* 1994, 1: 127-151
- Antonini JM, Lewis AB, Roberts JR, et al. Pulmonary effects of welding fumes: review of worker and experimental animals studies. *Am J Ind Med* 2003; 43: 350-360
- Antonini JM. Health effects of welding. *Crit Rev Toxicol*, 2003; 33: 61-103.
- Apostoli P, Porru S, Brunelli E, et al. Multiple exposure to metals in eight types of welding. *G Ital Med Lav Erg* 1997; 19: 8-14.
- Balmes J.R., C.H.Scannell. Occupational lung diseases. In *Occupational and Environmental Medicine*, J. LaDou (ed.). Stamford: Appleton & Lange, 1997. pp. 305-327.
- Bonde JP, Vittinghus E. Urinary excretion of proteins among metal welders. *Hum Exp Toxicol* 1996; 15: 1-4.
- Bonde JP. Occupational risk to male reproduction. *G Ital Med Lav Erg* 2002; 24: 112-117.
- Borak J, Cohen H, Hethmon T.A. Copper Exposure and Metal Fume Fever: Lack of Evidence for a Causal relationship. *AIHAJ* 2000; 61: 832-836.
- Bradshaw LM, Fishwick D, Slater D, et al. Chronic bronchitis, work related respiratory symptoms, and pulmonary function in welders in New Zealand. *Occup Environ Med* 1998;55: 150-154.
- Brittain GPH, Retinal burns caused by exposure to MIG-welding arcs : report of two cases *Br J Ophthalmol* 1988 ; 72 :570-575

- Buerke U, Schneider J, Rosler J, Weitowitz HJ, Interstitial pulmonary fibrosis after severe exposure to welding fumes. *Am J Ind Med* 2002, 41: 259-268
- Candura F, Candura SM. Elementi di Tecnologia industriale a uso dei cultori di Medicina del lavoro. CELT, Piacenza, 2002.
- Carrer P, Maroni M, Farulla A et al. Efficacia delle misure di prevenzione personale nel contenimento della esposizione a metalli dei saldatori. *Med Lav* 1992; 83:587-595.
- Covoni C, Nicolini O, Poletti R, DPI 2000. Il ruolo dei DPI nell'ambito della prevenzione. Modena, eds: Regione Emilia Romagna, ASL Modena, INAIL e ISPESL, 2000. Convegno Nazionale organizzato nell'ambito di Ambiente e Lavoro, VII Salone della Sicurezza e Igiene in ambiente di lavoro.
- Crippa M, Apostoli P, Quarta C, Alessio L. Risk of exposure to metals in the production and processing of copper alloys. *Med Lav.* 1991; 82:261-9.
- Dixon AJ, Dixon BF. Ultraviolet radiation from welding and possible risk of skin and ocular malignancy. *Med J Aust* 2004; 181: 155-7.
- Gold DR, Litonijua A, Schwartz J, et al. Ambient air pollution and heart rate variability. *Circulation* 2000; 101:1267-73.
- Hicks R, Caldas LQ, Dare PRN, et al. Cardiotoxic and bronchoconstrictor effects of industrial metal fumes containing barium *Arch Toxicol* 1986; Suppl, 9:416-420.
- Hjollund NHI, Bonde JPE, Jensen TK et al. Semen quality and sex hormones with reference to metal welding. *Reprod Toxicol* 1998; 12: 91-95.
- IARC. Chromium, nickel and welding. In: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. WHO 1990 Eds. Geneva.
- Islam SS, Nambiar AM, Doyle EJ et al. Epidemiology of work related burns injuries: experience of a state managed worker's compensation system *J Trauma* 2000; 49:1045-1051.
- Korczynski RE. Occupational health concerns in the welding industry. *Appl Occup Environ Hyg.* 2000; 15: 936-945.
- Lee CR, Yoo CI, Lee J, et al. Nasal septum perforation of welders. *Ind Health* 2002; 40: 286-9.
- Lowe BD, Wurzelbacher SJ, Shulman SA, et al. Electromyographic and discomfort analysis of confined space shipyard welding processes. *Appl Ergon* 2001; 32:255-269.
- Mc Millan. Welding. In: Hendrick D, Burge PS, Beckett WS, et al. Occupational disorders of lung recognition management and prevention. Eds W.B. Sanders 2002.
- Minore A, Prezioso A, Principe B et al. Le tecniche di saldatura: rischi professionali e prevenzione. Atti del 2° Seminario dei Professionisti CONTARP: "Dal controllo alla consulenza in azienda", Cuneo, 23-25 gennaio 2001.
- Moulin JJ. A meta-analysis of epidemiologic studies of lung cancer in welders. *Scan J Work Environ Health,* 1997; 23: 104-13.

- Narda R, Magnavita N, Sacco A et al. Affezioni oculari nei saldatori: uno studio longitudinale. *Med Lav*, 1990; 81: 399-406.
- Olanow CW. Manganese-induced parkinsonism and parkinson disease *Ann N Y Acad Sci* 2004; 1012:209-223
- Panosian MS, Dutcher Jr PO. Transtympanic facial nerve injury in welders. *Occup Med* 1994; 44:99-101.
- Racette BA, McGee-Minnich L, Muerlein SM et al. Welding related parkinsonism: clinical features, treatment and pathophysiology. *Neurology*, 2001; 56:8-13.
- Racette BA, Tabbal SD, Jennings D et al. Prevalence of parkinsonism and relationship to exposure in a large sample of Alabama welders. *Neurology* 2005; 64:230-235.
- Reesal MR, Dufrense MR, Suggett D et al. Welder eye injuries. *J Occup Med* 1989, 31: 1003-1006.
- Sarnico M. Devices for individual protection of the respiratory tract. *G Ital Med Lav Ergon.* 2003, 25: 116-9.
- Sarnico M. Individual eye protective devices. *G Ital Med Lav Ergon.* 2004, 26: 136-9.
- Shanahan EM, Hanley SD. Soft tissue injury in resistance welding point. *Occup Med* 1995; 45:137-140.
- Sjogren B, Fossum T, Lindh T et al. Welding and ischemic heart disease. *Int J Occup Environ Health* 2002; 8:309-311
- Sjogren B, Langard S. RE: pulmonary effects of welding fumes: review of worker and experimental animal studies *Am J Ind Med*, 2004; 45:478-479
- Waldron HA. Non neoplastic disorders due to metallic, chemical and physical agents. In *Occupational Lung Disorders*, W.R. Parkes (ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann, 1994. pp. 593-643.
- Witholt R, Gwiazda RH, Smith DR. The neurobehavioral effects of subchronic manganese exposure in the presence and absence of pre-parkinsonism. *Neurotoxicol Teratol.* 2000; 22:851-61.