



Piani Mirati di Prevenzione

Saldatura dei metalli

Effetti sulla salute dei lavoratori

Stefano Di Bona – Servizio Prevenzione e Sicurezza Ambienti di Lavoro - ASL AL

Alessandria, 12 maggio 2023



Definizione

La saldatura indica il processo che consente **l'unione** tra loro di diversi **materiali mediante apporto di calore o pressione**, con o senza materiali aggiuntivi

In realtà storicamente tale termine è di solito associato alla saldatura dei **metalli**



Diego Velasquez, La fucina di Vulcano, 1630 Museo nacional del Prado, Madrid



Il materiale base

- In generale, gli acciai sono una **lega** composta principalmente da **ferro e carbonio** anche se **possono essere presenti altri elementi** che conferiscono caratteristiche peculiari
- La maggior parte delle operazioni di saldatura sono eseguite su **acciaio dolce e acciaio inox**.
 - L'**acciaio dolce** (a basso tenore di carbonio) **contiene principalmente ferro**, insieme a piccole quantità di metalli additivi come **manganese, rame e molibdeno**.
 - L'**acciaio inox** contiene **almeno il 12% di cromo**, il che lo rende più resistente alla corrosione rispetto all'acciaio dolce. **Può contenere fino al 25% di cromo, al 7% di nichel e al 4% di molibdeno**, con le percentuali di questi metalli che variano per ottenere particolari caratteristiche di prodotto.
- Le **leghe di acciaio** contengono quantità specifiche di elementi diversi dal carbonio, come **manganese, cromo, nichel, molibdeno, silicio, titanio, rame, vanadio, cobalto o alluminio**.



Tecniche di saldatura

Le tecniche di saldatura possono a grandi linee essere classificate in base alla fonte di calore utilizzata:

- **combustibili**
 - la **saldatura a gas** ed il taglio **a ossi-combustione** utilizzano combustibili e ossigeno per saldare o tagliare metalli
- **elettricità**
 - nella **saldatura ad arco elettrico** viene generato un arco voltaico (saldatura **manuale ad arco elettrico** (MMA), saldatura **ad arco elettrico a gas** (MIG, MAG), saldatura **ad arco sommerso** (SAW), saldatura **ad arco elettrico con gas tungsteno** (TIG))
 - nella **saldatura a resistenza elettrica** (ERW), le **parti metalliche** a contatto vengono **unite riscaldandole con una corrente elettrica (effetto joule)**, che fonde il metallo in corrispondenza del giunto

Inoltre, i materiali metallici possono essere uniti anche utilizzando un **metallo d'apporto** che nel caso della **brasatura e della saldobrasatura (eterogena)** ha caratteristiche fisico-chimiche diverse dal materiale base



Fumi di saldatura

La saldatura determina la produzione di vari inquinanti dell'ambiente di lavoro potenzialmente pericolosi per la salute dei lavoratori quali **fumi, gas di saldatura e radiazioni non ionizzanti**

- I **fumi** sono una **dispersione di particelle solide** (con diametro in genere minore di $1\text{ }\mu\text{m}$) **in un gas** che, nel caso dei processi di saldatura, si formano quando i metalli vengono riscaldati **al di sopra del loro punto di fusione**, vaporizzano e successivamente condensano
- Le particelle di ridotta dimensione presenti nei fumi di saldatura penetrano nelle vie respiratorie e la **frazione respirabile** (diametro $< 4\text{ }\mu\text{m}$) può depositarsi a livello **alveolare**, differentemente da quelle di diametro superiore che vengono eliminate attraverso il meccanismo della clearance muco-ciliare o che non penetrano nell'albero respiratorio
- Contengono una miscela complessa composta da **oltre 50 sostanze chimiche organiche e inorganiche**, tra cui soprattutto ossidi metallici, **che derivano dal filo o dall'elettrodo, dal metallo di base, dal metallo d'apporto e da qualsiasi rivestimento**



Limiti di esposizione

- **Non ci sono limiti normativi** per l'esposizione occupazionale ai fumi di saldatura né a livello nazionale, né a livello dell'Unione Europea
- In passato, l'**ACGIH** aveva definito un limite di esposizione di **5 mg/m³** ancora utilizzato in alcuni Paesi, ma attualmente ritenuto troppo elevato e **non protettivo nei confronti degli effetti cancerogeni**
- Nella maggior parte degli studi analizzati da IARC ed in quelli condotti nei paesi industrializzati negli ultimi decenni le concentrazioni erano **di solito al di sotto del limite di 5 mg/m³**, anche se in alcune situazioni si sono riscontrati elevati livelli di esposizione (**anni '90, paesi in via di sviluppo, saldatura in spazi confinati**)
- La tecnica di saldatura utilizzata, i sistemi di ventilazione, il grado di incapsulamento e il livello di formazione dell'operatore sono i **principali determinanti** sul livello di esposizione a particolato



Concentrazione, dimensioni e composizione del particolato

La monografia n. 100 dello IARC (2018) ha preso in considerazione i diversi studi che hanno misurato la concentrazione di fumi di saldatura

- Anche se tra di loro i diversi studi presentavano un discreto grado di variabilità, la saldatura **MMA** produce un livello più elevato di fumi rispetto a quella **MAG/MIG** ed ancor più rispetto a quella **TIG**
- Nei processi di saldatura MIG/MAG era presente una maggior quantità di **particelle di dimensioni inferiori** rispetto alla MMA (Hewett, 1995) e la TIG ha avuto il più alto numero di particelle di piccole dimensioni, tra cui le particelle ultrafini (Graczy, 2016)
- Tra i diversi **metalli** che si possono trovare nei **fumi di saldatura**, sia sotto forma di ossidi che di metalli, alcuni dei quali classificati **nel gruppo 1 (cancerogeni umani certi)** dalla IARC (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro):

Alluminio	Cadmio	Cromo	Nichel
Manganese	Ferro	Magnesio	Molibdeno
Piombo	Titanio	Tungsteno	Zinco
Fluoruri	Arsenico	Rame	



Cromo (Cr), Nichel (Ni) e Cadmio (Cd)

L'esposizione a cromo, nichel e cadmio riguarda prevalentemente la **saldatura di acciaio inox**, in cui i livelli di concentrazione in aria di cromo e nichel sono circa **10 volte superiori** a quelli misurati nella saldatura di acciaio dolce

- L'azione cancerogena del **cromo** è dovuta alla sua forma esavalente (**Cr VI**), le cui più elevate concentrazioni sono state trovate a carico dei saldatori MMA di acciaio inox (range delle medie: 50–140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - OEL: 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dal 2025)
- Anche per i composti del **nichel** la IARC (Monografia n. 100) ha evidenziato elevate concentrazioni nei processi di saldatura su acciaio inox con un'ampia variabilità nei diversi studi e netta differenza tra le diverse tecniche utilizzate (OEL: 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dal 2025 bozza di Direttiva Comunitaria)
 - MMA (range di medie: 11–440 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 - MIG/MAG (range di medie: 11.6–100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 - FCAW (medie: 7 e 50.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Per quanto riguarda il **cadmio**, livelli aerei di 1-2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sono stati misurati in diversi studi su saldatori esposti a concentrazioni medio-basse di fumi di saldatura. Il DM 11 febbraio 2021 ha stabilito per il cadmio un valore limite occupazionale di 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con un limite transitorio di 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fino al 2027

OEL: Occupational Exposure Limits (Limite di Esposizione Occupazionale); FCAW: Flux Core Arc Welding (saldatura con filo animato a flusso non metallico)



Effetti sulla salute dei fumi di saldatura

L'esposizione a fumi di saldatura può causare una serie di effetti sulla salute sia a carattere acuto che cronico, principalmente a carico dell'apparato respiratorio, della cute e del sistema nervoso.

Effetti acuti sull'apparato respiratorio

Gli effetti acuti sono determinati dall'esposizione a livelli elevati di fumi per brevi periodi ed i sintomi insorgono dopo poco tempo dall'esposizione

- **irritazione di occhi, naso e gola, vertigini, nausea;**
- **febbre da fumi metallici:**
 - febbre, brividi, tremori che compaiono 4-12 ore dopo l'esposizione e generalmente regrediscono in 1-2 giorni
 - normalmente dovuta a brevi esposizioni ad elevati livelli di zinco, ma anche magnesio e rame possono provocarla



Tumori del polmone e naso-sinusali

- La maggior parte degli studi esaminati dalla IARC (circa 20 studi caso-controllo e 30 studi di coorte) hanno evidenziato un **aumento del rischio** di sviluppare tumori del polmone sia nei **saldatori** che nei **lavoratori esposti** a fumi di saldatura. Il rischio è risultato direttamente correlato all'aumentare della durata di esposizione o dell'esposizione cumulativa ai fumi (**effetto dose-risposta**) (IARC, 2018)
- Un rischio doppio di sviluppare un tumore del polmone era presente anche in saldatori esposti a concentrazioni di fumi di saldatura $< 1.8 \text{ mg/m}^3$ per almeno 5 anni (Pesch et al., 2019) ed un eccesso di rischio è stato evidenziato anche in lavoratori che saldavano occasionalmente (Kendzia et al., 2013) - (**effetto a basse dosi di esposizione**)
- Anche **cromo esavalente** e composti del **nichel** sono stati classificati dalla IARC e dall'Unione Europea come cancerogeni certi per l'uomo (IARC, 2012a, Vol. 100C), con una forte evidenza di associazione per entrambi i metalli con i **tumori del polmone** e, limitatamente ai composti del nichel, con i **tumori naso-sinusali**
- **Cadmio, arsenico, berillio** (IARC, 2012a, Vol. 100C) e alcuni **idrocarburi policiclici aromatici** (IARC, 2010, Vol. 92) sono anch'essi classificati dalla IARC come cancerogeni certi per l'uomo ed hanno il polmone come organo bersaglio.



Tumori del rene ed altre neoplasie

- La IARC ha analizzato diversi studi di coorte e studi caso-controllo in merito all'associazione tra tumori renali e fumi di saldatura. Nel complesso, è stato evidenziato un aumento del rischio di malattia in studi condotti in diverse aree geografiche, per diversi contesti professionali e con disegni differenti. Tuttavia, non tutti i risultati sono risultati statisticamente significativi, il numero degli esposti è stato spesso limitato e vi sono state poche prove di una relazione dose-risposta, cosa che non ha permesso di escludere spiegazioni alternative. Pertanto, tale associazione positiva è stata valutata come di **limitata evidenza**
- Gli studi relativi all'associazione tra fumi di saldatura e neoplasie con altra localizzazione (sangue ed organi emopoietici, vescica, cervello, orofaringe, TUNS, apparato digerente, apparato riproduttore) non hanno raccolto prove sufficienti



Melanoma oculare e cataratta

- La saldatura ad arco produce **radiazioni ultraviolette (UV)**, che sono un agente sicuramente cancerogeno per l'uomo, che aumenta il rischio di insorgenza di **melanoma oculare** (IARC, 2012b, vol. 100D) mentre le **radiazioni infrarosse (IR)** che sono una causa riconosciuta di **cataratta** tra i saldatori.



Patologie non neoplastiche – Apparato Respiratorio

Broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO)

E' una condizione patologica caratterizzata da una limitazione del flusso aereo non completamente reversibile. Comprende l'**enfisema**, caratterizzato da distruzione ed allargamento degli alveoli polmonari, la **bronchite cronica**, con quadro clinico di tosse cronica ed espettorato, **malattia delle piccole vie aeree**, condizione caratterizzata da una riduzione del calibro dei bronchioli.

E' una patologia di importanza crescente per la salute pubblica ed anche se il fumo di sigaretta è la sua causa principale diversi studi hanno evidenziato un **aumento della probabilità di sviluppare la malattia anche a livelli di esposizione a fumi di saldatura relativamente bassi**:

- **aumento del rischio di BPCO di quasi il 60%** tra gli esposti a fumi di saldatura ad un **livello > a 0.9 mg/m³** (Grahm et al., 2021; Svezia).
- **aumento del rischio di BPCO 4 volte superiore** negli esposti a fumi di saldatura a **livelli intermedi o elevati**, rispetto ad un gruppo di saldatori a bassa esposizione (<0.1 mg/m³ durante 40 anni) (Koh et al., 2014; Corea del Sud).
- **aumento del rischio di BPCO di 2 volte** nel gruppo ad **alta esposizione**, e **aumento del 40% in quello a bassa esposizione**, che era stato occupato in operazioni di saldatura per meno del 25% del tempo di lavoro (Holm et al., 2012; Germania).

Fibrosi polmonare

La **fibrosi interstiziale polmonare** è stata associata ad un'esposizione prolungata e ad alte concentrazioni ai fumi di saldatura. Il danno, inizialmente a carattere infiammatorio a livello delle pareti alveolari può successivamente estendersi dando luogo ad una **fibrosi interstiziale**. Clinicamente la malattia si caratterizza per la dispnea, da sforzo o persistente, e tosse produttiva. (Buerke et al., 2002; Roshan et al., 2012; Cosgrove, 2015; Koksai et al., 2020).



Patologie non neoplastiche – Apparato Respiratorio

Asma

L'asma è una sindrome caratterizzata dall'ostruzione delle vie aeree conseguente ad un processo infiammatorio che le rende più responsive ad un'ampia gamma di stimoli. Diversi studi hanno riportato un aumento della frequenza della [sintomatologia asmatica negli addetti alla saldatura di acciaio inox](#) (Keskinen et al., 1980; Vandenplas et al., 1995; Contreras et al., 1997; Hannu et al., 2005; Banga et al., 2011)

Nel determinismo di tale fenomeno, sono stati chiamati in causa sia [l'esposizione al nichel](#) (Fishwick et al., 1997) che meccanismi non igE mediati bensì di carattere prevalentemente irritativo (Baur et al., 2012).



Patologie non neoplastiche – Cute

Dermatiti

I metalli sono una delle principali cause di dermatite, sia di tipo irritativo che allergico.

Dermatite allergica: i più comuni metalli sensibilizzanti sono **nichel, cobalto e cromo** , mentre quelli meno comuni sono platino, indio, mercurio, iridio e titanio.

Dermatite irritativa: gli agenti più frequentemente responsabili sono **sodio, potassio, litio, fosforo, bromo, iodio e cloruro di alluminio** (Pacheco, 2018).

Alcune delle **esposizioni a metalli nell'aria come nichel, cobalto e cromo** possono causare **sensibilizzazione sia dermica che respiratoria** , quindi va tenuto presente che anche alcuni agenti sensibilizzanti la cute possono portare a malattie respiratorie.



Patologie non neoplastiche – Sistema Nervoso

Disturbi neurologici

Sono legati all'esposizione a manganese, presente in piccole quantità nell'acciaio dolce e nelle leghe.

- **Cambiamenti di umore, riduzione della memoria a breve termine, tempi di reazione alterati e ridotta coordinazione occhio-braccio** sono stati riscontrati già a **livelli di manganese nei fumi di saldatura superiori a 0.2 mg/m^3**
- L'esposizione cronica a **livelli di manganese superiori a 0.5 mg/m^3** provoca **effetti neurologici più sfumati** sull'apprendimento e sulla memoria, oltre ad astenia muscolare e disturbi motori
- L'esposizione prolungata a **concentrazioni aeree di manganese $> 1 \text{ mg/m}^3$** causa un aumento del rischio di sviluppare una sindrome neurologica simile al morbo di Parkinson, denominata "**manganismo**"

In Italia, il **limite di esposizione a manganese è di $200 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ nella frazione inalabile e a $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ in quella respirabile (DM 18/05/2021)** superiore a quello previsto dall'ACGIH (rispettivamente di $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ e di $20 \text{ } \mu\text{g/m}^3$)

A concentrazioni di **particolato $> 5 \text{ mg/m}^3$** la concentrazione di **manganese** sarebbe **al di sopra dell'attuale TLV di $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$** nella frazione inalabile (Hobson et al., 2010) mentre uno studio svedese ha evidenziato come ad una **concentrazione di polveri inalabili $> 0.8 \text{ mg/m}^3$** siano state stimate **concentrazioni di manganese** nella frazione respirabile **superiori al limite occupazionale di $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$** (Gliga et al., 2020)



Patologie non neoplastiche – Apparato Cardiovascolare

Malattie cardiovascolari

- Diversi studi epidemiologici hanno osservato un **incremento del rischio di infarto miocardico acuto**. In particolare, Una revisione da parte del Nordic Expert Group on Occupational Chemicals degli effetti dei fumi di saldatura sul rischio di malattie cardiovascolari ha concluso che esiste un'**evidenza “moderatamente forte”** che questi provochino un **aumento del rischio di queste malattie** (Sjogren et al., 2020)
- In uno studio **svedese i saldatori con un'esposizione mediana** di particolato misurato come frazione respirabile **inferiore a 1 mg/m³** mostravano un **aumento significativo della pressione diastolica e sistolica**



Gas di saldatura

I **gas di saldatura** sono molecole allo stato gassoso nell'aria ambiente che si **generano durante il processo di saldatura** o che sono **utilizzate** (es. gas di protezione) nel processo di saldatura, i più comuni dei quali sono:

- **gas di protezione**, come **anidride carbonica, argon o elio, azoto**;
- **gas combustibili**, come **acetilene, butano o propano**;
- **gas prodotti dai processi di saldatura**, come **monossido di carbonio (CO), ozono, ossidi di azoto e acido fluoridrico**.

L'**ozono** e gli **ossidi di azoto** presenti nei gas di saldatura sono **agenti irritanti**, la cui esposizione può aumentare il rischio di sviluppare una **riduzione della funzionalità respiratoria e/o una broncopneumopatia cronica ostruttiva** conclamata.

L'esposizione a **gas di protezione** (come **argon, elio** e **azoto** o a base miscele contenenti anidride carbonica, ossigeno o entrambi) può causare **asfissia** (soffocamento per mancanza di ossigeno), di solito derivante da accumulo dei gas in spazi confinati.

Il **monossido di carbonio** raggiunge facilmente gli alveoli polmonari e quindi il sangue, dove compete con l'ossigeno per il legame con l'emoglobina a formare **carbossi-emoglobina**, causando una **ipossia a carico del sistema nervoso, cardiovascolare e muscolare**, che può portare a morte. Un **mal di testa di tipo tensivo** è il sintomo più comune di un lieve avvelenamento da monossido di carbonio. Altri sintomi includono: **vertigini, malessere, stanchezza e confusione, mal di stomaco e difficoltà alla respirazione**.



Il monitoraggio dello stato di salute dei lavoratori esposti

Al fine di rilevare il più precocemente possibile eventuali alterazioni dello stato di salute il medico competente predispone un **protocollo di sorveglianza sanitaria** scegliendo accertamenti sanitari mirati e non invasivi. In tal senso il protocollo deve prevedere:

- La **storia lavorativa** pregressa e le relative condizioni espositive
- Le **informazioni sullo stato di salute** con particolare attenzione agli organi bersaglio (questionari)
- L'**esame clinico** generale e specifico
- Gli **accertamenti strumentali** previsti dal protocollo, mirati agli organi bersaglio. Ad esempio:
 - Le prove di funzionalità respiratoria (curva flusso-volume) forniscono al MC elementi utili per il monitoraggio nel tempo di eventuali modificazioni di parametri funzionali a carico di un organo bersaglio come il polmone. Presentano scarsa, invasività, praticità di esecuzione anche se devono essere eseguite da personale sanitario adeguatamente addestrato
 - Gli esami di laboratorio integrativi della visita medica hanno la funzione di evidenziare alterazioni dello stato di salute dei lavoratori (da causa non lavorativa, es una nefropatia, patologia respiratoria od allergica) che potrebbero aggravarsi per l'esposizione ai fattori di rischio e di individuare precocemente alterazioni dello stato di salute correlate all'esposizione professionale.
- La **sintesi clinica** con una precisa definizione diagnostica
- La formulazione del **giudizio di idoneità** alla mansione specifica



Le motivazioni di un Piano Mirato di Prevenzione

- ✓ I lavoratori addetti alla saldatura o comunque esposti ai fumi di saldatura rappresentano una quota non trascurabile della popolazione lavorativa. In **Italia**, il numero di addetti ad operazioni di saldatura è stimabile in circa **180.000**, mentre in **Piemonte**, nell'ambito del solo settore metalmeccanico, si possono contare circa **15.000** lavoratori soprattutto nella aziende con più di 10 dipendenti
- ✓ I fumi di saldatura prodotti anche nelle operazioni di saldatura su acciaio dolce sono **cancerogeni certi per l'uomo (Gruppo 1)**. Inoltre, nelle operazioni di saldatura su acciaio inox e leghe metalliche i lavoratori possono essere esposti anche a cromo, nichel, arsenico, cadmio e berillio, anch'essi classificati come cancerogeni certi
- ✓ L'esposizione a fumi di saldatura è potenzialmente causa di **patologie non neoplastiche** ma responsabili di danni anche gravi a carico soprattutto **dell'apparato respiratorio**
- ✓ Le **misure preventive** attualmente a disposizione sono **efficaci** nella riduzione dell'esposizione a fumi di saldatura (aspirazioni localizzate, DPI) e dei danni da radiazioni UV e IR