



# PMP Rischio cancerogeno professionale

## NATURA DELL'ESPOSIZIONE e DANNI ALLA SALUTE

Alessandro Leone



PMP RISCHIO CHIMICO e CANCEROGENO – VERDUNO 24 NOVEMBRE 2023





## Dov'è il problema?





## Dov'è il problema?

- Durante la **saldatura** si libera una miscela complessa di fumi e di gas
- Una miscela complessa è una miscela che comprende decine (o centinaia) di sostanze, la cui composizione quantitativa e qualitativa non è completamente conosciuta e può essere soggetta a variazioni.
- I fumi sono costituiti principalmente da particelle solide temporaneamente sospese in aria e derivanti dai materiali solidi riscaldati mentre i gas sono molecole gassose usate per la saldatura o generate da essa.



## Fumi di saldatura

- Sono **soprattutto particelle solide di ossidi metallici**, che vengono prodotti quando i metalli sono riscaldati al di sopra del loro punto di fusione, vaporizzano e si condensano in fumi.
- Il profilo tossicologico di queste particelle **non dipende solo dal materiale e dalla concentrazione** ma anche dalle loro **dimensioni** e dalle **caratteristiche superficiali**.
- I fumi di saldatura hanno un diametro aerodinamico medio **inferiore a 1 micron**, che consente la loro penetrazione fino alle vie respiratorie profonde.
- La saldatura **MIG/MAG e quella MMA producono livelli di fumi di saldatura più elevati di quelli della saldatura TIG**, ma quest'ultima produce il numero più alto di piccole particelle, che sono quelle che raggiungono le vie respiratorie profonde.



## Classificazione IARC dei fumi di saldatura

La maggior parte degli studi hanno osservato un aumento del rischio di sviluppare tumori del polmone in saldatori o lavoratori esposti a fumi di saldatura e, **con la monografia 118 del 2018, la IARC li ha riclassificati come "cancerogeni" per l'uomo (Gruppo 1)**, aggiornando la precedente classificazione di "possibili cancerogeni" per l'uomo (Gruppo 2B) nel 1989.



## Intensità e limiti di esposizione a fumi saldatura

- **Non ci sono limiti di esposizione occupazionale a fumi di saldatura**, in termini di frazione inalabile o respirabile (che è circa la metà di quella inalabile), né a livello nazionale, né a livello dell'Unione Europea.
- **L'ACGIH aveva definito in passato un limite di esposizione intorno ai 5 mg/m<sup>3</sup>** (utilizzato ancora oggi da alcuni paesi), ora giudicato **troppo alto per proteggere dagli effetti cancerogeni**.
- Per la saldatura su acciai non legati (dolci), la IARC (IARC, 2018) riporta **concentrazioni di fumi di saldatura con una grande variabilità**.  
**Principali determinanti dei livelli di esposizione: tipo di processo di saldatura, uso delle aspirazioni localizzate e grado di incapsulamento dell'operazione di saldatura**
- **Nella maggior parte degli studi riportati da IARC e in altri condotti nei paesi industrializzati negli ultimi decenni le concentrazioni erano perlopiù al di sotto dei 5 mg/m<sup>3</sup>** (ad eccezione della saldatura in spazi confinati)
- Le **misure di esposizione a fumi di saldatura effettuate dall'Arpa Piemonte** negli ultimi 10 anni indicano **concentrazioni di polveri inalabili al di sotto dei 5 mg/m<sup>3</sup>** (range: 0.38 – 4.36 mg/m<sup>3</sup>) e **di polveri respirabili al di sotto dei 2 mg/m<sup>3</sup>** (range: 0.17 – 1.26 mg/m<sup>3</sup>) (Bertello et al., 2021).





## L'esposizione a metalli nella saldatura.

- La maggior parte delle operazioni di saldatura sono eseguite su **acciaio non legato e acciaio inossidabile (definizioni da Norma UNI EN 10020)**.
- L'**acciaio non legato** contiene principalmente ferro, ed il tenore degli elementi non deve superare i limiti contenuti nella norma UNI EN 10020, in particolare il Cr deve essere  $< 0,40\%$ , il Ni  $< 0,30\%$  ed il Mn  $< 1,65\%$
- L'**acciaio inossidabile**, secondo la UNI EN 10020, contiene **almeno il 10,5% di Cr e un massimo di 1,2% di C**. Nella maggior parte dei casi, insieme al Cr è presente anche il Ni.
- Quando le specifiche non corrispondono a quelle di cui sopra, **l'acciaio è definito legato**.
- Il **Cr** aumenta la **resistenza meccanica**, la **durezza**, la **resistenza all'usura**, l'**elasticità** e la **temprabilità**.
- Il **Ni** aumenta la **tenacità** (senza alterare la lavorabilità), la **resistenza alla corrosione** e la **temprabilità**.
- Il **Mn** si trova in tutti gli acciai in piccole quantità per la sua **azione disossidante**. Quando è  **$>10\%$**  aumenta la **durezza** e la **resistenza all'usura**, senza far diminuire la resilienza.



## Esposizione a cromo, nichel, cadmio e manganese

L'esposizione a **manganese** riguarda tutta la saldatura su acciaio, mentre per quanto riguarda l'esposizione a **cromo, nichel e cadmio** questa è associata prevalentemente alla **saldatura di acciaio inox**.

Le misure di esposizione effettuate dall'Arpa Piemonte indicano per la saldatura su acciaio inox concentrazioni di Cr VI tra 0,0004 e 0,002 mg/m<sup>3</sup> (0.7-2.4% di cromo) e di nichel tra 0,037 e 0,065 mg/m<sup>3</sup>. Per la saldatura su acciaio dolce sono state misurate concentrazioni di cromo totale tra 0,002 e 0,004 mg/m<sup>3</sup> e di nichel tra 0,0005 e 0,002 mg/m<sup>3</sup>.

I dati di letteratura riportano anche concentrazioni decisamente più alte di cromo e nichel per la saldatura MMA e, per quanto riguarda il cadmio, livelli aerei di 0,001-0,002 mg/m<sup>3</sup> sono stati misurati in diversi studi su saldatori esposti a concentrazioni medio-basse di fumi di saldatura.

INQUINANTE	Valore limite LV - TLV/TWA (mg/m <sup>3</sup> )	
	D.Lgs. 81/08 - EU (SCOEL o Direttive <sup>a, b, c</sup> )	ACGIH (2019)
	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>
<b>Cromo totale e Cromo (III)</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5 Cromo totale 0.003 (Cr (III))</b>
<b>Nichel</b>	direttiva (UE) 2022/431 <b>0,01 (fraz. respirabile, misurata come nichel) dal 18/01/2025</b> <b>0,05 (fraz. inalabile, misurata come nichel) dal 18/01/2025.</b> Misura transitoria: 0,1 mg/m <sup>3</sup> come frazione inalabile fino al 18/01/2025 SCOEL/SUM/85 (nichel e composti inorganici del nichel): 0,005 frazione respirabile 0,01 frazione inalabile (escluso nichel metallico)	<b>0,2 composti inorganici insolubili; 0,1 composti organici solubili</b>  Escluso Ni metallico <sup>(1)</sup>
<b>Manganese</b>	Inalabile: 0,2 Respirabile: 0,05	Inalabile: 0,1 Respirabile: 0,02
<b>Cromo (VI)</b>	0,005 (dopo il 17.1.2025) Misure transitorie Direttiva UE 2017/130: VL di 0,025 per i procedimenti di <b>saldatura</b> , taglio plasma o analoghi procedimenti di lavorazione che producono fumi: VL di 0,010 fino a 17 gennaio 2025 (cromatura)	0,0002 (da 2018)
<b>Cadmio</b>	Frazione inalabile: 0,004 mg/m <sup>3</sup> (fino all'11.07.2027); successivamente, 0,001 mg/m <sup>3</sup> , se BLV Cd-U 2 µg/g creatinina	Frazione inalabile: 0,01 Frazione respirabile: 0,002





## Effetti sulla salute dei fumi di saldatura

L'esposizione a fumi di saldatura può causare diversi **effetti sulla salute**, acuti e cronici

### Effetti acuti

**Determinati dall'esposizione a livelli elevati di fumi per brevi periodi**

**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



## Effetti sulla salute dei fumi di saldatura – Effetti cronici

### Broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO)

Include l'**enfisema**, caratterizzato da danno agli alveoli polmonari, e la **bronchite cronica**, cioè un'inflammatione a lungo termine delle vie aeree.

Diversi studi hanno evidenziato un **aumento della probabilità di sviluppare una BPCO anche a livelli di esposizione a fumi di saldatura relativamente bassi**:

- Aumento del rischio BPCO di quasi il 60% tra gli esposti a fumi di saldatura ad un livello  $> 0,9 \text{ mg/m}^3$  (Gran et al., 2021; Svezia).
- Aumento del rischio BPCO 4 volte superiore negli esposti a fumi di saldatura a livelli intermedi o elevati, rispetto ad un gruppo di saldatori a bassa esposizione ( $< 0,1 \text{ mg/m}^3$  durante 40 anni) (Koh et al., 2014; Corea del Sud).
- Aumento del rischio 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

L'esposizione a fumi di saldatura può causare una **fibrosi interstiziale polmonare**, malattia grave anche se rara, **dovuta ad un'esposizione prolungata ad alte concentrazioni**, tali da provocare una **bronchiolite interstiziale**, con eventuale evoluzione in fibrosi (Buerke et. al., 2002; Roshan et al., 2012; Cosgrove, 2015; Koksall et al., 2020).



## Effetti sulla salute dei fumi di saldatura - **Effetti cronici**

### **Tumori**

- La maggior parte degli studi esaminati dalla IARC (più di 20 studi caso-controllo e quasi 30 studi basati su coorti occupazionali) hanno osservato **un aumento del rischio di sviluppare tumori del polmone** in saldatori o lavoratori esposti a fumi di saldatura, con un aumento del rischio all'aumentare della durata di esposizione o dell'esposizione cumulativa ai fumi (IARC, 2018).
- Eccessi anche a basse dosi: un **raddoppio del rischio di cancro del polmone** era presente anche per i saldatori con livello di **esposizione a fumi di saldatura < 1.8 mg/m<sup>3</sup> per almeno 5 anni** (Pesch et al., 2019), un altro studio indica un **eccesso di cancro del polmone** anche a carico di **lavoratori che saldavano occasionalmente** (Kendzia et al., 2013)
- Per i **tumori del rene** la IARC ha stabilito un'associazione con i fumi di saldatura con **limitata evidenza**
- 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 pure classificati dalla IARC come sicuramente cancerogeni per l'uomo, con il **polmone** come **organo bersaglio**.



## Effetti sulla salute dei fumi di saldatura - Effetti cronici

### Disturbi neurologici

- L'acciaio dolce contiene piccole quantità di manganese (Mn), che è anche presente in leghe di acciaio
- L'esposizione prolungata a **concentrazioni aeree di manganese > 1 mg/m<sup>3</sup>** causa **un** aumento del rischio di sviluppare una sindrome neurologica simile al morbo di Parkinson, denominata «manganismo» (Kirkey et al., 2001; Park et al., 2013).
- L'esposizione cronica a **livelli di manganese > 0,5 mg/m<sup>3</sup>** provoca **effetti neurologici più sfumati** sull'apprendimento e sulla memoria, oltre ad astenia muscolare e disturbi motori (Klos et al., 2006; Bowler et al., 2007; Aschener et al., 2007), a causa dell'accumulo di manganese in due aree del cervello, il globus pallidus e la substantia nigra (Olanow et al., 1996; Pal et al., 1999).
- **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 > 0,2 mg/m<sup>3</sup>** (Ellingson et al., 2014; Park et al., 2009).
- In Italia, il limite di esposizione a manganese è **0,21 mg/m<sup>3</sup> nella frazione inalabile** e **0,05 mg/m<sup>3</sup> nella frazione respirabile** (All. XXXVIII del D.Lgs. 81/08).
- A concentrazioni di fumi di saldatura > 5 mg/m<sup>3</sup> la concentrazione di Mn sarebbe al di sopra dell'attuale TLV dell'ACGIH di 0,01 mg/m<sup>3</sup> nella frazione inalabile (Hobson et al., 2010).
- In uno studio svedese, già ad una concentrazione di fumi di saldatura > 0,8 mg/m<sup>3</sup> sono state stimate concentrazioni di manganese nella frazione respirabile superiori al limite occupazionale di 0,05 mg/m<sup>3</sup> (Gliga et al., 2020).
- Le misure di esposizione effettuate dall'**Arpa Piemonte** indicano nelle operazioni di saldatura **concentrazioni di Mn tra 0,08 e 0,158 mg/m<sup>3</sup> nella frazione inalabile** e **tra 0,02 e 0,71 mg/m<sup>3</sup> in quella respirabile** (Bertello et al., 2021).



## Effetti sulla salute dei fumi di saldatura - **Effetti cronici**

### **Asma professionale**

Diversi studi hanno riportato un aumento dell'insorgenza di sintomi respiratori asmatici in addetti alla saldatura di acciaio inox (Keskinen et al., 1997; Hannu et al., 2005; Banga et al., 2011), che sarebbe dovuto soprattutto all'esposizione a nichel (Fishwick et al., 1997)

L'asma bronchiale da fumi metallici non sarebbe basato su un meccanismo di sensibilizzazione con un aumento delle IgE, ma prevalentemente su un meccanismo di tipo irritativo (Baur et al., 2012).

### **Dermatiti**

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

Dermatite allergica: i più comuni sensibilizzanti sono nichel, cobalto e cromo, mentre quelli 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 dell'esposizioni a metalli aerodispersi come nichel, cobalto e cromo possono causare sensibilizzazione sia dermica che respiratoria, quindi va tenuto presente che alcuni agenti sensibilizzanti la cute possono portare a malattie respiratorie.



## Effetti sulla salute dei fumi di saldatura - **Effetti cronici**

### **Malattie cardiovascolari**

- Diversi studi epidemiologici hanno osservato un **incremento del rischio di coronopatia ischemica** tra i saldatori (Sjogren et al., 2020).
- Una meta-analisi ha stimato un modesto eccesso di rischio per la coronopatia ischemica (RR=1,09, 95% CI 1,00-1,19) basato su 10 studi, e un marcato incremento di **infarto miocardico acuto** (RR=1,69, 95% CI 1,18-2,42), basato su tre studi (Mocevic et al., 2015).
- In uno studio danese è stato stimato un eccesso di rischio di infarto per una concentrazione cumulativa a frazione respirabile di fumi di saldatura di 10-50 mg/m<sup>3</sup>-anno (Ibfelt et al., 2010), corrispondenti a concentrazioni da circa 0,25 mg/m<sup>3</sup> – 1,25 mg/m<sup>3</sup> per 40 anni di saldatura.
- In uno studio **svedese saldatori con un'esposizione mediana** di particolato misurato come frazione respirabile **inferiore a 1 mg/m<sup>3</sup>** mostravano un **aumento significativo della pressione diastolica e sistolica** (Taj et al, 2020).
- Una revisione da parte del Nordic Expert Group in 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).





## Gas di saldatura

I **gas di saldatura** vengono generati dai gas utilizzati per la schermatura, dalla decomposizione delle sostanze flussanti e da interazioni tra radiazioni UV e/o elevate temperature con gas presenti nell'aria.

Gas comunemente trovati durante le operazioni di saldatura includono (IARC, 2018):

- **gas di protezione**, come **anidride carbonica, argon o elio**;
- **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 degli **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 di argon 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 carbossiemoglobina, 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**.

### Radiazioni non ionizzanti

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), e **radiazioni infrarosse (IR)** che sono una causa riconosciuta di **cataratta** tra i saldatori.



## Conclusioni

La saldatura dei metalli può esporre i lavoratori a diversi agenti chimici con grave effetto sulla salute, soprattutto quelli presenti nei fumi.

I livelli di esposizione a fumi di saldatura dovrebbero essere mantenuti al più basso livello possibile:

- Nella saldatura di acciaio non legato la concentrazione dei fumi dovrebbe essere al meno al di sotto di 2 mg/m<sup>3</sup> nella frazione inalabile, anche per evitare il possibile superamento del limite occupazionale del manganese.
- Nella saldatura di acciaio inox o di leghe contenenti metalli cancerogeni, la concentrazione dei fumi dovrebbe essere tenuta al di sotto di 1 mg/m<sup>3</sup> nella frazione inalabile, per evitare di raggiungere livelli elevati di cromo e di nichel.

Queste concentrazioni sono tecnicamente raggiungibili nella maggior parte delle situazioni lavorative dove sono presenti impianti di aspirazione ben progettati e funzionanti (tranne per es. parti da saldare di grandi dimensioni, saldatura in spazi confinati).

Nel caso non sia possibile ridurre l'esposizione a fumi al di sotto di queste concentrazioni, si ritiene necessario ricorrere all'utilizzo di dispositivi di protezione individuale avanzati, con alimentazione dell'aria dall'esterno (casco elettroventilato, casco alimentato con aria compressa ecc.)

È assolutamente necessaria la protezione da raggi UV e IR con adeguati DPI per evitare i danni oculari.