

**SERVIZIO PREVENZIONE IGIENE
E SICUREZZA AMBIENTI DI
LAVORO (SPISAL) DI VERONA**

**MEDICINA DEL LAVORO – DIPARTIMENTO
DI DIAGNOSTICA E SANITA' PUBBLICA –
Università di Verona**

La valutazione del rischio chimico in Medicina del Lavoro: i rischi nell'attività di saldatura.

Verona 4 dicembre 2015

- **Luigi Perbellini**
- **Medicina del Lavoro –**
- **Dipartimento di Diagnostica e Sanità Pubblica**
- **Università di Verona**

La valutazione del rischio chimico

- **Identificazione dei pericoli**
- **Analisi della letteratura e relazione dose/risposta**
 - **Misura dell'esposizione**
 - **Caratterizzazione del rischio**
- **Sorveglianza sanitaria con controlli medici e monitoraggio biologico che devono confermare le valutazioni del rischio**

La saldatura è un processo che permette la congiunzione di parti metalliche mediante l'azione del calore o della pressione.

I processi di saldatura possono essere divisi in due categorie:

- **Saldatura autogena** in cui il metallo da saldare partecipa alla giunzione delle due parti in quanto i bordi da “saldare” vengono portati a fusione: sono le più frequenti.

- **Saldatura eterogena** in cui il cordone di saldatura è formato solo da metallo di apporto che è diverso dal metallo di base e con temperatura di fusione inferiore. Tipiche saldature eterogenee sono la

SALDOBRASATURA (i lembi dei pezzi vengono preparati con cianfrinature e il metallo d'apporto fondendo riempie il cianfrino costituendo il cordone di saldatura) e la

BRASATURA (i pezzi da saldare sono semplicemente appoggiati l'uno sull'altro: lo spazio capillare che rimane tra i due viene riempito dal metallo d'apporto fuso che forma una lega con il metallo base).

- Sono disponibili nell'industria più di 80 tipi di processi di saldatura: i *Gas metal arc welding* (MIG o MAG) sono i più utilizzati (Persoons 2014); ne descriveremo sinteticamente alcuni:
- Saldatura alla fiamma ossiacetilenica
- Saldatura ad arco con elettrodi rivestiti
- Saldatura ad arco sommerso
- Saldatura a filo continuo (MIG o MAG) con protezione di gas (Inerte es. argon o Attivo es. CO₂).
- Saldatura con elettrodo infusibile e protezione di gas (TIG)
- Saldatura al laser

Saldatura alla fiamma ossiacetilenica

Si tratta di un processo di saldatura manuale autogeno nel quale la sorgente termica è fornita dalla reazione di un gas combustibile (acetilene) con un gas comburente (ossigeno). La temperatura della fiamma nella zona riducente supera i 3.000 °C e quindi la sorgente termica è sufficientemente potente per le operazioni di saldatura.

Il bagno di fusione realizzato con l'ausilio di materiale d'apporto in forma di bacchetta. Sia il cannello sia il materiale d'apporto sono movimentati a mano.

Questo tipo di saldatura è ancora ben utilizzata perché non necessita di energia elettrica e quindi può essere utilizzata all'aperto e perché l'apparecchiatura ha un basso costo ed è facilmente trasportabile.

Saldatura ad arco con elettrodi rivestiti

(SMAW - *Shielded Metal Arc Welding*)

E' un processo di saldatura manuale nel quale la sorgente termica è costituita da un arco elettrico che scocca fra l'elettrodo ed il metallo di base e provoca la rapida fusione di entrambi. L'elettrodo è costituito da una bacchetta cilindrica ricoperta da un rivestimento; quando scocca l'arco l'anima di metallo dell'elettrodo si fonde diventando il metallo di apporto della saldatura, mentre il rivestimento ha la funzione di generare gas e scorie che proteggono il bagno. A seconda dei materiali da saldare si usano elettrodi di vario tipo: l'inquinamento ambientale dipende prevalentemente dal tipo di elettrodo utilizzato.

L'arco elettrico genera temperature di oltre 4.000°C: questo tipo di saldatura non può quindi essere usata per leghe basso fondenti o per pezzi troppo sottili (minori di 2 o 3 mm).

È probabilmente la tecnica più diffusa nel mondo, per la versatilità di impiego (può essere utilizzata con quasi tutti i materiali metallici) e per le buone caratteristiche delle saldature realizzate.

Saldatura ad arco sommerso

E' un processo automatizzato molto diffuso che permette di ridurre notevolmente i tempi di saldatura, su una vasta gamma di spessori.

L'elettrodo è costituito da un filo (metallo d'apporto) di composizione simile al metallo di base ed è avvolto su un aspo e un gruppo motorizzato di rulli di trascinamento provvede al suo avanzamento a velocità controllata.

L'arco, che scocca tra il filo e il metallo base, è ricoperto da una sostanza granulare chiamata **flusso**; quest'ultimo viene distribuito da una tramoggia che fa parte della testa di saldatura. Durante la saldatura sia l'arco elettrico che il bagno di fusione sono continuamente ricoperti dal flusso, pertanto l'arco non è visibile dall'esterno.

Il flusso è generalmente composto da una miscela di ossidi, carbonato, silicati e ferroleghe: esso protegge il metallo fuso dal contatto con l'aria e in parte fonde e solidifica sopra il cordone: quella parte che rimane granulare viene recuperata tramite aspirazione e riutilizzata.

Saldatura a filo continuo con gas inerti (MIG) o attivi (MAG)



La saldatura può essere fatta manualmente, ma può anche essere completamente automatica.

La saldatura MIG e MAG permettono di saldare tutte le leghe d'importanza commerciale: acciai, acciai inossidabili, leghe leggere, leghe del rame.

La differenza tra MIG e MAG consiste nel tipo di gas impiegato e nel campo d'impiego: nella saldatura MIG si utilizza argon o elio che garantiscono la protezione dell'arco e della zona di fusione dal contatto con l'atmosfera, ma sono costosi;

nella MAG si utilizza l'anidride carbonica (CO₂), molto economica, o la miscela Shutgas (80% argon, 15% CO₂, 5% ossigeno), più costosa, ma che garantisce risultati migliori.

Saldatura con elettrodo infusibile in atmosfera inerte (TIG) (Tungsten Inert Gas)

E' un metodo di saldatura ad arco elettrico con elettrodo infusibile (di tungsteno), sotto protezione di gas inerte.

L'arco, che scocca tra l'elettrodo e il metallo base, è protetto dal gas (argon, elio o una miscela dei due gas) che fuoriesce dalla pistola, dalla cui estremità sporge l'elettrodo.

La barra di tungsteno funge da elettrodo provocando la fusione del metallo, ma l'elettrodo non si consuma, né costituisce il metallo di apporto, che, invece, viene ottenuto facendo fondere in vicinanza un'altra bacchetta di metallo (molto utilizzata nella saldatura dell'alluminio).

Tipo di saldatura adatta per le leghe di alluminio, di magnesio e dei materiali reattivi come titanio e zirconio. È molto utilizzata per la saldatura di spessori sottili.

Il processo TIG è costoso (gas, macchine, attrezzature e tungsteno): viene riservato per i materiali più pregiati e per gli spessori più sottili.

Saldatura laser

Il laser costituisce la fonte di energia sotto forma di fascio di radiazioni elettromagnetiche che hanno come caratteristiche la monocromaticità, la coerenza e la bassissima divergenza.

Il raggio laser fornisce un sorgente concentrata di calore (20.000°C) che causa la fusione localizzata del materiale nel punto di impatto del fascio.

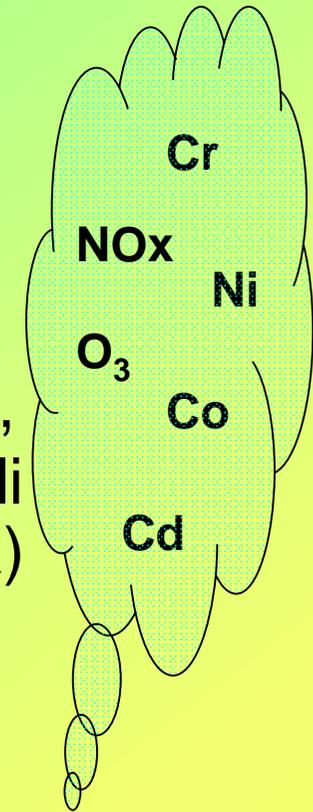
All'avanzare del fascio, il materiale fuso si richiude su sé stesso, generando il cordone che è di piccole dimensioni e assume la tipica forma a testa di chiodo.

La saldatura laser è autogena e richiede l'assistenza di un gas (argon, elio o azoto) che permetta di inibire gli eventuali processi di ossidazione.

Tutti i metalli saldabili con tecniche convenzionali sono anche saldabili con un fascio laser di lunghezza d'onda appropriata. Non sono invece saldabili con il laser le plastiche.

A causa degli elevati costi di norma questa tecnica è utilizzata frequentemente in applicazioni ad alto volume (ad es. industria automobilistica).

- Durante la saldatura si liberano aerosol con composizioni complesse che possono contenere **vari sali e ossidi metallici** (ferro, manganese, zinco, cromo esavalente nei sali $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$, e trivalente in K_2NaCrF_6 , nichel, cobalto, cadmio, piombo, titanio, vanadio derivati dai metalli da saldare e dagli additivi utilizzati per la saldatura) **oltre a gas** quali l'ozono, gli ossidi di azoto, il monossido di carbonio, ma anche aldeidi e/o idrocarburi policiclici aromatici.



- **Alcuni di questi componenti sono strutturati in forma di particelle ultrafini che possono avere effetti flogistici a livello polmonare, ma anche provocare interferenze sul sistema cardiovascolare.**
- **I fumi di saldatura sono classificati dalla IARC come possibili cancerogeni (gruppo 2B), ma vari metalli in essi contenuti sono considerati sicuri cancerogeni per l'uomo (Cr-VI, Be, Cd e alcuni composti di Ni).**

Per approfondire questi aspetti è necessario acquisire informazioni riguardo:

- **A) l'esposizione ambientale ai vari prodotti prima accennati, ma anche a particelle ultrafini calcolandone il numero, la concentrazione, l'ampiezza della loro superficie e la loro massa;**
- **B) la dose interna quale espressione dell'assorbimento di vari componenti.**

Ma anche avere informazioni:

- **C) sugli gli effetti biologici delle nanoparticelle inalate (studi dei markers di infiammazione nel sangue e nel condensato)**
- **D) sulle modificazioni "acute" della funzione polmonare**
- **E) sugli effetti delle particelle liberate dai vari processi di saldatura (studi su macrofagi alveolari in coltura).**

BRAND e coll. Number Size Distribution of Fine and Ultrafine Fume Particles From Various Welding Processes. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 57, No. 3, pp. 305–313, 2013

- **Numerosi studi sul campo di epidemiologia ambientale segnalano che gli effetti negativi delle particelle inalate sembrano prevalentemente attribuibili alle loro dimensioni non solo alla loro massa-quantità;**
- **Le particelle ultrafini con diametro inferiore ai 100 nm hanno un elevato rapporto superficie/massa con proprietà differenti dalle stesse particelle di maggiori dimensioni.**
- **In questo articolo vengono riportati i risultati riguardo le particelle che si liberano durante vari tipi di saldature.**

Le particelle rilevabili durante la saldatura manuale ad arco, la saldatura MAG (Metal Active Gas), la saldatura MIG (Metal Inert Gas) e la saldatura LASER su acciaio zincato, hanno dimensioni che vanno da 60-70 nm fino a 200-250 nm.

Le particelle rilevabili durante la saldatura TIG (al Tungsteno con gas inerte) e durante la saldatura RSW (Resistance spot welding) hanno dimensioni prevalentemente attorno ai 10 nm e comunque inferiori a 50 nm.

- **I processi di saldatura che liberano molte particelle (saldatura manuale ad arco, saldatura metallica con gas attivo, saldatura metallica con gas inerte, saldatura a laser) che sono agglomerati di particelle con diametro superiore a 100 nm e solo poche particelle al di sotto di 50 nm (10 - 15%).**
- **I processi di saldatura con scarsa entità di emissione di particelle (saldatura al tungsteno con gas inerte e la saldatura a punti) liberano prevalentemente particelle ultrafini, al di sotto di 100 nm.**
- **Questi ultimi processi che liberano "poche particelle", ma molto piccole e devono essere studiati ulteriormente**

Brand e coll. J Occup Environ Med 2010; 52:887

Monitoraggio degli effetti di una breve esposizione a fumi di saldatura.

Obiettivo: valutare gli effetti di brevi esposizioni a fumi di saldatura che si sviluppano durante 3 diversi tipi di saldatura:

- **MAWa:** shielded manual metal arc welding with alloyed material with a high potential risk;
- **MAGa:** metal active gas welding with alloyed material with average potential risk;
- **MAWu:** shielded manual metal arc welding with unalloyed material with low potential risk.

Materiali e metodi:

- 6 saldatori professionisti con anzianità da 6 mesi a 20 anni, età media 41 anni, con funzione polmonare normale e senza segni di patologie delle vie aeree.
- Hanno svolto attività di saldatura per 3 ore consecutive;
- Prima delle esposizioni, 3 ore dall'inizio delle esposizioni, 6 e 24 ore dopo l'inizio delle esposizioni sono stati sottoposti a molteplici tipi di controlli;

Parametri analizzati:

- **Cromo e nichel in sangue e urine, Ferro nel sangue oltre a transferrina** (proteine con altissima affinità per il ferro: lo trasporta nel sangue), **ferritina** (principale proteina coinvolta nell'immagazzinamento del ferro in fegato e milza...) **e recettore solubile della transferrina** (per avere una stima indiretta dell'espressione del recettore della transferrina. L'aumento del sTfR nel sangue esprime un suo aumento cellulare specie in eritrociti);
- **Condensato dell'aria espirata: markers di stress da prodotti nitrosi (nitriti, nitrati, nitrotirosina e tirosina) e markers di flogosi tessutale(idrossiprolina, prolina come S.I.);**
- **Markers nel sangue: osteopontina** (proteina presente in tutti i mammiferi superiori necessaria per l'omeostasi delle ossa e di alcuni processi del sistema immunitario).
- **Parametri della funzione polmonare**

N.B.: nei giorni in cui si controllavano i lavoratori venivano campionate le polveri ultrafini della saldatura per studi tossicologici in modelli animali

TABLE 2. Statistically Significant Changes of Biomonitoring Parameters, Parameters of Biological Effects, and Lung Function Parameters

Parameter	$\delta Y_{i,3-0} (P)$	$\delta Y_{i,6-0} (P)$	$\delta Y_{i,24-0} (P)$
Chromium in urine	↑ 0.027	↑ 0.024	↑ 0.043
Chromium in urine/creatinine	↑ 0.034	↑ 0.037	↑ 0.028
Nickel in blood		↑ 0.014	↑ 0.037
Iron in blood	↓ 0.002	↓ 0.003	
Transferrin	↑ 0.017		
Nitrate	↑ 0.011	↑ 0.035	↑ 0.02
Osteopontin	↑ 0.016		
Tyrosine	↑ 0.017		
Proline	↑ 0.014		
Hydroxyproline	↑ 0.034		
FVC	↓ 0.034		
FEV ₁	↓ 0.016		
MEF ₂₅		↓ 0.006	

$\delta Y_{i,3-0}$ is the difference between the value 3 hr after the beginning of welding vs the value before welding; $\delta Y_{i,6-0}$ is the difference between the value 6 hr after the beginning of welding vs the value before welding; and $\delta Y_{i,24-0}$ is the difference between the value 24 hr after the beginning of welding vs the value before welding. *P* is the level of significance. The arrows indicate whether the parameter increased (↑) or decreased (↓).

FVC, forced vital capacity.

Differenza tra le concentrazioni rilevate:

alla 3° ora rispetto prima dell'inizio

alla 6° ora rispetto prima dell'inizio

alla 24° ora rispetto prima dell'inizio

FEV1= volume espiratorio massimo al secondo

MEF25= Flusso espiratorio forzato al 25% della capacità vitale forzata

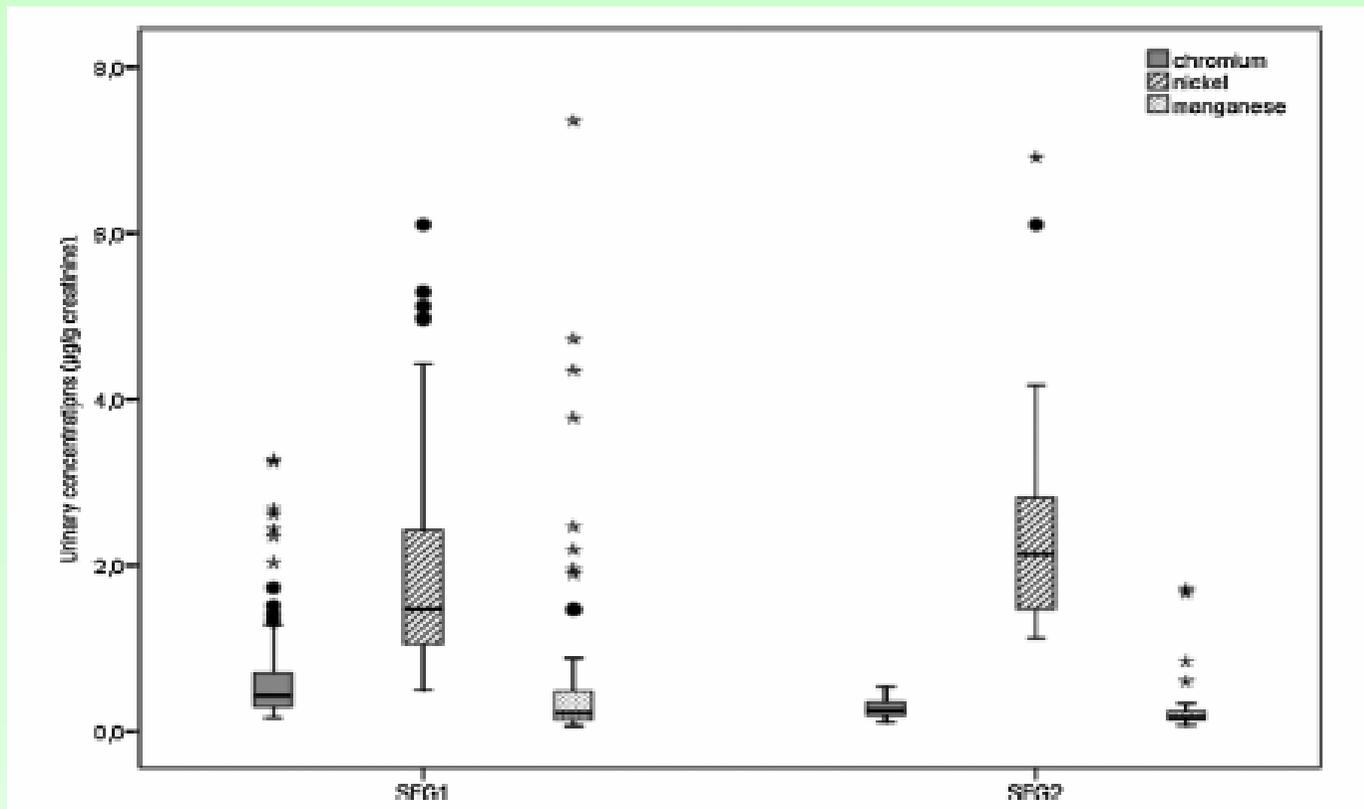
Da Brand e coll. J. Occup. Environ. Med. 2010.

- Le variazioni biologiche rilevate già dopo 3 ore di saldatura, alcune persistenti anche 24 ore, segnalano notevoli interferenze dei componenti dei fumi di saldatura sull'organismo: "per fortuna" le capacità di difesa, di compenso e di omeostasi dell'organismo umano sono molto elevate!!!

Toxicology letters 2014; 231: 135-148; Determinanti dell'esposizione professionale a metalli durante la saldatura ad arco con gas e gestione del rischio: uno studio sul monitoraggio biologico . Persoons e coll. 2014

- **I fumi di saldatura contengono vari tipi di metalli tra i quali il cromo, il nichel e il manganese per i cui rischi è opportuno valutare l'entità delle dosi esterne che di quelle interne.**
- **Questo studio riporta il monitoraggio delle esposizioni a fumi di saldatura in piccole aziende per caratterizzare i fattori che influenzano la dose interna di metalli e come gestire tali rischi.**

- **Hanno partecipato allo studio 110 saldatori appartenenti a 36 piccole aziende e 27 saldatori di una grande industria (in tutto 137 saldatori). Questi lavoratori sono stati suddivisi in 2 gruppi: quello in cui i saldatori avevano postazioni di lavoro poco-non ventilate o insufficienti aspiratori (SFG1) e quelle con ampio utilizzo di aspiratori (SFG2)**
- **I saldatori coinvolti hanno fornito campioni urinari raccolti a fine turno-fine settimana lavorativa per l'analisi in ICP/MS di Cr, Ni e Mn.**



Medie geometriche: 0,50 1,60 0,29 0,25* 2,16* 0,21

Concentrazioni urinarie di Cr, Ni e Mn ($\mu\text{g/g}$ creatinina) in saldatori di piccole-medie industrie (SFG1) o in una grande azienda (SFG2). * = differenze significative. Valori di riferimento Canadesi, 95mo percentile: Cr= 0,16; Ni = 1,05; Mn = 0,08. (da Persoons e coll. 2014)

- **Le concentrazioni urinarie di Cr erano molto inferiori ai limiti biologici francesi (30 mg/g creatinine), ma con valori mediani al 50% nelle aziende ben aspirate (rispetto le altre).**
- **Le maggiori concentrazioni di Ni nei saldatori della grande industria non ha trovato spiegazioni: forse venivano usati elettrodi con maggiori quantità di Ni.**
- **Anche le concentrazioni di Ni erano molto inferiori ai limiti proposti a livello internazionale (da 10 a 45 mg/L in relazione al tipo di sale metallico).**
- **Non vi sono limiti biologici per lavoratori esposti a Mn, ma il 95^{mo} percentile nella popolazione generale in Belgio è di 0,41 mg/g o di 0,55 mg/g in Canada. Nei lavoratori studiati la media era attorno al 95^{mo} percentile della popolazione belga.**

Determinanti delle concentrazioni urinarie di metalli

- I saldatori con più anni di lavoro, quelli che lavoravano in spazi limitati e che avevano saldato per più ore durante la settimana avevano i livelli di Cr e Mn più elevate;
- I saldatori con i livelli più bassi di Cr e Mn utilizzavano ventilazioni meccaniche e saldavano acciai "dolci";
- La durata delle molature influenzavano i livelli di Mn.
- Livelli più elevati di Ni erano associati alla maggior durata del lavoro come saldatori e dal tempo dedicato alle molature.
- La ventilazione generale dell'ambiente non modificava i livelli urinari dei metalli, ma i sistemi di aspirazione specifici erano associati a più bassi livelli urinari di Cr.

Nostra esperienza

Abbiamo controllato 36 saldatori inseriti in 8 ditte diverse, di varie dimensioni e addetti a saldature TIG (Tungsten Inert Gas) o MIG (Metal-arc Inert Gas).

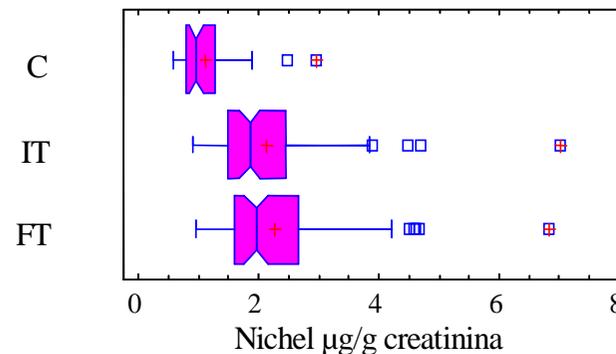
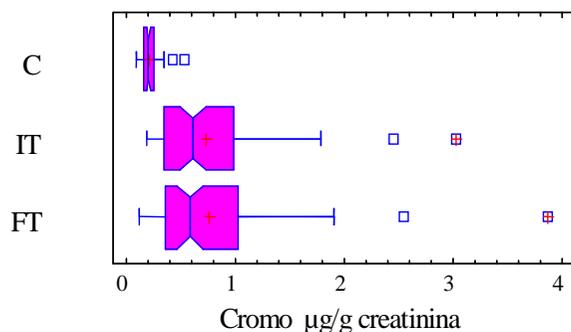
Codice ditta	apprendisti	lavoratori		impiegati	totale
		numero complessivo	Numero di saldatori scelti		
Ditta 1	-	7	6	1	8
Ditta 2	-	49	4	28	77
Ditta 3	9	52	5	29	90
Ditta 4	6	5	3	2	13
Ditta 5	2	13	5	4	19
Ditta 6	4	11	3	6	21
Ditta 7	-	6	5	2	8
Ditta 8	2	177	5	16	195

- L'esposizione individuale a vapori-polveri di saldatura è stata valutata per 31 saldatori: nelle polveri raccolte con campionatori individuali sono stati misurati i seguenti elementi: Cromo tot., Cromo VI, Manganese, Nichel, Vanadio, Antimonio.
- Gli stessi elementi sono stati analizzati nelle urine di fine turno dei 37 saldatori e in 37 soggetti di controllo, con metodica ICP/MS.

Concentrazioni ambientali di polveri e metalli rilevate con i campionamenti personali

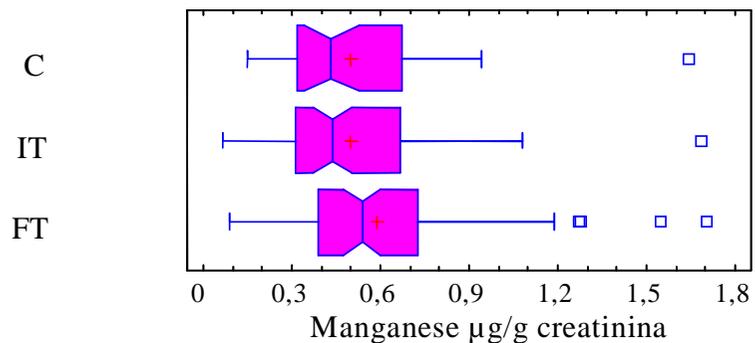
	Pol.tot (mg/m ³)	Cr tot (μg/m ³)	Cr VI (μg/m ³)	Ni (μg/m ³)	Mn (μg/m ³)	V (μg/m ³)	Sb (μg/m ³)
TLV-TWA ACGIH	5	500	50	200	200	-	500
MAK DFG	4,5	500	50	500	500	-	500
Med.geom	1,03	31,58	2,28	15,15	7,0	-	0,05
Minimo	0,27	2,8	0,2	0,75	1,68	0,0	0,02
Massimo	5,75	578,0	21,9	278,0	50,6	0,7	1,96

Concentrazione urinaria di cromo del gruppo di controllo (C), del gruppo degli esposti inizio turno (IT) e fine turno (FT)

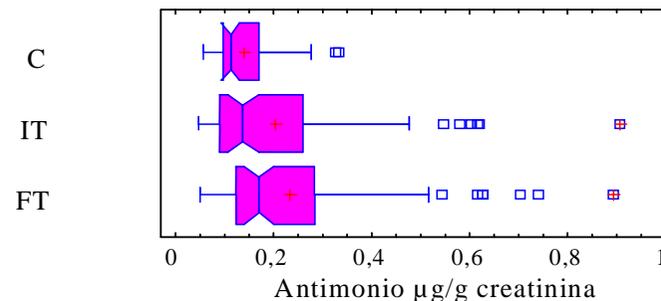


Concentrazione urinaria di nichel del gruppo di controllo (C), del gruppo degli esposti inizio turno (IT) e fine turno (FT)

Concentrazione urinaria di manganese del gruppo di controllo (C), del gruppo degli esposti inizio turno (IT) e fine turno (FT) (N.S.)



Concentrazione urinaria di antimonio del gruppo di controllo (C), del gruppo degli esposti inizio turno (IT) e fine turno (FT) (C<altri)



Confrontando i dati degli indicatori biologici con i valori di riferimento per la popolazione generale proposti dalla SIVR si osserva che il gruppo degli esposti supera tali valori (sia inizio che fine del turno di lavoro), sia per quanto riguarda la cromuria che la nicheluria.

**Nessuno dei metalli nel gruppo degli esposti ha dimostrato una variazione significativa tra l'inizio e la fine del turno di lavoro;
questo rilievo è da attribuire prevalentemente alla particolare cinetica dei metalli che tendono ad accumularsi lentamente nell'organismo.**

Levels and predictors of airborne and internal exposure to chromium and nickel among welders—Results of the WELDOX study. Weissa T et al. Int. J. Hygiene and Environmental Health 216 (2013) 175– 183

- **WELDOX ha condotto uno studio trasversale tra saldatori tedeschi per acquisire informazioni sui possibili effetti delle esposizioni sulla salute.**

Questo lavoro si è posto i seguenti obiettivi:

- 1) caratterizzare l'intensità delle esposizioni esterne ed interne a Cr e Ni durante vari tipi di saldature**
- 2) studiare i rapporti tra dose esterna e dose interna**
- 3) valutare quali parametri (tecnica di saldatura o materiali) o tipi di esposizioni individuali (carico di lavoro, protezioni personali o di gruppo) influenzino l'assorbimento di Cr e Ni durante i processi di saldatura;**

Tra il 2007 e il 2009, 241 saldatori sono stati coinvolti nello studio WELDOX durante il quale sono state acquisite informazioni sull'intensità delle esposizioni e sulle caratteristiche del posto di lavoro.

I tipi di saldatura utilizzati erano i seguenti:

- **Saldatura ad arco con gas attivo ed elettrodo solido (GMAW): n. 95 (39.4%)**
- **Saldatura con elettrodo fusibile tubulare** Flux-cored arc welding
(FCAW): n. 47 (19.5%)
- **Saldatura al tungsteno in gas inerte** Tungsten inert gas welding
(TIG): n. 66 (27.4%)
- **Saldatura ad arco schermata** Shielded metal arc welding
(SMAW): n. 20 (8.3%)
- **Vari altri tipi di saldatura : n. 13 (5.4%)**

Le concentrazioni mediane di Cr sono risultate 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nella frazione respirabile e 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nella frazione inalabile dei fumi di saldatura.

I corrispondenti valori per il Ni erano <3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Circa il 30% dei valori erano al di sotto del limite di rilevabilità rendendo difficile un accurato calcolo delle esposizioni:

La quota di particelle respirabili di cromo e di quelle inalabili erano in stratta relazione: quelle respirabili erano in media il 50% di quelle inalabili.

La quota di particelle respirabili di Nichel e di quelle inalabili erano in stratta relazione: quelle respirabili erano in media il 50% di quelle inalabili.

La stima degli elementi che più intensamente intervengono nel determinare l'inquinamento da Cr e Ni nelle aree di saldatura sono rappresentati:

- a) Dalla concentrazione dei metalli nei materiali utilizzati. Nell'acciaio inossidabile le concentrazioni di Cr e di Ni sono rispettivamente 28 e 17 volte maggiori rispetto all'acciaio dolce.**
- b) La saldatura TIG si associava con le minori concentrazioni ambientali di metalli (10-20 volte inferiore)**
- c) Le aspirazioni localizzate riducevano di oltre il 50% i livelli espositivi**
- d) Le attività di saldatura in spazi confinati aumentavano del doppio le esposizioni**

La Relazione tra concentrazioni di Cr respirabile e quello nelle urine erano in relazione lineare statisticamente significativa.

Anche la Relazione tra concentrazioni di Ni respirabile e quello nelle urine era lineare e significativa.

I principali predittori della dose interna di Cr e Ni era rappresentata dalle concentrazioni ambientali nella zona respiratoria dei saldatori anche se la dieta può fornire una integrazione significativa per le concentrazioni urinarie del Ni.

Sebbene le concentrazioni ambientali di Cr e Ni fossero simili (un po' maggiori per il Cr) le concentrazioni urinarie del Ni erano molto più elevate (Ni = 2,9 µg/L , Cr = 1,2 µg/L)

L'utilizzo di maschere riduceva le concentrazioni urinarie di Cr (di circa il 40%), ma non del Ni.

L'età non si associava ad aumenti delle concentrazioni del Cr e del Ni nelle urine.

Il Cr negli eritrociti (come biomarcatore di Cr-VI) era misurabile solo in 15 su 150 saldatori di acciaio inox (N = 8 FCAW, N = 1 GMAW, N = 6 SMAW).

Circa la metà dei saldatori superavano i valori di riferimento della popolazione tedesca (Ni-U = 3 µg/L): questi valori non sono considerati un "rischio" per la salute.

Le concentrazioni urinarie di Cr e Ni sono di difficile interpretazione perché dipendono dalla combinazione di cinetiche complesse: parte dei metalli assorbiti recentemente vengono escreti con una cinetica più rapida, parte tendono ad accumularsi ed essere escreti molto lentamente: la componente rapida del Cr presenta una emivita compresa tra 15 e 960 ore, quella del Ni tra 14 e 100 ore; in fasi successive l'emivita è di vari anni. Le dimensioni delle particelle inalate e la loro composizione influenzano la cinetica urinaria.

Il contenuto dei metalli negli elettrodi di saldatura e la composizione dei materiali da saldare sono i maggiori determinanti dell'inquinamento ambientale nelle zone di esposizioni dei saldatori assieme alla tecnica di saldatura. Quando viene saldato acciaio inossidabile le seguenti tecniche di saldatura: **FCAW** (con elettrodo fusibile tubolare) > **GMAW** (ad arco con gas attivo) > **SMAW** (ad arco schermata) > **TIG** (al tungsteno in gas inerte) determinano una progressiva riduzione delle concentrazioni urinarie di metalli.

Considerazioni conclusive

- **La valutazione del rischio chimico nelle attività di saldatura è piuttosto complicata: l'analisi di tutti gli inquinanti, le loro forme e dimensioni comporta un impegno particolare;**
- **Il monitoraggio biologico nei saldatori fornisce alcune informazioni di grande rilievo** anche se non tutti i rischi vengono considerati (per es. gas azotati, O_3 ...);
- **Il Monitoraggio Biologico permette di valutare quanto le concentrazioni di metalli (alcuni cancerogeni) siano lontani dai valori di riferimento;**
- **I tipi di metalli presenti negli elettrodi di saldatura sono quelli che più aumentano nelle urine.**