

Factsheet

Rischi sanitari della saldatura¹

Michael Koller

In Svizzera lavorano più di 25 000 saldatori e un gran numero di lavoratori che sporadicamente eseguono lavori di saldatura tecnica. Essi sono esposti a diversi rischi sanitari, tra cui fumi, polveri, gas, rumore, irradiazioni, campi elettromagnetici, vibrazioni, alte temperature e posture forzate. In questa scheda tematica tratteremo dei relativi problemi sanitari.

1. Panoramica sui più importanti procedimenti di saldatura e taglio

Con il termine saldatura (tedesco: Schweissen; francese: soudage; inglese: welding) e processi correlati si intende l'unione, la separazione o il rivestimento di materiali di base metallici o termoplastici sotto l'azione del calore o della pressione, con o senza apporto di materiale (elettrodi a filo o a bacchetta, metalli o leghe per il riempimento del giunto saldato, ecc.). Il calore è generato da una fiamma ossidrica o una corrente elettrica (arco voltaico).

I materiali di base vengono suddivisi in ferrosi e non ferrosi. Il ferro allo stato puro è raramente utilizzato come materiale di base, perché troppo tenero. Solo con l'aggiunta di un elemento non ferroso, ad esempio il carbonio, il ferro acquista la necessaria durezza². L'acciaio è una lega di ferro e carbonio³. Gli acciai possono contenere altri elementi, nel qual caso si parla di acciai basso legati (contenuto di alliganti < 5%) e alto legati (contenuto di alliganti > 5%). I principali elementi di lega sono i seguenti:

¹ Questa scheda tematica si basa sull'opuscolo «Saldatura» di Meier J. R. e Hofer L. (medicina del lavoro Suva), 1998.

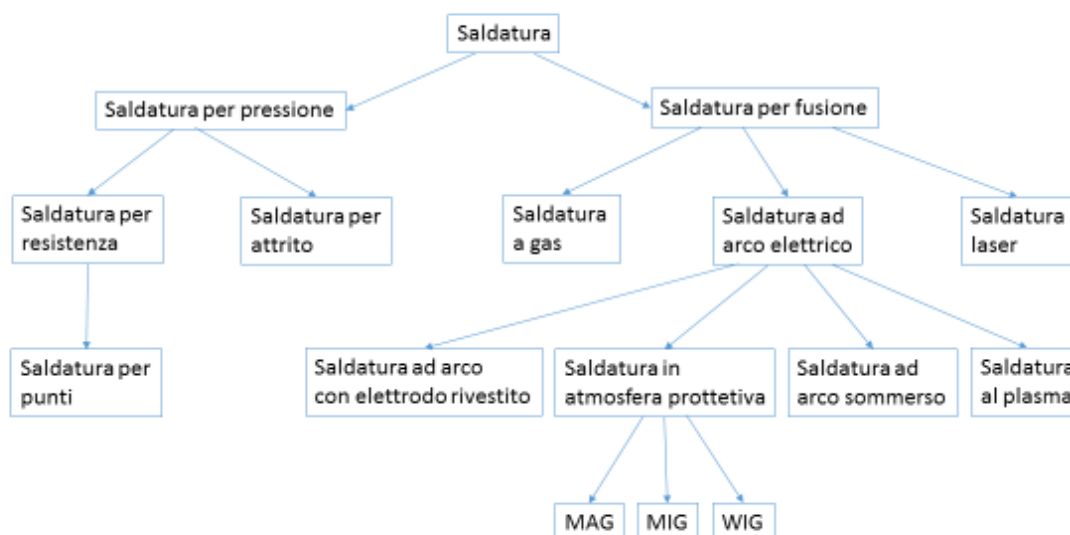
² Con il termine lega si intende un materiale composto da due o più elementi chimici di cui quello presente in maggiore quantità deve essere un metallo (www.chemie.de/lexikon)

³ Secondo la norma DIN EN 10020 l'acciaio è un materiale in cui il ferro è l'elemento predominante e in cui il tenore di carbonio (C) è di regola inferiore al 2% in peso. Se la percentuale di carbonio è superiore si parla di ghisa. Un acciaio con grado di purezza particolarmente elevato prende il nome di acciaio di qualità che, nel linguaggio comune, viene spesso anche definito acciaio inossidabile.

- *cromo e nichel*: migliorano la resistenza alla corrosione, le proprietà meccaniche e la durezza; gli acciai inossidabili presentano un contenuto di cromo superiore al 12%, mentre gli acciai resistenti agli acidi hanno un tenore di cromo del 12-18% e un tenore di nichel dell'8-12%
- *manganese*: migliora la resistenza a trazione (senza un eccessivo incremento della durezza) e la resistenza alle sollecitazioni meccaniche
- *cobalto*: migliora la durezza e la resistenza al calore
- *silicio*: migliora la durezza, la temprabilità, le proprietà meccaniche e l'elasticità (acciaio per molle)

Complessivamente esistono circa 140 processi di saldatura normati. Nella pubblicazione «Saldatura e taglio» della Suva (codice 44053) vengono presentati in dettaglio i diversi procedimenti di saldatura e taglio e le relative misure di sicurezza dal punto di vista tecnico e di igiene nel lavoro. La presente scheda tematica fornisce solo una breve panoramica dei principali procedimenti di saldatura.

Panoramica dei principali procedimenti di saldatura



1.1. Saldatura per pressione

Nella saldatura per pressione i materiali metallici vengono uniti sotto pressione ed eventualmente con calore localmente limitato. La compressione sgretola lo strato di ossido superficiale mettendo a diretto contatto i due materiali di base sottostanti per consentire la giunzione tra i

metalli. Il calore è ottenuto facendo attraversare il punto di saldatura da una corrente elettrica (saldatura per resistenza) o mediante attrito dinamico (saldatura ad attrito). Generalmente non viene utilizzato alcun materiale di apporto. La saldatura per pressione genera solo poche emissioni per cui il rischio di malattia professionale è minimo. Il procedimento più noto della saldatura per resistenza è la saldatura per punti.

1.2. Saldatura per fusione

Nel processo di saldatura per fusione i punti di contatto dei materiali di base da unire vengono scaldati sino al punto di fusione per sgretolare lo strato di ossido superficiale così da consentire la giunzione tra i metalli. Generalmente si aggiunge un materiale metallico compatibile con i metalli di base (detto materiale di apporto) che, portato a fusione, serve per riempire il giunto saldato. Il materiale di apporto contiene spesso materiali di consumo, come fondenti, formatori di scoria e stabilizzatori dell'arco elettrico. I fondenti eliminano lo strato di ossido superficiale attraverso una reazione chimica.

A seconda della sorgente termica utilizzata si distinguono tre procedimenti di saldatura per fusione.

1.2.1. Saldatura a gas = saldatura autogena od ossiacetilenica

La sorgente termica è una fiamma alimentata da una miscela di ossigeno e gas combustibile. Il gas più comune è l'acetilene, ma viene utilizzato anche gas naturale, propano, idrogeno, ecc. Si raggiungono temperature attorno ai 3000 °C. La saldatura per fusione a gas è uno dei procedimenti di saldatura più antichi, ma è anche pericoloso e comporta costi ingenti, per cui si tende a sostituirlo con metodi più moderni.

1.2.2. Saldatura ad arco elettrico

In questo procedimento di saldatura si utilizza come sorgente termica un arco elettrico fatto scoccare fra l'elettrodo consumabile e il materiale di base. L'arco elettrico produce temperature che raggiungono i 5000 °C. Durante la saldatura, la fusione del materiale di apporto e la combustione del rivestimento dell'elettrodo danno origine a emissioni potenzialmente dannose. I componenti principali di queste emissioni sono ossidi di Fe, K, Si, Ca, Cr(VI), Mg, Ba, Ti e Fl. La saldatura ad arco elettrico è la procedura che genera le maggiori emissioni. Esistono diverse forme di saldatura ad arco elettrico.

Saldatura ad arco con elettrodo rivestito

È un procedimento manuale di saldatura in cui si utilizzano come materiale di apporto degli elettrodi a bacchetta. Gli elettrodi sono generalmente dotati di un rivestimento costituito da materiali inerti di consumo. Una volta innescato l'arco inizia la progressiva fusione dell'elettrodo con riversamento del metallo fuso nella zona del giunto. Una parte delle sostanze si

disperde nell'aria sotto forma di fumi, che in questo procedimento di saldatura raggiungono tassi di emissione elevati.

Saldatura in atmosfera protettiva

In questo procedimento di saldatura un flusso di gas avvolge l'arco elettrico e protegge il bagno di saldatura dall'azione ossidante dell'ossigeno presente nell'aria. In alcuni casi questo permette di non dover rivestire l'elettrodo con una conseguente netta riduzione dei fumi di saldatura. Esempi:

- saldatura di metalli con elettrodo a filo continuo in atmosfera attiva (MAG); gas protettivo: ad es. CO₂ (→ CO)
- saldatura di metalli con elettrodo a filo continuo in atmosfera inerte (MIG); gas protettivo: argon, elio
- Saldatura ad arco con elettrodo di tungsteno in atmosfera inerte (TIG; tedesco WIG); l'elettrodo di tungsteno non fonde

Saldatura ad arco sommerso

Saldatura al plasma

1.2.3. Saldatura al laser

Questo procedimento di saldatura utilizza come sorgente termica un raggio laser. Il fascio viene concentrato tramite un sistema ottico sul giunto da saldare, dove il metallo inizia a fondere. Il diametro della macchia focale è di soli pochi decimi di millimetro e la temperatura supera in brevissimo quella di fusione della lega. Come protezione dall'ossidazione si utilizza l'argon.

1.3. Brasatura

Nel processo di brasatura il collegamento dei pezzi in lavorazione avviene per infiltrazione di una lega metallica portata a fusione (materiale di apporto). Nella brasatura dolce il materiale di apporto è una lega di stagno, zinco, antimonio e piombo (vietato dal 2006 nell'UE come elemento di lega), mentre nella brasatura forte si utilizza l'argento o il rame (il cadmio è nella maggior parte dei casi vietato in virtù della ORRPChim). Oltre a ciò possono essere utilizzati fondenti (ad es. colofonia, cloruro di zinco) e/o gas di protezione. Dato che il punto di fusione della lega di apporto è inferiore a quella del materiale di base, quest'ultimo non fonde, ma si porta solo a una temperatura cosiddetta di «bagnabilità». I fumi della brasatura dipendono dai fondenti e dalle leghe utilizzate.

1.4. Taglio

È un procedimento termico in cui il materiale viene fuso da un getto di gas e tagliato. Esistono due procedimenti: la tecnica autogena (ad esempio l'ossitaglio) e la tecnica con fascio elettronico (ad esempio il taglio laser o il taglio al plasma). Nel taglio termico i fumi originano fondamentalmente dal materiale di base. Le singole particelle sono più grandi rispetto a quanto accade nella saldatura e solo in parte penetrano negli alveoli. Le emissioni di gas, fumi e vapori sono molto elevate.

La tabella sottostante riporta le più importanti sostanze nocive che si liberano nei singoli procedimenti di saldatura:

Procedimento	In generale	Materiale di base	Componenti conduttori
Elettrodo rivestito	Emissione di fumi più alta di tutti i procedimenti di saldatura Il 95% dei fumi origina dal materiale di apporto e di consumo I fumi sono composti da ossidi (Fe, Mn, Na, K, Si, Ca, Cr, Ni, Mg, Ti) e fluoruri	Non legato/basso legato	Frazione alveolare della polvere
		Acciaio Cr-Ni	Frazione alveolare della polvere Composti Ni (insol.) Composti Cr(VI)
		Ghisa	Frazione alveolare della polvere Composti Ni (insol.)
MAG	I fumi sono composti soprattutto da ossidi di ferro (ev. Ni, Mn, Cr) Gas: CO ed ev. ozono	Non legato/basso legato	Frazione alveolare della polvere Manganese Ev. CO
		Acciaio Cr-Ni	Frazione alveolare della polvere Composti Ni (insol.) Composti Cr(VI)
MIG	Attenzione: Cr e Ni in materiali aggiuntivi alto legati	Non legato/basso legato	Frazione alveolare della polvere Ev. Cu
		Acciaio Cr-Ni Leghe di Ni	Frazione alveolare della polvere Composti Ni (insol.) Ozono
		Materiali di alluminio	Ozono Frazione alveolare della polvere
TIG (WIG)	Emissione di fumi più bassa di tutti i procedimenti di saldatura	Non legato/basso legato Materiali di alluminio	Ozono (con Al) Frazione alveolare della polvere
		Acciaio Cr-Ni Leghe di Ni	Ozono Composti Ni (insol.)
Plasma	Poca emissione di fumi (simile a TIG) Elevata emissione di particolato nel	Non legato/basso legato	Frazione alveolare della polvere

	taglio Ev. formazione di cromati e NO _x		Ev. NO ₂
		Acciaio Cr-Ni Leghe di Ni	Frazione alveolare della polvere Composti Ni (insol.) NO ₂
		Materiali di alluminio	Ozono Frazione alveolare della polvere
Laser	Emissione di fumi come per il procedimento MAG nella saldatura Elevate quantità di polvere nel taglio Ossidi di Co nelle leghe di cobalto Ossidi di Cu e Al con sostanze bronzo-alluminio Attenzione: irradiazione!	Non legato/basso legato Acciaio zincato	Frazione alveolare della polvere Zinco
		Acciaio Cr-Ni Leghe di Ni	Frazione alveolare della polvere Composti Ni (insol.)
Resistenza	Elevata emissione di fumi con lamiere ingrassate o rivestite (sostanze organiche)	Diversi	Frazione alveolare della polvere Ev. Cu
Saldatura a gas Riscaldamento alla fiamma	Poco sviluppo di polvere (<1 mg/s) Attenzione: materiali a base di rame, parti zincate e trattate al cadmio, parti verniciate e rivestite di materiale sintetico	Ferro e acciaio	NO ₂
Ossitaglio	Importante sviluppo di fumo e polvere	Ferro e acciaio	Frazione alveolare della polvere NO ₂
Brasatura		A seconda del tipo di lega di apporto e di fondente	Frazione alveolare della polvere NO ₂ (brasatura a fiamma) Altri

Tecniche di saldatura e relativi fumi e gas

2. Principali sostanze pericolose per la salute e disturbi correlati

A seconda del procedimento utilizzato, durante la saldatura si liberano fumi, polveri, vapori e gas contenenti diverse sostanze. Complessivamente nei fumi e nei gas si trovano circa 40 sostanze chimiche.

Gas⁴ e vapori⁵ originano dai gas combustibili e protettivi, dall'aria, dai materiali di rivestimento o dalle impurità. Esempi di sostanze nocive gassose:

- *Acetilene (C₂H₂)*: è utilizzato soprattutto nella saldatura a gas (autogena od ossiacetilena).

⁴ Per gas si intende un insieme di atomi e molecole in un particolare stato di aggregazione che consente loro di muoversi liberamente e di occupare uniformemente tutto il volume disponibile.

⁵ Per vapore si intende uno stato aeriforme della materia che coesiste ancora con la sua fase liquida o solida e da cui si è formato per evaporazione o ebollizione, rispettivamente sublimazione.

- *Ozono (O₃)*: si forma a partire dall'ossigeno presente nell'aria (O₂) con la radiazione UV dell'arco elettrico e della fiamma di saldatura; è presente nei procedimenti a bassa emissione di fumi (TIG).
- *Monossido di carbonio (CO)*: si forma per riduzione del CO₂ utilizzato come gas protettivo nella saldatura MAG.
- *Ossidi di azoto (= gas nitrosi, NO_x)*: si formano dall'ossidazione dell'azoto nell'aria in presenza di una fiamma aperta.
- *Fosgene (COCl₂)*: si forma dall'interazione tra idrocarburi clorurati e i raggi UV della fiamma di saldatura. Gli idrocarburi clorurati sono solventi impiegati per lo sgrassaggio dei pezzi in lavorazione.
- *Aldeidi*

Dei gas, oltre i possibili danni diretti alla salute, va considerato anche il rischio di incendio ed esplosione.

Polveri⁶ e fumi di saldatura⁷ originano per il 95% dai materiali di apporto e di consumo (elettrodi a filo o a bacchetta, leghe per brasatura, polvere per saldatura, fondenti, ecc.) e per il restante 5% dal materiale di base. I fumi metallici si formano da un lato per condensazione e ossidazione della fase vapore dei metalli, dall'altro per combustione incompleta di sostanze organiche come i materiali di apporto o i rivestimenti. Oltre gli ossidi metallici si formano anche fluoruri metallici e cloruri metallici.

Il carico delle polveri nella saldatura dipende da fattori specifici per procedimento e materiale: la saldatura ad arco con elettrodo rivestito mostra il più alto tasso di emissione di tutti i procedimenti di saldatura, la saldatura TIG e quella al plasma mostrano il livello più basso di liberazione di fumi. Tramite adeguate misure di igiene del lavoro, come apparecchiature di aspirazione, l'esposizione ai fumi può essere fortemente ridotta.

Le singole particelle nella saldatura, nel taglio e nella brasatura hanno in genere un diametro da 0.01 a 1 µm e pertanto possono raggiungere gli alveoli (**frazione alveolare della polvere: avente per il 50% un taglio dimensionale di 4 µm** [EN 481]). I saldatori, rispetto ad altri gruppi professionali, sono più fortemente esposti a tali particelle, in particolare quelle con diametro <0,1 µm (**particelle ultrafini**). Le particelle, solitamente, sono più piccole nei lavori di saldatura rispetto a quelli di taglio. Un'eccezione è rappresentata dai procedimenti di taglio con laser nei quali si formano soprattutto particelle ultrafini.

Una piccola parte dei fumi di saldatura è composta, in forma agglomerata,⁸ dalla **frazione di polvere inalabile (avente per il 50% un taglio dimensionale di 100 µm** [EN 481]). Gli agglomerati di particelle più grandi si formano nella saldatura e spruzzatura termica.

⁶ Per polveri si intendono le particelle solide di piccolissime dimensioni che possono rimanere disperse nell'aria per lunghi periodi.

⁷ Per fumi si intende la sospensione in aria di particelle solide formatesi durante i processi di combustione.

⁸ Un aggregato designa un ammasso di particelle che aderiscono le une alle altre a causa di legami chimici forti (legami covalenti) o legami fisici complessi.

La tabella sottostante riporta un elenco delle più importanti sostanze pericolose che si riscontrano nella saldatura e le possibili conseguenze sulla salute. Queste sostanze vengono approfondite nelle pagine successive.

Sostanza (ossido derivato)	Disturbi di salute più importanti
Alluminio	Alluminosi
Piombo	Tossicità relativa a sangue, sistema nervoso, reni, apparato digerente e riproduttivo
Cadmio	Lesioni polmonari e renali, polmonite tossica (cancro del polmone?)
Cromo (III)	Irritazione delle mucose
Cromo (VI)	Tumori del naso, cancro del polmone, sensibilizzazione (dermatite)
Cobalto	Sensibilizzazione (asma, eczema)
Isocianati	Asma
Rame	Febbre da inalazione di fumi metallici, irritazione delle vie aeree
Fluoro	Irritazione (fluorosi, lesioni renali)
Ferro	Siderosi (polmone del saldatore), siderofibrosi
Monossido di carbonio	Sintomi a livello del SNC, asfissia, sintomi cardiovascolari
Magnesio	Febbre da inalazione di fumi metallici
Manganese	Parkinsonismo (manganismo), febbre da inalazione di fumi metallici, bronchite
Molibdeno	Irritazione delle vie aeree
Nichel	Sensibilizzazione, cancro delle vie aeree
Ozono	Irritazione delle vie aeree
Fosgene	Irritazione delle vie aeree, edema polmonare
Ossidi di azoto (= gas nitrosi)	Irritazione delle vie aeree, bronchiolite, edema polmonare
Vanadio	Irritazione delle vie aeree
Zinco	Febbre da inalazione di fumi metallici, neurotossicità
Stagno	Stannosi, neurotossicità

Principali sostanze pericolose (con rispettivi ossidi) e problemi di salute che possono essere causati dalle stesse o dai loro composti

Un agglomerato designa un ammasso di particelle che aderiscono le une alle altre a causa di legami fisici deboli (ad esempio forze di van der Waals) o che sono sovrapposte.

2.1. Alluminio

Gli ossidi di alluminio si formano nei processi di saldatura di materiali di base e di apporto contenenti alluminio. Dopo un'esposizione a concentrazioni elevate per molti mesi o anni a fumi di saldatura contenenti alluminio si può sviluppare una pneumoconiosi (detta alluminosi) senza partecipazione dei linfonodi e senza formazione di granulomi. L'alluminosi colpisce soprattutto i campi polmonari superiori e medi. Per la diagnosi precoce dell'alluminosi si ricorre alla HRCT, in quanto gli esami radiologici convenzionali permettono di evidenziare solo alterazioni avanzate.

Nelle sperimentazioni sugli animali l'alluminio si è dimostrato neurotossico, portando alla deposizione dei cosiddetti «*neurofibrillary tangles*» nei neuroni. Questi ammassi neurofibrillari di proteina tau compaiono anche nella malattia di Alzheimer. Non esistono tuttavia evidenze riguardo al ruolo causale dell'alluminio in questa forma di demenza [Klotz]. Sembra invece esserci una relazione tra valori elevati di alluminio nell'urina e disturbi cognitivi [Klotz].

Dato che l'alluminio ha un'emivita nel corpo dell'ordine di mesi e anni, il modo migliore per valutare l'esposizione interna per i lavoratori è con la determinazione dell'alluminio nell'urina nell'ambito del monitoraggio biologico.

2.2. Piombo

Un tempo si utilizzavano vernici e lacche contenenti piombo, oggi proibite in virtù dell'OR-PCChim. Per contro, nella brasatura vengono ancora in parte utilizzate leghe contenenti piombo.

L'inalazione di fumi di piombo causa disturbi in diversi sistemi organici. Se viene colpito il sistema nervoso centrale, si possono manifestare i sintomi di una sindrome neurastenica identificabili in debolezza, affaticamento, problemi di concentrazione, ecc. In questo caso, tuttavia, sono necessarie esposizioni elevate per tempi lunghi che oggi non si verificano praticamente più, soprattutto nella saldatura. Se perdura l'esposizione possono comparire anche disturbi al sistema nervoso periferico. Un esempio noto di questa intossicazione è la mano cadente nel saturnismo. Altri quadri clinici sono le anemie con colorazione basofila degli eritrociti, alterazioni del metabolismo delle porfirine con aumento di acido delta-aminolevulinico e coproporfirina nell'urina o alterazioni funzionali tubulari renali con microproteinuria e alterazioni del sistema riproduttivo [pubblicazione della Suva sul piombo]. Esistono indizi che il piombo possa essere cancerogeno, ma l'evidenza degli studi non è tale da poter considerare definitivamente cancerogeno il piombo (classe 2 secondo la Suva).

Il modo migliore per valutare l'esposizione al piombo per i saldatori è con la determinazione dei livelli di piombo nel sangue, tenendo presente che per le donne in età fertile vanno applicati valori inferiori rispetto a quelli per gli uomini e per le donne più anziane. La determinazione dell'acido delta-aminolevulinico nell'urina si esegue solo ancora nei lavoratori altamente esposti, ad esempio nel settore della protezione anticorrosione.

2.3. Cadmio

Un tempo il cadmio era un componente di alcune leghe per la brasatura, vernici e lacche; oggi le esposizioni al cadmio si possono verificare durante la saldatura e il taglio di materiali con placature superficiali al cadmio.

La tossicità dipende dal tipo di composto del cadmio. Il cloruro, l'ossido e il carbonato di cadmio sono più tossici del solfuro di cadmio. Un'esposizione ai fumi di cadmio nella saldatura può causare febbre da inalazione di fumi metallici e irritazioni polmonari a decorso grave con edema. In caso di esposizione al cadmio di lunga durata si possono sviluppare riniti atrofiche e lesioni polmonari ostruttive. Il cadmio può inoltre alterare la funzione tubulare, ma non conduce a insufficienza renale cronica (*chronic kidney disease* CKD) [Byber].

Il cadmio e i suoi composti appartengono alla categoria di cancerogenicità C1_B[#] secondo l'elenco svizzero dei valori limite, in quanto i composti si sono rivelati cancerogeni nella sperimentazione sugli animali. Si discute se il cadmio aumenti il rischio di cancro ai polmoni nell'uomo e si considera anche un'associazione con il cancro renale e pancreatico. La notazione «#» significa che l'effetto cancerogeno presenta una soglia superiore al valore MAC.

Dato che il cadmio viene assorbito dalla pelle, è opportuno considerare un monitoraggio biologico con determinazione del cadmio nell'urina.

2.4. Cromo

Dal punto di vista di medicina del lavoro sono rilevanti i composti di cromo trivalente ed esavalente; il cromo metallico è difficilmente solubile e biologicamente inattivo.

Nei fumi di saldatura sono presenti composti di **cromo trivalente Cr (III)**, soprattutto nei procedimenti MAG con fili alto legati. I composti di cromo trivalente sono corrosivi e possono causare ulcerazioni croniche del setto nasale e della cute; possono inoltre scatenare reazioni cutanee allergiche di tipo IV o asma (fatta eccezione per l'ossido di Cr (III) e i composti Cr (III) difficilmente solubili).

I più importanti composti di **cromo esavalente Cr (VI)** nella saldatura sono il triossido di cromo CrO₃ e i cromati CrO₄²⁻. I cromati si sviluppano soprattutto nella saldatura manuale ad arco con elettrodo rivestito degli acciai alto legati al cromo-nichel e nella saldatura in atmosfera protettiva con fili alto legati [DGUV]. Nel taglio al plasma ad aria compressa, nel taglio laser di acciai alto legati al cromo-nichel e nella spruzzatura termica con additivi ad alto contenuto di cromo si forma soprattutto triossido di cromo.

I composti Cr (VI) sono sensibilizzanti e penetrano attraverso la cute (ad eccezione del cromato di bario e di piombo). Tenuto conto della possibilità di assorbimento dei composti Cr(VI) attraverso la pelle e l'apparato digerente si raccomanda un monitoraggio biologico in aggiunta alle misurazioni delle concentrazioni.

Nell'elenco svizzero dei valori limite, i composti Cr (VI) sono classificati nella categoria di cancerogenicità C1_A. Questi composti aumentano il rischio di cancro del polmone e probabilmente

di cancro delle cavità nasali e dei seni paranasali, come osservato in particolare nei lavoratori addetti alla galvanizzazione e alla cromatura, nonché alla produzione di cromati e pigmenti cromati. Anche i saldatori presentano un aumento del rischio di cancro del polmone, ma non è ancora stato chiarito in che misura questo incremento sia riconducibile ai composti Cr (VI) [Brüning]. Per quanto riguarda la questione del riconoscimento del cancro del polmone come malattia professionale nei saldatori, Brüning et al. suggeriscono una dose cumulativa minima di circa $500 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{anni}$.

2.5. Cobalto

Il cobalto è utilizzato come legante nella matrice dei metalli duri⁹. Nella produzione e lavorazione dei metalli duri si possono riscontrare casi di edemi polmonari, le alveoliti fibrosanti e fibrosi polmonare, non però nella saldatura. Il cobalto e i suoi composti sono sensibilizzanti e possono causare eczemi allergici da contatto, orticaria e asma. Nella sperimentazione sui roditori il cobalto ha provocato il cancro, motivo per cui nell'elenco svizzero dei valori limite è classificato come probabile cancerogeno per l'uomo (C1_B), anche se finora non è stato dimostrato alcun effetto di cancerogenicità nell'uomo. Il cobalto è inoltre una sostanza di cui si presume una tossicità per la riproduzione (R1_{BF}). Dato che i composti di cobalto solubile e probabilmente anche il cobalto metallico possono essere assorbiti dalla pelle, si raccomanda un monitoraggio biologico in aggiunta al monitoraggio dell'aria.

⁹ I metalli duri ottenuti per sinterizzazione sono costituiti da carburi sinterizzati (C_xM_y dove C = carbonio e M = tungsteno, titanio, tantalio, niobio, molibdeno, cromo o vanadio). Come matrice si utilizza cobalto, più raramente nichel e ferro. Oltre ai carburi metallici sinterizzati esistono anche altre tipologie di metallo duro, ad esempio le leghe da riporto in carburo di tungsteno, polveri a spruzzo termico e carburi cementati.

2.6. Ferro

Il fumo di ferro origina dal materiale di apporto e dal materiale di base [BGI 593]. Può irritare le vie aeree. Dopo un'esposizione intensa per lungo tempo può verificarsi una siderosi o una siderofibrosi polmonare. La **siderosi** polmonare viene anche definita «polmone del saldatore». In questo caso le particelle di ossido di ferro, prevalentemente inerti, dopo l'inalazione si depositano nei tessuti interstiziali dei polmoni e nei macrofagi. Si trovano depositi di ferro soprattutto attorno ai bronchi, ai vasi polmonari e nei linfonodi broncopolmonari. A livello radiografico questi depositi appaiono come ispessimenti distribuiti in modo disseminato e reticolare, con un aspetto che va dal puntiforme al nodulare («tatuaggio da ferro»). Le alterazioni osservate con la TC assomigliano a quelle che si possono osservare nei fumatori. Questa alterazione pare associata a un'elevata esposizione ai fumi di saldatura e diventa visibile solo dopo circa cinque anni di esposizione, mentre la frequenza aumenta con gli anni, soprattutto per le attività di lunga durata [McMillan].

Se oltre ai depositi di ossidi di ferro è presente anche una fibrosi, si parla di **siderofibrosi**. A volte si osserva un'inflammazione associata. La siderofibrosi viene classificata nei gradi da I a III secondo Müller e Verhoff a seconda dell'entità dei depositi, della fibrosi e dell'inflammazione [Müller]. Le alterazioni fibrotiche compaiono con la maggior frequenza in chi effettua saldature ad arco con elettrodo rivestito, in quanto questo procedimento ha il più alto tasso di emissioni. Nell'area linguistica anglo-americana in questi casi si parla di «*Arc Welder's Lung*». La presenza di ozono (nella saldatura di materiali di alluminio e di acciai di qualità) o di ossidi di azoto (nella saldatura a gas) aumenta l'effetto fibrotico dei fumi di saldatura.

Le semplici siderosi solitamente non causano limitazioni della funzione polmonare e hanno una progressione minima o nulla. Queste non posseggono quindi alcun valore di malattia. Una siderofibrosi viene riconosciuta come malattia professionale con un'adeguata valutazione dell'anamnesi lavorativa e dei reperti clinici in caso di pluriennale attività come saldatore e presenza delle relative condizioni quali situazioni di scarsa aerazione in cantine, gallerie, contenitori, cisterne, ecc.

2.7. Fluoro

I composti del fluoro (fluoruri) sono presenti nei rivestimenti basici degli elettrodi. I fumi di saldatura contenenti fluoro irritano gli occhi e le vie aeree. Le fluorosi, così come gli edemi polmonari, possono insorgere solo dopo anni di esposizione a livelli nettamente superiori al valore limite; simili concentrazioni sono verosimilmente da escludersi nella saldatura. I fluoruri vengono assorbiti dalla pelle; per i composti inorganici del fluoro esiste un monitoraggio biologico.

2.8. Rame

I più frequenti problemi di salute associati agli effetti del rame sono i disturbi gastroenterici e le lesioni epatiche dopo l'ingestione di questo elemento, ad esempio attraverso bevande conservate in recipienti che rilasciano rame.

Nei saldatori, dopo l'esposizione a fumi di rame, sono state osservate irritazioni delle vie aeree e febbre da inalazione di fumi metallici, che si manifesta con iperpiressia, cefalea, secchezza delle fauci e della gola con gusto metallico, nausea e dispnea. La febbre da inalazione di fumi metallici insorge alcune ore dopo l'esposizione e si risolve spontaneamente in 1-2 giorni. Verrà descritta nei particolari nella sezione 3.

2.9. Manganese

Gli ossidi di manganese si formano durante la saldatura ad arco con elettrodi consumabili contenenti manganese.

L'inalazione del manganese e dei suoi composti inorganici ha un effetto tossico sui polmoni e sul sistema nervoso centrale.

La forma acuta a livello polmonare si manifesta con i sintomi di una bronchite o polmonite, raramente anche con febbre da inalazione di fumi metallici. Gli effetti (sub)acuti a carico del sistema nervoso centrale sono insonnia, instabilità emotiva, disturbi della memoria, cefalea o crampi muscolari.

In caso di esposizione cronica al manganese, questo metallo di transizione si accumula nel tronco encefalico e nei gangli della base. In questa sede altera il sistema dopaminergico e causa un parkinsonismo (**manganismo**), tuttavia sovente non vengono soddisfatti i criteri per una vera sindrome di Parkinson [Racette]. Ad esempio, l'intensità del parkinsonismo è valutata negli studi con il test del *finger tapping*: la persona esaminata deve battere l'indice sul pollice il più velocemente possibile. Il ferro utilizza in parte le stesse vie di trasporto del manganese (transferrina), per cui un livello di ferro sufficientemente alto nel sangue potrebbe avere un effetto protettivo.

In caso di sospetta esposizione al manganese, l'accertamento più importante nell'ambito del monitoraggio biologico è la determinazione della concentrazione di questo elemento nel sangue [Pitzko]. Lo studio sul manganese di Heidelberg [Lischka] ha rivelato che valori ematici inferiori al valore BAT di 20 µg/l non dovrebbero avere effetti neurotossici.

2.10. Nichel

Gli ossidi di nichel si formano soprattutto durante la saldatura con materiali di apporto e di consumo contenenti nichel.

Il disturbo di salute più frequente indotto dal nichel è la dermatite da contatto. Si tratta di una sensibilizzazione di tipo tardivo (allergia di tipo IV) e può comparire dopo un contatto di

lunga durata con il nichel. Ne è colpito il 10-20% della popolazione totale; le donne si sensibilizzano più spesso rispetto agli uomini.

Nei lavori di saldatura, invece, non prevale il contatto del nichel con la cute, bensì il suo assorbimento per via inalatoria. Si può sviluppare un'asma bronchiale esogena. Particolarmente tossico per inalazione è il tetracarbonilnichel, $Ni(CO)_4$, che si forma con la reazione tra nichel e monossido di carbonio. Dopo l'assorbimento inalatorio di tetracarbonilnichel si possono verificare irritazioni, cefalea, nausea, cianosi, debolezza, febbre e polmonite.

In seguito all'esposizione a composti del nichel è stato osservato un aumento del tasso di cancro di cavità nasali e seni paranasali e delle vie aeree (laringe compresa). I composti del nichel, nell'elenco svizzero dei valori limite, sono classificati nella categoria di cancerogenicità C1A, ciò significa che l'effetto cancerogeno nell'uomo è sufficientemente dimostrato con studi clinici. Secondo lo IARC, tuttavia, negli esseri umani questa forza probante vale soltanto per il solfato di nichel, nonché per i solfuri e gli ossidi di nichel. L'esistenza di una concentrazione soglia è in discussione. Il nichel metallico è stato classificato nella categoria di cancerogenicità C2, ciò significa che esistono elementi per presumere un effetto cancerogeno, ma l'evidenza dei dati non è sufficiente per procedere a una valutazione conclusiva.

L'esposizione al nichel è valutata al meglio nell'ambito del monitoraggio biologico (nichel nell'urina).

2.11. Zinco

L'ossido di zinco si forma, ad esempio, durante la saldatura di metalli galvanizzati o durante la brasatura. Gli ossidi di zinco sono la causa più frequente della febbre da inalazione di fumi metallici, che verrà descritta in dettaglio più avanti. Sulla cute possono provocare alterazioni acniformi. Un eccesso di zinco nel cervello esercita un effetto dannoso sui neuroni. Dopo l'ingestione di zinco si possono manifestare disturbi gastroenterici come vomito o lesioni pancreatiche (danni alle cellule beta o fibrosi). Lo zinco, inoltre, inibisce l'assorbimento del rame nell'intestino e può causare una carenza del rame stesso.

2.12. Stagno

Lo stagno e i suoi composti inorganici sono utilizzati in numerosi materiali di apporto o nella tecnica galvanica e sono relativamente poco tossici. Un'inalazione cronica può portare alla cosiddetta stannosi, una pneumoconiosi benigna.

Alcuni composti organici dello stagno (trietil- e trimetilstagno) sono neurotossici e, in elevata concentrazione, causano encefalopatie ed edema cerebrale. Il tributilstagno può causare irritazioni o ustioni cutanee.

2.13. Gas

Monossido di carbonio

Il monossido di carbonio si forma durante saldatura MAG con gas attivo CO₂ e dalla combustione incompleta di gas combustibili, fondenti e rivestimenti.

Causa cefalea, vertigini e danni al miocardio. Dato che è inodore, ad alte concentrazioni in ambienti chiusi può portare inavvertitamente a morte per intossicazione. La concentrazione di CO-Hb (carbossiemoglobina) nel sangue non deve essere superiore al 5% dell'emoglobina totale.

Ozono

L'ozono (O₃) si forma a partire dall'ossigeno (O₂) con la radiazione UV dell'arco elettrico, soprattutto nella saldatura TIG a bassa emissione di fumi (nei fumi l'ozono si ritrasforma in ossigeno), MIG e al plasma di acciai riflettenti che contengono alluminio, cromo o nichel.

L'ozono può causare secchezza delle mucose, cefalea, infiammazione delle basse vie aeree con insorgenza di iperreattività bronchiale, asma, edema o anche fibrosi polmonare. L'effetto cancerogeno è in discussione; i dati a disposizione non consentono una valutazione conclusiva (categoria C2).

Fosgene

Il fosgene (COCl₂, cloruro di carbonile) può originarsi dall'interazione tra il calore e il raggi UV dell'arco elettrico e alcuni idrocarburi clorurati impiegati come solvente per la pulitura e lo sgrassaggio di metalli. Uno di questi solventi è ad esempio il tetracloroetene. A causa della sua natura lipofila, il fosgene raggiunge le vie aeree inferiori dove è altamente tossico; con un tempo di latenza che va da alcune ore fino a tre giorni può causare un edema polmonare. A basse concentrazioni provoca non più di una leggera irritazione nelle vie aeree superiori.

Ossidi di azoto (gas nitrosi NO_x)

Gli ossidi di azoto si formano dall'ossidazione dell'azoto nell'aria ai margini della fiamma o dell'arco elettrico. A temperature superiori a 1000 °C si forma dapprima monossido di azoto (NO) che, a temperatura ambiente, si ossida poi a biossido di azoto (NO₂).

Ad alte concentrazioni, il monossido di azoto provoca in pochi minuti vertigini, stordimento, perdita di conoscenza, dispnea, cianosi, nausea e vomito.

Per il quadro di intossicazione è di regola determinante nella prassi il biossido di azoto (NO₂), che produce il suo effetto tossico a carico delle vie respiratorie inferiori e degli alveoli. Il biossido di azoto, come l'ozono, può causare secchezza delle mucose, cefalea, edema e fibrosi polmonare.

Nel contesto delle malattie professionali contratte per via respiratoria dai saldatori, le lesioni da gas nitrosi occupano un ruolo importante. A rischio sono in particolare i saldatori che lavo-

rano con gas combustibili in ambienti con scarsa ventilazione (ossitaglio in cantine, riscaldamento alla fiamma e saldatura in cisterne).

2.14. Altre sostanze

Ulteriori possibili sostanze nocive sono il bario, il vanadio e le aldeidi contenute in sostanze di rivestimento, ingrassanti e sgrassanti, ma anche gli isocianati che si formano durante la degradazione termica di vernici poliuretaniche. Nel trattamento delle superfici di un pezzo tramite sabbiatura possono essere rimossi ruggine, sporcizia, colori e altre impurità. Durante queste attività, a seconda del metodo, si può verificare un'esposizione ai silicati che possono ugualmente portare a infiammazione e fibrosi del parenchima polmonare.

3. Malattie secondo sistema organico e quadri patologici

3.1. Occhi

L'arco elettrico e la fiamma di saldatura producono radiazioni ottiche nel campo dell'infrarosso fino all'ultravioletto. L'intensità dipende, tra l'altro, dal procedimento utilizzato, dal gas protettivo e dal materiale in lavorazione. Quindi, in caso di misure di protezione carenti, o a causa di riflessi, si possono avere lesioni corneali. A rischio non è soltanto il saldatore, ma anche le persone che si trovano nelle vicinanze. Nella saldatura a punti, un tipo di saldatura per resistenza, si forma a sua volta un arco elettrico che può provocare lesioni oculari. L'irradiazione ultravioletta può causare un'infiammazione congiuntivale e corneale (cheratocongiuntivite fotoelettrica). Questo «**abbagliamento del saldatore**» compare alcune ore dopo la saldatura e scompare senza danni permanenti sospendendo l'esposizione dopo uno o due giorni. I dati disponibili riguardanti la maggiore insorgenza di melanomi uveali nei saldatori sono troppo eterogenei per poter riconoscere questa forma tumorale come malattia professionale in Germania [Hiller].

L'irradiazione infrarossa della saldatura può causare la cosiddetta («**cataratta dei vetrai**») e alterazioni associate al calore. I DPI di buona qualità possono prevenire efficacemente la cataratta [Michaelsen Slagor].

Ulteriori lesioni degli occhi possono essere causate da gas, fumi, particolato, scintille, ecc. che colpiscono direttamente gli occhi non protetti e provocano **irritazioni e ustioni**.

Le protezioni per gli occhi (casco o schermo) devono schermare sia i raggi ultravioletti, sia le radiazioni nello spettro visibile e infrarosso.

3.2. Vie aeree

Secondo un'indagine dell'Istituto di ricerca delle associazioni di categoria per la medicina del lavoro di Bochum (Berufsgenossenschaftliches Forschungsinstitut für Arbeitsmedizin) non si può presumere in generale una relazione causale tra saldatura e patologie delle vie aeree, ma questa deve essere valutata individualmente caso per caso [Wieners]: sono cioè da considerare l'anamnesi lavorativa, la visita clinica, le condizioni sul posto di lavoro e altri fattori. Nell'esposizione ai fumi di saldatura a volte si può osservare una riduzione temporanea dei parametri di funzionalità polmonare durante i giorni lavorativi. Nei giorni senza esposizione, tuttavia, queste riduzioni sembrano scomparire [Antonini, Beckett].

Irritazioni

L'esposizione a fumi e gas di saldatura (ad esempio ozono, ossidi di azoto, fosgene, ossidi alcalini e alcalino terrosi, cadmio, rame, pentossido di vanadio, acetaldeide, acroleina, acido cianidrico, resine epossidiche, formaldeide, isocianati, anidride ftalica) può causare irritazioni delle alte e basse vie aeree e anche edemi polmonari.

A livello delle vie aeree superiori l'azione irritativa va a carico della mucosa nasale sotto forma di sensazione di bruciore con produzione di secreto fluido, rigonfiamento e arrossamento delle mucose ed eventualmente ipsomia. Un'esposizione al cadmio può indurre una rinite chiamata «raffreddore da cadmio»; nell'esposizione al pentossido di vanadio si osserva, oltre a rinite e ipsomia, una colorazione verde-nerastra della lingua, mentre nell'esposizione al mercurio e al piombo si possono manifestare stomatiti e gengiviti.

Edemi polmonari

Gli edemi polmonari sono diventati più rari, dato che implicano concentrazioni elevate (grandi fiamme). Il decorso di un edema polmonare chimico-tossico è caratterizzato da un intervallo di 2 fino a 72 ore con pochi sintomi (irritazione, tosse, spossatezza, febbre) [DD: febbre da inalazione di fumi metallici], leggera dispnea). Dopo questa prima fase si osserva un drammatico peggioramento delle condizioni con rapido passaggio di trasudato negli alveoli. Nella risoluzione dell'edema polmonare si può a volte sviluppare una bronchiolite obliterante o una fibrosi del tessuto polmonare, che di regola non lascia postumi. A rischio di edema polmonare sono o erano soprattutto i saldatori che lavoravano con acciai galvanizzati e inossidabili (dunque contenenti cromo), cadmio, cobalto, tetrossido di osmio, fosfina o gas lipofili come il biossido di azoto o il fosgene. Il cadmio può indurre irritazioni particolarmente gravi. L'ozono, l'acroleina e il pentossido di vanadio causano alterazioni tossiche tanto nelle alte quanto nelle basse vie aeree.

Bronchite cronica e BPCO

Il rischio di contrarre una **bronchite cronica**¹⁰ e di avere un sistema bronchiale iperreattivo è massimo nei lavori con acciai galvanizzati e inossidabili. Ampi studi (ECRHS II- o RHINE) hanno evidenziato un rischio relativo tra 1,4 e 2,1, a seconda del procedimento di saldatura e dell'entità di esposizione [Lillienberg, Holm]. La frequenza di una bronchite cronica nei fumatori che lavorano come saldatori, inoltre, sembra essere maggiore rispetto ai fumatori che non fanno lavori di saldatura [Tarlo].

È noto che alcuni metalli come il cadmio possono causare lesioni polmonari di tipo ostruttivo. Un rapporto causale tra l'esposizione ai fumi di saldatura in generale e la comparsa di una **BPCO** (broncopneumopatia cronica ostruttiva) non è stato tuttavia dimostrato in modo conclusivo. Un nuovo lavoro di revisione e metanalisi di studi longitudinali nei saldatori ha mostrato che in questa categoria di lavoratori si osserva di fatto una maggiore perdita di funzione polmonare per anno, rispetto ai lavoratori senza esposizione ai fumi di saldatura, ma che questo effetto non è statisticamente significativo e soprattutto aumenta molto in caso di contemporanea abitudine al fumo di sigaretta [Szram]. In uno studio di coorte pubblicato in Francia nello stesso anno è stata valutata l'esposizione ai fumi di saldatura dei lavoratori manuali per mezzo di una matrice di esposizione. La funzione polmonare basale di quei lavoratori con esposizione professionale ai fumi di saldatura era inferiore rispetto a quella dei lavoratori senza detta esposizione. La velocità di perdita della funzione polmonare nei lavoratori con esposizione ai fumi di saldatura era sì maggiore, ma non in modo significativo. In questo studio, però, nei non-fumatori si è osservato un rapporto esposizione-effetto in relazione alla riduzione del valore di FEV1 [Thaon]. Nel singolo caso una relazione causale tra BPCO e attività di saldatore è ammissibile quando per anni il lavoro è stato svolto con elettrodi a bacchetta rivestiti (soprattutto basici e contenenti fluoruri) in condizioni di aerazione inadeguate o se per anni sono state eseguite esclusivamente saldature con gas di protezione di materiali di base riflettenti (ad es. alluminio, acciaio di qualità) con elevate emissioni di ozono. Va notato che l'abitudine al fumo è il fattore di rischio più importante per la BPCO; secondo la metanalisi di Forey [Forey] il rischio relativo nei maschi fumatori è mediamente pari a 2,9. Per questo motivo nei fumatori, nel singolo caso, è difficile se non impossibile differenziare la quota di esposizione professionale ai fumi di saldatura da quella del fumo di sigaretta nella genesi di una BPCO. Di solito la gravità di una BPCO in persone che non hanno mai fumato è meno marcata.

Asma

Gli studi forniscono risultati disomogenei sull'associazione tra **asma** e saldatura. Ciò non deve sorprendere, dato che per l'asma sono noti diversi meccanismi e agenti scatenanti. Diversi

¹⁰ La bronchite cronica è una diagnosi clinica e richiede la presenza di una tosse produttiva per quattro o più giorni alla settimana per tre o più mesi all'anno per almeno due anni consecutivi. L'agente scatenante più frequente della bronchite cronica è il fumo di sigaretta.

studi sembrano stabilire una relazione [Bakerly, Banga, El-Zein] e una revisione pubblicata di recente ritiene che ai fumi di saldatura vada il più alto grado di evidenza come fattore causale per l'asma o anche per la BPCO [Baur]. Lo studio ECRHS II, al contrario, è giunto alla conclusione che la saldatura non è associata a un aumento della prevalenza di sintomi asmatici (in questo studio basato sulla popolazione, tuttavia, non sono stati arruolati solo saldatori, ma anche lavoratori che non effettuavano lavori di saldatura come occupazione principale) [Lil- lienberg]. In ogni caso un'asma si può manifestare con una sensibilizzazione specifica verso una sostanza (per esempio Cr(VI), nichel, isocianati) presente nei fumi di saldatura con un'esposizione molto intensa per un breve periodo nell'ambito di una cosiddetta «*reactive airways dysfunction syndrome*» e forse anche con esposizioni ripetute, ma di intensità media, sotto forma di asma irritativa. Se nel caso in questione si osserva un'asma è necessario considerare in particolare una possibile sensibilizzazione verso nichel o cromo. Eventualmente va preso in considerazione un test di broncoprovocazione specifica o la determinazione seriale dei picchi di flusso.

Pneumoconiosi

Dopo un'esposizione intensa e di lunga durata ai fumi di saldatura si possono sviluppare delle pneumoconiosi. La pneumoconiosi più frequente è la **siderosi** (vedi descrizione dettagliata alla sezione «Ferro»). Si tratta di una patologia a carico dei polmoni dovuta al deposito inerte di particelle di ossido di ferro nei tessuti interstiziali e nei macrofagi («tatuaggio da ferro») con piccole o discrete alterazioni della funzione polmonare; solo nei rari e più gravi casi di siderofibrosi si constatano segni di infiammazione e riduzioni della funzione polmonare. In caso di deposito di stagno si parla di **stannosi**, mentre una pneumoconiosi da alluminio è detta **alluminosi**; le fibrosi polmonari si verificano anche in caso di esposizione al bario e all'antimonio.

Infiammazioni e infezioni

Altre sostanze lesive dei polmoni sono l'ossido di azoto e l'ossido di cadmio che, in caso di esposizione intensa, possono causare una **pneumonite**¹¹ e un edema polmonare [ad esempio Erkinjuntti o Wieners].

L'inalazione di fumi di saldatura sembra esercitare un'influenza sul sistema immunitario ed avere un effetto negativo su gravità e decorso temporale delle **infezioni** delle alte e basse vie aeree [Zeidler]. I saldatori consultano con maggiore frequenza un medico a causa di infezioni respiratorie [Marongiou]. Alcuni studi caso-controllo in Inghilterra hanno inoltre mostrato che i saldatori presentano un rischio aumentato di ammalarsi di polmoniti gravi [Palmer, Wong]. Il rischio, tuttavia, sembra essere più alto solo nei lavoratori che praticano attualmente la saldatura e si riduce di nuovo dopo la fine dell'attività di saldatore.

¹¹ Pneumonite = polmonite indotta da agenti chimici o fisici
Pneumonia = polmonite indotta da agenti microbiologici

Cancro del polmone

Il rischio di cancro del polmone nei saldatori è nel complesso leggermente superiore e secondo nuovi studi raggiunge valori relativi compresi tra 1,2 e 1,4 [Ambroise, Kendzia, MacLeod]. La causa del rischio aumentato di cancro potrebbe essere un'inflammatione cronica del parenchima polmonare e la produzione di radicali di ossigeno [Tarlo], una parte dei tumori al polmone sarebbe tuttavia riconducibile anche all'abitudine del fumo ed eventualmente a un'esposizione concomitante all'amianto [MacLeod]. Nonostante i diversi studi sui rischi aumentati di cancro, la IARC ha complessivamente classificato l'attività di saldatura solo come «possibilmente cancerogena per l'uomo» (gruppo 2B IARC = categoria 2 Suva).

L'aumento del rischio potrebbe essere tra l'altro riconducibile ai **composti del cromo (VI)** e ai **sali di nichel**, agenti cancerogeni per l'uomo presenti nei fumi di saldatura, nonostante questo non abbia potuto essere evidenziato direttamente dagli studi e nonostante i lavori di saldatura su acciai non legati comportino a loro volta un aumento del rischio di cancro. Le composti del cromo (VI) ai Sali di nichel nei fumi di saldatura sono classificate nella categoria C1_A della Suva e possono aumentare il rischio di cancro di cavità nasali e seni paranasali, della laringe e delle basse vie aeree [Balindt, Grimsrud, IIW, Moulin]. La *Standardized Mortality Rate* (SMR) del cancro che deriva dai composti del cromo (VI) ha un valore di 1.4 o di 1.1 dopo la correzione per l'abitudine del fumo [Cole]. Per i sali di nichel non è noto alcun valore di *risk ratio*.

Il ruolo cancerogeno del **cadmio**, che può a sua volta essere presente nei fumi di saldatura, non è completamente chiarito. Nell'elenco svizzero dei valori limite il cadmio è classificato nella categoria di cancerogenicità C1_B[#] (# significa che l'effetto cancerogeno presenta una soglia superiore al valore MAC).

Dato che il nichel e i composti del cromo (VI) sono sostanze presenti nell'elenco giusta l'articolo 9 capoverso 1 LAINF, la componente causale rappresentata da una delle due sostanze in un caso di cancro deve ammontare almeno al 50% di tutte le cause concomitanti (attenzione: abitudine del fumo o amianto!); vedi capitolo «Aspetti legali del riconoscimento delle malattie professionali». Questo corrisponde a un rischio relativo di minimo 2 che, secondo le conoscenze attuali, non viene raggiunto. Perciò, in caso di cancro del polmone dopo esposizione a nichel o composti del cromo (VI) e in generale a fumi di saldatura non è di regola ammesso il riconoscimento come malattia professionale. Ogni singolo caso, tuttavia, deve essere valutato in modo individuale considerando l'anamnesi lavorativa (utilizzo di fili di saldatura, arcing time/trigger time), esami clinici, condizioni riscontrate sul posto di lavoro (ad esempio campionamento del personale o misurazioni dell'aria ambientale) e altri fattori (ad esempio sincarcinogenesi in associazione con amianto). Va inoltre tenuto conto che per i tumori solidi del polmone è di regola presente un tempo di latenza di almeno 10 anni fino a un massimo di 50 anni [HSL].

3.3. Apparato locomotore

Gran parte del lavoro di un saldatore è statica. A seconda dell'equipaggiamento, il saldatore deve sorreggere contemporaneamente il cannello e la visiera di protezione. A volte devono essere sollevate parti da lavorare pesanti. I problemi ergonomici dipendono anche dalla dimensione delle parti da lavorare: per i piccoli pezzi prodotti in serie possono essere utilizzati tavoli di lavoro; a questo proposito, per la lavorazione di pezzi più grandi, raramente sono disponibili posti di lavoro adattati secondo un concetto ergonomico. Negli spazi ristretti e per i lavori da effettuare al di sopra del capo si producono allo stesso modo situazioni sfavorevoli con posture forzate. Anche il procedimento di saldatura utilizzato può sollecitare l'apparato locomotore. Nella saldatura con elettrodo a bacchetta questo deve essere sostituito dopo circa 2 minuti, fatto che rende poco ordinata l'attività di saldatura; negli altri procedimenti di saldatura (MIG/MAG), a questo proposito è possibile lavorare al pezzo per un tempo più lungo e quindi il carico di lavoro statico è maggiore.

3.4. Campi elettromagnetici

Nella saldatura elettrica si formano campi elettrici e magnetici (EMF). Per quanto riguarda i rischi per la salute i campi elettrici sono trascurabili date le correnti relativamente basse. Al contrario i campi magnetici possono essere significativi a causa delle alte intensità di corrente. Correnti elevate fino a 750 A vengono utilizzate soprattutto nei procedimenti di saldatura ad arco elettrico MIG, MAG e TIG e nella saldatura a punti. I campi magnetici generano correnti nel corpo stesso perché influenzano le molecole cariche elettricamente. I fenomeni irritativi delle cellule muscolari e nervose o anche i cosiddetti fosfeni retinici sono effetti indesiderati diretti, scientificamente accertati, dei campi magnetici elevati. Questi sono fenomeni luminosi percepiti soggettivamente che sono prodotti dall'irritazione elettrica delle cellule retiniche. Per la pratica in medicina del lavoro ha importanza la possibilità che venga esercitata un'influenza su pacemaker, defibrillatori impiantabili, neurostimolatori e altri dispositivi attivi. Le interferenze possono insorgere soprattutto durante la saldatura ad arco elettrico, la saldatura per resistenza (ad es. saldatura a punti o saldatura ad alta frequenza di materiali dielettrici) [Amport].

Per impedire con certezza effetti disturbanti diretti, la Suva ha definito valori limite sul posto di lavoro per i campi magnetici [Gube]. Questi fanno riferimento ai «*reference levels*» definiti e verificati regolarmente dall'ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Tuttavia un disturbo della funzione di dispositivi medici attivi è possibile anche nel rispetto dei valori limite sul posto di lavoro. Dato che le impostazioni di funzionamento (soprattutto la soglia di discriminazione elettrica) dei dispositivi medici attivi vengono adattate alle necessità dei singoli pazienti, il concetto di valore limite è poco significativo per la protezione del portatore del dispositivo; nei casi dubbi è necessaria una valutazione del posto di lavoro per effettuare un'analisi del rischio. Dato che l'esposizione a campi elettromagnetici

secondo l'allegato 1 della direttiva CFSL 6508 è definita come «pericolo particolare», il datore di lavoro in queste circostanze deve consultare medici del lavoro e altri esperti di sicurezza sul lavoro. Nella norma SN EN 50527-1:2010 viene definita la procedura in base alla quale si deve effettuare la valutazione della possibile esposizione ai campi magnetici per le persone con dispositivi attivi. La SN EN 50527-2.1 è la norma per la valutazione dei portatori di pacemaker. La EN 50505 è una norma internazionale specifica per la valutazione dell'esposizione a EMF di persone impiegate in lavori di saldatura. Quelle che seguono sono possibili misure pratiche per la riduzione dell'esposizione ai campi magnetici durante la saldatura:

- indossare guanti e calzature elettricamente isolanti (guanti asciutti in pelle, gomma o materiale ignifugo)
- scegliere correnti di saldatura possibilmente basse (non superiori a 400 A)
- aumentare la distanza tra operatore e cavo di saldatura/fonte di corrente per la saldatura
- attorcigliare tra loro i cavi di alimentazione e di ritorno alla saldatrice in modo che restino ben aderenti, collegare il cavo di ritorno (massa) nel punto più vicino possibile alla zona di saldatura
- attuare misure di schermatura
- evitare il più possibile di avvolgere il cavo di saldatura attorno al corpo o di portarlo sulla spalla
- non effettuare brevi saldature ripetute o saldature a punti in rapida successione; attendere almeno 10 secondi dopo ogni fase di lavoro
- in caso di difficoltà di accensione (ad es. superficie sporca) non battere ripetutamente l'elettrodo sul pezzo in lavorazione; attendere almeno 10 secondi prima di effettuare un altro tentativo
- definire e contrassegnare le aree pericolose e limitare l'accesso ai portatori di dispositivi attivi
- fornire informazioni accurate ai portatori di dispositivi in caso di posti di lavoro mobili
- in caso di malessere (vertigini, sensazione di debolezza, ecc.) i portatori di dispositivi devono interrompere immediatamente l'attività, deporre il saldatore, allontanarsi dal generatore di saldatura ed eventualmente consultare un medico

3.5. Udito

A seconda della procedura di saldatura, del pezzo in lavorazione o dei parametri elettrici, l'esposizione al rumore è notevole e può superare il livello di esposizione L_{EX} di 85 dB (A) riportato nell'elenco svizzero dei valori limite [Ladou]. Questo è il caso in particolare per il taglio al plasma, le macchine ossitaglio, il riscaldamento alla fiamma oppure quando esistono contemporaneamente altre fonti di rumore in posti di lavoro adiacenti. Ulteriori informazioni sulla stima dell'esposizione al rumore sul posto di lavoro si trovano nelle tabelle del rumore della Suva e sul sito extra.suva.ch nella sezione «Rumore».

3.6. Cute

Alcune sostanze presenti sul luogo di lavoro dei saldatori possono causare **dermatiti allergiche o tossico-irritative da contatto**. In questo contesto è importante considerare sia i singoli metalli, sia i componenti di vernici e lacche di rivestimento del materiale da saldare. Mentre il cromo metallico, le leghe di cromo e gli oggetti cromati non sono sensibilizzanti e non provocano nemmeno eczemi nei soggetti con allergia al bicromato, i composti esavalenti solubili in acqua del bicromato possono sensibilizzare la cute e avere anche un effetto tossico-irritativo. Questi composti del cromo si trovano in elettrodi e materiali di apporto, come pure in vernici e lacche di rivestimento. In passato i guanti di protezione venivano conciati con bicromati esavalenti e potevano causare allergie.

Il nichel metallico e una parte dei suoi composti, come pure il cobalto e i suoi composti, sono a loro volta sensibilizzatori della cute e svolgono un ruolo importante quale causa di dermatiti allergiche. Sono presenti in particolare nei fumi che si generano durante la saldatura degli acciai alto legati e possono depositarsi sulla cute.

I shop primer (pretrattamenti temporanei), le vernici protettive e le lacche di rivestimento scaldati dalla fiamma di saldatura possono rilasciare sostanze irritanti o sensibilizzanti della cute. Vanno menzionati la formaldeide, gli ftalati, l'anidride trimellitica, gli isocianati, le resine epossidiche, gli acrilati e i fenoli. Dato che nei saldatori le dermatiti da contatto sono spesso causate da sostanze presenti nei fumi che si depositano sulla cute, possono interessare anche il viso.

La luce ultravioletta presente nella saldatura ad arco elettrico e a fiamma può causare una dermatite da UV («**ustione solare**») delle zone di cute non protetta come collo o avambracci. L'esposizione cronica agli UV può provocare lesioni preneoplastiche e neoplastiche della cute: uno studio danese svolto nell'ambito della saldatura ad arco in atmosfera protettiva ha osservato **cheratosi attiniche** e **carcinomi basocellulari** (BCC) con Hazard Ratio di circa 2,5; per contro, i carcinomi spinocellulari (SCC) non erano presenti in misura maggiore, mentre per i melanomi maligni (CMM) i dati non sono sufficienti [Heltoft]. Ulteriori informazioni sui danni cutanei da UV si possono trovare nella pubblicazione della Suva «Berufliche Hautkrankheiten» («Les dermatoses professionnelles») [Rast].

Scintille, scorie, parti metalliche o anche esplosioni o incendi possono causare **ustioni**, in particolare a mani e viso.

3.7. Febbre da inalazione di fumi metallici (febbre del saldatore)

Determinati metalli possono scatenare la cosiddetta febbre del saldatore o da inalazione di fumi metallici. Si tratta di una reazione infiammatoria sistemica dell'organismo con aumento di diversi indici di infiammazione (leucociti, PCR) e contemporanea riduzione del fibrinogeno [Kim]. Le cause sono legate alle frazioni alveolari degli ossidi di metallo, soprattutto di zinco, rame e magnesio, raramente manganese, nichel, ferro, cadmio, antimonio, selenio e stagno. Fino a un terzo dei saldatori soffre di una febbre del saldatore nel corso della loro attività professionale [McMillan]. La febbre da inalazione di fumi metallici può manifestarsi anche in altri settori di lavorazione in cui vengono rilasciati ossidi di metallo, ad esempio nelle fonderie e nell'industria galvanica.

I sintomi iniziali compaiono dopo 4-8 ore dall'esposizione ai fumi con irritazione del cavo orale e della faringe, sapore metallico in bocca, sete e tosse, cefalea e dolori muscolari similinfluenzali, nausea, rigidità e senso di spossatezza. Dopo circa 8-12 ore dall'esposizione seguono febbre alta, brividi e sudorazione. I disturbi si risolvono di regola spontaneamente in 24-36 ore, al massimo in tre giorni.

Tipicamente all'esame radiografico dei polmoni non sono visibili alterazioni e anche l'esame spirometrico non mostra anomalie.

Non raramente un'esposizione ai fumi di saldatura porta a una discreta tolleranza, che dopo pochi giorni senza esposizione scompare nuovamente. I sintomi possono anche manifestarsi in modo più intenso all'inizio della settimana lavorativa e ridursi nei giorni successivi, motivo per cui la febbre da inalazione di fumi metallici nelle nazioni anglosassoni a volte è stata anche definita «*monday morning fever*». Solitamente non compaiono esiti a lungo termine.

3.8. Sistema nervoso

Un'esposizione di lunga durata superiore al valore MAC a metalli come manganese [Lischka, Plitzko, Meyer-Baron], alluminio [Klotz] o piombo può portare a deficit neurologici o neuropsicologici. Anche l'ossido di zinco e alcuni composti dello stagno sono lesivi per le cellule nervose.

Il cosiddetto manganismo è stato studiato in modo particolarmente approfondito in quanto esso è stato inizialmente osservato nei saldatori. All'inizio di un'intossicazione da manganese i sintomi più frequenti sono insonnia, instabilità emotiva, disturbi della memoria, cefalea o crampi muscolari. Successivamente possono aggiungersi sintomi di parkinsonismo a causa dell'alterazione del sistema di trasmissione nervosa dopaminergica. Tuttavia, di solito non è presente una vera sindrome parkinsoniana. Nelle valutazioni neuropsicologiche, ad esempio,

sono state descritte alterazioni dell'apprendimento verbale, della memoria di lavoro e della flessibilità cognitiva [Bowler].

Anche se nei fumi di saldatura possono essere presenti i metalli qui citati, in uno studio recentemente pubblicato sulla correlazione esposizione-effetto non è stata dimostrata alcuna neurotossicità clinica della saldatura [Ross]. A questo studio hanno partecipato 352 saldatori e 361 subacquei che effettuavano lavori di saldatura.

3.9. Reni

Nella letteratura specializzata si trova la descrizione di alcuni casi di glomerulonefrite e di nefrite interstiziale nei saldatori. È stata inoltre sottolineata un'alterazione della funzione renale dovuta ai composti esavalenti solubili di cromo e al cadmio. Sulla base delle esperienze acquisite appare tuttavia improbabile che queste nefropatie si verificano sempre più.

Singoli studi riportano un aumento del rischio di cancro della vescica (HR = 1,4) e del rene (HR = 1,3) [MacLeod]. Questo maggior rischio potrebbe essere riconducibile ad esempio al cadmio, che può causare tumori dell'apparato uro-genitale [Feki-Tounsi].

3.10. Apparato riproduttivo

Esistono indizi che durante la saldatura di acciai alto legati possa comparire negli operatori una limitazione dose-dipendente della qualità dello sperma, fatto che potrebbe portare ad alterazioni della fertilità [OSHA, Rom, IARC].

3.11. Vibrazioni

Spesso i lavoratori che effettuano lavori di saldatura utilizzano anche apparecchiature vibranti per pulire o rettificare i pezzi [Parizek]. In caso di utilizzo per tempi lunghi di questi apparecchi possono comparire alterazioni sensoriali e vascolari delle dita nel contesto della sindrome di Raynaud (mani bianche).

4. Prevenzione nel settore della medicina del lavoro e monitoraggio biologico

Per la protezione dei lavoratori da sostanze pericolose per la salute sul posto di lavoro hanno la priorità le misure di igiene del lavoro. Queste, a seconda della situazione, possono essere integrate dalla prevenzione nel settore della medicina del lavoro [DGUV].

4.1. Misure di igiene del lavoro

Le misure di igiene del lavoro vanno programmate e realizzate secondo il principio STOP: S (Sostituzione), T (misure Tecniche), O (misure Organizzative), P (misure Personali). Questo approccio viene spiegato in dettaglio nella pubblicazione della Suva «Saldatura e taglio».

4.2. Prevenzione nel settore della medicina del lavoro

Gli accertamenti di medicina del lavoro, ai sensi dell'Ordinanza sulla prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali, sono mirati a individuare le categorie professionali con fattori di rischio individuali e quindi con un maggiore rischio di malattie professionali, a individuare precocemente le malattie professionali in uno stadio iniziale e a riconoscere un'esposizione interna inammissibile prima della comparsa di una malattia professionale tramite il monitoraggio biologico.

IA tale scopo, la Suva emana una decisione in base alla quale i lavoratori esposti a rischi particolari vengono sottoposti a particolari misure di prevenzione nel settore della medicina del lavoro. Per i saldatori la Suva richiede delle visite preventive di medicina del lavoro quando, in base alla valutazione dei rischi, sono presenti rischi particolari, ad esempio nel superamento dei valori limite o esposizioni speciali. Nel sangue o nelle urine del saldatore vengono misurati parametri biologici per rilevare un'eventuale esposizione interna inammissibile (vedi monitoraggio biologico).

4.3. Monitoraggio biologico

Con monitoraggio biologico si intende la valutazione dell'esposizione dei lavoratori a sostanze chimiche con la determinazione della sostanza in materiali biologici come sangue, urine o aria espirata, la determinazione dei metaboliti o di un parametro dell'organismo che venga influenzato dalla sostanza di lavoro stessa [Jost, elenco dei valori limite]. I valori misurati vengono confrontati con i valori BAT riportati nell'elenco dei valori limite. In questo modo si riesce a valutare l'esposizione interna dovuta a una sostanza di lavoro o a una reazione dell'organismo alla sostanza di lavoro stessa, da cui si stima un rapporto dose-effetto tra la concentrazione della sostanza di lavoro nell'aria e l'effetto sull'organo bersaglio. Con il monitoraggio

biologico vengono rilevate tutte le vie di assorbimento di una sostanza di lavoro, quindi non solo l'inalazione, ma anche l'assunzione attraverso cute e tratto gastroenterico.

La concentrazione nei sopraccitati materiali biologici è influenzata da diversi fattori, pertanto non sempre si trova una correlazione soddisfacente tra le misurazioni nell'aria ambientale e i valori biologici. Infatti l'assorbimento per via inalatoria può oscillare a seconda del volume respiratorio al minuto e l'assorbimento della cute a seconda della qualità delle misure di protezione; il metabolismo subisce delle variabilità individuali a seconda della situazione e, per emivite di eliminazione lunghe, una sostanza si può accumulare nell'organismo (*body burden*) ed essere rilasciata dai tessuti ancora dopo molto tempo. Le interazioni con altri solventi o sostanze, inoltre, influenzano la tossicodinamica e la tossicocinetica. Nel monitoraggio biologico i fattori influenzanti devono essere assolutamente riconosciuti con un'anamnesi accurata e considerati nella valutazione.

Per le seguenti sostanze, alle quali possono essere esposti i lavoratori durante la saldatura, esistono valori BAT.

Sostanza di lavoro	Parametro biologico	Valore BAT	Materiale	Momento di prelievo del campione
Alluminio	Alluminio	60 µg/g creatinina	Urina	a
Piombo	Piombo	Uomini: 400 µg/l Donne >45 anni: 400 µg/l Donne <45 anni: 100 µg/l	Sangue	a
Composti inorganici del fluoro	Fluoruro	4 mg/g creatinina	Urina	b
Cadmio	Cadmio	5 µg/g creatinina	Urina	a
Cobalto	Cobalto	30 µg/l	Urina	b
Monossido di carbonio	CO-Hb	5%	Sangue	b
Manganese	Manganese	20 µg/l	Sangue	c, b
Nichel	Nichel	45 µg/l	Urina	c, b
Composti del nichel, insolubili	Nichel	10 µg/l	Urina	c, b
Sali di nichel, solubili	Nichel	40 µg/l	Urina	c, b

Valori BAT di alcune sostanze che si formano durante la saldatura [suva.ch/valore-limite: accessed 28.2.18]; a: nessuna limitazione; b: fine dell'esposizione o del turno; c: in caso di esposizione per periodi lunghi dopo la fine di diversi turni; d: prima dell'inizio di un turno

5. Aspetti legali del riconoscimento delle malattie professionali

Secondo le disposizioni contenute nella Legge federale sull'assicurazione contro gli infortuni (LAINF), le malattie contratte durante l'esercizio professionale della saldatura vengono riconosciute dalla Suva come malattie professionali purché l'associazione causale venga stabilita con preponderante probabilità giusta l'articolo 9 capoversi 1 e 2 LAINF. Se la sostanza in questione è presente nell'elenco delle sostanze nocive dell'allegato 1 OAINF, la malattia viene riconosciuta come malattia professionale se è causata prevalentemente dall'esposizione a tale sostanza durante l'attività professionale (art. 9 cpv. 1 LAINF), ossia quando la sostanza nociva comporta più del 50% dell'intero spettro delle cause, ciò che equivale a un rischio relativo superiore a 2 (DTF 293/99 o 119/V200 considerando 2a). Per quanto riguarda le sostanze che non figurano nell'elenco, il disturbo di salute deve essere causato esclusivamente o in modo affatto preponderante dall'esercizio dell'attività professionale con la sostanza in questione per essere riconosciuta come malattia professionale (art. 9 cpv. 2 LAINF); questo è il caso quando la sostanza nociva comporta più del 75% dell'intero spettro delle cause, ciò che equivale a un rischio relativo pari a 4. Le prestazioni dopo il riconoscimento di una malattia professionale corrispondono a quelle in caso di infortunio visto che, a norma di legge, le malattie professionali sono assimilate agli infortuni professionali (art. 9 cpv. 3 LAINF).

6. Bibliografia

Ambroise D. et al.: Update of a meta-analysis on lung cancer and welding; Scand J Work Environ Health 2006; 32 (1): 22 - 31.

Antonini J. M. et al.: Pulmonary effects of welding fumes: review of worker and experimental animal studies. Am J Ind Med 2003; 43 (4): 350 -360.

Bakerly N. D. et al.: Fifteen-year trends in occupational asthma: data from the Shield surveillance scheme; Occup Med 2008; 58 (3): 169-174.

Bakerly N. D. et al.: Fifteen-year trends in occupational asthma: data from the Shield surveillance scheme; Occup Med 2008; 58 (3): 169-174.

Balindt P.: Lungenkrebsrisiko durch berufliche Exposition gegenüber Nickel und seinen Verbindungen. Inaugural-Dissertation. Hohe Medizinische Fakultät der Ruhr-Universität Bochum (2009).

Banga A. et al.: A study of characteristics of Michigan workers with work-related asthma exposed to welding; J Occup Environ Med 2011; 53 (4): 415-419.

BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin): TRGS (Technische Regel für Gefahrstoffe) Merkblatt Nr. 528: "Schweisstechnische Arbeiten" (2009).

BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin): TRGS (Technische Regel für Gefahrstoffe) Merkblatt zur Berufskrankheit Nummer 4115 "Lungenfibrose durch extreme und langjährige Einwirkung von Schweisssrauchen und Schweissgasen - (Siderofibrose)" (Bek. des BMAS vom 30.12.2009).

Baur X. et al.: Bronchial asthma and COPD due to irritants in the workplace - an evidence-based approach; J Occup Med Tox 2012; 7 (19): 1 - 31.

Beckett W. S. et al.: Airway reactivity in welders: a controlled prospective cohort study. J Occup Environ Med 1996, 38 (12): 1229 - 1238.

BGHM: BGI 593. Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren. 2012.

Blättler M. A.: Saldatura e taglio. Protezione da fumi, polveri, gas e vapori Suva. Codice 44053 (2012).

BMAS: Merkblatt zur Berufskrankheit Nummer 4106 "Erkrankungen der tieferen Atemwege und der Lungen durch Aluminium und seine Verbindungen" (2009).

Bowler R. M. et al.: Neuropsychological sequelae of exposure to welding fumes in a group of occupationally exposed men; Int J Hyg Environ Health 2003; 206: 517-529.

Brüning T. et al.: Wissenschaftliche Datenlage zur BK-Nr. 1103 im Hinblick auf die kanzerogene Wirkung von Chrom(VI)-Verbindungen (2015) ASU 50:666-76.

Byber K. et al.: Cadmium or cadmium compounds and chronic kidney disease in workers and the general population: a systematic review; Crit Rev Toxicol (2016) 46(3): 191-240.

Casarett & Doull's Toxicology, Seventh Edition, Curtis D. Klaassen (2008).

Cole P., Rodu B.: Epidemiologic studies of chrome and cancer mortality: a series of meta-analyses; Regul Toxicol Pharmacol 2005; 43: 225-231.

Colomina M. T. et al.: Aluminium and Alzheimer's Disease. Adv Neurobiol (2017) 18:183-197.

DGUV (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: Information): Handlungsanleitung für die arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G39 "Schweisstrauche", BGI/GUV-I 504-39 Juni (2009).

DGUV: Chrom(VI)-Verbindungen bzw. Nickeloxide beim Schweißen und bei verwandten Verfahren – Schutzmassnahmen am Arbeitsplatz; Fachausschuss-Informationsblatt Nr. 036; Ausgabe 11/2008.

Commissione federale di coordinamento per la sicurezza sul lavoro (CFSL): direttiva n. 6509 «Saldatura, taglio e procedimenti affini per la lavorazione dei metalli» (1999).

El-Zein M. et al.: Prevalence and association of welding related systemic and respiratory symptoms in welders; Occup Environ Med 2003; 60 (9): 655-661.

Erkinjuntti-Pekkanen Riitta et al.: Two year follow-up of pulmonary function values among welders in New Zealand; Occup Environ Med 1999; 56: 328-333.

Feki-Tounsi M. et al.: Cadmium as a possible cause of bladder cancer : a review of accumulated evidence; Environ Sci Pollut Res Int 2014; 21:10561-73.

Forey B.A. et al.: Systematic review with meta-analysis of the epidemiological evidence relating smoking to COPD, chronic bronchitis and emphysema; BMC Pulmonary Medicine 2011; 11(36): 1-61.

Grimsrud T. K. et al.: Exposure to different forms of nickel and risk of lung cancer; Am J Epidemiol 2002; 156: 1123-1132.

Gube M. et al.: Experimental exposure of healthy subjects with emissions from a gas metal arc welding process - part II: biomonitoring of chromium and nickel. Int Arch Occup Environ Health 2013; 86: 31-37.

Hakansson N. et al.: Arc and resistance welding and tumours of the endocrine glands: a Swedish case-control study with focus on extremely low frequency magnetic fields; Occup Environ Med 2005; 62: 304-308

Heltoft K.N. et al.: Metal arc welding and the risk of skin cancer ; Int Arch Occup Environ Health 2017; 90 (8): 873-81

Hiller J. et al.: Künstliche UV-Strahlung durch Schweißen und Aderhaut-Melanome. Ein wissenschaftliche Bewertung des Zusammenhangs auf Basis des deutschen Berufskrankheitenrechts (2015) ASU 51: 201-210.

Holm M. et al.: Incidence and prevalence of chronic bronchitis. Impact of smoking and welding. The RHINE study; Int J Tuberc Lung Dis 2012; 16 (4): 553-557.

HSL (Health and Safety Laboratory): Annex 2 - Draft Statement of Evidence - Health effects arising from inhalation exposure to welding fume. 1 - 10 (2009).

IARC (International Agency for Research on Cancer): IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Chromium, Nickel and Welding. Volume 49. 1990: 447 - 525.

IIW (International Institute of Welding), Commission VIII - Health, Safety and Environment: Lung cancer and arc welding of steels 2001; 55: 12 - 20.

Suva: Monitoraggio biologico e valori di tolleranza biologica delle sostanze da lavoro. Fact-sheet 2018.

Kendzia B.: Welding and lung cancer in a pooled analysis of case control studies (2013) Am J Epidemiol, 178;19:1513-25.

Kim J. Y. et al.: Exposure to welding fumes is associated with acute systemic inflammatory response; Occup Environ Med 2005; 62: 157-163.

Klotz K. et al.: The health effects of Aluminium Exposure. Dtsch Arztebl Int (2017) 114;39:653-659.

Suva: Rischi sanitari della saldatura. Scheda tematica 2018.

Ladou J.: Current Occupational & Environmental Medicine. Fourth Edition. McGraw Hill (2007).

Lillienberg L. et al.: A Population-based Study on Welding Exposures at Work and Respiratory Symptoms; Ann Occup Hyg 2008; 52 (2): 107-115.

Lischka K. et al.: Heidelberger Mangan-Studie Follow-up. Forschungsprojekt F 1858 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2007).

Marongiu A. et al.: Are welders more at risk of respiratory infections? Thorax (2016) 71;7:601-06.

McMillan G. in: Hendrick David J. et al.: Occupational Disorders of the Lung. Recognition, Management, and Prevention. Elsevier Science 2002: 467 - 482.

Meyer-Baron M. et al: Performance alterations associated with occupational exposure to manganese - a meta-analysis; Neurotoxicology 2009; 30: 487 - 496.

Moulin J. J. et al.: A meta-analysis of epidemiologic studies of lung cancer in welders; Scand J Work Environ Health 1997; 23: 104 - 113.

Müller K.-M., Verhoff M. A.: Graduierung der Sideropneumokoniosen; Pneumologie 2000; 54: 315 - 317.

Nordberg G. F. et al.: Handbook on the toxicology of metals, third edition, Academic Press (2007).

OSHA (Occupational and Health Administration): Occupational Safety and Health Guideline for Welding Fumes. <http://www.osha.gov/SLTC/healthguidelines/weldingfumes/recognition.html> (accessed on 17th Jan 2013).

Palmer K. T. et al.: Exposure to metal fume and infectious pneumonia. Am J Epidemiol 2003; 157 (3): 227 - 233.

Palmer K. T. et al.: Mortality from infectious pneumonia in metal workers: a comparison with deaths from asthma in occupations exposed to respiratory sensitizers. Thorax 2009. 64 (11): 983 - 986.

Parizek M.: Aspetti di medicina del lavoro dei danni indotti da vibrazioni (disponibile in tedesco e francese).Suva. Codice 2869/16 (1998).

Pesch B. et al.: WELDOX - Metallbelastungen beim Schweißen und deren gesundheitliche Auswirkungen. IPA-Journal 2011; 2: 12 - 17.

Pletscher C., Liechti B.: Rischi sanitari del piombo sul posto di lavoro (medicina del lavoro) (disponibile in tedesco e francese. Suva. Codice 2869/06 (2007).

Plitzko S. et al.: Qualitative und quantitative Erfassung von Schweißrauchen als Grundlage für die Bewertung der inneren Manganbelastung (Biomonitoring); Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 2006; 66: 25.

Racette B.: Exposure to manganese and parkinsonism - epidemiological evidence. Vortrag am International Symposium "Exposure to Manganese and Neurotoxicity in Welders", IPA Bochum, 09.05.2012.

Rast H.: Le dermatosi professionali (disponibile in tedesco e francese). Suva. Codice 2869/11 (2009).

Rom W. M.: Environmental & Occupational Medicine. Third Edition. Lippincott-Raven Publishers (1998).

Ross J. A. S. et al.: Cognitive Symptoms and Welding Fume Exposure. Ann Occup Hyg 2013; 57(1): 26-33.

MacLeod J. S. et al.: Cancer Risks among Welders and Occasional Welders in a National Population-Based Cohort Study : Canadian Census Health and Environmental Cohort ; Saf Health Work 2017 ; 8(3) : 258-66.

Michaelsen Slagor R. et al.: The risk of cataract in relation to metal arc welding. Scand J Work Environ Health (2016) 42;5:447-53.

Suva: Valori limite sul posto di lavoro. Codice 1903.

Szram J. et al.: Welding, longitudinal lung function decline and chronic respiratory symptoms: a systematic review of cohort studies. Eur Respir J 2012; Epub ahead of print.

Suva: Compatibilità elettromagnetica (CEM) dei dispositivi medici impiantabili attivi sul posto di lavoro (disponibile in tedesco e francese). Scheda tematica Medicina del lavoro Suva.

Virk S. A. et al.: Occupational Exposure to Aluminium and Alzheimer Disease. A Meta-Analysis (2015) JOEM; 57(8):893-6

Tarlo S. M. et al.: Occupational and environmental lung diseases. Wiley-Blackwell (2010).

Thaon I. et al.: Increased lung function decline in blue-collar workers exposed to welding fumes. Chest 2012; 142 (1): 192 - 199.

Triebig G. et al.: . 3. vollständig neubearbeitete Auflage. Gentner-Verlag (2011).

Wong A. et al.: Welders are at increased risk for invasive pneumococcal disease. Int J Infect Dis (2010) e791-9.

Wieners D. et al.: Epidemiologische und klinische Untersuchungen akuter und chronischer obstruktiver Atemwegserkrankungen durch Schweißgase und -rauche; Zblatt Arbeitsmed 2000; 50 (2): 46 - 64.

Wieners D. et al.: Inhalative Belastungen durch Schweissverfahren; Zblatt Arbeitsmed 2000; 50: 38 - 44.

Zeidler-Erdely P. C. et al.: Immunotoxicology of arc welding fume: worker and experimental animal studies. J Immunotoxicol 2012; 9 (4): 411 - 425.