



ESPOSIZIONE OCCUPAZIONALE AL CROMO TOTALE E CROMO ESAVALENTE NEI SALDATORI: STUDIO INTEGRATO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE E BIOLOGICO

Salvatore Della Notte¹, Veruscka Leso¹, Andrea Spinazzè², Carolina Zellino², Andrea Cattaneo², Sandro Recchia², Carlo Dossi³, Elena Grignani⁴, Domenico Maria Cavallo², Ivo Iavicoli^{5,6}

¹Dipartimento di Sanità Pubblica, Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, Italia; ²Dipartimento di Scienza ed Alta Tecnologia, Università dell'Insubria, Como, Italia; ³Dipartimento di Scienze Teoriche e Applicate, Università dell'Insubria, Como, Italia; ⁴Centro Ricerche Ambientali, Istituti Clinici Scientifici Maugeri Spa Società Benefit, Pavia, Italia; ⁵Dipartimento di Sicurezza e Bioetica, Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma, Italia; ⁶UOC di Medicina del Lavoro, Fondazione Policlinico Universitario A. Gemelli IRCCS, Roma, Italia

Introduzione. L'esposizione occupazionale al Cromo (Cr) nei saldatori, in particolare al Cromo esavalente [Cr(VI)], classificato dalla IARC come cancerogeno per l'uomo (Gruppo-1), rappresenta una priorità per la salute e la sicurezza dei lavoratori esposti^[1,2], nonostante il miglioramento delle misure di protezione e la conseguente riduzione dell'esposizione. La valutazione del rischio risulta complessa per la marcata eterogeneità dei processi di saldatura e delle condizioni operative, che influenzano le caratteristiche quali-quantitative delle emissioni^[3], e per le criticità analitiche nella determinazione del Cr(VI). L'integrazione tra monitoraggio ambientale e biologico può ottimizzare la caratterizzazione dell'esposizione e il processo di valutazione e gestione del rischio.

Obiettivi. Valutare l'esposizione al Cr in addetti alla saldatura mediante una strategia integrata di monitoraggio ambientale e biologico, esaminando l'impatto di differenti metodiche analitiche sulla determinazione del Cr aerodisperso e il ruolo di due indicatori biologici, Cromo urinario (Cr-U) e Cromo nel condensato dell'aria esalata (Cr-CAE) nel monitoraggio dell'esposizione.

Metodi. Concentrazioni di Cr-totale e Cr(VI) sono state determinate nel particolato aerodisperso campionato per l'intero turno lavorativo (8h) nella zona di respirazione di 22 saldatori e 10 controlli di due aziende metalmeccaniche del Nord-Italia. Sono stati applicati due protocolli analitici, NIOSH 7600 e ISO 17075, modificato per limitare la possibile ossidazione del Cr(III) a Cr(VI) in fase estrattiva e ottimizzare il recupero del Cr(VI). Il Cr-U è stato determinato in campioni raccolti pre-turno/inizio settimana e post-turno/fine settimana lavorativa; il CAE esclusivamente post-turno, secondo metodologia standardizzata^[2]. La determinazione del Cr è stata effettuata mediante spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente.

Risultati. Nei lavoratori esposti, le concentrazioni aerodisperse di Cr-totale e Cr(VI) risultavano inferiori ai valori limite di esposizione professionale, ma superiori rispetto ai controlli. Per il Cr-totale si rilevavano valori medi pari a

0,39 µg/m³ (NIOSH) e 0,19 µg/m³ (ISO) negli esposti, rispetto a 0,11 e 0,01 µg/m³ nei controlli, rispettivamente; per il Cr(VI) 0,07 e 0,05 µg/m³ contro 0,03 e 0,001 µg/m³. I valori sono risultati significativamente più elevati con la metodologia NIOSH 7600 rispetto alla ISO 17075 ($p < 0,05$), come pure nella saldatura MMA rispetto alla TIG ($p < 0,05$). Nel monitoraggio biologico, il Cr-U pre- e post-turno era più elevato nei saldatori rispetto ai controlli (GM 0,34 e 0,36 vs 0,05 µg/g creatinina; $p < 0,05$), mentre il Cr-CAE non mostrava differenze significative, come pure nessuna correlazione significativa è emersa tra il Cr aerodisperso e biomarcatori.

Conclusioni. Il monitoraggio ambientale ha evidenziato una variabilità dei livelli espositivi legata al processo di saldatura e alle differenze metodologiche, con il metodo NIOSH 7600 soggetto a sovrastima del Cr(VI) per possibile ossidazione parziale del Cr(III) a Cr(VI) durante l'estrazione alcalina. Il monitoraggio biologico ha confermato l'utilità del CrU nella valutazione dell'esposizione, mentre il CrCAE ha mostrato sensibilità limitata e scarsa affidabilità interpretativa, influenzate dall'elevata variabilità del volume campionato e dall'assenza di un adeguato indicatore di diluizione. Nel complesso, pur su un campione ridotto, i risultati sottolineano la necessità di integrare monitoraggio ambientale e biologico e di sviluppare procedure standardizzate di campionamento e analisi per una corretta interpretazione dei dati e una gestione efficace del rischio.

References

1. Santonen T, et al. HBM4EU chromates study-overall results and recommendations for the biomonitoring of occupational exposure to hexavalent chromium. *Environ Res.* 2022; 204:111984.
2. Leese E, et al. HBM4EU chromates study-the measurement of hexavalent and trivalent chromium in exhaled breath condensate samples from occupationally exposed workers across Europe. *Toxicol Lett.* 2023; 375:59-68.
3. Iavicoli I, et al. Characterization of inhalable, thoracic, and respirable fractions and ultrafine particle exposure during grinding, brazing, and welding activities in a mechanical engineering factory. *J. Occup. Environ. Med.* 2013 55 430-445.