

Ten years of research on chemical hazards in occupational hygiene: a review of IJOEHY's online publications (2013-2023) – Part 2

Dieci anni di ricerca sui rischi chimici nell'igiene occupazionale: una rassegna delle pubblicazioni online di IJOEHY (2013-2023) – Parte 2

Francesca Borghi¹, Andrea Spinazzè^{2*}

¹ Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche, Università di Bologna, Via Pelagio Palagi 9, 40138 Bologna

² Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia, Università degli Studi dell'Insubria, via Valleggio 11, 22100 Como

* Corresponding Author: andrea.spinazze@uninsubria.it

DOI: <https://doi.org/10.36125/ijoehy.15i1.542>

This second part of the review on publications in the *Italian Journal of Occupational and Environmental Hygiene* (IJOEHY) between 2013 and 2023 completes the analysis of contributions focused on occupational chemical risk, by examining 39 additional articles. The topics covered in this paper include risk assessment strategies, case studies, indoor air quality, exposure modeling, occupational hygiene methods, and engineered nanomaterials. The selected studies highlight growing attention to advanced measurement and modeling techniques, the integration of environmental and biological monitoring, the need for regulatory and training updates, and emerging criticalities related to alternative and less-known substances such as engineered nanomaterials. The case studies span a wide range of sectors – from arts and tanning to schools and the oil industry – offering a broad and concrete overview of real-life exposure scenarios. The review emphasizes the importance of source reduction, the effectiveness of personal protective equipment, and the need for improved communication among prevention stakeholders. This article serves as a valuable resource for researchers, professionals, and decision-makers, providing insights into trends, methodological approaches, and future priorities for the protection of health in occupational environments.

La seconda parte della rassegna dedicata alle pubblicazioni dell'*Italian Journal of Occupational and Environmental Hygiene* (IJOEHY) nel decennio 2013-2023 completa l'analisi dei contributi sul rischio chimico occupazionale, concentrandosi su 39 articoli non trattati nella prima parte. I temi affrontati in questo articolo comprendono: strategie per la valutazione del rischio, casi studio, qualità dell'aria indoor, modellistica, metodi per l'igiene occupazionale e nanomateriali ingegnerizzati. Gli studi selezionati evidenziano una crescente attenzione verso metodologie avanzate di misurazione e modellazione, l'importanza del monitoraggio integrato (ambientale e biologico), la necessità di aggiornamenti normativi e formativi, e le criticità legate all'uso di agenti di rischio emergenti come i nanomateriali. I casi studio analizzati coprono settori eterogenei, dal comparto artistico alle concerie, dalla scuola all'industria petrolifera, offrendo una panoramica ampia e concreta degli scenari di esposizione reale. Il lavoro evidenzia l'importanza della riduzione del rischio alla fonte, dell'efficacia dei dispositivi di protezione e della comunicazione tra attori della prevenzione. Questa rassegna costituisce uno strumento utile per ricercatori, professionisti e decisori, fornendo indicazioni su tendenze, approcci metodologici e priorità future per la tutela della salute nei luoghi di lavoro.

Keywords: chemical risk; occupational hygiene; environmental monitoring; occupational exposure; modeling; nanomaterials; assessment methods; biocides; indoor air quality; personal protective equipment

Parole Chiave: rischio chimico; igiene occupazionale; monitoraggio ambientale; esposizione professionale; modellistica; nanomateriali; metodi di valutazione; biocidi; indoor air quality; dispositivi di protezione individuale

Introduzione

Proseguendo il lavoro avviato nella prima parte di questa rassegna [Spinazzè et al., 2024], il presente contributo completa l'analisi delle pubblicazioni sul rischio chimico occupazionale apparse nella versione online di "*Italian Journal of Occupational and Environmental Hygiene*" (IJOEHY) [IJOEHY – Archivio, 2025] nel periodo 2013-2023. L'igiene occupazionale continua a

rappresentare un ambito centrale per la prevenzione dei rischi derivanti dall'esposizione a sostanze chimiche nei luoghi di lavoro. IJOEHY, rivista scientifica dell'Associazione Italiana degli Igienisti Industriali (AIDII), ha negli anni pubblicato numerosi articoli che documentano l'evoluzione normativa, le metodologie di valutazione e le strategie di controllo applicate in ambito professionale.

Dopo aver esaminato nella prima parte 44 contributi suddivisi in categorie tematiche, questa seconda parte completa il quadro analizzando ulteriori 39 articoli, con l'obiettivo di offrire una visione complessiva delle principali tendenze emerse nel decennio considerato.

Metodi

Come descritto nella prima parte di questa rassegna [Spinazzè e Borghi, 2024], sono stati selezionati 83 articoli tra i 243 articoli pubblicati da IJOEHY [IJOEHY – Archivio, 2025] tra il 2013 e il 2023, specificamente incentrati sul rischio chimico occupazionale e suddivisi in categorie tematiche riportate di seguito:

- novità normative e aggiornamenti per il rischio chimico occupazionale;
- fattori di rischio chimico: cancerogeni, mutageni e tossici per la riproduzione umana (CMR);
- rischio chimico nel settore sanitario;
- esposizione occupazionale nella bonifica di siti contaminati;
- strategie per la valutazione del rischio chimico occupazionale;
- casi studio;
- indoor Air Quality;
- modellistica dell'esposizione e del rischio;
- metodi per l'igiene occupazionale;
- nanomateriali ingegnerizzati.

La presente seconda parte analizza 39 contributi, appartenenti alle seguenti aree: strategie per la valutazione del rischio, casi studio, qualità dell'aria indoor, modellistica dell'esposizione e del rischio, metodi per l'igiene occupazionale, nanomateriali ingegnerizzati. I criteri di selezione, le modalità di analisi e l'assegnazione degli articoli alle categorie sono stati illustrati nella prima parte. Anche in questa sezione, per ciascun contributo sono stati sintetizzati contenuti, contesto applicativo e risultati rilevanti, con l'obiettivo di delineare l'evoluzione della ricerca e identificare i principali sviluppi e criticità nel campo del rischio chimico nei luoghi di lavoro.

Risultati e discussioni

Strategie per la valutazione del rischio

Il D.Lgs. 81/08 impone al datore di lavoro la valutazione del rischio da agenti chimici pericolosi, richiedendo misurazioni con metodiche standardizzate o appropriate, riferendosi ai valori limite di esposizione professionale. Tra le norme di riferimento per l'esposizione inalatoria figurano la UNI EN 689 e la UNI EN 482. Tra gli articoli selezionati per questa rassegna, sei trattano il tema della norma UNI EN 689. In modo particolare, l'articolo di Aprea e colleghi [Aprea et al., 2016] discute le diver-

se fonti di variabilità nelle misurazioni¹ e l'importanza della UNI EN 482 per la stima dell'incertezza. L'obiettivo di una valutazione dell'esposizione occupazionale è ottenere dati affidabili per confrontarli con i valori limite e prendere decisioni consapevoli. L'articolo anticipa la successiva revisione della UNI EN 689 e sottolinea il ruolo cruciale dell'igienista industriale. L'editoriale di Sala [Sala, 2018] si concentra sulla revisione della UNI EN 689 (dalla versione 1997 a quella 2018/2019). Dal testo emerge come l'obiettivo principale dell'evoluzione sia stato quello di fornire una strategia europea condivisa per dimostrare la conformità ai valori limite con maggiore affidabilità. Le novità includono l'introduzione del "valutatore" esperto, la possibilità di utilizzare metodi alternativi alle misurazioni, una strategia strutturata con SEG, un test preliminare e un test statistico basato su almeno 6 misurazioni, oltre a criteri aggiornati per la periodicità. La nuova versione della norma e gli allegati della stessa sono stati oggetto di una accurata descrizione negli articoli di Barra e Janis [Barra e Janis, 2018; Janis e Barra, 2018] e nell'articolo di Grignani e Pizzella [Grignani e Pizzella, 2018] che nel complesso contribuiscono a fornire una spiegazione con un taglio operativo della nuova norma. Un ultimo studio [Spinazzè et al., 2022] confronta i metodi statistici per la verifica di conformità ai valori limiti di esposizione previsti dalla UNI EN 689:2019 e dal test OTL proposto dalle guide operative AIDII degli anni '90. Dallo studio emerge che il metodo AIDII 1990 per la verifica di conformità al valore minimo resta valido ai sensi della nuova norma, pur essendo più precauzionale.

Casi studio

Tredici degli articoli selezionati sono stati classificati come casi studio "isolati", in quanto affrontano situazioni specifiche non riconducibili a un'unica categoria tematica o applicativa prevalente. Per la loro eterogeneità, questi contributi sono stati considerati separatamente e vengono sinteticamente riassunti nel paragrafo che segue, al fine di valorizzarne i contenuti e contribuire alla comprensione della varietà di contesti in cui si presenta il rischio chimico occupazionale. Il primo dei casi studio individuati [Bacaloni et al., 2014] si riferisce a uno studio di valutazione del rischio chimico condotta presso l'Accademia di Belle Arti di Roma, dove studenti e docenti utilizzano quotidianamente materiali potenzialmente pericolosi (solventi, pigmenti, gesso, metalli, acidi) spesso senza un'adeguata consapevolezza o protezione. Lo studio ha coinvolto il monitoraggio di composti organici volatili e particolato aerodisperso nei laboratori di pittura, scultura e incisione. I valori rilevati sono risultati inferiori ai valori limite di esposizione individuati, ma sono emerse criticità nella gestione del rischio, come la scarsa collaborazione del personale e l'assenza di schede di si-

curezza. I risultati hanno portato alla revisione del programma di sorveglianza sanitaria. Il secondo caso studio [Pagliai et al., 2013] si riferisce al monitoraggio dell'esposizione a composti organici volatili (VOC) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA) durante la verniciatura stradale. Lo studio ha identificato l'1,2-dicloropropano come pericoloso e misurato IPA in fase vapore e particolato, confrontando l'esposizione con limiti professionali e livelli di fondo (benzo(a)pirene). Nelle conclusioni vengono suggerite misure per ridurre l'esposizione a benzene e IPA. Nello studio di Sørstrand e Danielsen [Sørstrand e Danielsen, 2013] sono state misurate le concentrazioni di polveri di carta in tre cartiere, rilevando picchi superiori a 30 mg/m³ durante la pulizia ad aria compressa. Le esposizioni maggiori sono state registrate tra gli assistenti al riavvolgitore. L'uso di maschere e sistemi di aspirazioni locali si è rivelato efficace per ridurre l'esposizione e migliorare la produttività. Lo studio di Miscetti e collaboratori [Miscetti et al., 2017] ha analizzato le polveri inalabili e respirabili nei mangimifici: i risultati hanno mostrato che la polvere respirabile è circa il 15% della frazione inalabile e contiene microelementi tossici. In questo contesto, l'uso di prodotti a granulometria controllata riduce significativamente la dispersione di polveri fini, contribuendo alla riduzione del rischio alla fonte. Lo studio di Padovese e collaboratori [Padovese et al., 2017] ha valutato l'esposizione a polveri e silice cristallina durante lo scavo di un tunnel. Nello studio sono stati definiti gruppi omogenei per area di lavoro e mansione. I campionamenti personali e ambientali hanno mostrato che la maggior parte dei gruppi superava il valore limite di esposizione (TLV-TWA ACGIH) per il quarzo e che il livello di esposizione risultava essere funzione dell'attività svolta. Lo studio di Lembo e collaboratori [Lembo et al., 2018] ha esaminato la contaminazione da pesticidi su mani e superfici nei negozi di fiori. I risultati hanno mostrato che sono stati determinati 39 principi attivi su 108 testati. I risultati evidenziano un potenziale rischio di esposizione cutanea per i fiorai tramite contatto con fiori, piante, terriccio e superfici contaminate. Lo studio di Pedone e collaboratori [Pedone et al., 2018] ha monitorato l'aria in un sito di estrazione petrolifera, misurando oltre 100 inquinanti. Nello studio, gli autori concludono che i livelli di esposizione professionale sono ben al di sotto dei limiti di esposizione. Lo studio di Poli e collaboratori [Poli et al., 2022] analizza i rischi per la salute legati all'uso di adesivi e vernici a base acquosa nei settori del legno, calzature e pelletteria. Sebbene meno pericolosi rispetto ai prodotti a base solvente, questi contengono biocidi potenzialmente allergenici e tossici per inalazione. L'indagine sottolinea l'importanza di una corretta valutazione del rischio, l'uso di

dispositivi di protezione individuale adeguati e sistemi di aspirazione localizzata. L'articolo di Sacco e collaboratori [Sacco et al., 2019] è stato condotto in uno stabilimento di stampaggio della plastica, dove alcuni lavoratori hanno segnalato disturbi respiratori. Le indagini iniziali non hanno rivelato inquinanti significativi, eccetto un composto non identificato. Mediante una tecnica di campionamento differente, questo composto è stato identificato come ciclopentanone, presente in quantità inattese. Il ciclopentanone è un composto con potenziale tossico poco studiato. Si ipotizza che nello scenario oggetto dello studio, il ciclopentanone si formi dalla degradazione termica dei materiali plastici, specialmente con surriscaldamento. Dopo aver migliorato la ventilazione, i livelli di ciclopentanone sono diminuiti e non sono emersi altri casi. Questo suggerisce che i campionamenti standard per i VOC potrebbero non essere sempre sufficienti. Lo studio di Poli e collaboratori [Poli et al., 2020] è stato condotto in alcune concerie toscane. Lo spunto deriva dalla classificazione come cancerogeno e la quasi eliminazione dell'uso diretto di formaldeide nel 2016, alla quale è conseguito l'utilizzo di biocidi noti come "cessori" di formaldeide. Indagini ambientali e personali (negli anni 2017-2019) in cinque aziende hanno valutato l'esposizione a formaldeide. I dati mostrano esposizioni anomale per i lavoratori durante lo scarico dei bottali (usando isotiazolinoni) e l'ingrasso delle pelli (usando bronopol). Ciò conferma che l'esposizione può persistere a causa di questi biocidi, evidenziando quindi la necessità di aggiornare la valutazione del rischio e le misure di prevenzione. Nonostante la formaldeide, sia probabilmente l'aldeide più studiata nel contesto della valutazione del rischio chimico occupazionale, lo studio di Calisti e collaboratori [Calisti et al., 2020], invece, evidenzia che indagini in luoghi di lavoro italiani (nel periodo 2011-2020) hanno rilevato concentrazioni significative di altre aldeidi, in particolare acetaldeide (es. panifici, agricoltura) ed esanale (es. cartiere). Questi risultati suggeriscono la necessità di prestare attenzione preventiva all'intero gruppo delle aldeidi, non solo alla formaldeide, a fronte della possibilità di effetti sinergici e rischi per la salute nei vari scenari indoor. Lo studio di Martinelli e collaboratori [Martinelli et al., 2021] è stato condotto su 73 lavoratori in 12 calzaturifici italiani, con l'obiettivo di valutare l'esposizione a polveri di cuoio e vapori di solventi. I livelli medi di polvere (0,136 mg/m³) e solventi sono risultati bassi, inferiori o comparabili ad altri studi ed entro i limiti (per i solventi). Nonostante il rischio cancerogeno del cuoio (tumore naso-sinusale), i livelli misurati erano contenuti, presumibilmente grazie all'adozione di buone misure preventive e composizione dei prodotti. Infine, l'articolo di Sala

[Sala, 2022] tratta il tema dei diisocianati: usati nella produzione dei poliuretani, sono composti che causano rischi per la salute, inclusi irritazione e asma professionale. Classificati come possibili cancerogeni, sono stati soggetti a restrizioni. Sebbene la ricerca per alternative non isocianiche (NIPUs) sia attiva, la sostituzione non è ancora diffusa. Pertanto, le misure di prevenzione individuali e collettive rimangono obbligatorie. Per quanto variegati per contesto, obiettivi, e metodi, il filo conduttore tra questi casi studio è la valutazione e gestione del rischio chimico/igienistico-ambientale per i lavoratori. Tutti gli articoli descrivono l'importanza del monitoraggio ambientale e/o personale per quantificare l'esposizione a vari agenti (polveri, solventi, pesticidi, formaldeide, altre aldeidi, etc). Il messaggio chiave comune è che, indipendentemente dallo scenario di esposizione o dall'agente chimico oggetto di studio, è fondamentale un'attenta valutazione del rischio basata su misurazioni accurate e un attento confronto con i valori limite di esposizione. Cruciale è l'implementazione di efficaci misure di prevenzione, privilegiando la riduzione del rischio alla fonte, anche per sostanze meno note o presenti in prodotti "alternativi".

Qualità dell'aria indoor

Sono solamente due gli articoli dedicati al tema della Qualità dell'Aria Indoor (IAQ – Indoor air Quality), pubblicati su IJOEHY nel decennio 2013-2023. L'articolo di Carrer [Carrer, 2016] presenta una panoramica del progetto di ricerca OFFICAIR, che ha valutato i rischi per la salute legati alla qualità della IAQ in 167 edifici moderni ad uso ufficio in Europa, coinvolgendo 7.440 lavoratori. I risultati dello studio mostrano che oltre il 20% dei lavoratori è risultato essere insoddisfatto della qualità dell'aria, indicando disagio o stress. Sintomi comuni includono secchezza/irritazione oculare e cutanea. I risultati raccomandano un approccio preventivo: controllo delle sorgenti e definizione di un sistema di ventilazione adeguata. Nell'ambito del progetto OFFICAIR è stato anche sviluppato un protocollo innovativo per valutare questi rischi. Lo studio di Tura e D'Amore [Tura and D'Amore, 2020] esplora l'importanza della IAQ, specialmente negli ambienti non industriali come uffici e scuole, dove l'inquinamento è prevalentemente di origine umana. Viene evidenziato come il biossido di carbonio (CO₂) sia considerato un eccellente indicatore indiretto di IAQ, strettamente correlato al numero di occupanti e all'efficacia del ricambio d'aria (rifacendosi nella norma UNI EN 16798-1, che classifica l'IAQ basandosi sui livelli differenziali di CO₂). L'articolo va oltre, mostrando come il monitoraggio in tempo reale di CO₂ sia uno strumento semplice e utile per la gestione degli ambienti, permettendo di valutare tassi di ventilazione (naturale o meccanica) e pianificare misure preventive. Con modelli e

casi studio (condotti in diversi ambienti quali abitazioni, uffici, scuole), dimostra l'applicazione pratica di questo indicatore. Un punto cruciale è l'applicazione del monitoraggio della CO₂ per minimizzare il rischio di contagio da particelle aerodisperse, come quello da SARS-CoV-2, agendo sulla diluizione dei bio-aerosol tramite un'adeguata ventilazione. Gestire l'apertura delle finestre, specialmente in ambienti a ventilazione naturale, diventa una misura preventiva efficace guidata dai livelli di CO₂.

Modellistica dell'esposizione e del rischio

Sei articoli, tra quelli selezionati per questa rassegna, hanno trattato a diverso titolo il tema degli approcci modellistici per la valutazione dell'esposizione occupazionale ad agenti chimici e/o per la stima del rischio. Lo studio di Spinazzè et al., [Spinazzè et al., 2020] descrive l'uso crescente di algoritmi (qualitativi/semi-quantitativi) e modelli di stima (quantitativi) per la valutazione del rischio chimico occupazionale. Questi strumenti fungono da supporto o alternativa ai metodi strumentali (sebbene l'approccio strumentale rimanga quello da prediligere). Un punto critico evidenziato è la mancanza di una validazione solida e completa che attesti applicabilità, accuratezza e affidabilità di tali strumenti. I risultati ottenuti da questa tipologia di strumenti dovrebbero essere considerati solo come preliminari e non possono portare a giudizi conclusivi in assenza di misurazioni strumentali. Tra i limiti dell'uso di questi strumenti figurano la disponibilità dei dati, la discrezionalità e soggettività dell'operatore, l'incertezza e il rischio di sottostima del rischio. In questo contesto, lo studio di Candian e collaboratori [Gisfredi et al., 2020] si inserisce in questo contesto e confronta metodi per la valutazione del rischio chimico occupazionale: algoritmi qualitativi/semi-quantitativi (MoVaRisCH, AlPiRisCH) e modelli di stima quantitativa (ECETOC TRA), utilizzabili come alternativa o supporto ai campionamenti strumentali. I risultati di questo studio hanno rilevato che il campionamento strumentale è il metodo più coerente con la situazione reale. Gli algoritmi MoVaRisCH e AlPiRisCH tendono a sovrastimare il rischio rispetto ai dati sperimentali. ECETOC TRA fornisce stime numeriche spesso dello stesso ordine di grandezza dei campionamenti. Tra gli articoli selezionati per questa rassegna sono anche disponibili tre applicazioni pratiche di modelli. Nel primo caso, è stato implementato un modello per la valutazione del rischio chimico nel Porto di Ravenna [Argenti et al., 2013]. Lo studio si concentra sulle merci solide e sulla valutazione del rischio per quanto concerne i pericoli riscontrabili nelle stive delle navi (asfissia, tossicità, infiammabilità, esplosione), ambienti spesso mal ventilati. Il progetto definisce i rischi, elabora misure preventive/protettive e diffonde le informazioni ai lavoratori. Un secondo studio [Spinazzè et al., 2021] si occupa di modellare l'esposizione occupazionale a

emissioni gassose (HF, HCl, H₂SO₄, Al, Ni) derivanti da un guasto di batteria in uno scenario minerario simulato. Usando un modello probabilistico *Near-Field/Far-Field*, stima rischi per campo vicino (entro 3 m) e lontano (3-15 m). Il rischio è controllato in campo lontano, ma non per Ni e HCl in campo vicino. L'ultimo studio [Tosti et al., 2022] applica il modello RISK21 per valutare il rischio chimico occupazionale dei lavoratori viticoli esposti a prodotti fitosanitari. L'esposizione valutata è principalmente quella cutanea durante operazioni post-applicazione. Lo studio segue un approccio a livelli (Tier 1 con valori cautelativi, Tier 2 con dati raffinati). La valutazione iniziale (Tier 1) ha indicato rischio per molti prodotti; l'analisi di secondo livello (Tier 2), con dati specifici, ha permesso di concludere per l'uso sicuro di alcuni di essi.

Metodi per l'igiene occupazionale

Diversi studi (n = 10) tra quelli selezionati si concentrano sulla valutazione e gestione dei rischi professionali derivanti dall'esposizione ad agenti chimici pericolosi in vari settori, proponendo metodologie particolari o innovative [Bergamaschi et al., 2018; Bufalo et al., 2017; Cauda et al., 2022; Cenni, 2023; De Angelis et al., 2018; Fanti et al., 2023; Gatto et al., 2022; Giampaoli et al., 2021; Stufano et al., 2019; Tranfo et al., 2020]. Le metodologie impiegate per caratterizzare l'esposizione includono il monitoraggio ambientale, utilizzando tecniche di campionamento attivo e passivo [Cenni, 2023; De Angelis et al., 2018; Stufano et al., 2019], nonché l'applicazione di sensori a basso costo per misurazioni ad alta risoluzione spazio-temporale [Cauda et al., 2022; Fanti et al., 2023]. Accanto a ciò, il monitoraggio biologico è considerato uno strumento cruciale per integrare le diverse vie di esposizione e valutare gli effetti precoci, come l'infiammazione respiratoria misurata tramite FeNO [Bergamaschi et al., 2018] o l'identificazione di biomarcatori urinari [Giampaoli et al., 2021]. In alcuni contesti, come il settore edile, vengono utilizzati anche questionari per indagare la percezione del rischio chimico e le abitudini relative all'uso dei dispositivi di protezione individuale da parte dei lavoratori [Gatto et al., 2022]. In altri contesti (aziende dei settori legno, plastica, gomma, carta e tessile) è stata analizzata l'efficacia delle Schede Dati di Sicurezza estese (e-SDS): i risultati evidenziano l'importanza delle e-SDS nella valutazione del rischio chimico, ma anche difficoltà d'uso, soprattutto nelle PMI, e scarsa comunicazione con i fornitori [Tranfo et al., 2020]. L'interpretazione dei dati presenta diverse sfide, inclusa la difficoltà di misurare con precisione le concentrazioni prossime al limite di rilevabilità [Bufalo et al., 2017; De Angelis et al., 2018;], la necessità di considerare simultaneamente l'esposizione inalatoria e quella cutanea per sostanze come gli IPA [Cenni, 2023], e la potenziale trasformazione delle specie chimiche (es. cromo VI in cro-

mo III) durante il campionamento [Stufano et al., 2019]. Per le sostanze cancerogene senza soglia, come il cromo VI, il benzene e gli IPA (in particolare Benzo(a)pirene), la valutazione del rischio spesso si basa sulla stima dell'incremento del rischio (ELCR – *Excess Lifetime Cancer Risk*) piuttosto che sul confronto con limiti di esposizione, approccio reso necessario dalla mancanza di Valori Limite di Esposizione professionali specifici per molte di queste sostanze a livello europeo o italiano [Cenni, 2023]. La comparazione tra diverse metodologie di campionamento per la stessa sostanza (es. NIOSH vs. Radiello per il benzene) evidenzia che un buon accordo tra i risultati è spesso raggiunto solo considerando le medie geometriche su un numero elevato di misurazioni, soprattutto a basse concentrazioni, e che la variabilità dei dati può differire tra i metodi [Bufalo et al., 2017; De Angelis et al., 2018;]. Una tendenza comune emersa nell'analisi di questi studi è la ricerca di soluzioni innovative per la riduzione dell'impatto ambientale e dei rischi per i lavoratori, ad esempio attraverso l'applicazione di ultrasuoni per ridurre l'uso di solventi nell'industria conciaria [Bufalo et al., 2017]. Gli studi analizzati sottolineano l'importanza di una valutazione integrata del rischio, che combini diverse fonti di dati (monitoraggio ambientale, biologico, informazioni contestuali, percezione del rischio) [Bergamaschi et al., 2018; Cauda et al., 2022; Cenni, 2023], l'esigenza di validare le nuove tecnologie di monitoraggio e di standardizzare i dati acquisiti [Cauda et al., 2022; Fanti et al., 2023], nonché il ruolo fondamentale della formazione e dell'informazione dei lavoratori per migliorare la consapevolezza del rischio e l'adozione di misure preventive efficaci, come l'uso corretto dei dispositivi di protezione individuale [Bufalo et al., 2017; Gatto et al., 2022]. La gestione delle informazioni relative ai prodotti chimici, ad esempio tramite l'utilizzo delle schede dati di sicurezza estese (e-SDSs) [Tranfo et al., 2020], rappresenta un ulteriore aspetto critico per un'efficace valutazione del rischio.

Nanomateriali ingegnerizzati

Il tema della valutazione dell'esposizione occupazionale a nanomateriali ingegnerizzati (NM) e alle nanoparticelle ingegnerizzate (NP) è stata oggetto di tre articoli tra quelli selezionati [Gino, 2018; Spinazzè, et al., 2016; Tombolini et al., 2022], dai quali emerge come il tema si confronta con sfide significative non adeguatamente risolte dai metodi convenzionali. Queste problematiche includono la scelta di metriche appropriate per la valutazione dell'esposizione, la mancanza di tecniche di misurazione affidabili e portatili, la necessità di strategie di monitoraggio armonizzate, la difficoltà nel distinguere i NM dalle particelle di fondo e l'assenza di valori limite di esposizione professionale legalmente vincolanti [Spinazzè, et al., 2016]. Dall'analisi dei tre articoli emerge

la necessità di adottare un approccio multi-metrico che vada oltre la semplice definizione dell'esposizione in termini di concentrazione ponderale di NM, includendo invece parametri come la concentrazione in numero di particelle (PNC), la distribuzione dimensionale e l'area superficiale, in particolare l'Area Superficiale Depositata nel Polmone (LDSA), considerate più rilevanti per gli effetti sulla salute [Gino, 2018; Spinazzè, et al., 2016]. Per una caratterizzazione completa e affidabile dell'esposizione, soprattutto in contesti complessi di produzione, è essenziale l'integrazione tra le misurazioni in tempo reale e l'analisi off-line del particolato raccolto tramite campionatori integrati nel tempo [Gino, 2018; Spinazzè, et al., 2016]. Uno studio sull'esposizione al grafene [Tombolini et al., 2022] illustra efficacemente questo approccio, dimostrando come l'uso combinato di tecniche real-time (per parametri come PNC e LDSA) con tecniche di caratterizzazione off-line (quali SEM, spettroscopia Raman e TEM), sia fondamentale per confermare la presenza del nanomateriale aerodisperso, caratterizzarne la morfologia e la struttura cristallina, e comprendere proprietà rilevanti per la salute, inclusa la stima del diametro aerodinamico che influenza la deposizione nelle vie respiratorie, anche quando le sole misurazioni real-time non escludono definitivamente il rilascio. Questa sinergia metodologica è cruciale per affinare le strategie

di valutazione e gestione del rischio e per lo sviluppo di standard di sicurezza appropriati per la vasta e diversificata famiglia dei nanomateriali ingegnerizzati.

Conclusioni

Questa seconda parte della rassegna ha confermato la complessità e la varietà degli scenari di esposizione al rischio chimico nei luoghi di lavoro. L'analisi dei 39 articoli pubblicati su IJOEHY nel periodo 2013-2023 ha evidenziato l'importanza crescente di strumenti integrati per la valutazione del rischio, l'efficacia di strategie modellistiche, il valore aggiunto del monitoraggio biologico e ambientale, nonché il ruolo centrale della formazione e dell'informazione dei lavoratori. In particolare, emerge l'esigenza di un approccio dinamico e interdisciplinare che affronti non solo gli agenti noti, ma anche quelli emergenti o utilizzati come sostituti, spesso erroneamente considerati meno rischiosi. La gestione efficace del rischio chimico passa per il miglioramento dei processi valutativi, l'adozione di soluzioni tecnologiche validate e il potenziamento della cooperazione tra istituzioni, aziende e operatori del settore. Questa rassegna intende contribuire al consolidamento delle buone pratiche e allo sviluppo di politiche preventive sempre più efficaci.

Bibliografia

- Aprea, M.C., Cenni, A., Sciarra, G., 2016. L'attendibilità delle misure e il confronto con il valore limite. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2016, 7(3), 136-141
- Argenti, L., Barbieri, A., Graziosi, F., Mancini, G., Migani, R., Olanda, S., Pignataro, G., Ravviso, P., Sabatini, L., Severi, E., Violante, F.S., 2013. Progetto di studio ed implementazione di un modello di valutazione del rischio chimico correlato alle merci movimentate nell'ambito portuale di Ravenna con particolare riferimento alle stive ed alle operazioni di sbarco. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2013, 4(3), 130-135
- Bacaloni, A., Crescenzi, S., Insogna, S., Renzoni, S., Ressa, G., 2014. Valutazione del rischio chimico per operatori del settore artistico-culturale. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2014, 5(1), 38-45
- Barra, M.I., Janis, B., 2018. Strategia di misura e valutazione delle esposizioni per inalazione agli agenti chimici. La norma EN 689/2018 (Parte 1): lo schema generale del processo. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2018, 9(2), 78-80
- Bergamaschi, A., Cappelletti, M.C., Fulvi, C., De Angelis, D., Pedone, M., 2018. Studio dell'ossido nitrico esalato in un gruppo di lavoratori potenzialmente esposti a inquinanti aerodispersi. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2018, 9(4), 187 – 190
- Bufalo, G., Donato, L. Di, d'Angelo, R., Nardella, R., Ambrosone, L., 2017. Applicazione innovativa degli ultrasuoni per ridurre l'uso di solventi nella lavorazione conciaria. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2017, 8(4), 150 – 154
- Calisti, R., Chiaverini, A.F., Mei, R., 2020. Profili di esposizione ad aldeidi diverse dalla formaldeide e loro significatività in una serie di ambienti di lavoro indoor italiani – 2011-2020. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2020, 11(3), 115-121. DOI:10.36125/ijoehy.v11i3.380
- Carrer, P., 2016. Qualità dell'aria indoor e effetti sulla salute nei moderni edifici ad uso ufficio in Europa. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2016, 7(3), 127 – 129
- Cauda, E., Shockey, T., Borghi, F., 2022. Standardizzazione dei dati ottenuti da sensori: una nuova sfida e opportunità nell'igiene occupazionale. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2022, 13(3) – e2022002, 123-128. DOI: 10.36125/ijoehy.v13i3.438
- Cenni, A., 2023. Esposizione lavorativa inalatoria e cutanea a Idrocarburi Policiclici Aromatici con particolare

- relazione al rischio cancerogeno. Contributo alla valutazione dei dati. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2023, 14(2) – e2023007, 78-86. DOI 10.36125/ijoehy.v14i2.506
- De Angelis, D., Cappelletti, M.C., Capolongo, S., Toni, D., Fulvi, C., Pedone, M., 2018. Valutazione dell'esposizione professionale a benzene, confronto tra metodologie differenti. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2018, 9(4), 182-186
- Fanti, G., Borghi, F., Cauda, E., Wolfe, C., Patts, J., Dossi, C., Cattaneo, A., Spinazzè, A., Cavallo, D.M., 2023. Concettualizzazione e costruzione di un dispositivo a basso costo per il monitoraggio del particolato. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2023, 14(2) – e2023006, 47-60. DOI 10.36125/ijoehy.v14i2.500
- Gatto, M.P., Piccolo, C., Castellano, P., Tranfo, G., Garofani, P., Solimene, G., 2022. Progettazione, sviluppo e risultati preliminari di un questionario sul rischio chimico in edilizia | *Giornale italiano di igiene industriale e ambientale*. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2022, 13(2), 69-76. DOI: 10.36125/ijoehy.v13i1.423
- Giampaoli, O., Spagnoli, M., Sciubba, F., Tranfo, G., Pietroiusti, A., Sisto, R., Canepari, S., Miccheli, A., 2021. Metabolomica basata su NMR per l'identificazione di biomarcatori urinari predittivi di esposizione professionale a fumi di saldatura e composti organici volatili. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2021, 12(2) | 55-58. DOI: 10.36125/ijoehy.v12i2.397
- Gino, G., 2018. Le nuove linee guida OMS e NIOSH per la produzione e la manipolazione di nanomateriali. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2018, 9(1), 68 – 72
- Gisfredi, C., Carrai, P., Candian, R., 2020. Confronto tra metodi per la valutazione del rischio chimico nei luoghi di lavoro. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2020, 11(3), 184-198
- Grignani, E., Pizzella, G., 2018. Norma EN 689 cosa cambia. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2018, 9(2), 85 – 87
- IJOEHY – Archivio | *Giornale italiano di igiene industriale e ambientale*. Disponibile Online, <https://www.ijoehy.it/index.php/IJOEHY/issue/archive> (ultimo accesso il 22/04/2025).
- Janis, B., Barra, M.I., 2018. Strategia di misura e valutazione delle esposizioni per inalazione agli agenti chimici. La norma EN 689/2018 (Parte 2): gli allegati. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2018, 9(2), 81 – 84
- Lembo, E., Bonacci, A., Lunghini, L., Aprea, M.C., 2018. Esposizione cutanea a pesticidi in addetti alla vendita di fiori recisi e piante ornamentali. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2018, 9(1), 23 – 28
- Martinelli, A., Salamon, F., Bartolucci, G.B., Carrieri, M., 2021. Valutazione dell'esposizione a solventi e a polveri di cuoio nel settore calzaturiero. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2021, 12(4), 138-144
- Miscetti, G., Bodo, P., Garofani, P., Miscetti, A., Maraini, R., Venturi, C., Magni, G., Garganella, L.R., 2017. Granulometria delle polveri e tutela della salute dei lavoratori nella preparazione di mangimi per zootecnia. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2017, 8(1), 20-25
- Padovese, P., Berti, A., Pavan, I., Pavan, S., Fiori, S., Bellotti, F., Nava, P., Sorlini, A., Patrucco, M., Labagnara, D., Maida, L., Agnese, C., Muratori, C., CMC Ravenna, C., Servizi Ambientali, N., Sicurezza, P., Pas, S., Sas, T., Srl, V., 2017. Esposizione a particolato aerodisperso e silice cristallina (quarzo) di addetti allo scavo di un tunnel geognostico mediante macchina a piena sezione. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2017, 8(1), 13 – 19
- Pagliai, P., Albonetti, A., Canali, S., Veneri, L., Panniello, D., 2013. Indagine sull'esposizione ad agenti chimici pericolosi dei lavoratori addetti alla verniciatura della segnaletica stradale orizzontale. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2013, 4(4), 152-160
- Pedone, M., Cappelletti, M.C., Pettinato, C., Fulvi, C., Toni, D., Locke, R., Farrell, K., Angelis, D. De, 2018. Monitoraggio di igiene industriale in impianti petroliferi di upstream. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2018, 9(4), 176-181
- Poli, C., Billeri, L., Iaia, T.E., 2022. Utilizzo di Biocidi negli adesivi e vernici all'acqua ed i pericoli per la salute dei lavoratori. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2022, 13(2), 60-68. DOI: 10.36125/ijoehy.v13i2.416
- Poli, C., Enza Iaia, T., Taddei, S., Arena, L., Luti, L., D'ermilliis, G., Cenni, A., Aprea, M.C., 2020. Esposizione dei lavoratori a formaldeide nelle conchiglie del distretto del cuoio in Toscana, in seguito all'utilizzo di biocidi nel processo di lavorazione. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2020, 11(3), 107-114. DOI: 10.36125/ijoehy.v11i3.375
- Sostrand, P., Danielsen, T.E., 2013. Determination of dust sources, atmospheric concentrations and exposure attributed to tasks in magazine paper production. Proposing remedial actions. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2013, 4(4), 170-174
- Sacco, P., Calisti, R., Mei, R., Boaretto, C., Quaglio, F., Zaratini, L., 2019. Ciclopentanone: un inquinante aerodisperso inatteso in uno stabilimento di stampaggio della plastica. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2019, 10(1), 56-63
- Sala, C., 2022. La sostituzione dei diisocianati nella produzione dei poliuretani. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2022, 13(4) – e2022010, 139-142
- Sala, C., 2018. Revisione della norma UNI EN 689. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2018, 9(2), 75 -77

Spinazzè, A., Borghi, F. 2024. Ten years of research on chemical hazards in occupational hygiene: a review of IJOEHY's online publications (2013-2023) – Part 1. *Ital.J.Occup.Environ.Hyg.*, 2024, 15(1) – e2024002

Spinazzè, A., Cattaneo, A., Buono, L. Del, Fontana, L., Iavicoli, I., Cavallo, D.M., 2016. Nanomateriali ingegnerizzati: stato attuale della valutazione dell'esposizione professionale. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2016, 7(2), 81 – 98

Spinazzè, A., Borghi, F., Campagnolo, D., Fanti, G., Keller, M., Rovelli, S., Cattaneo, A., Cavallo, D.M., 2021. Modellazione delle emissioni a inquinanti gassose a seguito di guasto della batteria: stima dell'esposizione occupazionale per uno scenario minerario. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2021, 12(1), 6-15. DOI: 10.36125/ijoehy.v12i1.396

Spinazzè, A., Borghi, F., Campagnolo, D., Fanti, G., Keller, M., Rovelli, S., Zellino, C., De Vito, G., Cattaneo, A., Cavallo, D.M., 2022. Verifica di conformità ai valori limite di esposizione occupazione con approccio statistico: confronto tra norma UNI EN 689:2019 e Linee Guida AIDII 1990 *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2022, 13(4) -e2022008, 150-154. DOI 10.36125/ijoehy.v13i4.482

Spinazzè, A., Borghi, F., Cattaneo, A., Cavallo, D.M., 2020. Valutazione del rischio chimico in ambienti occupazionali: uso di algoritmi di stima del rischio e di modelli di stima dell'esposizione. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2020, 11(1), 47-51. DOI: 10.36125/ijoehy.v11i1.338

Spinazzè, A., Borghi, F. Dieci anni di ricerca sui rischi chimici nell'igiene occupazionale: una rassegna delle

pubblicazioni online di IJOEHY (2013-2023) – Parte 1. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 15(1) -e2024002

Stufano, A., Lovreglio, P., Sacino, G., Rodríguez, F., Lipolis, F., Cagnazzo, F., Gilberti, M.E., Soleo, L., De Palma, G., 2019. La speciazione del cromo esavalente: utilità nella valutazione e gestione del rischio. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2019, 10(3), 117-122

Tombolini, F., Boccuni, F., Ferrante, R., Natale, C., Iavicoli, S., 2022. Studio dell'esposizione a grafene in ambiente di lavoro: misure real time e caratterizzazione off line del particolato aerodisperso. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2022, 13(1), 32-47. DOI: 10.36125/ijoehy.v13i1.421

Tosti, L., Moretto, A., Metruccio, F., 2022. RISK 21: un approccio innovativo per la valutazione del rischio umano e la sua applicazione nell'esposizione professionale ai prodotti fitosanitari in viticoltura. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2022, 13(4) – e2022007, 143-149. DOI 10.36125/ijoehy.v13i4.466

Tranfo, G., Manni, V., Brusco, A., Bucci, G., Cabella, R., Fizzano, M.R., Gargaro, G., Gherardi, M., Grosso, F., Innocciati, E., Signorini, S., Rotoli, E., 2020. Un'indagine pilota sull'usabilità e l'efficacia delle schede tecniche estese dei prodotti chimici : Inglese. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2020, 11(2), 56-66. DOI: 10.36125/ijoehy.v11i2.361

Tura, P., D'Amore, G., 2020. La stima della concentrazione di CO₂ come requisito di qualità dell'aria indoor e misura di prevenzione. *Ital. J. Occup. Environ. Hyg.*, 2020, 11(4), 152-165. DOI: 10.36125/ijoehy.v11i4.390