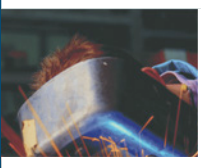
aidii
LA CULTURA DELLA PREVENZIONE

Volume 17 | Issue 3 | 2026 | Pages 1-254

Numero speciale

Atti del 42° Congresso Nazionale di Igiene Industriale e Ambientale

Italian Journal of Occupational and Environmental Hygiene



Giornale Italiano di Igiene Industriale e Ambientale

42° Congresso Nazionale **AIDII**
17-19 giugno 2026
BOLOGNA
Centro Congressi CNR
Area territoriale
della ricerca di Bologna

CONTENTS

SESSIONE 1 Innovazione tecnologica, analitica, digitale e modellistica per valutare rischi e impatti

SESSIONE 2 Valutazione e gestione del rischio per gli agenti cancerogeni: focus amianto

SESSIONE 3 Esposizioni aggregate e combinate: sinergie tra agenti multifattoriali, scenari multisorgente e vie di assorbimento multiple

SESSIONE 4 Fattori di rischio fisico

SESSIONE 5 Fattori di rischio trasversali

SESSIONE 6 Valutazione e gestione del rischio da agenti cancerogeni, mutageni e tossici per la riproduzione

SESSIONE 7 Ergonomia e rischio biomeccanico

SESSIONE 8 Igiene occupazionale in servizi e strutture sanitarie e socio-sanitarie

SESSIONE 9 Qualità dell'aria indoor e salute in ambiente scolastico

SESSIONE 10 Qualità dell'aria e salute negli ambienti di vita

SESSIONE 11 Fattori di rischio chimico

SESSIONE 12 POSTER sui temi congressuali e a tema libero

www. ijoehy. it
e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

© AIDII

ijoehy

Comitato organizzatore Cristina Grignani, Francesca Borghi, Andrea Cattaneo, Stefania Fanni, Patrizia Ferdenzi, Mariella Carrieri, Sergio Luzzi, Mirco Fini, Lucia Frascaroli, Laura Giannini, Giovanni Marisi, Andrea Martinelli, Andrea Spinazzè, Nicola Stacchini, Angela Stufano

Comitato scientifico Cinzia Aimone, Bianca Patrizia Andreini, Francesca Borghi, Mariella Carrieri, Andrea Cattaneo, Anna Cenni, Patrizia Ferdenzi, Riccardo Fusi, Gianandrea Maria Gino, Pierina Ielpo, Sergio Luzzi, Andrea Martinelli, Paolo Sacco, Andrea Spinazzè, Angela Stufano, Giovanna Tranfo

A cura di Cinzia Aimone, Bianca Patrizia Andreini, Francesca Borghi, Mariella Carrieri, Andrea Cattaneo, Anna Cenni, Patrizia Ferdenzi, Riccardo Fusi, Gianandrea Maria Gino, Sergio Luzzi, Andrea Martinelli, Paolo Sacco, Andrea Spinazzè, Angela Stufano, Giovanna Tranfo

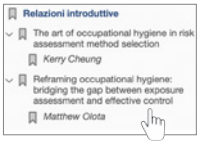
Segreteria organizzativa AIDII ETS
Cristina Grignani, Stefania Fanni
Via G.B. Morgagni, 32 – 20129 Milano
Telefono 371 46 15 803 – 331 54 65 049
e-mail: *aidii@aidii.it*

Data e sede del congresso
17-19 giugno 2026
Centro Congressi CNR
Area territoriale della ricerca di Bologna
via P. Gobetti, 101
BOLOGNA

Note per la lettura

Per rendere agevole la lettura degli Atti e il reperimento dei singoli articoli, l'intero PDF è stato indicizzato. È dunque possibile visualizzare qualunque contributo nei seguenti modi:

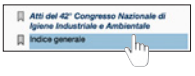
dal pannello Segnalibri cliccando sulla destinazione desiderata;



dall'indice;

dall'indice degli autori.

Inoltre, si può tornare all'**indice** in qualunque momento dal pannello **Segnalibri;**



oppure, cliccando in alto a destra da ogni pagina;

dalla pagina di apertura di ciascun capitolo

Proprietà letteraria riservata 2026 AIDII ETS e-ISSN 2464-8817
Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questo libro può essere riprodotta senza la preventiva autorizzazione scritta dell'editore. Quanto espresso nei lavori è di esclusiva responsabilità degli autori, così come l'accuratezza delle citazioni.

Coordinamento redazionale Cristina Grignani, AIDII ETS Composizione testi Antonella Battista

AIDII ETS Associazione Italiana Degli Igienisti Industriali per l'Igiene Industriale e per l'Ambiente
Ente del Terzo Settore con personalità giuridica – Decreto Dirigenziale prot. 1207 del 14/02/2022

Questo volume è stato realizzato con il supporto di AssoArpa e Maugeri radiello

aidii
LA CULTURA DELLA PREVENZIONE
42° Congresso nazionale
di igiene industriale e ambientale

ijoehy
Italian Journal of Occupational
and Environmental Hygiene

Atti del 42° Congresso di Igiene Industriale e Ambientale

A CURA DI
Cinzia Aimone, Bianca Patrizia Andreini, Francesca Borghi, Mariella Carrieri, Andrea Cattaneo, Anna Cenni, Patrizia Ferdenzi, Riccardo Fusi, Gianandrea Maria Gino, Sergio Luzzi, Andrea Martinelli, Paolo Sacco, Andrea Spinazzè, Angela Stufano, Giovanna Tranfo

ijoehy
Index Numero speciale n. 3/2026

Relazioni introduttive

- **The art of occupational hygiene in risk assessment method selection**
  Kerry Cheung *2*
- **Reframing occupational hygiene: bridging the gap between exposure assessment and effective control**
  Matthew Olota *4*
- **The definition of occupational hygienist competencies: a common approach within the European context**
  Paolo Sacco, Karen Bufton, Rudolf van der Haar, Alessandro Sassi *5*

Sessione 1 Innovazione tecnologica, analitica, digitale e modellistica per valutare rischi e impatti

- **The consolidated mining standard initiative (CMSI) and opportunities to advance occupational health and hygiene**
  Nancy Wilk *8*
- **La valutazione dell'esposizione a polveri in radioprotezione e nuovi metodi di misura: opportunità e prospettive**
  Francesco Frigerio, Alice Cimino, Giorgio Favorido Barraza, Elena Grignani *9*
- **Valutazione del rischio rumore con focus su effetti extrauditivi, comfort acustico e olografie acustiche**
  Matteo Cavalli *10*
- **Impronte molecolari dello stress ossidativo: analisi UPLCHRMS degli isoprostani urinari**
  Mariangela Spagnoli, Alessandra Gentili, Agnese Martini, Emma Pietrafesa, Michele De Rosa *11*
- **Valutazione del rischio occupazionale nell'olfattometria: il ruolo dei composti ad alta soglia olfattiva**
  Elisa Polvara, Andrea Spinazzè, Marzio Invernizzi, Selena Sironi *13*
- **Spazi confinati in contesto monumentale: valutazione del rischio e gestione operativa nel caso dell'Arena di Verona**
  Irene Florio, Cinzia Aimone *15*
- **Automated classification of recycled polymers via ATR-IR spectroscopy and machine learning**
  Rosanna Mosetti, Tiziana Mancini, Andrea Della Valle, Andrea Perali, Sebastiano Pilati, Annalisa D'Arco, Stefano Lupi *17*
- **Droni per la distribuzione di prodotti fitosanitari: lo stato dell'arte tra normativa e ricerca per la valutazione dell'esposizione dell'operatore**
  Renato Cabella, Monica Gherardi *19*

Sessione 2 Valutazione e gestione del rischio per gli agenti cancerogeni: focus amianto

- **Valutazione dell'esposizione passiva ad amianto alla luce del D.Lgs. 213/2025: confronto fra algoritmi e dati analitici**
  Gianandrea Maria Gino *22*

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

- **Presenza vs assenza: limiti interpretativi del dato analitico nella valutazione del rischio da agenti cancerogeni in ambienti a bassa esposizione – il caso amianto**
  Cinzia Aimone, Angelo Rostagnotto *25*
- **Sviluppo di un percorso di formazione e addestramento, con definizione dei requisiti professionali, per il personale addetto al campionamento di fibre aerodisperse di amianto**
  Arianna Ballarin, Daniele Carpanelli, Claudia Conca, Caterina D'Andria, Francesco Daniele, Francesco Gavazzeni, Saverio Pappagallo, Rocco Ruggiero, Sonia Vitaliti *27*
- **Amianto nei beni museali: casi esemplificativi e riferimenti normativi**
  Lorenza Fiumi *29*
- **Valori limite e valori di riferimento per le sostanze pericolose: significato e loro corretto utilizzo**
  Giovanna Tranfo, Monica Gherardi *32*
- **Monitoraggio registri cancerogeni (2017-2025): analisi dei flussi e piano mirato di prevenzione per l'emersione del rischio nelle PMI del territorio di brindisi**
  Luca Convertini, Nicola Dipalma *34*
- **Polveri di legno: esposizione e valutazione del rischio, l'esperienza nell'ASL Toscana Centro zona Empolese**
  Francesco Carmusciano, Carla Poli, Tonina Enza Iaia, Renzo Becherelli, Bruno Banchi, Maria Cristina Aprea *36*

Sessione 3 Esposizioni aggregate e combinate: sinergie tra agenti multifattoriali, scenari multisorgente e vie di assorbimento multiple

- **From exposure to occupational illness: solving a jigsaw puzzle with missing pieces**
  André Winkes *40*
- **Effetti combinati di stress termico e radiazioni ultraviolette sulla salute dei lavoratori: una scoping review**
  Angela Stufano[1], Valentina Schino, Roberta Piccarreta[1], Marilia Silva Paulo *41*
- **Danno uditivo da esposizione combinata a rumore e stirene: interazione con il fumo e valore delle DPOAEs come biomarcatori precoci**
  Teresa Botti, Filippo Sanjust, Luigi Cerini, Monica Gherardi, Daniela Pigini, Enrico Paci, Andrea Gordiani, Renata Sisto *43*
- **Le malattie allergiche professionali da esposizioni multifattoriali potenzialmente presenti negli ambienti di lavoro**
  Maria Concetta D'Ovidio, Pasquale Capone, Daniela Pigini, Andrea Lancia, Lorenzo Uda, Federico Di Rita, Donatella Magri *46*
- **Monitoraggio di polline allergenico e sabbia sahariana nella città di Roma**
  Andrea Lancia, Lorenzo Uda, Pasquale Capone, Renato Ariano, Armando Pelliccioni, Maria Concetta D'Ovidio, Donatella Magri, Federico Di Rita *51*
- **Utilizzo dei valori di riferimento biologici nel monitoraggio di lavoratori con possibile esposizione occupazionale a nichel: un caso studio**
  Marilena D'Ambrosio, Gabriele Sacino,, Giovanna Parisi, Antonio Carrus, Riccardo Ravallese,, Roberto Ravallese,, Giovanna Simone, Alberto Gambalunga, Leonarda De Benedictis, Anna Morea, Mariella Carrieri, Piero Lovreglio *53*

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Sessione 4 Fattori di rischio fisico

- **Effetti uditivi e non uditivi dell'esposizione al rumore. Studio dei profili forensi nell'ambito del progetto BRIC INAIL 2024 ID07**
  Sergio Luzzi, Nicola Mucci, Antonio Baldassarre, Chiara Bartalucci, Paola Pulella *56*
- **La nuova norma UNI EN ISO 9612.2025 per la valutazione dell'esposizione al rumore dei lavoratori: prime esperienze applicative e differenze con la versione precedente**
  Riccardo Fusi, Sergio Luzzi *58*
- **Valutazione sperimentale dell'esposizione ai campi elettromagnetici dei lavoratori addetti all'uso di macchine utensili in officine meccaniche**
  Giancarlo Burriesci, Nicola Zoppetti, Moreno Comelli, Andrea Donati, Carlo Bartoli, Andrea Bogi, Nicola Stacchini, Cecilia Vivarelli, Eugenio Mattei *60*
- **Esposizione a radiazioni ionizzanti nella pratica radiologica veterinaria: analisi sperimentale e considerazioni radioprotezionistiche**
  Gabriele Sacino, Roberto Ravallese, Riccardo Ravallese, Giuseppe Ruospo, Giovanna Simone, Antonio Trevisi, Giovanna Parisi, Piero Lovreglio, Tommaso Maggipinto . *62*
- **Percezione e conoscenza e del rischio freddo: un case report in azienda**
  Claudia Giliberti, Michela Bonafede, Romina Scarsellone, Ledjana Hoxha e il gruppo di lavoro Worklimate 2.0 ..... *64*

Sessione 5 Fattori di rischio trasversali

- **SafetyMaker: una piattaforma aperta per lo sviluppo di giochi formativi per la sicurezza industriale**
  Raffaele d'Angelo, Gennaro Bufalo, Ernesto Russo, Andrea Tarallo, Antonio Lanzotti *67*
- **Confronto tra due sistemi di analisi del movimento senza marker nella valutazione dello spostamento del centro di gravità del corpo durante il movimento da seduto a in piedi**
  Giorgia Chini, Arash Ajoudani, Pietro Balatti, Luca Fortini, Irene Gennarelli, Mattia Leonori, Lorenzo Levantesi, Niki Martinel, Christian Micheloni, Clara Mouawad, Antonella Tatarelli, Tiwana Varrecchia, Alberto Ranavolo *68*
- **Effetti di un esoscheletro passivo sul controllo neuromuscolare durante un overhead work task**
  Tiwana Varrecchia, Giorgia Chini, Giacomo Valli, Francesco Negro , Alberto Ranavolo *70*
- **Stress Lavoro Correlato e Rischio Cardiovascolare: valutazione trasversale di una popolazione di 63 lavoratori del comparto impiegatizio sottoposti a sorveglianza sanitaria**
  Andrea Baldassarre, Francesco Gianfagna, Alberto Fedele, Elisa Martini, Rocco Giuseppe Cazzato, Luca Baldassarre, Gabriele D'Ettorre *72*
- **Analisi degli infortuni e delle malattie professionali nel settore alimentare ed in particolare nei salumifici**
  Carmine Esposito, Gabriella Marena *75*

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Sessione 6 Valutazione e gestione del rischio da agenti cancerogeni, mutageni e tossici per la riproduzione

- **Possibile rischio cancerogeno da lavorazione di resine e prodotti oligomerici contenenti formaldeide**
  Giovanna Parisi, Antonio Carrus, Gabriele Sacino, Riccardo Ravallese, Roberto Ravallese, Marilena D'Ambrosio, Leonarda De Benedictis, Giuseppe Ruospo, Giovanna Simone, Piero Lovreglio *79*
- **Esposizione occupazionale al cromo esavalente: revisione sistematica dei metodi di monitoraggio ambientale e dei progressi analitici**
  Carolina Zellino, Francesca Borghi, Veronica Prina, Andrea Cattaneo, Sandro Recchia, Carlo Dossi, Andrea Spinazzè, Domenico Maria Cavallo *81*
- **Esposizione occupazionale a cromo totale e cromo esavalente nei saldatori: studio integrato di monitoraggio ambientale e biologico**
  Andrea Spinazzè, Veruscka Leso, Salvatore Della Notte, Carolina Zellino, Andrea Cattaneo, Sandro Recchia, Carlo Dossi, Elena Grignani, Domenico Maria Cavallo, Ivo Iavicoli *83*
- **Valori soglia per le sostanze tossiche per la riproduzione non cancerogene e non mutagene: implicazioni pratiche per la valutazione del rischio occupazionale**
  Monica Gherardi, Chiara Caterini, Donatella Giacopetti, Fabiola Leuzzi, Ilaria Malerba, Alessandra Pellegrini, Giulia Pizzella, Maria Teresa Russo, Giovanna Tranfo *85*
- **Rischio da farmaci pericolosi in medicina veterinaria: dal quadro normativo all'approccio One Health. Evidenze da uno studio pilota in aziende zootecniche**
  Paola Castellano, Marco Melosi, Daniela Boltrini, Giorgio Neri, Valerio Monaco, Daniela Pigini *87*
- **Alterazioni molecolari nelle proprietà delle proteine nucleari basiche in individui esposti professionalmente ai metalli pesanti**
  Marina Piscopo, Gennaro Lettieri, Carmela Marinaro, Simona Amore, Giulio Santaniello, Anna Rita Bianchi, Bruno Berman, Martina Falace, Marco Trifuoggi, Flavia Conte, Alessandra Pera, Mariangela De Rosa, Luigi Montano, Anna De Maio *89*
- **Poli(ADP-ribosio) polimerasi come marcatore precoce della qualità dello sperma in uomini esposti professionalmente ai metalli pesanti**
  Anna De Maio, Anna Rita Bianchi, Bruno Berman, Martina Falace, Gennaro Lettieri, Carmela Marinaro, Simona Amore, Giulio Santaniello, Alessandra Pera, Mariangela De Rosa, Luigi Montano, Marina Piscopo *91*
- **Sviluppo e validazione di un metodo GC-MS/MS per il monitoraggio ambientale di C_{10}-C_{13} alchilbenzeni ramificati**
  Francesco Saverio Robustelli della Cuna, Matteo Balestra, Alessandro Volpe, Laura Zaratin, Samuele Fuso, Gloria Conte, Manlio Sutera Sardo, Elena Grignani *93*
- **Sviluppo e validazione di un metodo HPLC-MS/MS per la determinazione dell'8-iso-prostaglandina F2α nelle urine umane**
  Enrico Paci, Daniela Pigini *95*

Sessione 7 Ergonomia e rischio biomeccanico

- **Progettazione e nuove tecnologie: vantaggi e criticità**
  Isabella Ferrara, Ivan Mazzarelli *98*
- **Esoscheletri occupazionali: considerazioni su salute e sicurezza – la monografia INAIL**
  Alberto Ranavolo, Giorgia Chini, Simona Del Ferraro, Vincenzo Molinaro, Alessio Silvetti, Giovanna Tranfo, Tiwana Varrecchia *100*
- **Effetti dell'assistenza di un esoscheletro per gli arti superiori sulla scarica delle unità motorie durante il mantenimento di un carico esterno**
  Giacomo Valli, Martina Mosso, Maria Lucia Cavallo, Alessandro Piol, Emilia Scalona, Tiwana Varrecchia, Giorgia Chini, Alberto Ranavolo, Luca Falciati, Debora Brignani, Nicola Francesco Lopomo, Francesco Negro *102*

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

- **Biomechanical evaluation of upper-body exoskeletons during lifting and overhead tasks: a preliminary study**
  Alessandro Piol, Emilia Scalona, Martina Mosso, Fatehia Bushara Garma, Maria Lucia Cavallo Giacomo Valli, Noemi Pintori, Tiwana Varrecchia, Giorgia Chini, Alberto Ranavolo, Luca Falciati, Debora Brignani, Francesco Negro,Nicola Francesco Lopomo *104*

- **Valutazione ergonomica della postazione dell'autista-operatore di camion per la raccolta di rifiuti stradale tramite analisi elettromiografica**
  Adriano Papale, Azzurra Nardi, Alessio Silvetti *106*

- **Effetti biomeccanici dell'abbacchiatore elettrico: analisi mediante l'uso di miotonometria e termografia a infrarossi, studio pilota**
  Paola Senia, Federico Roggio, Francesca Vella, George Dounias, Elio Romano, Jelena Reste, Veronica Filetti, Giuseppe Musumeci, Rosa Chiantia, Angela Stufano, Lucia Rapisarda, Ermanno Vitale *108*

- **Valutazione del rischio biomeccanico nell'attività boschiva tramite analisi posturale e della frequenza cardiaca: un caso studio**
  Alessio Silvetti, Massimo Campagna, Stefano Colaluca, Guglielmo De Majo, Adriano Papale *110*

- **Analisi biomeccanica della movimentazione manuale dei pazienti negli operatori sanitari mediante sensori IMU**
  Stefano Maso, Nicolò Martini, Pietro Zaffalon *112*

- **Reti europee di ricerca OSH in ergonomia e rischio biomeccanico: uno studio di social network analysis**
  Simone Russo, Grazia Fortuna, Paola Tassone, Marco Mirabile, Diana Gagliardi *114*

Sessione 8 Igiene occupazionale in servizi e strutture sanitarie e socio-sanitarie

- **Esposizione a vapori di formaldeide nelle strutture ospedaliere**
  Andrea Martinelli, Fabiola Salamon, Francesco Zuin, Simone Mameli, Mariella Carrieri *119*

- **La sostituzione della formaldeide nei laboratori di anatomia patologica come misura di prevenzione primaria per la salute degli operatori**
  Giovanna Tranfo *121*

- **Esposizione occupazionale a chemioterapici antiblastici: un nuovo approccio per valutare i livelli di rischio nel personale ospedaliero**
  Cristina Sottani, Francesco Saverio Robustelli della Cuna, Samuele Fuso, Gloria Conte, Elena Grignani *123*

- **Dieci anni di monitoraggio dell'esposizione ai gas anestetici in un grande ospedale mediante monitoraggio personale, ambientale e biologico**
  Laura Campo, Giulia Colella, Luca Olgiati, Andrea Spinazzè, Luca Boniardi, Francesca Borghi, Giacomo Fanti, Dario Consonni, Domenico Maria Cavallo, Silvia Fustinoni *126*

- **Valutazione microbiologica dell'aria e del particolato in ambiente chirurgico e camere bianche**
  Giorgio Favorido Barraza, Alice Cimino, Laura DilsaniNanayakkarawasam Nagahawatta Arachchige, Maria Lorena Fiorentino, Elena Grignani *128*

- **Valutazione dei rischi legati alla movimentazione manuale dei carichi e indice di capacità lavorativa tra gli operatori sanitari nel Sud Italia**
  Roberta Piccarreta, Valentina Schino, Francesca Fortunato, Moris Sangineto, Angela Stufano *130*

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Sessione 9 Qualità dell'aria indoor e salute in ambiente scolastico

- **Progetto Monitoraggio abbattImento riSchi Sanitari InquinamentO iNdoor (MISSION) – PREV-A-2022-12377010**
  Veronica Todeschini, Sonia Vitaliti *133*
- **Progetto MISSION: disegno dello studio**
  Sonia Vitaliti,Arianna Ballarin, Alessandro Palestra *134*
- **Progetto MISSION: revisione della letteratura e valutazione delle caratteristiche strutturali e delle conoscenze in tema di qualità dell'aria indoor nelle scuole**
  Paolo Carrer, Chiara Di Giorgio *135*
- **Progetto MISSION: monitoraggi ambientali mediante campionamento passivo. Discussione dei risultati analitici relativi a VOC, Formaldeide, Ozono e NO_2**
  Alessandro Palestra, Veronica Cavalli, Arianna Ballarin, Francesco Daniele, Francesco Gavazzeni, Claudia Lionetti, Luigina Patricola, Marco Boni, Elisa Galbiati, Giuseppe De Palma,Roberta Ghitti, Giulia Tocchini, Giovanna Bregante, Andrea Cattaneo, Piera Ielpo, Velia Malizia, Veronica Todeschini, Sonia Vitaliti *137*
- **Valutazione della contaminazione da gas e vapori in aule scolastiche su scala nazionale mediante strumenti di monitoraggio in tempo reale**
  Andrea Cattaneo, Sonia Vitaliti, Pierina Ielpo, Maria Cristina Aprea, Alessandro Palestra, Claudia Lionetti, Marta Carcano, Giuseppe De Palma, Maria Tutino, Marco Baldini, Elisa Gerbino, Velia Malizia, Giuseppe Sarno, Veronica Todeschini, Andrea Spinazzè, Domenico Maria Cavallo *139*
- **Valutazione della qualità dell'aria indoor in aule scolastiche: ruolo dei bioaerosol e impatto di purificatori d'aria – risultati preliminari**
  Alessio Carminati, Andrea Spinazzè, Francesca Borghi, Stefano Boscolo, Giacomo Fanti, Eleonora Pagani, Carolina Zellino, Veronica Todeschini, Sonia Vitaliti, Claudia Lionetti, Andrea Cattaneo, Domenico Maria Cavallo *141*
- **Studio dei trend di concentrazioni indoor e outdoor delle frazioni fini e grossolane del particolato atmosferico nelle scuole del progetto MISSION**
  Piera Ielpo, Ivano Ammoscato, Alessandro Palestra, Sonia Vitaliti, Veronica Todeschini, Gianluigi de Gennaro,, Maria Cristina Aprea6, Giuseppe Sarno, Claudia Lionetti, Elisa Galbiati, Giuseppe De Palma, Silvia Bertolacci, Carmelo Petralia, Velia Malizia, Andrea Cattaneo *144*
- **Monitoraggio dell'aria in ambito scolastico: risultati preliminari del progetto MISSION in Toscana**
  Giovanna Renna, Elisa Lazzeri, Francesco Picciolo, Andrea Bogi, Nicola Stacchini, Katiuscia Gulino, Roberta Salvestroni, Monica Cerretani, Riccardo Fontani, Francesca Bazzani, Giulia Fanti, Sara Gallicchio, Giuseppe Sarno, Ilaria Stanisci, Sandra Baldacci, Maria Cristina Aprea *146*
- **Ambiente percepito a scuola ed effetti respiratori, allergici e sistemici negli alunni: progetto MISSION**
  Giuseppe Sarno, Ilaria Stanisci, Sara Maio, Anna Angino, Patrizia Silvi, Velia Malizia, Stefania La Grutta, Pietro Alfano, Andrea Perri, Valentina Lazzara,Veronica Todeschini, Sonia Vitaliti, Alessandro Palestra, Sandra Baldacci *148*

Sessione 10 Qualità dell'aria e salute negli ambienti di vita

- **I progetti su qualità dell'aria e salute in Emilia-Romagna**
  Andrea Ranzi, Paola Angelini *151*
- **La modellistica di qualità dell'aria a supporto delle attività delle agenzie ambientali italiane**
  Michele Stortini, Lidia Bressan, Roberta Amorati *153*
- **Progetto inSINergia in Toscana: determinazione dei livelli di PFAS nella frazione PM_{10} e della distribuzione dimensione delle nanoparticelle in aria ambiente**
  Bianca Patrizia Andreini, Marina Rosato, Elisa Bini, Chiara Collaveri, Fiammetta Dini, Stefano Fortunato, Andrea Agostini, Cristiano Baiocchi, Michele Mazzetti, Lucia Pierro, Roberto Signorini *155*

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

- **Gestione e fruizione di una rete di dispositivi multi-parametro, per la misura del $PM_{2.5}$ a elevata risoluzione spazio-temporale**

  Stefano Boscolo, Giacomo Fanti, Andrea Cattaneo, Andrea Spinazzè, Alessio Carminati, Eleonora Pagani, Carolina Zellino, Ester Luconi, Elia Biganzoli, Domenico Maria Cavallo, Valentina Bollati *158*

- **Elevated hydrogen sulfide concentrations in the production of fertilizers for commercial mushroom farms in Pennsylvania, USA**

  Lorenzo Cena, Laurel Gaston, Tristan Washington, Daniel Engelbrecht, Daniel Farcas *160*

- **Caratterizzazione dell'esposoma urbano di lavoratori della città di Pavia nell'ambito del progetto IDEA (Impatto Dell'ambientE urbano sull'età biologicA)**

  Paolo Sacco, Roberta Pernetti, Francesca Sellaro, Enrico Oddone, Laura Zaratin, Franco Quaglio, Marco Pattaro, Elena Grignani *162*

Sessione 11 Fattori di rischio chimico

- **Esposizione professionale a xileni in ambito sanitario: esperienze di monitoraggio ambientale e biologico**

  Fabiola Salamon, Andrea Martinelli, Giulio Abatangelo, Mariella Carrieri *166*

- **Esposizione ad acido peracetico in ambito ospedaliero: dalle metodiche di campionamento alle misure di contenimento del rischio**

  Maria Lorena Fiorentino, Gloria Conte, Marco Pattaro, Elena Grignani *168*

- **Nanoparticelle a base di cromo e nichel e salute occupazionale: analisi dei meccanismi di danno cellulare in modelli di epitelio respiratorio**

  Diana Poli, Silvana Pinelli, Gloria Cencia, Veronica Saponara, Benedetta Ghezzi, Chiara Maccari, Francesca Rossi, Roberta Andreoli, Paola Mozzoni..... *170*

- **REACH e nanoforme: tra requisiti normativi, stato delle registrazioni e nuove sfide metodologiche per la valutazione della sicurezza**

  Lorenzo Bazzi, Fabiola Longo, Gianluca Stocco..... *172*

- **Esposizione occupazionale a miscele di microplastiche (PE, PP, PVC): valutazione della citotossicità su fibroblasti gengivali umani mediante saggio MTT**

  Valentina Schino, Roberta Piccarreta, Francesca Posa, Federica Piccolo, Lorenzo Sanesi, Giorgio Mori, Angela Stufano *175*

- **Biomarcatori di dose ed effetto nell'esposizione occupazionale allo stirene: uno studio in un'azienda produttrice di serbatoi in vetroresina**

  Daniela Pigini, Enrico Paci, Monica Gherardi, Filippo Sanjust, Teresa Botti, Luigi Cerini, Renata Sisto . *177*

- **Esposizione occupazionale ad agenti chimici reprotossici con effetto sul feto: rischi associati all'esposizione maschile**

  Lidia Caporossi, Paola Castellano, Enrico Paci, Daniela Pigini..... *179*

- **Dai test preliminari all'idea di un DPI smart per il contenimento di particolato ultrafine e il rilevamento di composti organici volatili (COV): un progetto in evoluzione**

  Francesca Tombolini, Fabio Boccuni, Claudio Natale, Francesca Sebastiani, Silvia Casalinuovo, Daniela Caschera, Simone Quaranta, Domenico Caputo, Riccardo Ferrante..... *182*

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Sessione 12 POSTER sui temi congressuali e a tema libero

- **Riprogettazione ergonomica delle postazioni di lavoro presso lo stabilimento Piaggio & C. spa di Pontedera ai fini del reinserimento lavorativo**
  Chiara Breschi, Marina Mameli, Luca Valori,Stella Greco, Simona Bondioli, Alfonso Cristaudo, Carmine Parletta, Carmine Cervo *185*

- **Ergonomia applicata ai progetti di reinserimento di persone con disabilità da lavoro**
  Irene Pugliesi, Miriam De Sarlo, Chiara Breschi, Luca Gambacciani, Domenico Gilioni, Marina Mameli, Elvira Nucaro, Fabrizio Pini, Stella Tramuto, Luca Valori *187*

- **Role of weekly working hours in modulating biomechanical risk for musculoskeletal disorders**
  Francesca Graziosi, Francesco Decataldo, Francesco Saverio Violante, Roberta Bonfiglioli *189*

- **Innovative and commercial wearable sensors for quantitative and objective biomechanical assessment**
  Francesco Decataldo, Francesca Graziosi,Abubakar Ahman Babangida, Marta Tessarolo, Beatrice Fraboni, Francesco Saverio Violante, Roberta Bonfiglioli *191*

- **Donne e asma professionale da sensibilizzanti chimici: cosa emerge dagli studi recenti?**
  Simona Di Renzi, Lidia Caporossi, Elisa Partenzi, Delia Cavallo, Paola Tomao, Diana Poli *193*

- **Radiazioni ottiche artificiali nei luoghi di lavoro: un'esperienza nei calzaturifici e nelle pelletterie dell' Azienda USL Toscana Centro - EmpoleseValdelsa**
  Carla Poli, Cassandra Calugi, Gianluca D'Ermiliis, Lorella Luti, Renzo Becherelli, Nicola Stacchini, Andrea Bogi, Maria Cristina Aprea *195*

- **Fertilità maschile e stress ossidativo: possibile ruolo dell'esposizione ad alchilfenoli?**
  Lidia Caporossi, Elisa Partenzi, Silvia Capanna, Elisa Giacomini, Daniela Pigini, Enrico Paci, Luca Pagliardini *197*

- **Buone pratiche nell'ambito del Programma Workplace Health Promotion (WHP): focus sulle aziende lombarde che hanno aderito al programma**
  Carmine Esposito, Gabriella Marena *200*

- **Valutazione critica dell'efficacia degli agenti decontaminanti nella gestione del rischio occupazionale da farmaci antiblastici**
  Andrea Gordiani, Lucia Mainero Rocca, Giancarlo Burriesci *202*

- **Casi-studio per valutazione del rischio al Radon in sedi INAIL Campania: indagini di screening utilizzando un rilevatore attivo istantaneo di Radon con sensori di parametri ambientali**
  Raffaele d'Angelo, Gennaro Bufalo, Carlo Novi, Ernesto Russo *204*

- **Rischio biologico in ambienti indoor complessi, uno studio negli allevamenti suinicoli intensivi**
  Angela Gioffrè, Ida E.R. Montesanti, Emilia Paba, Alessandra Chiominto, Pasquale Samele, Anna Maria Marcelloni, Daniela Visaggio, Francesco Casalinuovo, Francesco Mediati *207*

- **Corroboranti come alternativa ai prodotti di sintesi per la sicurezza dei lavoratori agricoli**
  Eva Masciarelli, Laura Casorri, Marco Di Luigi, Diana Poli, Claudio Beni, Daniela Scutaru *210*

- **Restrizioni UE sulle microplastiche e ricadute per la salute e sicurezza nei luoghi di lavoro**
  Marco Di Luigi, Paola Castellano, Diana Poli, Eva Masciarelli, Laura Casorri, Andrea Militello *212*

- **Valutazione del rischio di un'attività di sollevamento "variabile" tramite frequenza cardiaca**
  Alessio Silvetti, Francesco Draicchio,Elio Munafò, Adriano Papale *214*

- **Valutazione dell'inquinamento da gas anestetici nelle sale operatorie della ASST di Lecco in 15 anni di monitoraggio ambientale**
  Fabio Daniele Bonacina, Eleonora Valsecchi, Marco Leoni, Luca Piloni, Andrea Pirola, Camillo Zottola, Angelo Mariani, Salvatore Fabio Alongi, Davide Guzzon *217*

- **Confronto tra le dinamiche costiere di Ostia Lido (Roma, Italia) e Chelem–Progreso (Yucatán, Messico)**
  Jorge Iván Euán Ávila, Lorenza Fiumi, Julia Fraga, Dario Gallo, Daniela Guglietta, Héctor Hernández Nuñez, Silvia Salas,Ciro González Zugarazo *220*

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

- **Innovazione digitale, tecniche omiche, database aperti e modelli predittivi per una valutazione integrata del rischio tossicologico**
  Giancarlo Burriesci, Carlo Grandi, Andrea Gordiani, Maria Concetta D'Ovidio, Pieranna Chiarella, Pasquale Capone *223*
- **Studio multisito del PM_{10} nella piana di Venafro**
  Luigi Pierno, Valentina Stufara, Antonello Mastromonaco, Mauro Scacciavillani, Maria Grazia Cerroni, Roberta Capati, Michela Ciccone, Simone Iacaruso, Pasquale Rampa, Sergio Caccamo, Alberto Di Ludovico *225*
- **Soluzioni tecnologiche per la prevenzione dei rischi e il benessere degli addetti ospedalieri**
  Daniela Sorrentino, Rosario Crisci, Pasquale Addonizio *226*
- **Metil silossani volatili nell'ambiente indoor**
  Anna Cenni, Manila Raffaelli, Sabrina Vermigli, Maria Cristina Aprea *228*
- **L'attività del Responsabile del Rischio Amianto in alcune strutture pubbliche della Toscana**
  Chiara Breschi, Luca Valori *231*
- **Valutazione dell'esposizione e degli effetti cito-genotossici e ossidativi precoci in addetti alla produzione di nitruro di boro**
  Delia Cavallo, Raffaele Maiello, Anna Maria Fresegna, Aureliano Ciervo, Marco Gentile Giorgia Di Gennaro, Fabio Boccuni, Riccardo Ferrante, Francesca Tombolini, Claudio Natale, Stefania Sabella, Cinzia Lucia Ursini *233*
- **Approccio integrato per lo screening e la valutazione dell'esposizione a sostanze CMR nella produzione di lubrificanti**
  Marta Keller, Luca del Buono, Daniela Forloni, Karol Riva, Lisa Pelenghi *235*
- **Criticità dei pfas per la salute umana e l'ambiente e principali misure di gestione del rischio**
  Elisabetta Barbassa..... *237*
- **Percezione del rischio da esposizione lavorativa ad agenti tossici per la riproduzione.**
  Loreta Tobia, Camilla Lombardo, Riccardo Mastrantonio, Andrea Panichi, Giada Mastrangeli, Elio Tolli, Leila Fabiani *239*
- **Esposizione occupazionale alle emissioni diesel: revisione sistematica dei metodi di monitoraggio, metriche e gestione del rischio**
  Eleonora Pagani, Nicolò Franzosi, Alessio Carminati, Carolina Zellino, Stefano Boscolo, Francesca Borghi, Giovanni De Vito, Andrea Cattaneo, Andrea Spinazzè, Domenico Maria Cavallo *241*
- **Campionamento e analisi di N,N-dimetilformammide aerodispersa in ambiente di lavoro**
  Caterina Boaretto, Martina Toè, Elena Grignani..... *243*
- **Dall'omico al multi-omico: potenzialità degli approcci multipiattaforma nel monitoraggio biologico**
  Michele De Rosa, Mariangela Spagnoli, Fabio Sciubba, Giovanna Tranfo, Federico Marini, Agnieszka Smolinska, Silvia Canepari *244*
- **Validazione di un metodo GC-MS/MS per il monitoraggio del 2-fenil-2-propanolo urinario a basse dosi: applicazione a un campione di popolazione generale**
  Matteo Balestra, Veruscka Leso, Salvatore Della Notte, Alessandro Volpe, Francesco Saverio Robustelli della Cuna, Ivo Iavicoli, Elena Grignani *246*
- **An investigation and a risk assessment simulation of inorganic fibers in facial cosmetics**
  Francesca Graziosi, Silvia Contessi, Francesca Borghi, Roberta Bonfiglioli, Francesco Saverio Violante *248*

Indice degli autori

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

aidii
LA CULTURA DELLA PREVENZIONE
42° Congresso nazionale
di igiene industriale e ambientale

ijoeh
Italian Journal of Occupational
and Environmental Hygiene

Relazioni introduttive

RELAZIONE A INVITO

The art of occupational hygiene in risk assessment method selection

La disciplina dell'igiene occupazionale nella selezione dei metodi di valutazione del rischio

Keywords: occupational hygiene, risk assessment, professional judgement, method selection, exposure assessment

Kerry Cheung[1]

[1] *Better Work Health, Christchurch*

Corresponding author: Kerry Cheung, *kerry@betterworkhealth.co.nz*

Introduction

Occupational hygiene can be defined as the art and science of anticipating, recognising, evaluating, controlling, and confirming workplace hazards. The inclusion of "art" acknowledges that competent practice requires professional judgement alongside scientific method. In practice, the "science" attracts more formal attention: regulatory requirements, and the clarity of comparing personal exposure measurements with an occupational exposure limit draws focus away from the other techniques that can assist in risk characterisation.

Occupational hygienists draw on qualitative methods such as walk-through surveys and control banding, semi-quantitative methods such as exposure modelling, and quantitative methods such as personal exposure monitoring. Despite this diversity, the decision logic governing method selection has received little systematic attention. This paper identifies this practice gap and explores a framework for risk assessment method selection that returns to the "art" of occupational hygiene.

Materials and methods

A narrative review of occupational hygiene practice frameworks and literature on risk assessment method use was conducted, alongside development of reflective questions to illustrate the decisions a structured approach would require.

Results and discussion

The American Industrial Hygiene Association (AIHA) textbook A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures [Jahn et al., 2015] provides a comprehensive practice framework for understanding and conducting exposure assessments in workplaces. It covers the process from characterisation through to reassessment and describes a range of risk assessment techniques; however, it does not address the decision logic by which practitioners select among methods.

Research indicates that qualitative exposure judgements are difficult, highly variable, and experience-dependent [Logan et al., 2011], and that structured tools and models may improve judgement quality. Where judgement is unstructured it is also undocumented and unreproducible. An occupational hygienist unable to articulate why a method was chosen, or why escalation was or was not warranted, cannot demonstrate proportionality in performance-based regulatory environments or to the principle of "as low as reasonably practicable" (ALARP).

Scoping reviews document a broad range of tools in use but do not address how practitioners should select among them [Floeder et al., 2025]. The wider literature evaluates methods within specific hazard or industry contexts, leaving practitioners with tools but not the reasoning to deploy them proportionately.

Quantitative methods provide directly comparable results but are resource-intensive and not always necessary; qualitative or semi-quantitative methods alone may leave exposure uncharacterised. In either case, unstructured selection leaves the choice undocumented and indefensible.

Such guidance would need to address decisions at three moments. Before selecting a method: does the nature of the trigger (e.g. a regulatory notice, a worker complaint, or a routine review) inform how far the assessment must go? During an assessment: at what point do qualitative or semi-quantitative findings warrant escalation to a more rigorous method? After each method: does this finding resolve the decision I came here to make?

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

An occupational hygienist with a structured approach could answer each question, with their answers building confidence to select the next risk assessment method deliberately, to adapt as findings evolve, and to document the reasoning behind their decisions.

Conclusions

The occupational hygiene profession has invested substantially in the "science" of exposure assessment, while the "art" has received comparatively less. A multi-hazard, non-prescriptive framework grounded in practitioner decision logic would address this gap. This paper invites the community to consider what such a framework should look like.

References

Floeder A., Jones R.M., Arnold S.F., 2025. Risk assessment methods in occupational health and hygiene: a scoping review. *Ann. Work Expo. Health*, 69, 120–131.

Jahn S.D., Bullock W.H., Ignacio J.S. (Eds.). *A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures*. 4th ed. AIHA, Fairfax, 2015.

Logan P.W., Ramachandran G., Mulhausen J.R., Banerjee S., Hewett P., 2011. Desktop study of occupational exposure judgments: do education and experience influence accuracy? *J. Occup. Environ. Hyg.*, 8, 746–758.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

RELAZIONE A INVITO

Reframing occupational hygiene: bridging the gap between exposure assessment and effective control

Ripensare l'igiene del lavoro: colmare il divario tra valutazione dell'esposizione e controllo efficace

Matthew Olota[1]

[1] *CMFOH, CIH, ROH*

Corresponding author: Matthew Olota, *matthewolota@gmail.com*

Exposure assessment and measurement remains a fundamental aspect of Occupational Hygiene. While these functions remain essential, there is a growing need to reaffirm their purpose: they are tools in service of a broader goal—protecting workers through effective risk reduction. An overemphasis on measurement alone can inadvertently delay action, contributing to a persistent gap between exposure characterization and the implementation of sustainable controls.

In the context of the International Labour Organization recognition of a safe and healthy working environment as a fundamental principle and right at work, this gap represents a critical challenge for the profession. This presentation calls on hygienists to rebalance practice towards an "exposure control–focused" paradigm, where science and measurement guide—but do not hinder—timely intervention.

The discussion focuses on the practical realities of implementation within complex industrial environments. It examines key enablers of effective exposure control, including decision-making under uncertainty, integration of control technologies, risk communication, and the alignment of operational priorities with health protection objectives. Increasingly, the effectiveness of occupational hygiene practice depends not only on technical competence, but also on the application of essential professional skills such as leadership, communication, collaboration, stewardship and influence.

Central to this approach is the recognition that effective risk reduction is inherently collaborative. Partnerships with workers, allied professionals, regulators, and other stakeholders are essential to ensure that controls are not only technically sound but also practical, accepted, and sustainable over time. The ability of hygienists to translate data into action is therefore closely linked to their capacity to engage, communicate, and influence across organizational boundaries.

By repositioning occupational hygiene as both a scientific and implementation-driven discipline, this presentation reinforces a fundamental principle: measurement is not the end point, but a means to action. The true measure of success lies in the extent to which exposure data are translated into interventions that meaningfully protect worker health.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

RELAZIONE A INVITO

La definizione delle competenze dell'igienista occupazionale: un approccio comune in ambito europeo

The definition of occupational hygienist competencies: a common approach within the European context

keywords: soft skills, qualification level, technician, specialist, senior

Paolo Sacco[1,5], Karen Bufton[2,5], Rudolf van der Haar[3,5], Alessandro Sassi[4,5]

[1] *AIDII - Associazione Italiana degli Igienisti Industriali, Milano*
[2] *BOHS – British Occupational Hygiene Society, Derby (UK)*
[3] *AEHI - Asociación Española de Higiene Industrial, Madrid (ES)*
[4] *SOFHYT - Société Française des Hygiénistes du Travail , Brignais (FR)*
[5] *EPOH – European Platform for Occupational Hygiene, Leuven (BE)*

Corresponding author: Paolo Sacco, *paolo.sacco@icsmaugeri.it*

Introduzione

EPOH (European Platform for Occupational Hygiene, www.epoh.info) è un'organizzazione non-profit, fondata nel 2021 da alcune associazioni nazionali di igiene occupazionale in ambito europeo, fra cui AIDII. EPOH si propone di migliorare, promuovere e sviluppare la pratica professionale dell'igiene occupazionale: a tale scopo, una delle più importanti iniziative sviluppate da EPOH è la costruzione di un quadro delle competenze dei professionisti in igiene occupazionale.

La definizione delle competenze degli igienisti occupazionali in ambito europeo è desiderabile per diverse ragioni, fra cui la convergenza di strategie e modelli usati nel campo dell'igiene occupazionale, indotta dalle direttive e dalle norme europee; un esempio è la figura dell'appraiser, citata nella norma UNI EN 689:2019, che necessita di essere compiutamente definita per quel che riguarda i contenuti della formazione ed i requisiti di esperienza professionale.

Il quadro delle competenze redatto da EPOH è stato progressivamente revisionato e migliorato, mediante un continuo confronto fra le associazioni che fanno parte di EPOH, a partire dal workshop di Dublino del 2024 [Sassi 2025], fino a giungere all'approvazione definitiva, in gennaio 2026.

Metodi

Il quadro delle competenze dell'igienista occupazionale è stato predisposto dal gruppo di lavoro di EPOH partendo da una disamina delle informazioni esistenti, in particolare i moduli formativi OHTA, i quadri delle competenze proposti da WHO e da altre associazioni igienistiche in UE, America, Asia, Oceania. Per la strutturazione dei livelli di competenza sono state inoltre usate la norma UNI 11711:2018 (Attività professionali non regolamentate - Igienista industriale - Requisiti di conoscenza, abilità e competenza) ed i programmi della Faculty of Occupational Hygiene di BOHS.

Risultati e discussione

Il quadro europeo delle competenze in igiene occupazionale approvato da EPOH il 21 gennaio 2026 è allineato col quadro europeo delle qualifiche (EQF) ed è basato sui risultati: ciascuna associazione o paese può determinare la formazione necessaria per raggiungere gli specifici obiettivi di competenza. Sono definiti due livelli, il tecnico (EQF 5) e il professionale o senior (EQF 7); è inoltre previsto un livello aggiuntivo, lo specialista (EQF 6), pensato per chi desidera approfondire temi specifici, ad esempio l'amianto. Mentre per il livello di base (EQF 5) occorre dimostrare una competenza di tipo tecnico, e la capacità di affrontare la valutazione del rischio in scenari non complessi, per il livello senior (EQF 7) è richiesta una competenza più ampia, con capacità di gestire anche scenari complessi. Per ciascun livello sono definiti e dettagliati i compiti, le competenze necessarie, i risultati attesi. Le competenze vanno dalla conoscenza e comprensione dei principi dell'igiene occupazionale, alla valutazione del rischio, alla ricerca ed investigazione, alle capacità esecutive e gestionali, alla comunicazione, fino al rispetto dell'etica professionale ed alla capacità di interagire con altre figure professionali.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Conclusioni

Il quadro europeo delle competenze, approvato nel 2026 da otto associazioni professionali europee, è basato sui risultati dei processi di formazione dei tecnici e professionisti in igiene occupazionale e lascia alle singole associazioni o paesi la definizione dei percorsi formativi necessari e delle modalità di valutazione. Saranno prossimamente intensificati i rapporti con gli stakeholder, nella prospettiva di arrivare ad uno standard europeo delle competenze dell'igienista occupazionale.

Bibliografia

A. Sassi et al. 2025. European Platform for Occupational Hygiene Workshop: Towards a Common Competence Framework in Occupational Hygiene. Annals of Work Exposures and Health 69(5), 459-460

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

LA CULTURA DELLA PREVENZIONE
42° Congresso nazionale
di igiene industriale e ambientale

Italian Journal of Occupational
and Environmental Hygiene

Sessione 1

Innovazione tecnologica, analitica, digitale e modellistica per valutare rischi e impatti

RELAZIONE A INVITO

The consolidated mining standard initiative (CMSI) and opportunities to advance occupational health and hygiene

L'iniziativa consolidata per gli standard minerari (CMSI) e le opportunità per promuovere la salute e l'igiene sul lavoro

Keywords: Sustainable mining, Consolidated Mining Standard Initiative (CMSI), Occupational health and hygiene, Proactive health risk management, Worker well-being

Nancy Wilk[1]

[1] *MHSc, CIH, ROH, FAIHA, International Occupational Hygiene Association (IOHA) Immediate Past-President, ACGIH Representative to IOHA Board, and WSP Mining and Metals Senior Technical Director, EHS and Industrial Hygiene, WSP Canada Inc., Cambridge, Ontario, Canada*

Corresponding author: Nancy Wilk, *nancy.wilk@wsp.com*

In response to calls for more sustainable mining, the Consolidated Mining Standard Initiative (CMSI) brings together the efforts of the Copper Mark, the Mining Association of Canada's Towards Sustainable Mining (TSM), the International Council on Mining and Metals, and the World Gold Council. The initiative establishes one global standard that reduces complexity and clarifies responsible practices for mining companies of all sizes, across all geographies and commodities. The voluntary standard shifts the emphasis from regulatory compliance to proactive, sustainable health risk management. Opportunities for occupational health and hygiene exist within the CMSI through the four key pillars of ethical business practices, worker and social safeguards, social performance, and environmental stewardship and select performance areas under each pillar. This presentation will provide a brief overview of the CMSI including its current timetable, address the need to sustainably resolve the occupational health and hygiene issues of today and tomorrow, provide examples of leading practices relevant to occupational health, safety and well-being, and speak to opportunities to effectively mitigate occupational health risk. Points of alignment with holistic, integrated approaches to worker health and safety and well-being will be noted. Mining's proactive and preventive standard sets an excellent example and leading practices for other sectors. Practical tools for implementation of such approaches will be provided.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

La valutazione dell'esposizione a polveri in radioprotezione e nuovi metodi di misura: opportunità e prospettive

Assessment of dust exposure in radiation protection and new measurement methods: opportunities and perspectives

Keywords: NORM, internal exposure, dosimetry, inhalation

Francesco Frigerio[1], Alice Cimino[1], Giorgio Favorido Barraza[1], Elena Grignani[1]

[1] *ICS Maugeri Spa – Centro Ricerche Ambientali, Padova*

Corresponding author: Francesco Frigerio, *francesco.frigerio@icsmaugeri.it*

Introduzione

In radioprotezione la valutazione dell'esposizione a polveri è necessaria, in particolare nelle attività con materie radioattive di origine naturale (NORM nell'acronimo inglese) e, anche se è eventualità più rara, nelle operazioni di bonifica di siti contaminati.

In generale, è necessario valutare il contributo dell'irraggiamento esterno dovuto alla distribuzione della radioattività sul terreno o in cumuli di materiale, che va sommato alla dose dovuta all'irraggiamento interno per inalazione e ingestione di polvere radioattiva.

La valutazione è basata sulle assunzioni e i metodi di calcolo riportati nel documento Radiation protection 122 Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption – Part II Application of the Concepts of Exemption and Clearance to Natural Radiation Sources, pubblicato dalla Comunità Europea nel 2002 ISBN 92-894-3315-9 (RP-122).

La concentrazione di radionuclidi nelle matrici è tale che, spesso, un irraggiamento distinguibile dal fondo naturale di radiazione si misura solo a breve distanza da cumuli o stoccaggi di materiale. Questo contributo è spesso quello preponderante, anche se in alcuni casi può essere significativa la dose per inalazione, che però è più difficile da determinare.

Per la valutazione di questa, infatti, deve essere determinata la concentrazione di attività di ciascun radionuclide nelle diverse matrici, espressa in Bq/kg.

La normativa di radioprotezione fornisce coefficienti di conversione dose/attività introdotta espressi in Sv/Bq.

Noto il volume inalato (di solito si assume 1,2 m^3/h) la variabile fondamentale per la valutazione di dose da inalazione è la concentrazione in massa della polvere contaminata, espressa tipicamente in µg/m^3.

Al momento, sulla base dei metodi di campionamento consolidati, i coefficienti di conversione dose/attività sono forniti per diversi valori del diametro aerodinamico mediano (AMAD).

Secondo l'International Commission on Radiation Protection (ICRP), che costituisce il riferimento normativo anche per la Comunità Europea, il valore più cautelativo è quello fornito per un diametro mediano di 5 µm, mentre sono disponibili valori anche per AMAD = 1 µm.

La dose da inalazione dipende quindi dalla concentrazione di polvere radioattiva, che si assume costante in tutto il turno di lavoro, ma che era finora determinata dalla quantità di polvere raccolta campionando un determinato volume con un sistema di selezione.

Il dispositivo Radiello Digit, sviluppato da ICS Maugeri, consente di monitorare l'andamento temporale della concentrazione di polvere misurata mediante conteggio per diffusione della luce di un laser, andando a determinare il numero di particelle di diametro inferiore a 10, 2.5 e 1 µm.

Il sistema fornisce i risultati sia in particelle per unità di volume sia in µg/m^3.

In linea di principio, la determinazione della concentrazione nel tempo permetterebbe di definire con migliore accuratezza gli scenari di esposizione: per esempio, sarebbe possibile distinguere, in una movimentazione di sabbia contaminata, l'esposizione di ciascun operatore durante la fase di composizione del cumulo, compresa quella di carico sul veicolo; o ancora, per ciascun carico, si potrebbero distinguere eventuali differenze di concentrazione in base a temperatura e soprattutto umidità ambientale.

Questo studio preliminare si propone di valutare la fattibilità dell'utilizzo di Radiello Digit per le valutazioni descritte, al fine di identificarne i punti di forza e le eventuali criticità.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Valutazione del rischio rumore con focus su effetti extrauditivi, comfort acustico e olografie acustiche

Noise risk assessment with a focus on extra-auditory effects, acoustic comfort, and acoustic holography

Keywords: extra-auditory effects, acoustic comfort, office noise, sound mapping, speech intelligibility

Matteo Cavalli[1]

[1] *Alfasolutions S.p.A.*

Corresponding author: Matteo Cavalli, *cavalli@audioplus.it*

Introduzione

La valutazione del rischio da esposizione a rumore negli ambienti di lavoro, condotta ai sensi del Titolo VIII del D.Lgs. 81/2008, è tradizionalmente orientata alla prevenzione del danno uditivo. Tuttavia, negli ambienti amministrativi assumono particolare rilevanza gli effetti extrauditivi del rumore e le condizioni di comfort acustico, con impatti su benessere, comunicazione e performance lavorativa. Il presente studio descrive un caso applicativo condotto presso la sede Headquarters di Chiesi Farmaceutici S.p.A.

Materiali e Metodi

Le misurazioni fonometriche sono state eseguite secondo UNI 9432 e ISO 9612 mediante strumentazione di classe 1. Per gli ambienti d'ufficio, la valutazione è stata integrata con i criteri di comfort acustico previsti da UNI EN ISO 11690-1, UNI 8199, UNI 11367 e UNI 11532, considerando livelli equivalenti ambientali, rumore di fondo, livello corretto del rumore di impianto (L_{ic}), tempo di riverberazione (RT60) e intelligibilità del parlato (STI). Sono state inoltre realizzate olografie acustiche mediante camera dedicata per individuare le principali sorgenti impiantistiche.

Risultati e Discussione

Negli open space e nelle sale riunioni i livelli di pressione sonora equivalente (LAeq) risultano compresi tra 36 e 42 dB(A) compatibili con attività di concentrazione e comunicazione verbale. L'analisi si è focalizzata sugli effetti extrauditivi del rumore, in particolare interferenza cognitiva, stress, annoyance e disturbo della comunicazione, con riferimento alle soglie di attenzione comprese tra 45 e 55 dB(A) per ambienti a prevalente impegno cognitivo. Le olografie acustiche sono state impiegate come strumento di supporto all'interpretazione dei contributi impiantistici al clima acustico degli ambienti amministrativi, consentendo una lettura spaziale dei fenomeni sonori rilevanti ai fini del comfort e della comunicazione. L'integrazione dei descrittori di comfort acustico e di strumenti avanzati di analisi ha permesso una valutazione più articolata del clima acustico negli ambienti amministrativi.

Conclusioni

Il caso studio evidenzia come, negli ambienti amministrativi, la valutazione del rumore debba estendersi oltre il rischio di danno uditivo, includendo gli effetti extrauditivi e i descrittori di comfort acustico. L'integrazione di criteri normativi e di strumenti avanzati di analisi, quali le olografie acustiche, si conferma efficace per l'individuazione delle criticità e per il supporto alle scelte progettuali e impiantistiche, nonché al loro mantenimento nel tempo.

Bibliografia

Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., Stansfeld, S., 2014. Auditory and non-auditory effects of noise on health. Lancet, 383, 1325–1332.

ISO 9612:2025 Acoustics - Determination of occupational noise exposure - Methodology.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Impronte molecolari dello stress ossidativo: analisi UPLCHRMS degli isoprostani urinari

Molecular fingerprints of oxidative stress: UHPLC-HRMS analysis of urinary isoprostanes

Keywords: Isoprostanes, biomarkers, lipid peroxidation, oxidative damage

Mariangela Spagnoli[1], Alessandra Gentili[2], Agnese Martini[1], Emma Pietrafesa[1], Michele De Rosa[2]

[1] *DIMEILA–- Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone, Roma*

[2] *Dipartimento di Chimica, Sapienza Università di Roma, Roma*

Corresponding author: Mariangela Spagnoli, *m.spagnoli@inail.it*

Gli isoprostani rappresentano attualmente i biomarcatori più affidabili per la valutazione dello stress ossidativo in vivo, in quanto prodotti stabili e specifici della perossidazione lipidica non enzimatica degli acidi grassi polinsaturi. La loro determinazione nelle urine consente una valutazione non invasiva del danno ossidativo sistemico, ma è resa complessa dalle bassissime concentrazioni presenti e dall'elevata eterogeneità strutturale degli analiti. In questo studio è stato sviluppato e validato un metodo analitico basato su cromatografia liquida ad alte prestazioni accoppiata a spettrometria di massa ad alta risoluzione (UHPLC-HRMS) per la determinazione simultanea di diversi isoprostani urinari. L'applicazione a campioni reali ha confermato l'affidabilità del metodo e il ruolo centrale degli isoprostani come indicatori sensibili dello stress ossidativo in contesti clinici e ambientali.

Introduzione

Lo stress ossidativo è una condizione caratterizzata da uno squilibrio tra la produzione di specie reattive dell'ossigeno e la capacità dei sistemi antiossidanti di neutralizzarle, ed è coinvolto nella patogenesi di numerose malattie cronico-degenerative. Tra i principali bersagli del danno ossidativo vi sono i lipidi di membrana, la cui perossidazione porta alla formazione di isoprostani. Questi composti, derivati dalla perossidazione non enzimatica dell'acido arachidonico, sono considerati il gold standard per la valutazione dello stress ossidativo in vivo, grazie alla loro elevata specificità, stabilità chimica e rilevanza biologica [Morrow e Roberts,1999; Milne et al., 2015].

Le urine rappresentano la matrice biologica d'elezione per il dosaggio degli isoprostani, poiché consentono un campionamento non invasivo e una valutazione integrata del carico ossidativo nel tempo. Tuttavia, la determinazione analitica di questi biomarcatori è resa complessa dalla presenza di numerosi isomeri strutturalmente simili e da concentrazioni nell'ordine dei pg/mL. L'obiettivo di questo studio è stato quindi sviluppare e validare un metodo UPLC-HRMS robusto, sensibile e selettivo per la determinazione degli isoprostani urinari, applicabile a campioni reali di interesse clinico e occupazionale.

Materiali e Metodi

Campioni di urina provenienti da soggetti con condizioni patologiche sono stati raccolti previa approvazione dei comitati etici competenti e conservati a −20 °C fino all'analisi. Dopo scongelamento controllato, i campioni sono stati sottoposti a idrolisi acida mediante acido formico per la liberazione degli isoprostani eventualmente presenti in forma coniugata, seguita da neutralizzazione. La procedura estrattiva è stata effettuata mediante estrazione in fase solida (SPE) su cartuccia Waters OASIS HLB. L'analisi è stata effettuata mediante cromatografia accoppiata alla spettrometria di massa ad alta risoluzione QTOF con tecnologia Zeno, operante in polarità negativa (ESI) e modalità MRM. Il metodo è stato validato in matrice utilizzando un pool di urine di soggetti sani, valutando linearità, riproducibilità e sensibilità. I risultati analitici sono stati normalizzati rispetto al contenuto urinario di creatinina, al fine di correggere le differenze di diluizione dei campioni.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Risultati e Discussione

Il metodo sviluppato ha mostrato un'eccellente linearità nel range di concentrazione investigato. I limiti di rilevabilità e quantificazione risultano adeguati per la determinazione degli isoprostani a livelli di traccia, confermando l'elevata sensibilità della piattaforma UPLC-HRMS impiegata.

I recuperi ottenuti sono risultati soddisfacenti e riproducibili, mentre la precisione e l'accuratezza del metodo rientrano nei criteri di accettabilità previsti dalle linee guida internazionali. L'effetto matrice, seppur di tipo soppressivo, è risultato costante e adeguatamente compensato dallo sviluppo del metodo in matrice urinaria.

L'applicazione ai campioni reali ha evidenziato che il 2,3-dinor-8-iso-PGF2α è il biomarcatore più costantemente rilevato, rappresentando un indicatore robusto del carico ossidativo basale. Altri isoprostani mostrano una distribuzione più eterogenea, suggerendo una marcata variabilità interindividuale e un potenziale valore discriminante in relazione a condizioni patologiche o a specifiche esposizioni ambientali.

Conclusioni

Il presente studio descrive lo sviluppo di un metodo analitico UPLC HRMS affidabile e sensibile per la determinazione degli isoprostani urinari. L'approccio adottato, adattata alla matrice biologica e su strumentazione ad alta risoluzione, consente di superare le principali criticità analitiche associate a questi biomarcatori. Le potenzialità applicative in ambito clinico offrono nuove prospettive in quanto molte condizioni cliniche, tra cui la sindrome delle apnee ostruttive del sonno (OSA) — patologia molto diffusa, sottodiagnosticata e sottotrattata, con un forte impatto sulla salute e sicurezza pubblica e occupazionale — sono correlate a un aumento dello stress ossidativo [Cormio et al., 2020; Mazzoccoli et al., 2023]. L'applicazione di questo metodo potrebbe consentire la diagnosi precoce dell'OSA, anche in fase pre-sintomatica, facilitando la rilevazione di alterazioni nel bilancio ossidativo. Gli isoprostani potrebbero essere biomarcatori utili nella sorveglianza sanitaria dei lavoratori a rischio OSA supportando la formulazione del sospetto diagnostico. Inoltre, il monitoraggio degli isoprostani potrebbe contribuire a migliorare la comprensione delle dinamiche fisiopatologiche dell'OSA e delle comorbidità associate, facilitando una visione più profonda dell'evoluzione della sindrome [Mazzoccoli, G., et al. 2023]. I risultati ottenuti confermano il ruolo degli isoprostani come indicatori chiave dello stress ossidativo e dimostrano l'applicabilità del metodo in ambito clinico, ambientale e di biomonitoraggio occupazionale.

Bibliografia

Cormio, L., et al., 2020, The Role of Oxidative Stress in Chronic Diseases: Implications for Prevention and Treatment. Antioxidants, 9(3), 232.

Mazzoccoli, G., et al., 2023. Isoprostanes as Biomarkers of Oxidative Stress in Patients with Obstructive Sleep Apnea. Sleep Medicine Reviews, 68, 101-108.

Milne G.L. Dai Q, Roberts L. J., 2015. The isoprostanes – 25 years later. Biochimica et Biophysica Acta, 1851(4) 433-445. https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2014.10.007

Morrow J.D., Roberts L.J.,1999. The isoprostanes: unique bioactive products of lipid peroxidation. Progress in Lipid Research. 36(1), 1-21. https://doi.org/10.1016/S0163-7827(97)00001-5

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Valutazione del rischio occupazionale nell'olfattometria: il ruolo dei composti ad alta soglia olfattiva

Assessing occupational risk in olfactometry: the role of high odour threshold compounds

Keywords: risk assessment, odour threshold, combustion products

Elisa Polvara[1], Andrea Spinazzè[2], Marzio Invernizzi[1], Selena Sironi[1]

[1] *Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica G. Natta, Politecnico di Milano, Milano (MI)*
[2] *Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia – DiSAT, Università degli Studi dell'Insubria, Como (CO)*

Corresponding author: Marzio Invernizzi, *marzio.invernizzi@polimi.it*

Introduzione

L'olfattometria dinamica è una tecnica sensoriale che coinvolge degli esaminatori, anche detti panellisti, per la quantificazione dell'odore, determinando la concentrazione di odore (Cod espressa in ou_E/m^3), regolamentata a livello europeo dalla norma EN 13725. Durante l'analisi, gli esaminatori sono direttamente esposti, a concentrazione crescente, al campione odorigeno, che può potenzialmente contenere composti pericolosi per la salute umana.

Recenti studi hanno indagato e approfondito il tema della valutazione e della gestione del rischio occupazionale per i pannellisti coinvolti nelle analisi olfattometriche, introducendo nuove metodiche o approcci (Polvara et al., 2021; Polvara et al., 2024) di valutazione del rischio per questa particolare categoria di lavoratori.

Dai precedenti studi si è confermato che la definizione di un livello minimo di diluizione (minimum dilution value, MDV), definito dalla natura e concentrazione delle sostanze presenti nel campione e da non superare durante le analisi per non raggiungere concentrazioni potenzialmente pericolose, rappresenta uno strumento pratico e basato su evidenze tossicologiche per la tutela di questi lavoratori.

Infatti, la presenza di sostanze odorigene, percepibili dal naso umano a basse concentrazioni, consente generalmente di raggiungere la soglia di percezione odorigena per il campione e quindi concludere l'analisi, prima di raggiungere step di diluizione (i.e. livelli di concentrazione) che possano comportare l'esposizione a concentrazioni pericolose per la salute dei lavoratori.

Tuttavia, nonostante questo scenario, rimane ancora poco indagato un aspetto particolarmente rilevante. Infatti, facendo seguito ai risultati ottenuti negli studi precedenti e basandoci su queste osservazioni, la situazione più critica in questo contesto risulta essere quella di campioni che non contengono odoranti facilmente rilevabili dal naso umano. A causa, dunque, della bassa potenzialità odorigena di questi campioni, non è escludibile che durante l'analisi, dovendo raggiungere bassi step di diluizioni, si raggiungano concentrazione dei composti comparabili e più alte dei limiti occupazionale.

Conseguentemente, è assolutamente necessario individuare le sorgenti che potrebbero causare criticità in questo senso e successivamente stabilire il metodo più efficace per effettuare le analisi olfattometriche, riducendo al minimo il rischio per gli esaminatori.

Nel presente lavoro, quindi, si è analizzata l'attività del Laboratorio Olfattometrico del Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "G. Natta" - Politecnico di Milano con l'obiettivo di identificare, all'interno del dataset di campioni analizzati dal laboratorio, le situazioni più critiche.

In particolare, si sono raccolte le concentrazioni di odore misurate per i campioni analizzati e, parallelamente, effettuate delle analisi chimiche ad ampio spettro per identificare i composti presenti nei campioni e le loro concentrazioni. Tali informazioni sono state poi confrontate con le soglie di percezione odorigena (odour threshold, OT) dei composti e con i loro limiti occupazionali al fine di identificare le sostanze e, quindi, i campioni a cui prestare maggiore attenzione.

Esaminando sistematicamente l'intero database dei campioni, la natura dei composti rilevati nelle emissioni e la concentrazione di odore ottenuta dalle analisi olfattometriche, è possibile identificare i prodotti di ossidazione come i composti più critici e quindi campioni prelevati

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

presso sorgenti quali i camini di combustione dovrebbero essere valutati con particolare attenzione in modo particolare e valutare il loro MDV prima di effettuare un'analisi olfattometrica. Infatti, per questo tipo di campioni, i livelli di presentazione raggiunti durante l'analisi possono essere paragonabili al valore minimo di diluizione (MDV, al di sotto del quale non si deve scendere durante l'analisi. Per proteggere la salute dei panellisti, è necessario prestare particolare attenzione a questo tipo di campioni durante l'analisi olfattometrica.

Bibliografia

Polvara E, Spinazzè A, Invernizzi M, Cattaneo A, Sironi S, Cavallo DM. Toxicological assessment method for evaluating the occupational risk of dynamic olfactometry assessors. Regulatory Toxicology and Pharmacology 2021;125:105003. *https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2021.105003*.

Polvara E, Spinazzè A, Invernizzi M, Cattaneo A, Cavallo DM, Sironi S. Probabilistic Approach for Assessing the Occupational Risk of Olfactometric Examiners: Methodology Description and Application to Real Exposure Scenario. Toxics 2024, Vol 12, Page 784 2024;12:784. *https://doi.org/10.3390/TOXICS12110784*.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Spazi confinati in contesto monumentale: valutazione del rischio e gestione operativa nel caso dell'Arena di Verona

Confined spaces in a heritage context: risk assessment and operational management in the Arena di Verona case study

Keywords: confined spaces, risk assessment, heritage sites, digital support, emergency management

Irene Florio[1], **Cinzia Aimone**[2]

[1] *Ares srl*
[2] *Aimone Ingegneria srl Benefit*

Corresponding author: Irene Florio, *irene.florio@ares.to.it*

Introduzione

La gestione del rischio negli spazi confinati rappresenta una criticità rilevante nell'ambito dell'igiene industriale, in particolare quando tali ambienti sono inseriti in contesti storici monumentali caratterizzati da vincoli strutturali e conservativi. Il caso dell'Arena di Verona evidenzia la complessità di coniugare esigenze di tutela del patrimonio con la sicurezza degli operatori, in presenza di ambienti ipogei, accessi limitati e potenziali accumuli di contaminanti. In tali contesti, la valutazione del rischio è tradizionalmente basata su approcci esperti, caratterizzati da una significativa componente interpretativa e da limitata standardizzazione, mentre la gestione operativa risulta spesso non adeguatamente tracciata.

Materiali e Metodi

L'attività è stata sviluppata mediante sopralluoghi tecnici finalizzati al censimento degli ambienti confinati e/o assimilabili presenti all'interno del sito, con successiva analisi secondo i criteri della norma UNI 11958. La valutazione del rischio è stata articolata prima e dopo l'applicazione delle misure di prevenzione e protezione ed è stata supportata da un software dedicato, utilizzato per la sistematizzazione del processo valutativo mediante l'integrazione di parametri strutturali, ambientali e operativi.

Parallelamente, è stato implementato un sistema digitale per la gestione dei permessi di lavoro e la tracciabilità della vigilanza operativa, basato su QR code e ambienti virtuali interattivi. Il sistema consente la compilazione di checklist digitali contestualizzate, la gestione degli stati autorizzativi e la registrazione tracciata degli accessi e delle verifiche, integrando gli aspetti autorizzativi e operativi nel processo di valutazione del rischio. Il sistema supporta inoltre la gestione delle emergenze attraverso l'associazione delle procedure di intervento agli specifici ambienti e la disponibilità immediata delle informazioni operative per il soccorso.

Risultati e Discussione

L'analisi ha consentito di individuare ambienti classificabili come spazi confinati, tra cui la zona sottopalco e i cunicoli sotterranei, caratterizzati da accessi limitati, ventilazione sfavorevole e criticità operative rilevanti. L'utilizzo degli strumenti digitali ha contribuito a rendere più coerente e tracciabile il processo di valutazione, riducendo la variabilità interpretativa senza sostituire il giudizio tecnico.

L'integrazione con il sistema di gestione dei permessi di lavoro e della vigilanza ha inoltre consentito di migliorare il controllo operativo degli accessi agli ambienti confinati, rendendo disponibili dati oggettivi e storicizzati relativi alle attività svolte. Ciò ha permesso di superare la logica episodica dei controlli, trasformando la vigilanza in un processo strutturato di raccolta dati a supporto della valutazione del rischio e del miglioramento continuo.

La gestione delle emergenze risulta anch'essa migliorata, grazie alla disponibilità immediata delle informazioni relative agli ambienti, agli accessi e alle condizioni operative, con potenziale riduzione dei tempi di intervento in caso di evento critico.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

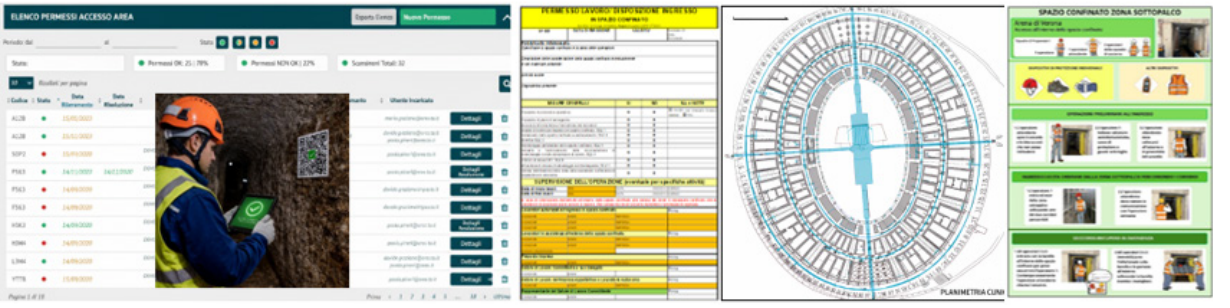


Figura 1. Output del sistema digitale per la gestione dei permessi di lavoro e della vigilanza operativa.

Conclusioni

Il caso studio evidenzia come l'integrazione tra approccio normativo, strumenti di supporto alla valutazione e sistemi digitali per la gestione operativa consenta una gestione più strutturata degli spazi confinati in contesti complessi. La tracciabilità delle attività di vigilanza e dei permessi di lavoro contribuisce a migliorare la coerenza tra valutazione e operatività, fornendo dati utili al miglioramento continuo del DVR. L'integrazione con la gestione delle emergenze consente inoltre di rafforzare la capacità di risposta in contesti complessi quali i cunicoli sotterranei. Rimane centrale il ruolo della formazione e della consapevolezza del rischio quale elemento chiave per la prevenzione degli incidenti.

Bibliografia

Documento Tecnico AIDII 27 febbraio 2025 n.1_2025

D.P.R. 177, Regolamento recante norme per la qualificazione delle imprese e dei lavoratori operanti in ambienti confinati o sospetti di inquinamento, 2011

McManus N., Confined Spaces: Safety and health in Confined Spaces, Lewis Publisher, 1999.

UNI 11958, Ambienti confinati e/o sospetti di inquinamento – Criteri per l'identificazione dei pericoli e la valutazione dei rischi. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Automated classification of recycled polymers via ATR-IR spectroscopy and machine learning

Classificazione automatizzata di polimeri riciclati tramite spettroscopia ATR-IR e machine learning

Keywords: Infrared Spectroscopy, Plastics, Machine Learning, Quasar

Rosanna Mosetti[1,2], Tiziana Mancini[2], Andrea Della Valle[3], Andrea Perali[3], Sebastiano Pilati[3], Annalisa D'Arco[2], Stefano Lupi[2]

[1] *Dept. of SBAI, Sapienza University of Rome, Rome, Italy*
[2] *Dept. of Physics, Sapienza University of Rome, Rome, Italy*
[3] *CQM group School of Pharmacy, University of Camerino, Camerino (MC), Italy*

Corresponding author: Rosanna Mosetti, *rosanna.mosetti@uniroma1.it*

Introduction

The uncontrolled growth in plastic production, consumption, and use has significantly intensified environmental pollution worldwide. In this context, the recycling and valorisation of post-consumer plastics represent strategic and necessary actions to mitigate this escalating problem. Recycling processes are governed by strict international regulations requiring recycled polymers to match the physical properties and quality standards of their virgin plastics. Achieving this objective demands precise and reliable classification of these materials, both before and after recycling. To address this challenge, we combine IR spectroscopy with advanced Machine Learning (ML) techniques.

Materials and Methods

The samples consist of four different types of black and dark colored recycled plastic granules, produced through mechanical extrusion processes: High-Density Polyethylene type B (HDPE-B) and P (HDPE-P), Low-Density Polyethylene (LDPE) and Polypropylene (PP). A Bruker INVENIO X FT-IR spectrometer (Bruker Corp., Billerica, MA, USA) equipped with a 45° angle diamond single-reflection ATR module and a wide-range DLaTGS detector was used to collect ATR-IR spectra of plastic granules. A multi-classifier approach based on Quasar program was designed and tested on a pre-processed IR dataset for the classification of the four post-consumer recycled plastics. In addition, a custom Convolutional Neural Network (CNN) method was used for the classification task.

Results and Conclusion

In this study, we propose and validate a rapid and automated ML–based framework for the classification of four commonly used polymers, leveraging a dedicated IR spectral database obtained from original experimental measurements. Using the open-source Quasar platform [Toplak et al., 2021], we explored its potential as a practical and accessible tool for handling and processing spectral data in classification tasks. Within this environment, multiple corroborated algorithm approaches were evaluated and compared [Hufnagl et al., 2019; de Back et al., 2022; Stavinski et al., 2023; Andraju et al., 2022; Lee et al., 2010], alongside a specifically designed Convolutional Neural Network (CNN), with the aim of identifying effective strategies for accurate polymer recognition. Rather than focusing on highly detailed optimization, our work highlights the general workflow, including data preparation, model selection, and performance evaluation, emphasizing the importance of choosing suitable algorithms and processing techniques. The results demonstrate that both traditional ML models and the CNN approach can provide reliable classification outcomes, with the latter offering the advantage of automatically extracting relevant features directly from the spectral data. Overall, this methodology represents a scalable and efficient solution for improving plastic identification processes. Its implementation can support industrial recycling applications by enhancing sorting accuracy and reducing processing complexity, ultimately contributing to the production of higher-quality recycled materials and promoting more sustainable circular economy practices.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

References

Andraju, N., et al., 2022. Machine-Learning-Based Predictions of Polymer and Postconsumer Recycled Polymer Properties: A Comprehensive Review. ACS Appl. Mater. Interfaces, 14, 42771–42790.

Back, H. de M., et al.,2022. Training and Evaluating Machine Learning Algorithms for Ocean Microplastics Classification through Vibrational Spectroscopy. Chemosphere, 287, 131903.

Lee, C.-H., et al., 2010. Characteristics and Discrimination of Five Types of Wood-Plastic Composites by FTIR Spectroscopy Combined with Principal Component Analysis. Holzforschung, 64.

Stavinski, N., et al., 2023. Mid-Infrared Spectroscopy and Machine Learning for Postconsumer Plastics Recycling. Env. Sci.: Advances 2, 1099–1109.

Toplak, M, et al., 2021. Quasar: Easy Machine Learning for Biospectroscopy. Cells, 10, 2300.

Hufnagl, B., et al., 2019. A Methodology for the Fast Identification and Monitoring of Microplastics in Environmental Samples Using Random Decision Forest Classifiers. Anal. Methods, 11, 2277–2285.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Droni per la distribuzione di prodotti fitosanitari: lo stato dell'arte tra normativa e ricerca per la valutazione dell'esposizione dell'operatore

Drone pesticide application: the state of the art between regulations and research for assessing operator exposure

Keywords: operator exposure, residues, plant protection products, mixing and loading, unmanned aerial spray systems

Renato Cabella[1], **Monica Gherardi**[1]

[1] *INAIL Dipartimento di Medicina, Epidemiologia Igiene del Lavoro e Ambientale, Centro Ricerche di Monte Porzio Catone (RM)*

Corresponding author: Renato Cabella, *r.cabella@inail.it*

Introduzione

Negli ultimi anni il settore agricolo ha manifestato un interesse crescente per le nuove tecnologie di Agricoltura 4.0 che implicano sistemi avanzati di controllo in grado di ottimizzare le coltivazioni, aumentare la sostenibilità e l'efficienza. Tra questi, i droni trovano già oggi un utilizzo rilevante in agricoltura in attività di mappatura, controllo e monitoraggio di terreni e colture con indubbi vantaggi in termini di rapidità degli interventi e di riduzione dell'impiego di risorse umane e mezzi rispetto alle modalità operative tradizionali e il loro impiego per trattamenti con prodotti fitosanitari (PF) è oggetto di studio e ricerca per valutarne i benefici e l'impatto sull'esposizione umana e ambientale. In Asia, tale utilizzo è consolidato ormai da diversi anni, in particolare per la difesa delle colture di riso e grano, diversamente da quanto avviene nell'Unione Europea dove l'uso del mezzo aereo per la distribuzione di PF è vietato, salvo specifiche deroghe subordinate al rispetto di determinati requisiti e condizioni. In Italia, solo recentemente, il legislatore ha inteso concedere, per un periodo di tre anni, l'utilizzo in via sperimentale dell'irrorazione aerea con droni su terreni agricoli. In questo contesto, ai fini della revisione della normativa comunitaria, è necessario disporre di dati di confronto tra l'impiego di sistemi di irrorazione aerea senza equipaggio (UASS) e attrezzature convenzionali di distribuzione di PF. Per contribuire alla disponibilità di tali dati di confronto, il Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e ambientale dell'INAIL svolge attività di studio e ricerca scientifica dedicata allo studio dell'esposizione umana e dei fenomeni di deriva determinati dall'impiego di droni aerei per la distribuzione di prodotti fitosanitari (PF).

Materiali e Metodi

Il progetto di ricerca scientifica si basa su studi sperimentali in campo, per la valutazione comparativa relativamente a deriva dell'irrorazione, esposizione dell'operatore, residui ed efficacia durante l'impiego con tecniche convenzionali e con droni. In una prima fase del progetto, è stata condotta una ricerca bibliografica di pubblicazioni scientifiche, report interni pertinenti e informazioni disponibili in rete utilizzando, singolarmente e in combinazione, i termini di ricerca "Drone-unmanned-Uncrewed-Remotely-Aerial Spray Systems", "Operator", "Exposure" e "drift". Di seguito vengono presentati i risultati della ricerca relativamente alla valutazione dell'esposizione dell'operatore.

Risultati e Discussione

Ad oggi non sono disponibili linee guida specifiche sulla conduzione di studi di campo per la valutazione dell'esposizione degli operatori impegnati nella distribuzione di prodotti fitosanitari mediante droni. A tal proposito, l'OECD raccomanda la necessità di intraprendere azioni per migliorare l'affidabilità dei dati attraverso lo sviluppo di protocolli di test standard [OECD, 2021]. Per valutare l'esposizione degli operatori, sono necessarie informazioni sul potenziale di esposizione ai residui presenti sulle attrezzature e derivanti da attività quali l'utilizzo, la miscelazione, il carico, la manutenzione, la pulizia

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

e il trasporto. L'esposizione degli operatori dipende da diversi fattori quali: distanza rispetto al drone durante l'irrorazione, tipo di coltura trattata, tipo di attrezzatura utilizzata, condizioni atmosferiche. Secondo una recente revisione della letteratura pubblicata [Bonds et al. 2024], è possibile confermare l'opinione diffusa secondo cui le applicazioni mediante UASS presentano un potenziale di esposizione inferiore alle applicazioni manuali con zaino a spalla, ma per altre fasi operative esclusive degli UASS, come miscelazione e carico, pulizia e manutenzione, sono necessarie maggiori informazioni. Infine, gli autori concludono che sono necessari maggiori dati di confronto con macchine irroratrici e atomizzatori convenzionali e segnalano l'assenza di dati di confronto dell'esposizione nel caso di impiego di trattori senza cabina. Altri studi condotti su vigneti suggeriscono che l'impiego di UASS riduce l'esposizione cutanea grazie alla distanza tra l'operatore e il drone [Sánchez-Fernández et al. 2025]. Tuttavia, sono stati verificati punti critici di esposizione durante le fasi di miscelazione, carico e altre attività ausiliarie, per i quali i livelli di esposizione cutanea misurata superano le stime dei modelli esistenti. Questi elevati livelli di esposizione sono attribuibili alla maggiore frequenza e concentrazione della soluzione nella manipolazione dei PF nelle operazioni di irrorazione aerea senza pilota rispetto ai metodi di irrorazione tradizionali. Per quanto riguarda la situazione nazionale, si segnala che l'esposizione dell'operatore è stata misurata in studi di campo condotti sulla viticoltura eroica ma, al momento, i risultati degli studi non sono ancora stati pubblicati.

Conclusioni

I risultati della ricerca bibliografica evidenziano la necessità di disporre di maggiori dati e informazioni relativamente all'esposizione dell'operatore determinata dall'impiego di UASS per la distribuzione di PF. In mancanza di linee guida specifiche si raccomanda comunque di seguire la linea guida OECD per la conduzione di studi sull'esposizione professionale ai pesticidi durante l'applicazione agricola (OECD, 1997). Si rende inoltre necessario implementare strategie mirate di mitigazione del rischio per migliorare la sicurezza degli operatori, come l'implementazione di sistemi di trasferimento chiusi, protocolli di manipolazione ottimizzati e dispositivi di protezione individuale specifici. A tal proposito, l'attività di ricerca scientifica dell'INAIL dedicata allo studio dell'esposizione umana e dei fenomeni di deriva determinati dall'impiego di droni aerei per la distribuzione di prodotti fitosanitari (PF) intende rispondere alla necessità di ottenere dati sperimentali di esposizione e deriva, utilizzabili anche in ambito regolatorio, al fine di garantire la sicurezza dei trattamenti.

Bibliografia

Jane A. S. Bonds, Naresh Pai, Sarah Hovinga, Katie Stump, Rebecca Haynie, Sheila Flack, Travis Bui., 2024. Spray drift, operator exposure, crop residue and efficacy: early indications for equivalency of uncrewed aerial spray systems with conventional application techniques. *Journal of the ASABE*. 67(1), 27-41.

Luis Sánchez-Fernández, Francisco Díaz-García, Manuel Pérez-Ruiz, Pilar Sandin-España, Jose Luis Alonso-Prados, Miguelina Mateo-Miranda, Jorge Martínez-Guanter, Esther García-Montero, Maria del Carmen Márquez, Isaac Abril-Muñoz., 2025. Dermal Exposure of Operators, Bystanders and Residents Derived from Unmanned Aerial Spraying Systems (UASS) in Vineyard. *Drones 9, 345*.

OECD. *Report on the State of the Knowledge – Literature Review on Unmanned Aerial Spray Systems in Agriculture*, OECD Series on Pesticides, No. 105. 2021.

OECD. *Guidance Document for the Conduct of Studies of Occupational Exposure to Pesticides During Agricultural Application*. OECD Series on Testing and Assessment, No. 9. 1997.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

LA CULTURA DELLA PREVENZIONE
42° Congresso nazionale
di igiene industriale e ambientale

Italian Journal of Occupational
and Environmental Hygiene

Sessione 2

Valutazione e gestione del rischio per gli agenti cancerogeni: focus amianto

RELAZIONE A INVITO

Valutazione dell'esposizione passiva ad amianto alla luce del D.Lgs. 213/2025: confronto fra algoritmi e dati analitici

Assessment of passive asbestos exposure in light of Italian Legislative Decree 213/2025: cross - validation between algorithms and analytical data

Keywords: airborne concentrations, electron microscopy, regulatory gap, ALARP criterion, conservation state index

Gianandrea Maria Gino[1]

[1] *Studio Sirt, Milano*

Corresponding author: Gianandrea Maria Gino, *g.gino@sirt.it*

Introduzione

Il D.Lgs. 213/2025, recependo la Direttiva 2023/2668/UE, ha profondamente modificato il Capo III del Titolo IX del D.Lgs. 81/2008 relativo alla protezione dei lavoratori dall'esposizione ad amianto. Fra le diverse novità rilevanti: la riduzione del valore limite di esposizione professionale (VLEP) da 0,1 a 0,01 ff/cm^3 e l'obbligo di impiego della microscopia elettronica a scansione (SEM) come metodo analitico di riferimento (dal 21 dicembre 2029 comprendendo anche le fibre di larghezza inferiore a 0,2 µm), con un approccio fondato sul criterio igienico-occupazionale ALARP e la nota piramide rovesciata con analisi di rischio nel caso di manipolazione attiva da parte dei lavoratori.

Il campo di applicazione comprende tutte le attività nelle quali vi è rischio per la salute dei lavoratori, che deriva o può derivare dall'esposizione all'amianto durante il lavoro e, per qualunque intervento in edifici anteriori al 1992, è previsto l'obbligo di identificazione preventiva dell'amianto con un operatore qualificato conformemente alle leggi e alle prassi nazionali.

Per la valutazione dello stato di conservazione degli immobili con materiali contenenti amianto (MCA), in forza del D.M.6 settembre 1994, non modificato dal D.Lgs. 213/2025, le Regioni hanno adottato metodi indicizzati per la verifica dello stato di conservazione, e dal 2023 è stata pubblicata la prassi di riferimento UNI/PdR 152.1:2023 Materiali contenenti amianto - Parte 2: Requisiti di conoscenza, abilità, autonomia e responsabilità del Responsabile del rischio amianto.

In occasione dell'entrata in vigore del D.Lgs. 213/2025, in un immobile con MCA compatti in buono stato di conservazione adibito ad uso lavorativo, ancorché in assenza di manipolazione attiva dei MCA, a titolo cautelativo si è proceduto ad una rivalutazione del rischio verificando i risultati di diversi algoritmi regionali e incrociando gli esiti con un monitoraggio di fibre aerodisperse.

Materiali e Metodi

L'immobile è un fabbricato isolato, monopiano, di circa 2.300 m^2 in zona periferica, edificato tra il 1982 e il 1987, adibito a magazzino/archivio e per circa 300 m^2 ad ufficio. Nell'immediato intorno sono presenti un'area pertinenziale a parcheggio, un edificio terziario (~30 m) e uno residenziale (~60 m).

La copertura è in lastre ondulate di fibrocemento, non trattate superficialmente, senza rotture, sfaldature o fibre affioranti né licheni o muschi; inferiormente è controsoffittata con pannelli in cemento amianto grecati, anch'esso in buono stato di conservazione e senza tracce di infiltrazioni di acqua. Nei locali ad uso ufficio è presente un ulteriore controsoffitto secondario in quadrotti di gesso posati su un'intelaiatura metallica a vista.

I parametri dell'immobile sono stati impiegati per verificarne lo stato di conservazione secondo gli algoritmi adottati da alcune Regioni e a loro volta raffrontati con la prassi di riferimento UNI/PdR 152.1:2023 (Tabella I).

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Tabella I. Risultati dell'applicazione di algoritmi per la valutazione dello stato di conservazione.

Regione	Riferimento normativo	Risultato
Rif. nazionale	UNI/PdR 152.1:2023	Controllo annuale.
Emilia-Romagna	Linee guida regionali Rev. dic. 2021 (DGR 1945/2017)	Rivalutazione almeno ogni 3 anni.
Lazio	DGR 563/2017 + CRRA Lazio "AMLETO" rev. giu. 2021	Controllo annuale.
Liguria	DDG 12/12/2025 n. 9104 (dal 01/01/2026)	Monitoraggio almeno annuale.
Lombardia	D.d.g. 18/11/2008 n. 13237; PRAL (DGR VIII/1526/2005)	Rivalutazione ogni 2 anni.
Piemonte	DGR 18/12/2012 n. 40-5094	Nessuna bonifica urgente; monitoraggio periodico.
Toscana	DCR 14/02/2017 n. 7; PRTA agg. DCR 29/07/2025 n. 64	Controllo annuale.
Veneto	DGR 15/03/2011 n. 265	Rivalutazione ogni 2 anni.

In considerazione dell'impiego ad uso lavorativo, per verificare l'assenza di qualsiasi potenziale esposizione passiva è stato effettuato un monitoraggio di fibre aerodisperse mediante campionamenti d'area in tre punti: magazzino, ufficio e area esterna pertinenziale (~10 m dall'edificio). I prelievi sono stati ripetuti tre volte a distanza di una settimana, con analisi SEM condotte da un laboratorio accreditato, secondoil D.M. 06/09/1994 All. 2.

Risultati e Discussione

La concentrazione di fibre di amianto in tutti i referti è risultata inferiore al limite di quantificazione (LOQ) pari a 0,03 ff/L. Il campionamento esterno (~10 m dall'edificio) ha avuto l'obiettivo di valutare il potenziale contributo dei MCA alle concentrazioni interne rispetto al fondo ambientale locale. Poiché tutte le misurazioni, sia negli ambienti interni (magazzino, ufficio) sia nel punto esterno, sono risultate al di sotto del LOQ di 0,03 ff/L, non è possibile calcolare un rapporto interno/esterno quantitativo né una caratterizzazione qualitativa delle tipologie di fibre di amianto; tuttavia, la convergenza dei risultati sotto soglia in tutti e tre i punti esclude un contributo misurabile dei MCA alle fibre aerodisperse nell'ambiente di lavoro e al contempo colloca le concentrazioni interne nel contesto del fondo ambientale.

Per l'applicazione della Direttiva 2023/2668/UE, recepita con il D.Lgs. 213/2025, sono disponibili le Guidelines 2025 della Commissione Europea che non introducono un valore numerico di restituibilità post-bonifica, ma richiedono che le concentrazioni aerodisperse risultino ben al di sotto del VLEP applicabile (Section 8.2.4.3), rinviando agli Stati membri l'emanazione di regolamentazione specifica.

Allo stato in Italia i criteri di restituibilità, e quindi di occupabilità anche ad uso lavorativo, sono quelli stabiliti dal D.M. 06/09/1994 che richiede una concentrazione di fibre aerodisperse misurata in SEM ≤ 2 ff/L.

Ricordando che il nuovo VLEP è pari a 10 ff/L (0,01 ff/cm^3), il rapporto con il limite di restituibilità si riduce da 50:1 a 5:1. Questo ravvicinamento, unito alla transizione obbligatoria alla SEM ed alle più stringenti restrizioni introdotte, rende urgente l'aggiornamento del D.M. 06/09/1994 [3].

Nel caso in esame, a stretto rigore i campionamenti in punti fissi non consentirebbero di verificare direttamente la conformità al VLEP, ma i risultati, inferiori al LOQ e di almeno due ordini di grandezza inferiori al VLEP, dimostrano l'assenza di fibre quantificabili nell'ambiente coerente con lo stato di buona conservazione dei MCA compatti dell'immobile.

Conclusioni

In un immobile realizzato circa 40 anni fa, ad uso lavorativo, tutti gli algoritmi di valutazione dello stato di conservazione applicati hanno escluso una necessità di bonifica immediata cogente (Tabella I).

Ad ulteriore verifica dell'assenza di dispersione di fibre in ambiente, per escludere cautelativamente anche per altra via un'esposizione passiva dei lavoratori è stato effettuato un monitoraggio con SEM che ha restituito valori inferiori al LOQ di 0,03 ff/L.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

L'esposizione a fibre aerodisperse nell'immobile è risultata trascurabile rispetto al nuovo VLEP di 10 ff/L introdotto dal D.Lgs. 213/2025 e significativamente inferiore rispetto alle 2 ff/L richieste dal D.M. 06/09/1994.
Si osserva infine un disallineamento normativo fra i nuovi standard del D.Lgs. 213/2025 e i criteri stabiliti dall'ormai datato D.M. 6 settembre 1994, tenendo anche conto della prassi di riferimento UNI/PdR 152.1:2023 e di un auspicabile progressivo adeguamento anche delle regolamentazioni regionali.

Bibliografia

D.Lgs. 4 dicembre 2025, n. 213. Attuazione della Direttiva (UE) 2023/2668 recante modifica della Direttiva 2009/148/CE relativa alla protezione dei lavoratori contro i rischi connessi con un'esposizione all'amianto durante il lavoro. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, 30 dicembre 2025, n. 303.

European Commission. Guidelines for managing asbestos-related health and safety risks at the workplace. SWD(2025) 400 final. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2025.

D.M. 6 settembre 1994. Normative e metodologie tecniche di applicazione dell'art. 6, comma 3, e dell'art. 12, comma 2, della legge 27 marzo 1992, n. 257, relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Serie Generale n. 220 del 20 settembre 1994, Supplemento Ordinario n. 129.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Presenza vs assenza: limiti interpretativi del dato analitico nella valutazione del rischio da agenti cancerogeni in ambienti a bassa esposizione – il caso amianto

Presence vs absence: interpretative limits of analytical data in assessing carcinogenic risk in low-exposure environments – the asbestos case study

Keywords: Asbestos; man-made vitreous fibers; airborne fibers; limit of detection; exposure assessment

Cinzia Aimone[1], Angelo Rostagnotto[2]

[1] *Aimone Ingegneria srl benefit*
[2] *Studio Ingegneria Industriale ing. Angelo Rostagnotto*

Corresponding author: Cinzia Aimone, *c.aimoneingegneria@gmail.com*

Introduzione

La gestione del rischio associato alla presenza di materiali contenenti amianto (MCA) e fibre artificiali vetrose (FAV) si fonda su un percorso strutturato che comprende la mappatura dei materiali, la valutazione del loro stato di conservazione e l'analisi delle attività che possono determinare il rilascio di fibre. Tali elementi, integrati con i risultati delle campagne di monitoraggio ambientale, consentono di pervenire alla valutazione dell'esposizione ai sensi del D.Lgs. 81/08.

Nell'ambito degli agenti fibrosi classificati come cancerogeni o sospetti cancerogeni, quali amianto e alcune FAV, la valutazione delle fibre aerodisperse può, altresì, presentare particolare criticità in condizioni di basse concentrazioni.

Materiali e Metodi

Il lavoro analizza casi applicativi relativi ad ambienti industriali caratterizzati dalla presenza di coibentazioni, insonorizzazioni, pannellature e componenti impiantistiche riconducibili sia a MCA sia a FAV.

A seguito del censimento dei manufatti, in presenza di potenziali sorgenti di rilascio è stato effettuato il monitoraggio delle fibre aerodisperse, analizzate mediante microscopia elettronica a scansione (SEM) con microanalisi (EDX), adottando un approccio metodologico omogeneo.

L'analisi si è basata su serie storiche pluriennali di dati e sul confronto tra risultati ottenuti in differenti condizioni analitiche.

Risultati e Discussione

In condizioni di concentrazione prossima al limite di rilevabilità, il dato analitico risulta fortemente influenzato dal numero estremamente limitato di eventi osservabili, assumendo un carattere discreto più che continuo.

L'analisi in contraddittorio di campioni analoghi può evidenziare esiti non sovrapponibili, riconducibili alla variabilità intrinseca del processo analitico. Un caso applicativo ha evidenziato il passaggio da valori storicamente inferiori al limite di rilevabilità a valori dell'ordine di 1–2 ff/L (SEM), non coerenti con il quadro complessivo e riconducibili alla variabilità del metodo piuttosto che a una reale modifica dell'esposizione.

Tali valori, pur non trascurabili in termini teorici, devono essere oggetto di specifica attenzione e giustificazione tecnica, **pur richiedendo adeguata cautela interpretativa**, considerando lo stato dei materiali, le attività svolte e la coerenza con la serie storica.

In assenza di valori limite specifici per alcune FAV, il confronto con riferimenti adottati per l'amianto (es. 2 ff/L in SEM) può costituire un utile elemento interpretativo, senza assumere valore normativo.

Conclusioni

La valutazione dell'esposizione a fibre aerodisperse in ambienti di lavoro rappresenta un tema centrale nell'ambito dell'igiene industriale, in particolare nei contesti in cui coesistono materiali contenenti amianto e fibre artificiali vetrose (FAV). In tali scenari, la distinzione tra presenza e reale esposizione assume un ruolo determinante ai fini della corretta stima del rischio.

Il contributo propone un approccio metodologico unitario alla valutazione dell'esposizione, fondato sul parallelismo tra differenti tipologie di fibre e sull'integrazione di tecniche analitiche complementari (MOCF/SEM), con particolare attenzione al limite di rilevabilità e al significato statistico del dato analitico in condizioni di basse concentrazioni.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

In contesti caratterizzati da livelli prossimi allo zero, l'individuazione di singoli eventi fibrosi può non essere rappresentativa di una esposizione significativa, mentre l'assenza sistematica di fibre, a fronte di metodiche a elevata sensibilità, costituisce un indicatore più robusto di controllo del rischio. La valutazione dell'esposizione non può pertanto basarsi esclusivamente sul dato analitico, ma richiede un approccio integrato che consideri la qualità del processo di misura, il limite di rilevabilità, lo stato dei materiali, le attività e la storia del sito. Amianto e FAV condividono inoltre una modalità di esposizione legata alla presenza nei manufatti e negli impianti, distinguendosi da altri agenti cancerogeni e rendendo appropriato un approccio unitario e parallelo nella valutazione.

Bibliografia

UNI EN 689, Esposizione nei luoghi di lavoro - Misurazione dell'esposizione per inalazione agli agenti chimici - Strategia per la verifica della conformità coi valori limite di esposizione occupazionale, 2019

Atto n. 211/CSR: Fibre Artificiali Vetrose (FAV): "Linee guida per l'applicazione della normativa inerente ai rischi di esposizione e le misure di prevenzione per la tutela della salute" – Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano, Aggiornamento 2013

Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81. Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, 2008.

Decreto Ministeriale 6 settembre 1994. Normative e metodologie tecniche di applicazione della legge 27 marzo 1992, n. 257, relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto, 1994

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Sviluppo di un percorso di formazione e addestramento, con definizione dei requisiti professionali, per il personale addetto al campionamento di fibre aerodisperse di amianto

Development of a training program, including the definition of professional requirements, for personnel responsible for sampling airborne asbestos fibers

Keywords: SEM-EDS, flow meter, qualification, skills

Arianna Ballarin[1], Daniele Carpanelli[2], Claudia Conca[2], Caterina D'Andria[2], Francesco Daniele[1], Francesco Gavazzeni[1], Saverio Pappagallo[2], Rocco Ruggiero[2], Sonia Vitaliti[1]

[1] *ATS Milano, SC Laboratorio di Prevenzione, Milano*
[2] *ATS Milano, SC Prevenzione e Sicurezza negli Ambienti di Lavoro, Milano*

Corresponding author: Arianna Ballarin, aballarin@ats-milano.it

Introduzione

Il DM 14/05/1996 stabilisce i requisiti minimi per le attività di campionamento e per le metodiche analitiche nel settore amianto. Nell'ultimo biennio 2024-2025, il tavolo tecnico di coordinamento centrale ha introdotto, accanto al protocollo sui laboratori, anche quello sull'attività di campionamento di amianto aerodisperso. Il programma prevede requisiti obbligatori sulla strumentazione e sulla sua taratura, e identifica il personale laureato, responsabile del campionamento, e quello diplomato, addetto al campionamento. Tuttavia, al di là del titolo di studio, l'unico requisito aggiuntivo richiesto rimane la "comprovata esperienza nel settore", senza indicazioni operative su come valutarla. Anche le numerose norme pubblicate negli ultimi anni sui soggetti operanti nell'ambito dei materiali contenenti amianto si limitano allo stesso criterio, lasciando un vuoto significativo, nonostante il campionamento costituisca una fase determinante per la qualità del risultato analitico finale.

Discussione

Il Dipartimento di Igiene e Prevenzione Sanitaria di ATS Milano ha istituito un gruppo di lavoro, composto da personale del Laboratorio di Prevenzione e della SC PSAL, per definire i requisiti e le modalità di qualificazione degli addetti al campionamento di fibre aerodisperse. Il percorso proposto, accreditato ECM, ha combinato una formazione teorica sulle tecniche di campionamento e sulle principali norme di riferimento con un programma di addestramento pratico individuale. I contenuti hanno riguardato le strategie di campionamento, il funzionamento delle pompe ad alto flusso, l'utilizzo del flussimetro digitale, la corretta compilazione del verbale e l'uso dei DPI. L'attività di campionamento è stata scomposta in 25 fasi elementari, sintetizzate in una check list per la verifica pratica delle competenze.

Sono stati selezionati specialisti con esperienza documentata per affiancare attivamente i discenti, individuati tra tecnici della prevenzione, chimici e tecnici di laboratorio. La piena acquisizione delle competenze è stata definita subordinata alla partecipazione ad almeno due attività di campionamento sul campo, con esito positivo. A tale scopo è stato individuato un cantiere di rimozione del ballast ferroviario, contesto all'aperto con un cronoprogramma dei lavori sufficientemente lungo, come prima esperienza per prendere familiarità con la strumentazione. Una seconda attività presso un cantiere di bonifica di amianto friabile, finalizzata al rilascio del certificato di restituibilità ambientale, è stata successivamente avviata ed è attualmente in corso.

Il corso teorico, articolato in sei edizioni, ha coinvolto 55 discenti, mentre l'addestramento pratico ha riguardato 47 operatori in due macro-edizioni per un totale di 19 giornate. Tutti i 47 partecipanti hanno superato con esito positivo la prova pratica valutata tramite check list. Nel corso del progetto sono state inoltre raccolte 162 membrane, analizzate mediante SEM-EDS presso il Laboratorio di Prevenzione di Milano, offrendo un'ulteriore opportunità di consolidamento delle competenze analitiche per il personale di laboratorio.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Conclusioni

Il percorso ha consentito di qualificare il personale per l'esecuzione corretta dei campionamenti finalizzati alla certificazione di restituibilità ambientale. Un approccio analogo potrebbe essere esteso a tutte le tipologie di campionamento con matrice amianto — massivi, personali, in MOCF — per le quali non esistono ancora linee guida né criteri normativi per valutare le competenze dei tecnici prelevatori. L'esperienza ha confermato che una formazione strutturata, integrata da addestramento pratico, è un elemento strategico nei programmi di monitoraggio dell'amianto. Questo modello si configura come replicabile in altri contesti territoriali e settoriali, contribuendo al rafforzamento delle competenze tecniche a tutela della salute pubblica.

Bibliografia

D.lgs 81/2008 e s.m.i., Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro;

Deliberazione n. 6 del 26 novembre 2025 del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, Requisiti e modalità attuative del ruolo del Responsabile Tecnico di cui agli artt. 12 e 13 del decreto 3 giugno 2014, n. 120;

DM 06/09/1994, Normative e metodologie tecniche di applicazione dell'art. 6, comma 3, e dell'art. 12, comma 2, della legge 27 marzo 1992, n. 257, relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto

DM 14/05/1996, Normative e metodologie tecniche per gli interventi di bonifica, ivi compresi quelli per rendere innocuo l'amianto, previsti dall'art. 5, comma 1, lettera f), della legge 27 marzo 1992, n. 257, recante: Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto;

Rapporto ISTISAN 15/5, Strategie di monitoraggio per determinare la concentrazione di fibre di amianto e fibre artificiali vetrose aerodisperse in ambiente indoor;

UNI 11870/2022, Amianto criteri e metodi per l'individuazione censimento;

UNI 11903/2023, Amianto requisiti professionali per il censimento;

UNI 689/2019, Esposizione nei luoghi di lavoro - Misurazione dell'esposizione per inalazione agli agenti chimici - strategia per la verifica della conformità coi valori limite di esposizione occupazionale;

UNI-PDR 152-1/2023, Materiali contenenti amianto - Parte 1: Valutazione dello stato di conservazione delle coperture e tamponamenti contenenti amianto in matrice cementizia.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Amianto nei beni museali: casi esemplificativi e riferimenti normativi

Asbestos in Museum Collections: exemplary cases and Regulatory References

Keywords: Asbestos, Cultural Heritage, Risk Assessment, Museum Conservation

Lorenza Fiumi[1]

[1] *Consiglio Nazionale delle Ricerche (INM), (Roma, Italia)*

Corresponding author: Lorenza Fiumi, *lorenza.fiumi@cnr.it*

Introduzione

L'amianto, pur essendo bandito nella maggior parte dei Paesi, continua a essere presente in numerosi materiali storici e tecnologici. Oltre agli elementi edilizi, esso compare in manufatti mobili e immobili conservati in musei, archivi e collezioni. In questi contesti, la criticità non riguarda soltanto la presenza del minerale, ma il suo potenziale rilascio in forma aerodispersa durante attività tipiche della pratica museale: movimentazione, prestiti, allestimenti, pulitura e interventi di restauro.

Le evidenze tecnicoscientifiche presentate da Petriglieri et al. [2025] alla European Geosciences Union, mostrano che la valutazione del rischio deve includere anche gli artefatti contenenti amianto "in vista di restauro, conservazione ed esposizione", ampliando così l'analisi oltre gli edifici e gli impianti museali. Parallelamente, la letteratura sul difficult heritage evidenzia che, soprattutto in collezioni industriali e tecnico-scientifiche, l'amianto non rappresenta solo un rischio ma anche un elemento della storia materiale e produttiva degli oggetti. Come evidenziato da Blancquaert & Verreyke [2025], la presenza del minerale contribuisce alla comprensione dei processi lavorativi e dell'identità industriale, rendendo più complesse le decisioni tra rimozione, confinamento o consolidamento. Un approccio multivocale aiuta a bilanciare sicurezza, integrità e leggibilità storica, evitando interventi che rischierebbero di cancellare componenti essenziali della memoria culturale.

Questo contributo analizza casi museali reali, con l'obiettivo di:

1. identificare i principali scenari di rischio durante studio, movimentazione e restauro;
2. proporre misure di controllo compatibili con la conservazione;
3. delineare le implicazioni del quadro normativo europeo e nazionale per la gestione degli ACM nei musei.

Quadro normativo con riferimento a restauro e musei

La Direttiva (UE) 2023/2668 ha aggiornato profondamente la disciplina europea in materia di esposizione professionale all'amianto. Il valore limite è stato ridotto a 0,01 fibre/cm^3, con obbligo di recepimento entro il 21 dicembre 2025. La direttiva introduce inoltre la transizione obbligatoria alla microscopia elettronica (EM), da completare entro un periodo massimo di sei anni. Terminata tale fase, gli Stati membri dovranno effettuare il conteggio delle fibre sottili (limite invariato a 0,01 f/cm^3) oppure rispettare il valore più stringente di 0,002 f/cm^3.

Benché concepita per i contesti edilizi e industriali, questa normativa ha ricadute dirette sull'ambito museale — in particolare per la movimentazione, il restauro e la conservazione di oggetti che possono contenere amianto. Le linee guida europee del 2025 ribadiscono infatti la necessità di protocolli di manipolazione "a disturbo minimo", diagnosi preventiva e formazione specialistica. Il recepimento nazionale, tramite D.Lgs. 213/2025, aggiorna il Titolo IX, Capo III del D.Lgs. 81/2008, rafforzando:

- l'individuazione preventiva degli ACM,
- la valutazione del rischio e la sorveglianza sanitaria,
- la tracciabilità delle esposizioni,
- la pianificazione dei monitoraggi.

Tali misure si innestano sulla cornice storica della L. 257/1992, che ha sancito la cessazione dell'impiego dell'amianto in Italia e rimane il riferimento per edifici e collezioni antecedenti al bando.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Casi esemplificativi

1. Tessili ignifughi e sipari teatrali

Tessuti storici trattati con prodotti ignifughi contenenti amianto presentano rischi elevati durante movimentazione, piegatura e pulitura. Le strategie raccomandate includono:

- movimentazione ridotta,
- uso di aree controllate con aspirazione HEPA,
- microconfinamento per esposizione e studio.

2. Apparecchi radio, TV e strumenti audiovisivi del XX secolo

Guarnizioni, isolanti e pannelli possono contenere amianto, soprattutto se degradati. La gestione richiede:

- identificazione preventiva degli ACM,
- confinamento delle operazioni invasive,
- imballaggi antivibrazione,
- registrazione in un Asbestos Register dedicato.

3. Intonaci storici, apparati decorativi e pitture murali

Alcuni impasti storici contengono amianto per migliorarne prestazioni e stabilità. Interventi abrasivi come carteggiatura o microsabbiatura incrementano il rischio di rilascio. Sono consigliati:

- confinamento dell'area,
- aspirazione localizzata ad alta efficienza,
- tecniche a umido ove compatibili,
- monitoraggi pre e post intervento.

4. Patrimonio industriale "difficile": ex Belgian Asbestos and Rubber Factory

Questi manufatti testimoniano processi produttivi storici e condizioni di lavoro. L'amianto, in tali contesti, è parte del significato dell'oggetto e non può essere considerato esclusivamente un contaminante. Secondo Blancquaert & Verreyke [2025], la conservazione richiede approcci multivocali, che tengano insieme sicurezza, integrità, valore culturale e prospettive delle comunità coinvolte.

5. Oggetti contaminati da polveri di amianto: utensili, macchinari e DPI (Dispositivi di Protezione Individuale)

Strumenti e attrezzature storiche possono risultare contaminati da polveri accumulate nel tempo. La rimozione integrale potrebbe compromettere l'autenticità. Alternative raccomandate includono:

- confinamento trasparente,
- puliture selettive non invasive,
- mediazione curatoriale che spieghi il significato storico della contaminazione.

Discussione

L'analisi congiunta dei casi conferma che la presenza di amianto nei beni culturali è ampia, trasversale e spesso sottostimata. Ne deriva l'esigenza di un approccio sistemico che connetta diagnosi, conservazione e sicurezza lungo tutto il ciclo di vita dell'oggetto (studio, catalogazione, movimentazione, restauro, esposizione), in coerenza con le evidenze tecnicoscientifiche e con gli aggiornamenti normativi più recenti.

Tre punti emergono con chiarezza:

- Necessità di integrare conservazione e sicurezza. Tecniche a bassa produzione di polveri, interventi reversibili e confinamento rappresentano strategie efficaci per ridurre i rischi, mantenendo la leggibilità storica dei manufatti.
- Adeguamento al nuovo quadro normativo. La Direttiva (UE) 2023/2668 e il D.Lgs. 213/2025 impongono monitoraggi più sensibili, diagnosi sistematiche, revisioni dei protocolli di movimentazione e formazione e aggiornamento continuo di restauratori, conservatori, arthandlers, curatori e RSPP, per allineare prassi e responsabilità alle nuove soglie e ai nuovi metodi.
- Amianto come materiale storico. In particolari collezioni industriali, tecnico-scientifiche o documentarie, l'amianto può costituire parte del valore testimoniale dell'oggetto, la rimozione indiscriminata rischia di alterare l'autenticità e di impoverire la narrazione storica. Un approccio multivocale — che includa prospettive tecniche, etiche, curatoriali e delle comunità interessate — consente di calibrare le scelte tra rimozione, consolidamento e confinamento trasparente, accompagnando l'oggetto con una mediazione interpretativa esplicita. In pratica:
  - si esplicita il rischio e il contesto storico in mostra,
  - si adottano puliture selettive non invasive per conservare tracce significative,
  - si formalizza un processo decisionale documentato (criteri, alternative considerate, motivazioni), così da garantire tracciabilità, replicabilità e accountability.

Conclusioni

La gestione dell'amianto nei beni culturali richiede un modello integrato che unisca tutela della salu-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

te, conservazione materiale e responsabilità etiche. Le priorità operative identificate sono:

- valutazione del rischio integrata sin dalle fasi preliminari di studio, catalogazione e movimentazione;
- procedure conservative a disturbo minimo, inclusi confinamento, tecniche a umido e interventi reversibili;
- adeguamento ai nuovi standard europei, con transizione alla microscopia elettronica e monitoraggi più sensibili;
- formazione specialistica per restauratori, curatori, tecnici e responsabili della sicurezza;
- riconoscimento del valore storico dell'amianto, quando esso costituisce un elemento significativo della storia materiale.

Nel complesso, i casi di studio offrono un quadro operativo per standardizzare processi decisionali, rafforzare il dialogo interdisciplinare e garantire una gestione del rischio coerente con le norme vigenti e con la salvaguardia del valore storicoartistico dei manufatti.

Bibliografia

Petriglieri, J. R., Capella, S., Siviero, F., Belluso, E. (2025). Asbestos in cultural heritage artefacts: guidelines for risk assessment and management of antique and modern artefacts in view of restoration, preservation, and exhibition. EGU General Assembly 2025. DOI: 10.5194/egusphereegu2513601.

Blancquaert, D., Verreyke, H. (2025). Asbestos as Difficult Heritage: The Need for a MultiVoiced Heritage Policy. Collections, 21(1), 64–90. DOI: 10.1177/15501906241297505.

Direttiva (UE) 2023/2668 del Parlamento europeo e del Consiglio del 22 novembre 2023 che modifica la direttiva 2009/148/CE sulla protezione dei lavoratori contro i rischi connessi con un'esposizione all'amianto durante il lavoro. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 2023/2668, 30.11.2023. ELI: http://data.europa.eu/eli/dir/2023/2668/oj

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Valori limite e valori di riferimento per le sostanze pericolose: significato e loro corretto utilizzo

Limit and reference values for hazardous substances: meaning and their correct use

Keywords: valutazione rischi, inquinante ubiquitario, effetti sulla salute, misurazione, derivazione.

Giovanna Tranfo[1], **Monica Gherardi**[2]

[1] *Associazione Italiana degli Igienisti Industriali, AIDII-ETS, Milano*
[2] *Dipartimento di Medicina, Epidemiologia Igiene del Lavoro e Ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone (RM)*

Corresponding author: Giovanna Tranfo, *giovanna.tranfo@gmail.com*

Introduzione

Nella valutazione dell'esposizione a sostanze pericolose il risultato della misurazione deve essere confrontato con valori di concentrazione che differiscono nel nome e nel loro significato, il cui corretto uso è cruciale per una corretta valutazione del rischio.

Materiali e Metodi

Per esporre in modo sintetico ma esaustivo i concetti di valori limite, valori di riferimento, valori di non effetto o di minimo effetto sono stati presi in considerazione il testo unico su salute e sicurezza del lavoro (TUSSL) [D.Lgs. 81/08], il fact sheet INAIL "Sostanze pericolose: valori limite e valori di riferimento" pubblicato da INAIL nel luglio 2025 [Gherardi et al. 2025] e il regolamento REACH [*http://data.europa.eu/eli/reg/2006/1907/oj*]

Risultati e Discussione

Valore limite di esposizione professionale: VLEP

Il VLEP è definito come il limite della concentrazione media ponderata nel tempo di un agente chimico nell'aria all'interno della zona di respirazione di un lavoratore in relazione ad un determinato periodo di riferimento- 8 ore o 15 minuti. Per la stessa sostanza possono essere stabiliti entrambi i limiti. Esiste un terzo valore, detto ceiling, un valore che non deve mai essere superato, non adottato nell'unione europea, e sul quale la comunità scientifica sta discutendo. I VLEP sono in continuo aggiornamento. Nel TUSSL sono riportati negli allegati Capo I (allegato XXXIX) e del Capo II (Allegato XLIII) del Titolo IX, Sostanze Pericolose. Nelle note è riportata la possibilità di assorbimento cutaneo e/o di effetti sensibilizzanti.

Valori Soglia

Per le sostanze tossiche per la riproduzione esiste la possibilità che nella colonna "Annotazioni" dell'Allegato XLIII venga riportata l'indicazione "sostanza con soglia" o "sostanza priva di soglia". Il valore soglia è una concentrazione di esposizione inalatoria al di sotto della quale non si osservano effetti sulla salute del lavoratore.

Valore limite biologico: VLB

Il VLB è "il limite della concentrazione del relativo agente, di un suo metabolita, o di un indicatore di effetto, nell'appropriato mezzo biologico". Il termine "Indicatore biologico di esposizione", invece indica il biomarcatore e non la sua concentrazione. I VLB sono riportati nell'Allegato XLIII-BIS del Capo II, Titolo IX del TUSSL.

Valore di riferimento ambientale per la popolazione generale: VRA

Il VRA è un riferimento utile per valutare il contributo all'esposizione imputabile all'attività lavorativa nel caso di un inquinante non esclusivo dell'ambiente di lavoro. È un valore di concentrazione di una sostanza aerodispersa risultato da una misurazione, da non confondere con i valori guida per la qualità dell'aria a tutela della salute pubblica.

Valore di riferimento biologico per la popolazione generale: VRB

Il VRB è il livello di un agente chimico o di un suo metabolita misurato in una matrice biologica della popolazione generale. Permette di verificare le esposizioni occorse nell'ambiente di vita ed è utile per valutare il contributo all'esposizione non dovuto all'ambiente di

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

lavoro, al di sotto del quale non è possibile aspettarsi il livello espositivo di un lavoratore. Un primo elenco di VRB è disponibile dalla Società Italiana dei Valori di Riferimento (SIVR).

Livelli derivati di non/minimo effetto: DNEL/DMEL

Il DNEL (Derived No-Effect Level) è il livello di esposizione a un agente chimico al di sotto del quale non si prevedono effetti negativi sulla salute umana (approccio health-based), mentre il DMEL (Derived Minimal Effect Level) è il livello che potrebbe causare un "minimo effetto" (approccio risk-based). Introdotti dal Regolamento REACH, hanno scopo e metodologie di derivazione diverse rispetto ai VLEP, ma possono rappresentare un riferimento per la valutazione dell'esposizione occupazionale in loro assenza [Doc.156_EN.].

Conclusioni

La comprensione del significato e del modo in cui sono stati derivati valori limite e valori di riferimento è indispensabile per un professionista della salute e sicurezza degli ambienti di lavoro. Il rispetto dei valori limite non rappresenta una garanzia di assenza di rischio, ma per una completa tutela sono fondamentali le professionalità degli attori della prevenzione e la loro collaborazione.

Bibliografia

Decreto Legislativo 81/2008

Gherardi, M. Poli, D., Tranfo, G. Sostanze pericolose: valori limite e valori di riferimento. Fact Sheet © 2025 Inail. Edizione 2025 (http://www.inail.it).

GUIDANCE for National Labour Inspectors on the interaction of the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals Regulation (REACH) (Regulation (EC) No. 1907/2006), the Chemical Agent Directive (CAD) and the Carcinogens and Mutagens Directive (CMD. *https://lasi-info.com/fileadmin/lasi/kooperationen/Doc.156_Interim_Guidance_for_NLIs_on_OELs__DNELs_and_DMELs_EN__1_.pdf*

Regolamento REACH [*http://data.europa.eu/eli/reg/2006/1907/oj*]

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Monitoraggio registri cancerogeni (2017-2025): analisi dei flussi e piano mirato di prevenzione per l'emersione del rischio nelle PMI del territorio di brindisi

Carcinogen register monitoring (2017-2025): flow analysis and targeted prevention plan (TPP) to uncover occupational risks in SMEs within the Brindisi area

Keywords: Occupational exposure, Carcinogens, Industrial hygiene, Hardwood dust, Benzene

Luca Convertini[1], Nicola Dipalma[2,1]

[1] *UOS Igiene e Sicurezza Industriale SPESAL – ASL Brindisi*
[2] *SPESAL, Dipartimento di Prevenzione ASL Brindisi*

Corresponding author: Luca Convertini, *luca.convertini@asl.brindisi.it*

Introduzione

L'attività della UOS Igiene e Sicurezza Industriale dello SPESAL di Brindisi (2017-2025) ha rilevato un incremento delle trasmissioni dei Registri degli Esposti (ex art. 243, D. Lgs. 81/08), con un picco nel biennio 2021-2022. Tuttavia, permangono criticità qualitative: il 10% delle esposizioni dichiarate manca di monitoraggio analitico. Si osserva una polarizzazione verso i grandi insediamenti industriali, mentre nelle PMI il rischio resta spesso "sommerso". Casi critici includono le polveri di legno duro (ATECO 31), il benzene (40% delle esposizioni dichiarate sono prive di misure analitiche) e la silice libera cristallina. Il confronto con il Registro Tumori di Brindisi evidenzia una distonia tra l'incidenza di neoplasie di possibile origine professionale e l'esiguo numero di registri degli esposti a cancerogeni nelle PMI.

Materiali e Metodi

Per colmare tale divario, la UOS Igiene e Sicurezza Industriale ha implementato un Piano Mirato di Prevenzione (PMP) che opera su tre direttrici:

- Emersione Selettiva: Invio di PEC informative basate su codici ATECO ad alto rischio presunto.
- Qualificazione della Valutazione: Obbligo di dimostrare l'eventuale "rischio irrilevante" tramite campionamenti conformi alla norma UNI EN 689
- Integrazione Professionale: Ruolo proattivo dei consulenti e degli igienisti iindustriali.

Risultati e Discussione

L'analisi dei flussi (Tabella II) mostra comparti critici come l'elettronica (ATECO 26 – esposizione a fumi di saldatura), ove l'assenza del dato analitico tocca il 100%, mentre nel settore chimico e dei metalli la quota di esposizioni prive di misura oscilla tra il 43% e il 64%. La corretta registrazione dei valori misurati garantisce non solo la tutela della salute, ma anche la protezione legale dell'azienda. È essenziale che l'igienista industriale validi tecnicamente le misure di prevenzione (es. efficacia sistemi aspiranti) per giustificare l'assenza di iscrizione al registro.

Tabella I. Correlazione Rischio Territoriale vs Stato delle Segnalazioni

Patologia (Reg. Tumori BR)	Agente Correlato	Settore ATECO	Stato Segnalazioni
K Polmonare / Silicosi	Silice Libera Cristallina (SLC)	Edilizia / Cave	**Grave Sottostima:** Esposizione costante ma non tracciata.
K Sinunasale / Etmoide	Polveri di Legno Duro	Falegnamerie (ATECO 31)	**Minimo / Assente**: Registri esigui rispetto alle unità locali.
Leucemie / Linfomi	Benzene	Carburanti (ATECO 47.3)	**Lacunoso**: 40% delle esposizioni prive di misura strumentale.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Tabella II. Analisi Qualitativa – Esposizioni con Misura vs Senza Misura

Comparto ATECO	Esposizioni Totali	Prive di Misura	% Incertezza	Note dalla Letteratura Territoriale
20.14.0 (Chimica)	2.717	1.184	43%	Elevato numero di esposti ma monitoraggio incompleto.
26 (Elettronica)	91	91	100%	Assenza totale di validazione tecnica delle esposizioni.
25.61 (Metalli)	99	63	64%	Prevalenza di PMI con rischio non tracciato formalmente.

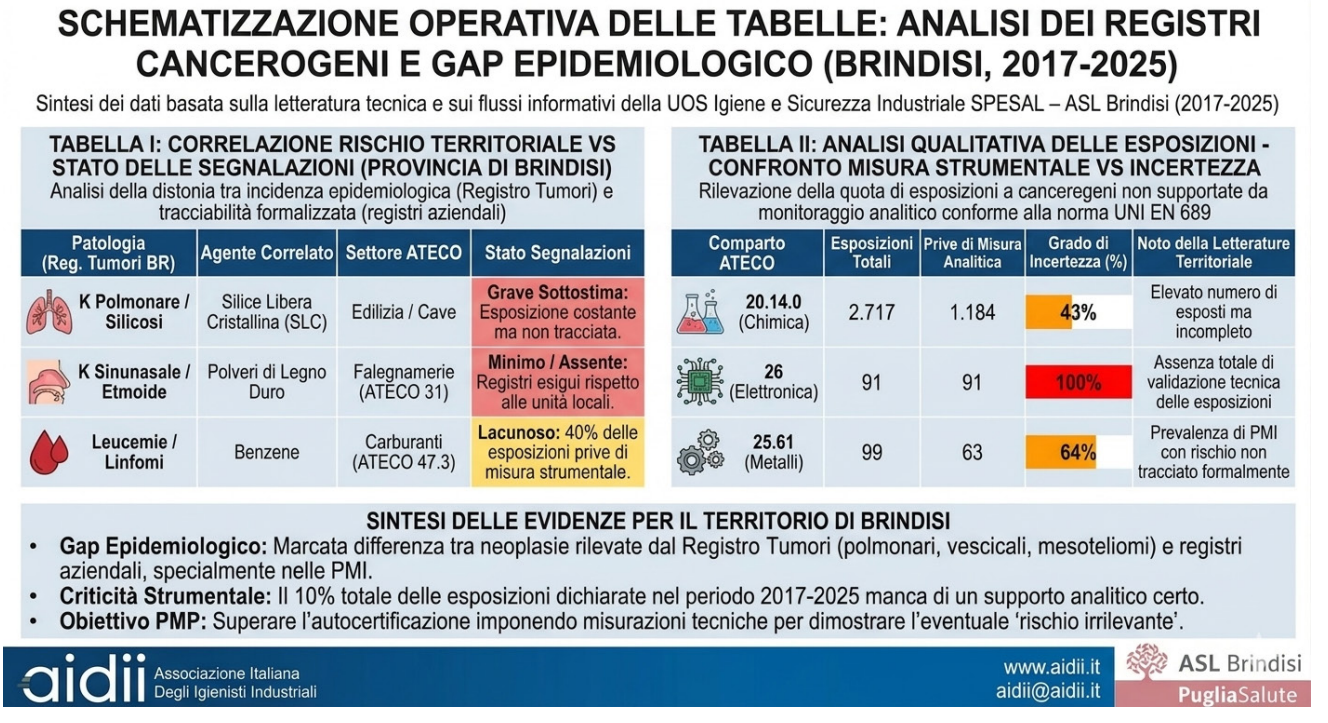
Conclusioni

In sintesi per il territorio di Brindisi è stato possibile rilevare:

- Gap Epidemiologico: Esiste una marcata differenza tra le neoplasie rilevate dal Registro Tumori (polmonari, vescicali, mesoteliomi) e i dati presenti nei registri di esposizione ex art. 243, specialmente nelle PMI.
- Criticità Strumentale: Il 10% totale delle esposizioni dichiarate nel periodo 2017-2025 manca di un supporto analitico certo.

Il PMP mira a superare l'autocertificazione imponendo misurazioni analitiche per dimostrare l'eventuale "rischio irrilevante".

Occorre allineare la sorveglianza "istituzionale" alla mappa reale del rischio. Far emergere il rischio reale nelle PMI garantisce ad ogni lavoratore il diritto alla tracciabilità delle noxe professionali cui è stato esposto, superando i costi inaccettabili di una prevenzione puramente burocratica.



Bibliografia

D. Lgs. 81/2008, Artt. 242-243.

Ferri F., Il Registro degli Esposti: questo sconosciuto, Bologna, 2017.

Registro Tumori Puglia - Sezione Brindisi, Report Incidenza Neoplasie, *http://www.registrotumoripuglia.it* (ultimo accesso: 25/03/2026).

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Polveri di legno: esposizione e valutazione del rischio, l'esperienza nell'ASL Toscana Centro zona Empolese

Wood dust: exposure and risk assessment, the experience of the ASL Toscana Centro in the Empolese area

Keywords: Wood dust, Carcinogenic, Risk assessment, Exposure limit, Sino-nasal cancer

Francesco Carmusciano[1], Carla Poli[1], Tonina Enza Iaia[1], Renzo Becherelli[1], Bruno Banchi[2], Maria Cristina Aprea[2]

[1] *Prevenzione Igiene e Sicurezza nei Luoghi di Lavoro – Zona Empolese, Azienda USL Toscana Centro, Empoli*
[2] *Laboratorio di Sanità Pubblica area Vasta Sud Est, Azienda USL Toscana Sud Ovest, Siena*

Corresponding author: Carla Poli, *carla.poli@uslcentro.toscana.it*

Introduzione

Le polveri di legno sono classificate come cancerogene per l'uomo (Gruppo 1) dallo IARC dal 1995. La normativa italiana (D.Lgs. 81/2008) impone la valutazione dell'esposizione e l'istituzione del Registro degli Esposti da trasmettere a INAIL e organi di controllo. Nel territorio Empolese–Valdarno Inferiore, un sistema di sorveglianza attivo da oltre 30 anni ha identificato 126 casi di tumore maligno della mucosa rinosinusale tra il 1980 e il 2024. L'analisi delle storie lavorative ha evidenziato che il 76% dei casi è associato a esposizioni professionali, principalmente nei settori calzaturiero, conciario e del legno. L'adenocarcinoma, che rappresenta il 69% delle diagnosi, risulta fortemente correlato alle polveri di cuoio e legno.

Tabella I. Distribuzione dei casi di tumore maligno della mucosa rinosinusale per tipo istologico e settore produttivo di prevalente impiego

Tipo istologico	n° casi	Calzature	Concia	Legno	Agricolo	Altri comparti
Adenocarcinoma	89	55	21	9	-	4
Ca spinocellulare	24	2	3		8	11
Ca indifferenziato	6	3			1	2
Ca tipo ghiandole salivari	2		1			1
Ca neuro-endocrino	4			1	1	2
Ca NAS	1				1	
Totale	126	60	25	10	11	20

Contesto

Nonostante l'evidenza epidemiologica e un valore limite di esposizione fissato a 2 mg/m^3, si riscontra una scarsa attenzione alla gestione del rischio. Nella ASL Toscana Centro, a fronte di 2.340 aziende del comparto censite nel 2022, solo 65 hanno trasmesso il Registro degli Esposti. Anche i dati dei medici competenti suggeriscono una sottovalutazione: nel 2023, solo il 13,4% dei lavoratori visitati nel settore legno è stato indicato come esposto a cancerogeni.

In seguito a queste evidenze nell'ASL Toscana Centro – Zona Empolese, dal 2015 è iniziato un piano mirato di controllo.

Tra il 2020 e il 2024, nel 16% dei controlli svolti sono state riscontrate carenze per valutazioni del rischio inadeguate o mancanza di misurazioni di esposizione. In alcuni sopralluogi è inoltre emersa una discrepanza tra i dati di esposizione riportati nei DVR specifici, che attestavano valori di molto inferiori al limite di 2 mg/m^3 e la notevole presenza di polveri di legno nell'ambiente di lavoro e in due casi abbiamo deciso di eseguire direttamente dei campionamenti.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Analisi dei casi aziendali

Primo caso

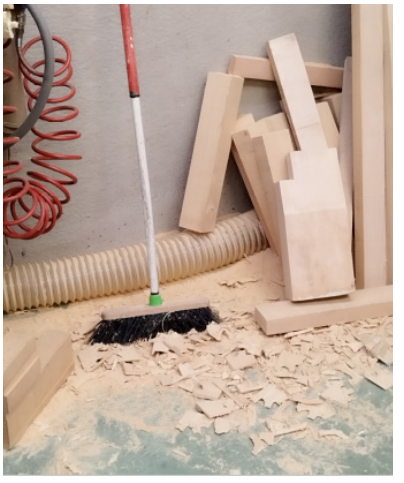


Figura 1. Polvere di legno diffusa nel locale di lavoro

Figura 2. Polvere di legno diffusa nel reparto pantografo

Azienda con 21 addetti che produce mobili artistici. Sebbene monitoraggi precedenti indicassero valori entro i limiti (<1 mg/m^3), nel sopralluogo si rilevava una diffusa presenza di polveri di legno. Campionamenti da noi eseguiti hanno mostrato criticità significative: nella prima giornata, tutte le postazioni monitorate hanno superato il limite di 2 mg/m^3. Nella seconda giornata, pur con miglioramenti in alcune fasi, le esposizioni per il pantografo e la rifinitura manuale sono rimaste elevate. Estremamente pericolose sono risultate le operazioni di pulizia, con picchi di concentrazione fino a 38,9 mg/m^3.

Tabella II. Esposizione a polveri inalabili prima giornata di campionamento

Addetto /postazione	Tempo (minuti)	Concentrazione polvere inalabile riscontrata (mg/m^3)	Valore limite (mg/m^3)
Pantografo manuale	141	3,31	2
Rifinitura	300	2,79	2
Sezionatura	175	2,32	2
Montaggio	358	2,13	2
Rifinitura man. con scalpello	154	3,83	2

Tabella III. Esposizione a polveri inalabili seconda giornata di campionamento

Addetto /postazione	Tempo (minuti)	Concentrazione polvere inalabile riscontrata (mg/m^3)	Valore limite (mg/m^3)
Pantografo manuale	175	2,74	2
Rifinitura	358	1,69	2
Sezionatura	139	1,89	2
Taglio/montaggio	333	1,51	2
Rifinitura man. con scalpello	140	6,79	2
Pulizia locale taglio	33	11,9	2
Pulizia pantografo	12	38,9	2

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Secondo caso

L'azienda, con 18 lavoratori, produce arredi in legno per esterni. La valutazione eseguita dall'Azienda indicava valori di esposizione tutti inferiori a 0,2 mg/m^3 mentre nel sopralluogo si rilevava presenza di polvere di legno diffusa. I campionamenti da noi effettuati nel 2024 hanno confermato un'esposizione importante. Nella prima giornata i valori erano vicini al limite; nella seconda giornata il valore di 2 mg/m^3 è stato superato in diverse postazioni. Anche in questo caso la fase di pulizia a fine turno ha registrato livelli critici (8,69 mg/m^3).

Tabella IV. Risultati campionamenti personali prima giornata
(*) VL per le polveri di legno duro

Addetto /postazione	Tempo (minuti)	Concentrazione polvere inalabile riscontrata (mg/m^3)	Valore limite (mg/m^3)
K.R./Carico multilame	140	1,67	2
C.L. carico scorniciatrice	137	1,62	2
L.A. assemblaggio	120	1,82	2

Tabella V. Risultati campionamenti personali seconda giornata

Addetto /postazione	Tempo (minuti)	Concentrazione polvere inalabile riscontrata (mg/m^3)	Valore limite (mg/m^3)
K.R./Carico multilame	180	2,26	2
C.L. carico scorniciatrice	180	2,01	2
L.A. assemblaggio	178	1,94	2
C.C. carico sezionatrice	180	1,77	2
k.R. pulizia fine turno	15	8,69	2

Conclusioni

L'esperienza condotta evidenzia una sottostima nella valutazione del rischio da esposizione a polveri di legno. È fondamentale che l'esposizione sia misurata periodicamente con metodiche adeguate, per verificare l'efficacia delle misure di prevenzione e che i datori di lavoro forniscano dati coerenti ai medici competenti e agli RLS.

Le operazioni di pulizia di locali e macchinari rappresentano il momento di massimo rischio e devono essere valutate e gestite con procedure adeguate (aspiratori industriali e DPI idonei).

È necessario che gli organi di controllo, nell'ambito della loro attività di vigilanza, mantengano un alto livello di attenzione anche sull'obbligo, per le aziende, di compilare correttamente e trasmettere il Registro degli Esposti oltre a verificarne la qualità dei dati, poiché ricostruire lo storico delle esposizioni è essenziale per tutelare la salute presente e futura dei lavoratori.

Bibliografia

Decreto Legislativo 81/2008 e s.m.i. - Allegato XLIII

Direttiva 1999/38/CE del Consiglio, del 29 aprile 1999, che modifica per la seconda volta la direttiva 90/394/CEE sulla protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da un'esposizione ad agenti cancerogeni durante il lavoro, estendendola agli agenti mutageni.

"Tumori professionali Questioni aperte e prospettive in tema di ricerca epidemiologica, sorveglianza, emersione e strumenti di prevenzione", Epidemiologia & Prevenzione, ANNO 50 (1) 2026

"Wood Dust and Formaldehyde", IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 62, IARC – 1995.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

aidii
LA CULTURA DELLA PREVENZIONE
42° Congresso nazionale
di igiene industriale e ambientale

ijoeh
Italian Journal of Occupational
and Environmental Hygiene

Sessione 3

Esposizioni aggregate e combinate: sinergie tra agenti multifattoriali, scenari multisorgente e vie di assorbimento multiple

RELAZIONE A INVITO

From exposure to occupational illness: solving a jigsaw puzzle with missing pieces

Dall'esposizione alle malattie professionali: risolvere un puzzle con pezzi mancanti

André Winkes[1]

[1] *MSc, WinArbo, Renkum, The Netherlands*

Corresponding author: André Winkes, *andrewinkes@gmail.com*

In the Netherlands, a system has been in place since 2023 providing financial compensation for a number of recognised occupational diseases (LEXCES). A panel of independent experts, comprising an occupational hygienist, an occupational physician and a medical specialist, assesses the cases submitted. For decision making Job Exposure Matrixes are used. This system will be explained in the presentation. One of the outcomes after two years of experience, is the need for better collaboration between the occupational physician and the occupational hygienist for the effective prevention of occupational diseases. Furthermore, a few examples will be shown to illustrate how complex it can be to demonstrate a causal link between exposure and disease.

References

Peters, S., et al, 2016. SYN-JEM: A Quantitative Job-Exposure Matrix for Five Lung Carcinogens. Annals of Occupational Hygiene, 60(7), 795-811;

Ministry of Social Affairs, https://www.lexces.nl/en/tsb-arrangement, 16-03-2026.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Effetti combinati di stress termico e radiazioni ultraviolette sulla salute dei lavoratori: una scoping review

Combined effects of heat stress and ultraviolet radiation on workers' health: a scoping review

Keywords: heat stress; ultraviolet radiation; outdoor workers; occupational exposure; skin cancer

Angela Stufano[1], Valentina Schino[2], Roberta Piccarreta[1], Marilia Silva Paulo[3]

[1] *Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche, Università degli Studi di Foggia, Foggia, Italia*
[2] *Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Università degli Studi di Bari, Bari, Italia*
[3] *NOVA National School of Public Health, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal*

Corresponding author: Angela Stufano, *angela.stufano@unifg.it*

Introduzione

I lavoratori outdoor sono esposti simultaneamente a stress termico e radiazioni ultraviolette (UV) solari, due agenti fisici che esercitano effetti biologici distinti e potenzialmente sinergici. Le trasformazioni dell'ozono stratosferico e del clima negli ultimi quarant'anni hanno modificato le condizioni di irradianza UV alla superficie terrestre [Barnes et al., 2019], alterando la distribuzione spettrale della radiazione solare nelle bande UV-B, UV-A e nel visibile.

Nonostante la co-esposizione a calore e UV sia pressoché universale nei comparti lavorativi all'aperto, la letteratura ha tradizionalmente affrontato i due rischi in modo separato. La presente scoping review mappa le evidenze sugli effetti combinati di stress termico e UV sulla salute dei lavoratori, con attenzione alle implicazioni per la valutazione integrata del rischio e per la progettazione di strategie preventive.

Materiali e Metodi

La revisione è condotta secondo le linee guida PRISMA-ScR. La ricerca ha interessato PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science e NIOSHTIC-2, mediante termini MeSH relativi a stress termico, WBGT, radiazioni UV, lavoratori outdoor ed esposizione occupazionale.

Sono stati inclusi studi osservazionali, sperimentali e di monitoraggio ambientale senza restrizioni temporali, con misurazioni quantitative di almeno uno dei due agenti in contesti lavorativi reali. La selezione è stata condotta in doppio cieco da due revisori indipendenti.

Risultati e Discussione

L'esposizione a stress termico e UV supera frequentemente i valori limite raccomandati da ACGIH e ICNIRP. La correlazione tra WBGT e irradianza UV efficace è moderata e si annulla in specifiche fasce orarie e stagioni, rendendo inadeguato l'uso dell'uno come proxy dell'altro. La co-esposizione genera interazioni biologiche sinergiche: l'ipertermia cutanea potenzia la penetrazione UV negli strati profondi dell'epidermide amplificando il danno al DNA, mentre la soppressione UV-indotta dell'immunità adattativa — mediata da cellule T e B regolatorie — è aggravata dall'immunosoppressione sistemica da colpo di calore, con effetto moltiplicativo sul rischio di carcinogenesi cutanea [Neale et al., 2021]. Sul piano cardiovascolare, la vasodilatazione UV-indotta interagisce con la termoregolazione aggravando il carico cardiaco. L'uso di farmaci fotosensibilizzanti (diuretici tiazidici, antibiotici, inibitori di pompa protonica) amplifica ulteriormente gli effetti combinati, aumentando il rischio di fotodermatosi e disturbi termoregolatori.

Conclusioni

La co-esposizione a stress termico e UV non è una semplice somma di rischi indipendenti, bensì una condizione con effetti sinergici che la valutazione separata dei due agenti sottostima sistematicamente. Occorre sviluppare protocolli di monitoraggio simultaneo e criteri valutativi che considerino le condizioni di maggiore sinergia biologica — ore centrali, picchi estivi, attività gravose. I programmi di sorveglianza sanitaria devono integrare patologie da calore, tumori cutanei occupazionali e patologie oculari UV-correlate. Gli interventi preventivi vanno progettati in chiave integrata: indumenti protettivi per la fotoesposizione possono compromettere la dispersione del calore, esemplificando il rischio di trasferimento del danno da un agente all'altro.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Bibliografia

Barnes P.W., Williamson C.E., Lucas R.M. et al., 2019. Ozone depletion, ultraviolet radiation, climate change and prospects for a sustainable future. Nat. Sustain., 2, 569–579.

Neale R.E., Barnes P.W., Robson T.M. et al., 2021. Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and interactions with climate change: UNEP EEAP Update 2020. Photochem. Photobiol. Sci., 20, 1–67.

Modenese A., Korpinen L., Gobba F., 2018. Solar radiation exposure and outdoor work: an underestimated occupational risk. Int. J. Environ. Res. Public Health, 15, 2063.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Danno uditivo da esposizione combinata a rumore e stirene: interazione con il fumo e valore delle DPOAEs come biomarcatori precoci

Hearing damage induced by combined exposure to noise and styrene: interaction with smoking and value of DPOAEs as early biomarkers

Keywords: ototoxic solvents, cochlear dysfunction, oxidative stress, cotinine

Teresa Botti[1], Filippo Sanjust[1], Luigi Cerini[1], Monica Gherardi[1], Daniela Pigini[1], Enrico Paci[1], Andrea Gordiani[1], Renata Sisto[1]

[1] *Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone (RM).*

Corresponding author: Teresa Botti, *t.botti@inail.it*

Introduzione

L'esposizione occupazionale a solventi organici è associata a disfunzioni uditive, soprattutto in presenza di rumore e fattori individuali come il fumo. Tra questi composti, lo stirene è noto per i suoi effetti ototossici e per le interazioni sinergiche con altre esposizioni; i lavoratori esposti mostrano soglie audiometriche più elevate [Morata et al., 2002]. Tuttavia, l'interpretazione dei risultati è complessa per la presenza di co-esposizioni e fattori individuali non controllabili [Fuente and McPherson, 2006]. I meccanismi di stress ossidativo, comuni a solventi aromatici e fumo, sono associati sia all'esposizione a stirene sia alla riduzione delle DPOAEs, suggerendo un'azione precoce sulle cellule ciliate esterne e un possibile ruolo del fumo come modificatore dell'effetto uditivo [Sisto et al., 2020].

Materiali e Metodi

Lo studio comprende 9 lavoratori di un'azienda di manufatti in vetroresina. L'esposizione al rumore è stata valutata mediante dosimetri personali. L'esposizione a etilbenzene e stirene è stata stimata tramite campionamento personale passivo dell'aria e biomonitoraggio urinario dei metaboliti acido mandelico (MA) e fenilgliossilico (PGA), misurati a inizio (IT) e fine turno (FT). Sono stati analizzati i biomarcatori urinari di stress ossidativo (8oxoGuo, 8oxodGuo, 8oxoGua) e il metabolita della nicotina (cotinina). La funzione uditiva è stata valutata mediante audiometria tonale e DPOAEs. I lavoratori sono stati confrontati a un gruppo controllo (C) di 4 soggetti e suddivisi in due gruppi in base al superamento del limite di esposizione occupazionale OEL = 86 mg/m^3 per lo stirene:

- Esposti 1 (E1): 5 soggetti con esposizione media stirene = 203.9 mg/m^3 > OEL e L_{ex8h} = 87.7 dB(A);
- Esposti 2 (E1): 4 soggetti con esposizione media a stirene = 6.0 mg/m^3 < OEL e L_{ex8h} = 84.2 dB(A).

Test statistici sono stati eseguiti mediante IBM SPSS Statistics, version 25.0.

Risultati e Discussione

La somma MA+PGA FT è inferiore al BEI ACGIH di 400 mg/g Cr e più elevata in E1 rispetto a E2 (v. Tabella1), indicando un maggiore assorbimento sistemico.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Tabella I. Concentrazione - valori medi deviazione standard normalizzati alla concentrazione urinaria di creatinina (Cr) - dei metaboliti urinari dello stirene (MA+PGA) e dei prodotti di stress ossidativo (8-oxoGua, 8-oxoGuo, 8-oxodGuo) all'inizio (IT) e alla fine (FT) del turno di lavoro per ogni gruppo. Differenze statisticamente significative tra IT e FT per MA+PGA in E1 ([a]T-test p=0.007) e per 8-oxodGuo per E1 ([b]Wilcoxon p=0.043) e E2 ([c]T-test p = 0.024) rilevano effetti a breve termine.

	MA+PGA	MA+PGA	8-oxoGua	8-oxoGuo	8-oxodGuo	8-oxoGua	8-oxoGuo	8-oxodGuo	Cotinina	Cotinina
	IT	FT	IT			FT			IT	FT
	mg/g Cr		µg/g Cr							
E1	113,5[a] (33,2)	212,8[a] (51,7)	89,8 (86,6)	5,6 (4,7)	7,8[b] (6,5)	315,0 (332,4)	5,2 (3,0)	5,8[b] (4,7)	99302 (81650)	811611 (64901)
E2	27,0 (22,7)	56,2 (53,7)	75,6 (56,2)	2,8 (1,3)	5,3[c] (2,0)	130,7 (93,8)	2,7 (1,1)	7,1[c] (2,0)	42743 (49441)	52432 (67117)
C	-	3,2 (4,3)	-	-	-	43,3 (46,2)	10,3 (5,5)	18,1 (12,6)	-*	-*

***Dato** *non disponibile*

In E1 si rileva un incremento statisticamente significativo delle soglie uditive misurate (HL) rispetto a C, anche dopo correzione per età e rumore (HL corretto = HL – HL predetta secondo ISO 1999, fornendo una stima dell'effetto residuo attribuibile a stirene), alle frequenze di 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz (v. Figura 1).

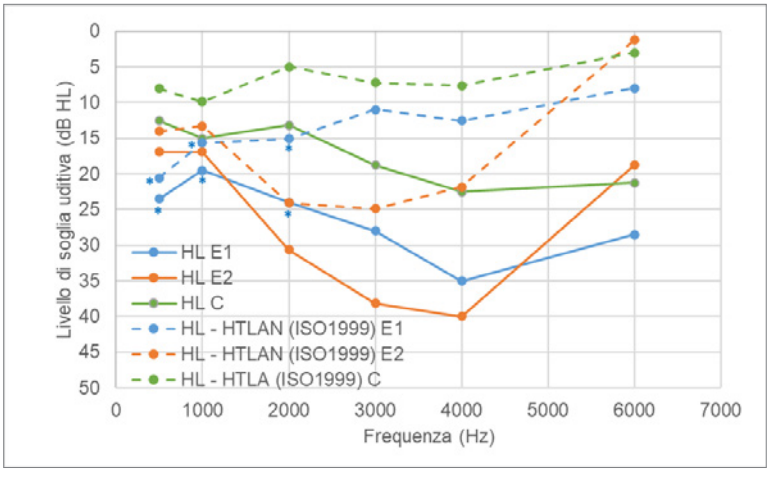


Figura 1. HL misurato tramite audiometria tonale e HL corretta per età ed esposizione al rumore al 50° percentile utilizzando l'HTLAN calcolato per E1 ed E2 e l'HTLA per C secondo ISO 1999. Per ciascuna banda di frequenza sono mostrati i valori medi sui soggetti; per una maggiore chiarezza, le barre di deviazione standard sono state omesse. Il confronto è statisticamente significativo tra E1 e C a 500 Hz (HL: Bonferroni p = 0.002; HL corretto: Bonferroni p = 0.001), 1000 Hz (HL: Games–Howell p = 0.045; HL corretto: Bonferroni p = 0.008) e 2000 Hz (HL: Games–Howell p = 0.037; HL corretto: Games–Howell p = 0.049) come evidenziato da un asterisco.

In prima analisi, per E1 a 2000 Hz (terzi d'ottava per DPOAEs) si è anche osservato che HL corretto correla positivamente con MA+PGA FT (Pearson R = 0.68, p = 0.03) e negativamente con DPOAEs (Pearson R = –0.64, p = 0.046). Inoltre, 8oxoGua a FT mostra una forte correlazione con HL corretto (Spearman ρ = 0.89, p = 0.001) e con DPOAEs (Spearman ρ = –0.86, p = 0.001), supportando il ruolo dello stress ossidativo nel danno cocleare precoce, già evidenziato in [Sisto, et al., 2020]. Rilevando alti livelli di cotinina (Tabella I), si ipotizza che lo stress ossidativo sia guidato dall'esposizione sia al solvente stirene che al fumo, nonché dalla presenza di etilbenzene nel fumo di tabacco. In un'analisi del meccanismo dose-effetto mediante modello lineare generalizzato (GLM) l'associazione del rumore e dell'interazione tra MA+PGA e cotinina è statisticamente significativa con DPOAEs a 2000 Hz in E1 (Tabella II), evidenziando la funzione del fumo come interagente nell'effetto ototossico da esposizione a stirene. In E2 non si hanno effetti significativi.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Tabella II. Per E1, GLM con DPOAEs nella banda in terzi d'ottava di 2000 Hz come variabile dipendente (distribuzione di probabilità normale con funzione di collegamento identità); modello: intercetta, rumore, interazione (MA+PGA) FT*Cotinina FT; i singoli effetti dei predittori sono stati valutati mediante test del rapporto di verosomiglianza (LR) di tipo III. Il modello complessivo risulta statisticamente significativo rispetto al modello con sola intercetta (χ^2 LR = 15.20; gl = 2; p = 0.001). SE = errore standard, gl = gradi di libertà.

Predittore	β (SE)	IC 95% (verosomiglianza dei profili)	χ^2 LR (gl=1)	p-value (LR)
Intercetta	66.98 (16.79)	30.66; 103.31	9.53	0,002
Rumore	-0.54 (0.18)	-0.94; -0.14	6.18	0,013
MA+PGA FT * Cotinina FT	-3.81×10^{-7} (6.37×10^{-8})	-5.18×10^{-7}; -2.43×10^{-7}	15.20	<0.001

Conclusioni

I risultati evidenziano un danno uditivo precoce nei lavoratori esposti a stirene e rumore, con alterazioni audiometriche significative e riduzione di DPOAEs. Le correlazioni osservate tra biomarcatori di esposizione, stress ossidativo e funzione cocleare supportano un ruolo biologico dello stress ossidativo nel danno indotto da stirene. Il fumo di sigaretta emerge come potenziale modificatore dell'effetto, rafforzando il valore delle DPOAEs come biomarcatori sensibili e precoci di ototossicità occupazionale.

Bibliografia

Fuente, A. and McPherson, B., 2006. Organic solvents and hearing loss: The challenge for audiology. International Journal of Audiology, 45, 367–381.

Morata, T.C., Johnson, A.C., Nylen, P., et al., 2002. Audiometric findings in workers exposed to low levels of styrene and noise. Journal of Occupational and Environmental Medicine, 44, 806–814.

Sisto, R., Cerini, L., Sanjust, F., et al., 2020. Distortion product otoacoustic emission sensitivity to different solvents in a population of industrial painters. International Journal of Audiology, 59, 443-454.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Le malattie allergiche professionali da esposizioni multifattoriali potenzialmente presenti negli ambienti di lavoro

Occupational allergic diseases resulting from multifactorial exposures potentially occurring in workplace environments

Keywords: environmental exposure, allergens, air quality, climate change

Maria Concetta D'Ovidio[1], Pasquale Capone[1], Daniela Pigini[1], Andrea Lancia[2], Lorenzo Uda[2], Federico Di Rita[2], Donatella Magri[2]

[1] *Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale (DiMEILA), Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL), Monte Porzio Catone (Roma)*

[2] *Dipartimento di Biologia Ambientale, Sapienza Università di Roma, Roma*

Corresponding author: Maria Concetta D'Ovidio, *m.dovidio@inail.it*

Introduzione

Gli agenti causali delle malattie allergiche respiratorie e cutanee possono essere di origine biologica, chimica e multifattoriale, potenzialmente presenti in ambienti di lavoro. Le fonti multi-espositive sono anche riconosciute nelle linee guida sulla qualità dell'aria del 2021 dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) (https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/551b515e-2a32-4e-1a-a58c-cdaecd395b19/content) che considerano, negli sviluppi futuri, la necessità di effettuare studi che prendano in considerazione non solo i contaminanti chimici ma anche aeroallergeni di diversa natura. L'approccio integrato, le esposizioni multifattoriali e gli effetti sulla salute a livello respiratorio, cutaneo e sistemico trovano valida applicazione nelle malattie allergiche professionali.

Materiali e Metodi

Sono state indagate le nuove fonti espositive di diversa natura in grado di indurre allergie respiratorie e cutanee consultando la letteratura e le linee guida più recenti sulle fonti espositive, le variabili ambientali e gli effetti allergici.

Risultati e Discussione

Il Sottocomitato OMS/IUIS per la Nomenclatura degli Allergeni definisce la nomenclatura ufficiale delle proteine allergeniche assegnando nomi ai nuovi allergeni proposti dai ricercatori. Tra il 2021 e il 2024 sono stati approvati 112 nuovi allergeni con 124 isoallergeni/varianti, oltre a 26 nuove varianti di allergeni già noti [Radauer et al., 2026].

La maggior parte riguarda allergeni respiratori di origine animale (35) e vegetale (25), nonché allergeni alimentari animali (22) e vegetali (17). Molti nuovi allergeni riflettono una crescente esposizione globale e l'ampliamento delle ricerche nei Paesi non occidentali, come evidenziato dagli allergeni dell'acaro Blomia tropicalis, da polline di specie asiatiche e da alimenti regionali quali mango, frutti di mare, pupe di baco da seta.

Sebbene i profili allergenici delle principali fonti siano ben definiti, persistono lacune, soprattutto per allergeni rilevanti in aree al di fuori di Europa e Nord America. L'aumento continuo degli allergeni identificati sottolinea la necessità di una nomenclatura coerente e non ambigua, in grado di adattarsi alle esigenze cliniche e ai progressi scientifici.

La Tabella I, adattata da [Radauer et al., 2026] e integrata con sensibilizzanti comuni negli ambienti di lavoro [Utembe and Andraos, 2026], sintetizza le diverse fonti di esposizione.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Tabella I. Alcuni nuovi allergeni approvati tra gli anni 2021-2024 e alcuni sensibilizzanti comuni negli ambienti di lavoro. Adattata da Radauer et al., 2026 e Utembe and Andraos, 2026

Radauer et al., 2026			
	Numero di sorgenti	**Numero di allergeni**	**Numero di isoallergeni e varianti**
Nuovi allergeni classificati per gruppo di fonti allergeniche			
Allergeni vegetali respiratori	12	25	25
Polline	11	22	22
Altre fonti	1	3	3
Alimenti vegetali	10	17	27
Frutta a guscio, semi	6	11	20
Frutti, tuberi	4	6	7
Allergeni animali respiratori	7	35	36
Acari	5	25	25
Blatte	1	9	10
Mammiferi	1	1	1
Alimenti di origine animale	13	22	23
Crostacei, molluschi, insetti	10	18	19
Pesci	3	4	4
Veleni animali	3	5	5
Muffe	1	7	7
Alimenti batterici	1	1	1
Utembe and Andraos, 2026			
Sostanza			
Sensibilizzanti a basso peso molecolare			
Isocianati (come toluene diisocianato, TDI, esametilendiisocianato, HDI)			
Sali di persolfato			
Fumi di saldatura			
Resine epossidiche			
Triglicidil isocianurato			
Metalli e sali metallici			
Fluidi da taglio/metalworking (MWF)			
Prodotti cosmetici (come isoeugenolo, anidride maleica, glutaraldeide, metilisotiazolinone)			
Sensibilizzanti ad alto peso molecolare			
Spezie			
Farina di soia			
Farina di frumento			
Muffe			
Forfora di bovino			

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

La crescente identificazione di nuovi allergeni deriva da diversi fattori: i progressi in allergologia molecolare, la globalizzazione che introduce con gli spostamenti, allergeni precedentemente assenti, il cambiamento climatico che modifica l'esposoma allergenico.

Le variabili ambientali e climatiche e, in particolare, il cambiamento climatico, hanno un impatto sulle allergie, rendendo necessario indirizzare le ricerche verso la tutela della salute [Augustin et al., 2026]. Una sintesi è presentata in Tabella II.

Tabella II. Necessità di ricerche su cambiamento climatico, qualità dell'aria, patologie allergiche, raccomandazioni da mettere in atto. Adatta da Augustin et al., 2026.

Cambiamento climatico e allergie da polline	**Necessità di ricerca**
Ricerca più dettagliata sull'influenza degli stressors ambientali	
Analisi degli effetti del cambiamento climatico sulla distribuzione del polline usando modelli di proiezione climatica	
Ulteriori ricerche sul ruolo del trasporto del polline a lunghe distanze a seguito di eventi locali rispetto all'influenza di condizioni meteorologiche locali	
Analisi dell'influenza di specifiche condizioni atmosferiche in combinazione con inquinanti atmosferici sui sintomi allergici	
Cambiamento climatico e qualità dell'aria	**Necessità di ricerca**
Ricerche più dettagliate sull'impatto del cambiamento climatico sulle concentrazioni di inquinanti atmosferici soprattutto delle componenti del PM	
Sviluppo per migliorare i modelli di trasporto chimico con esplicite reazioni chimiche nell'atmosfera in modo che possano essere considerati sia gli effetti del cambiamento climatico sulla qualità dell'aria che viceversa	
Approfondire la conoscenza degli effetti dell'inquinamento atmosferico sulle manifestazioni allergiche, della durata del contatto delle piante e del polline con altri inquinanti atmosferici, delle interazioni del polline con inquinanti atmosferici sul sistema respiratorio e altri organi e tessuti	
La dipendenza dell'ozono troposferico dai cambiamenti climatici è evidente ma i meccanismi individuali della complessa relazione necessitano di essere conosciuti più in dettaglio	
Cambiamento climatico e patologie allergiche	**Necessità di ricerca**
È necessaria una ricerca più dettagliata per migliorare la comprensione dei meccanismi per i quali gli inquinanti ambientali modificano l'allergenicità del polline	
È necessario incentivare la ricerca per determinare la forza e la natura dell'associazione tra asma associata alle piante e ricoveri ospedalieri, con un focus particolare sugli effetti causali e meccanismi molecolari sia delle piante che degli esseri umani	
Sono richiesti più esperimenti in condizioni controllate ma con concentrazioni realistiche di miscele di inquinanti rilevanti così che i risultati di laboratorio possano essere estesi all'ambiente	
Deve essere analizzata in maniera più dettagliata la relazione dose-risposta tra esposizione ad allergene e sensibilizzazione/patologia	
Comparazione di aree urbane e rurali	**Necessità di ricerca**
La ricerca sulle interazioni tra inquinanti atmosferici e patologie allergiche è essenziale per sviluppare strategie preventive efficaci e trattare le patologie respiratorie, sia per aree urbane che rurali	
Devono essere investigati in maniera più dettagliata gli effetti combinati del caldo, del polline e dell'inquinamento atmosferico	

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

I cambiamenti nella prevalenza delle allergie dovuta all'aumento della piantumazione di specie arboree aliene rilevanti per le allergie devono essere indagati	
La generazione e l'uso di dati da aree di monitoraggio del polline per poter confrontare i dati regionali e locali sull'occorrenza e la quantità di specie di polline	
Raccomandazioni per la pianificazione urbana e paesaggistica	**Necessità di ricerca**
Valutazione delle piante dal punto di vista delle allergie (polline) nella pianificazione e nel mantenimento della vegetazione: evitare o ridurre di piantare specie di alberi che rilasciano polline di rilevante allergenicità, incrementare la diversificazione, utilizzare piante resistenti al cambiamento climatico	
Per esperti di salute pubblica	
Migliorare la conoscenza dei medici dell'influenza ambientale sulle allergie	
Investigare le relazioni dose-risposta individuali per ottenere una prevenzione personalizzata	
Educare i pazienti per una migliore gestione della loro patologia e ottimizzare il loro adattamento comportamentale (ad esempio controllando la loro esposizione, il tempo delle attività sportive e ricreative *outdoor*)	
Per servizi di salute digitale	
Servizi di Telesalute: fornire consultazioni virtuali e monitoraggio da remoto, particolarmente importanti per la gestione delle condizioni croniche come le allergie	
App di salute: Sostenere lo sviluppo futuro di applicazioni capaci di fornire avvisi in tempo reale sulle conte polliniche e sulla qualità dell'aria, supportando una gestione più efficiente delle patologie allergiche	
Tecnologia indossabile: supportare lo sviluppo (futuro) di dispositivi indossabili con i quali monitorare le metriche di salute e le esposizioni ambientali, favorendo una precoce allerta per gli individui con allergie	
AI e Big Data: supportare lo sviluppo (futuro) dell'intelligenza artificiale con cui analizzare grandi datasets, sviluppare interventi personalizzati e ottimizzare strategie di trattamento	
Medicina personalizzata: supportare lo sviluppo (futuro) per gli strumenti di salute digitale che possono facilitare la nascita di piani personalizzati di gestione delle allergie basati sui dati di salute individuali	
Per fornire servizi pubblici integrati	
Sviluppare e fornire una previsione di allergenicità che consideri l'emissione e la dispersione del polline, la sua interazione con la qualità dell'aria e le condizioni atmosferiche per allertare chi soffre di allergie (apps) così come incentivare i servizi di salute pubblica con giorni di anticipo nel caso di situazioni emergenti gravi	

Conclusioni

Le allergie rappresentano una delle principali sfide sanitarie attuali, con un rilevante impatto di malattia e costi per i sistemi sanitari assumendo quindi un ruolo centrale per la sanità pubblica. Le patologie allergiche hanno un'origine multifattoriale: fattori individuali e ambientali, clima e cambiamento climatico, condizioni meteorologiche e inquinamento atmosferico influenzano la biosfera e la biodiversità, contribuendo allo sviluppo delle allergie.

Le prospettive di ricerca futura includono:

- ridurre il bias dell'elenco ufficiale degli allergeni, ancora centrato sulle popolazioni occidentali, integrandolo con allergeni rilevanti per Asia, Africa e America Latina;
- definire con maggiore chiarezza la rilevanza clinica di molti allergeni presenti nel WHO/IUIS Allergen Nomenclature Database;
- sviluppare procedure rigorose e standardizzate per validare i candidati allergenici identificati tramite approcci omici ad alta processività, evitando l'inserimento di allergeni clinicamente irrilevanti.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Bibliografia

Augustin, J.; Gilge, S.; Appel, H.; Dauert, U.; Endler, C.; Heesen, R.; Höflich, C.; Kuttler, W.; Schlünzen, KH.; Straff, W.; Werchan, B.; Werchan, M.; Zuberbier, T.; Traidl-Hoffmann, C.; 2026. Climate change, air quality, and pollen allergies-state of the art and recommendations for research and public health. Allergy., 81:663-683.

Radauer, C.; Gadermaier, G.; Goodman, RE.; Jacquet, A.; Jappe, U.; Lopata, AL.; Pomés, A.; Raulf, M.; Santos, KS.; Zakzuk, J.; Zhang, Y.; Vitte, J; WHO/IUIS Allergen Nomenclature Sub-Committee.; 2026. New allergens approved by the WHO/IUIS Allergen Nomenclature Sub-Committee in 2021-2024 and their significance for future diagnostics, regulation, and research. An EAACI Task Force Report. Allergy., 81:684-699.

Utembe, W.; Andraos, C.; 2026. Classification of dermal sensitizers under the globally harmonized system of classification and labelling of chemicals (GHS): A critical review of the principles and current challenges. Toxicol Ind Health., 42:100-112.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Monitoraggio di polline allergenico e sabbia sahariana nella città di Roma

Monitoring of allergenic pollen and Saharan dust in the city of Rome

Keywords: aerobiology, allergy, palynology, exposure, occupational

Andrea Lancia[1], Lorenzo Uda[1], Pasquale Capone[2], Renato Ariano[3], Armando Pelliccioni[2], Maria Concetta D'Ovidio[2], Donatella Magri[1], Federico Di Rita[1]

[1] *Dipartimento di Biologia Ambientale, Sapienza Università di Roma, Roma*
[2] *Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale (DiMEILA), Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL), Monte Porzio Catone (Roma)*
[3] *Associazione Allergologi ed Immunologi Italiani Territoriali ed Ospedalieri (AAIITO), Firenze*

Corresponding author: Andrea Lancia, *andrea.lancia@uniroma1.it*

Introduzione

Le incursioni di polveri africane, in particolare sahariane, in Europa sono eventi che influenzano la concentrazione di materiale particolato (PM) atmosferico, con un impatto significativo sulla qualità dell'aria. L'esposizione alle polveri minerali è correlata a un aumento del rischio di malattie respiratorie e cardiovascolari. Queste polveri sono anche in grado di aggravare gli effetti delle particelle di bioaerosol, soprattutto polline, il cui potenziale allergenico può essere amplificato dalla presenza di polvere del deserto [Griffin, 2007].

Durante questi eventi sono stati registrati anche granuli di polline tipici dell'Africa settentrionale o appartenenti a famiglie non fiorite in Europa nel periodo analizzato, un fattore che può introdurre effetti allergici inaspettati in individui sensibilizzati, anche in periodi in cui il polline allergenico dovrebbe essere basso o assente [Rodríguez-Arias *et al.*, 2023]. L'importanza di tali eventi estremi è sottolineata dalle ultime linee guida dell'OMS sulla qualità dell'aria, nelle quali è stato indicato come prioritario "studiare l'esposizione a più inquinanti per determinare l'importanza relativa di specifici inquinanti atmosferici (come biossido di azoto, monossido di carbonio) e componenti del PM, esaminando gli effetti additivi, sinergici o antagonisti, anche in presenza di pollini o altri allergeni presenti nell'aria" [WHO, 2021]. All'interno di tale quadro si inserisce il progetto POLLDUST (Airborne POLLen dispersal in relation to Particulate Matter circulation and African DUST incursions in the city of Rome) finanziato da Sapienza Università di Roma, che mira a ottenere dati integrati su particelle biologiche aerodisperse, PM atmosferico, polveri africane e condizioni meteorologiche nella città di Roma.

Materiali e Metodi

I dati sono raccolti nel centro di monitoraggio aerobiologico Roma Sapienza, nato dalla collaborazione tra il Dipartimento di Biologia Ambientale di Sapienza Università di Roma e il Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale (DiMEILA) di INAIL. Nel centro viene operato il monitoraggio del polline aerodisperso di interesse allergologico utilizzando un campionatore tipo *Hirst*, valutando l'esposizione giornaliera e oraria dei lavoratori di Sapienza Università di Roma e della popolazione generale al polline allergenico aerodisperso. Nel 2025, al campionatore *Hirst* è stato affiancato un sensore per il monitoraggio automatico in tempo reale del particolato atmosferico, in grado di distinguere tra PM_{10}, $PM_{2.5}$ e PM_1, fornendo dati sulla loro concentrazione al secondo.

Risultati e Discussione

I campionamenti con metodo *Hirst* hanno evidenziato alte concentrazioni di polveri durante le giornate di sabbia sahariana, con nette variazioni orarie (Figura 1). Le concentrazioni di PM sono confrontate con quelle di polline allergenico, su scala oraria, durante tutto il campionamento.

Nel corso dei giorni di sabbia sahariana nella città di Roma viene analizzata la variazione nella quantità e composizione di polline durante tali eventi estremi, anche al fine di individuare l'eventuale presenza di specie polliniche di provenienza africana.

Ciò permette sia di quantificare l'esposizione a polline e PM su scala giornaliera, sia di analizzare quanto e come essa vari su scala oraria durante le giornate di incursio-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

ne di sabbia sahariana. I dati su polline e PM saranno inoltre incrociati con dati climatici outdoor, valutando l'influenza di velocità e direzione del vento, umidità e temperatura sulle variazioni di concentrazione oraria delle componenti dell'aerosol.

Conclusioni

Il progetto POLLDUST permette di eseguire monitoraggio approfondito dei fattori che influenzano la salute di lavoratori e studenti frequentati la città universitaria Sapienza, sia su scala giornaliera, sia nel caso di eventi estremi, valutando le variazioni di esposizione orarie, al fine di pianificare migliori strategie di prevenzione e protezione dei soggetti sensibili.

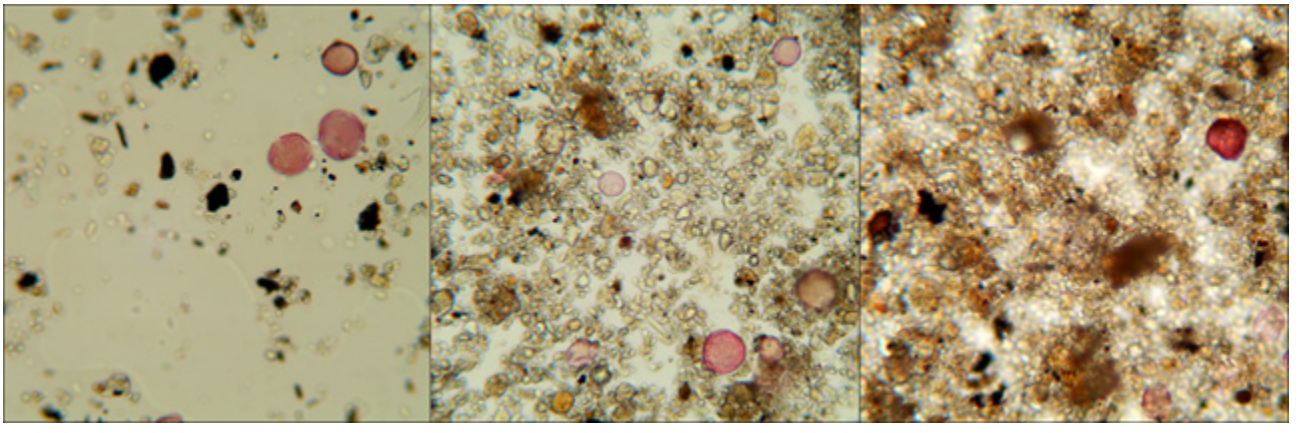


Figura 1. Variazione della concentrazione di sabbia sahariana a Roma all'interno di una singola giornata e granuli pollinici, colorati con fucsina.

Bibliografia

Griffin, D.W., 2007. Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health. Clin. Microbiol. Rev. 20, 459-477.

Rodríguez-Arias, R. M., Rojo, J., Fernández-González, F., et al., 2023. Desert dust intrusions and their incidence on airborne biological content. Review and case study in the Iberian Peninsula. Environ. Pollut., 316, 120464.

WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Utilizzo dei valori di riferimento biologici nel monitoraggio di lavoratori con possibile esposizione occupazionale a nichel: un caso studio

Use of biological reference values in the monitoring of workers with potential occupational exposure to nickel: a case study

Marilena D'Ambrosio[1], Gabriele Sacino[1,2], Giovanna Parisi[1], Antonio Carrus[1], Riccardo Ravallese[1,3], Roberto Ravallese[1,2], Giovanna Simone[1], Alberto Gambalunga[4], Leonarda De Benedictis[1], Anna Morea[1], Mariella Carrieri[4], Piero Lovreglio[1]

[1] *Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Sezione di Medicina del Lavoro, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari*

[2] *Dottorato di Ricerca in Earth Processes and Management of Resources and Risks for a Resilient Society, Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari*

[3] *Dottorato di Ricerca in Sanità Animale e Zoonosi, Dipartimento di Medicina Veterinaria, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Valenzano (Bari)*

[4] *Dipartimento Scienze Cardio-Toraco-Vascolari e Sanità Pubblica, Università degli Studi di Padova, Padova*

Corresponding author: Marilena d'Ambrosio, *marilena.dambrosio@uniba.it*

Introduzione

Il nichel (Ni) è un elemento ubiquitario, presente nel suolo, nell'acqua e nell'aria, ed essenziale per diversi organismi viventi, incluso l'uomo. Le principali fonti di esposizione occupazionale comprendono le attività di saldatura, mentre l'esposizione extraprofessionale è associata all'inquinamento ambientale, all'assunzione di specifici alimenti (cacao, frutta secca, asparagi, funghi e pomodori) e ad abitudini voluttuarie quali fumo di sigaretta e consumo di vino e birra. Il Ni metallico è classificato dallo International Agency for Research on Cancer (IARC) nel gruppo 2B (possibile cancerogeno per l'uomo), mentre i composti del Ni sono classificati come cancerogeni per l'uomo (Gruppo 1) [IARC, 2012] e alcuni presentano anche proprietà reprotossiche. Lo studio si propone di evidenziare l'applicazione e l'utilità dei Valori di Riferimento Biologici (VRB) nella valutazione dell'esposizione a Ni mediante monitoraggio biologico in lavoratori di un'officina meccanica.

Materiali e Metodi

Il caso studio ha riguardato 9 lavoratori addetti alla manutenzione di manufatti in leghe metalliche contenenti percentuali variabili di Ni, comprendenti attività di saldatura ossiacetilenica e saldobrasatura. Ai lavoratori è stato somministrato un questionario pre- e post-turno per la raccolta di informazioni su dati anagrafici, abitudini hobbistiche e voluttuarie nelle 24 ore precedenti il campionamento, attività lavorativa svolta, esposizione a fumo di sigaretta e alimenti assunti nelle 48 ore precedenti.

Il protocollo ha previsto la determinazione del Ni e della creatinina urinari su campioni raccolti a inizio turno-inizio settimana (IT-IS) e fine turno-fine settimana (FT-FS) per 8 lavoratori; per 4 di essi anche a inizio turno (IT-GC) e fine turno (FT-GC) nella giornata di monitoraggio ambientale personale; per un lavoratore, per motivi organizzativi, il campionamento è stato effettuato a inizio e fine turno in un'unica giornata lavorativa.

La determinazione del Ni urinario è stata effettuata mediante spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente (ICP-MS), previa diluizione del campione in soluzione acquosa acidificata con HNO_3 (~1% v/v). Le analisi sono state condotte in modalità con gas di collisione (He-KED) per la riduzione delle interferenze spettrali, mediante calibrazione multistandard in matrice acida. Il LOD della metodica è stato di 0.026 µg/L. La creatinina urinaria è stata determinata con metodo enzimatico standardizzato. I livelli di Ni urinario sono stati confrontati con i BEI dell'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (30 µg/L per i composti solubili e 5 µg/L per quelli scarsamente solubili) e con i VRB della Quinta Lista S.I.V.R.–E.T.S. (2023), pari a 0,372–4,44 µg/L (5°–95° percentile).

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Risultati e Conclusioni

I valori di Ni urinario rilevati nei campioni IT-IS e FT-FS sono risultati inferiori al BEI ACGIH per i composti scarsamente solubili e compresi nell'intervallo dei VRB. Una coppia di valori appaiati IT-GC/FT-GC ha evidenziato concentrazioni superiori sia al BEI sia al 95° percentile dei VRB, configurandosi come outlier e suggerendo una possibile esposizione extraprofessionale.

Discussione

La disponibilità di VRB per il Ni urinario consente l'impiego di tale biomarcatore nella valutazione dell'esposizione occupazionale anche in assenza di specifici valori limite biologici nel D.Lgs. 81/08 e s.m.i. L'identificazione di valori eccedenti il range dei VRB rappresenta uno strumento utile per l'interpretazione dei dati e può orientare, in un'ottica precauzionale, ulteriori approfondimenti, inclusa la temporanea sospensione dall'esposizione lavorativa per distinguere tra contributi occupazionali ed extraprofessionali.

Bibliografia

International Agency for Research on Cancer. (2012). Nickel and nickel compounds. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 100C – Arsenic, Metals, Fibres and Dusts) Lyon: World Health Organization.

S.I.V.R. - E.T.S (Società italiana Valori di Riferimento – Ente del Terzo Settore). Quinta Lista dei Valori di Riferimento per Elementi, Composti Organici e Loro Metaboliti. Quinta edizione. Luglio 2023. ISBN: 978-88-7364-835-2.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

aidii
LA CULTURA DELLA PREVENZIONE
42° Congresso nazionale
di igiene industriale e ambientale

ijoehy
Italian Journal of Occupational
and Environmental Hygiene

Sessione 4

Fattori di rischio fisico

Effetti uditivi e non uditivi dell'esposizione al rumore. Studio dei profili forensi nell'ambito del progetto BRIC INAIL 2024 ID07

Auditory and non-auditory effects of noise exposure. Forensic profiling study as part of the BRIC INAIL 2024 ID07 project

Keywords: Noise, occupational, non-auditory, scenario, forensic

Sergio Luzzi[1], Nicola Mucci[2], Antonio Baldassarre[2], Chiara Bartalucci[1], Paola Pulella[1]

[1] *Vie en.ro.se. Ingegneria, Firenze*

[2] *Dipartimento di Medicina Sperimentale e Clinica, Università di Firenze*

Corresponding author: Sergio Luzzi, *sergio.luzzi@vienrose.it*

Introduzione

Il progetto BRIC INAIL 2024 ID07 vede coinvolti sette diversi atenei italiani e, come già il precedente BRIC INAIL 2019 ID14, si occupa degli effetti extra-uditivi del rumore in ambito occupazionale, considerando in particolare gli ambienti scolastici, universitari e ospedalieri e il controllo del rischio degli infortuni correlati al rumore in tutti gli ambiti, incluso quello industriale. Questo contributo riporta una sintesi delle attività svolte nel primo anno di ricerca dalle unità operative coinvolte nell'obiettivo 1 del progetto, dedicato agli aspetti forensi della problematica. Si intende definire gli aspetti di danno e di responsabilità derivanti da scenari di rumore occupazionale dal punto di vista dei possibili contenziosi che possono insorgere in tutti gli ambiti giuridici, con particolare attenzione alle cause civili e al diritto del lavoro, senza trascurare i possibili risvolti penali, soprattutto per quanto riguarda gli infortuni.

Materiali e Metodi

A partire dalla raccolta e analisi dei principali riferimenti normativi e giurisprudenziali relativi alla correlazione tra effetti uditivi e non uditivi dell'esposizione al rumore, della riduzione della funzione uditiva e del rischio di infortunio rumore-correlato, l'attività di ricerca si articola nella catalogazione degli scenari, reali e potenziali, secondo una prospettiva di prevenzione, igienistica e giuridica, orientata all'anticipazione del rischio e soluzione anticipata delle possibili controversie.

La catalogazione in scenari è un'azione descrittiva e operativa: il suo scopo è costruire una griglia di casi-tipo in cui collegare, per ciascun contesto lavorativo, il nesso tra fonte di rumore, evento dannoso, soggetti esposti, possibili parti in causa, ambiti di responsabilità e bisogni probatori. La "tabella degli scenari" costituisce così la base metodologica, insieme alle sotto-tabelle dedicate ai riferimenti tecnico-giuridici, alle modalità di accertamento e misura e alle fattispecie.

La sotto-tabella dei riferimenti tecnico-giuridici è finalizzata a collegare ciascun caso-tipo ai principali nuclei normativi, ai riferimenti civili, penalistici e giuslavoristici, ai documenti tecnici di supporto e alle chiavi di ricerca giurisprudenziale. I riferimenti normativi risultano incentrati soprattutto sul D.Lgs. 81/2008, sulla Direttiva 2003/10/CE, sull'articolo 2087 c.c. e sulla giurisprudenza, con una selezione ragionata delle massime e delle pronunce pertinenti, effettuata utilizzando le banche dati giuridiche.

Nasce così un vero e proprio elenco di fattispecie, per ciascuna delle quali sono indicate la materia del contendere, le ipotetiche parti coinvolte, l'iter procedurale, le possibili sanzioni in caso di condanna.

Questa impostazione consente di passare da una nozione generica di "rumore come fattore nocivo" a una lettura più precisa del rischio giuridico, distinguendo fra:

a. scenari di contenzioso civile per malattia professionale o danno alla salute;
b. scenari di diritto del lavoro legati a pregiudizio organizzativo e/o psico-fisico;
c. scenari con rilevanza penale sedi di infortuni per masking o perdita di attenzione;
d. scenari sedi di controversie amministrative, contrattuali o extracontrattuali in cui il rumore agisce come concausa tecnica.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Prossime attività

Le attività previste per il secondo anno del progetto prevedono il completamento delle azioni sopra descritte con la produzione della tabella delle attività forensi come combinazione e integrazione delle citate sotto-tabelle, cercando di collegare i dati raccolti con quelli degli altri obiettivi, nell'economia generale del progetto e del suo sistema generale di archiviazione dei dati.

Il secondo anno sarà dedicato anche agli approfondimenti riguardanti gli aspetti risarcitori che entrano nel contenzioso e nelle perizie tecnico-legali. Si procederà alla descrizione sistematica delle tipologie di indennizzo secondo le diverse tabelle di quantificazione del danno biologico e dei relativi risarcimenti.

Sulla base degli esiti della catalogazione e di quanto risultante dalle attività di ricerca relative all'entità dei danni non uditivi alla salute dei lavoratori derivanti da esposizione al rumore, sarà fornita indicazione per possibili modifiche e/o integrazioni delle tabelle INAIL e degli altri criteri utilizzati in ambito assicurativo e risarcitorio per la quantificazione dei danni. Si prevede a questo scopo di collaborare con i partner e i competenti uffici di INAIL per produrre proposte testuali utilizzabili come base anche per percorsi di revisione legislativa e integrativa del D.Lgs. 81/2008 attualmente privo di riferimenti alla valutazione degli effetti non uditivi.

L'estensione dello studio sulla correlazione tra infortuni e rumore in ambito industriale sarà oggetto di una specifica azione i cui risultati saranno raccolti in un testo contenente buone pratiche, soluzioni acustiche per incrementare il grado di udibilità dei segnali e ridurre i suoni non necessari mascheranti, soluzioni organizzative per la gestione dei mezzi all'interno dei magazzini e degli altri ambienti industriali.

Conclusioni

La valutazione dell'esposizione occupazionale al rumore e la mitigazione acustica degli ambienti di lavoro sono storicamente focalizzate sulla prevenzione dell'ipoacusia e delle altre patologie dell'apparato uditivo. Gli effetti extra-uditivi, per quanto noti a livello scientifico, rimangono spesso ai margini della valutazione del rischio.

L'analisi degli scenari su cui si basa l'obiettivo 1 del progetto BRIC INAIL 2024 ID07 consente di evidenziare il ruolo del rumore come fattore di rischio trasversale, in grado di incidere su prestazioni cognitive, qualità della comunicazione e sicurezza operativa.

Dal punto di vista forense, tali scenari possono configurare profili di responsabilità e di tutela connessi alla gestione degli ambienti e delle condizioni di lavoro e all'adeguamento dei sistemi di prevenzione e protezione e di anticipazione del rischio.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

La nuova norma UNI EN ISO 9612.2025 per la valutazione dell'esposizione al rumore dei lavoratori: prime esperienze applicative e differenze con la versione precedente

The new UNI EN ISO 9612.2025 standard for assessing workers' noise exposure: initial application experiences and differences with the previous version

Keywords: Noise, occupational, exposure, methodology, standard

Riccardo Fusi[1], **Sergio Luzzi**[1]

[1] *Vie en.ro.se. Ingegneria, Firenze*

Corresponding author: Riccardo Fusi, *riccardo.fusi@vienrose.it*

Introduzione

Il rumore costituisce uno degli agenti fisici più diffusi in gran parte degli ambienti lavorativi. La sua presenza non comporta soltanto effetti diretti sull'apparato uditivo, ma può determinare anche conseguenze di danno non uditivo di natura fisiologica, psicologica e sociale, influenzando ad un tempo la salute del lavoratore e la qualità della sua vita. A livello di esposizione occupazionale la materia è regolata dal D.Lgs. 81/2008 (Titolo VIII, Capo II), che stabilisce i valori limite di esposizione e i valori di azione, nonché gli obblighi del datore di lavoro in termini di valutazione del rischio, sorveglianza sanitaria e misure di prevenzione. Per il calcolo e la valutazione dell'esposizione il riferimento principale è la Norma UNI EN ISO 9612 che nel luglio 2025 è stata pubblicata in versione aggiornata.

Gli autori, che hanno collaborato alla stesura del documento tecnico AIDII n.3 del 10 ottobre 2025 sulla valutazione integrata del rischio rumore nei luoghi di lavoro e nell'ambiente, dove si è data una prima interpretazione analitica della Norma, ne propongono qui i temi fondamentali e i primi riscontri applicativi, evidenziando le differenze con la versione precedente del 2011.

Materiali e Metodi

La versione 2025 della UNI EN ISO 9612, così come la versione precedente, contiene la metodologia operativa per misurare e calcolare l'esposizione personale al rumore dei lavoratori. La norma presenta una struttura generale invariata ma fornisce indicazioni operative aggiuntive rispetto alla versione precedente.

Fra queste è certamente significativa, ai fini della corretta impostazione della campagna di misure fonometriche, la ridefinizione della numerosità e della durata dei campionamenti che vengono definiti a seconda del numero dei lavoratori costituenti i gruppi acusticamente omogenei che è possibile individuare in un ambiente di lavoro. Si è riscontrato in sede applicativa della versione aggiornata della Norma come questa variazione comporti un aumento del numero delle misure e una conseguente migliore riproducibilità delle stesse.

Anche la distribuzione dei campioni durante la giornata lavorativa viene definita in modo più dettagliato: se un gruppo omogeneo è costituito da più di un lavoratore viene espressamente previsto che si effettuino campionamenti su più lavoratori.

Un altro aspetto importante della nuova versione della UNI EN ISO 9612 è l'introduzione della metodologia di calcolo dell'esposizione al rumore dei cosiddetti lavoratori "flessibili" ai quali è possibile associare differenti giornate tipo nominali. Il nuovo foglio di calcolo, fornito in allegato alla norma ha introdotto una nuova procedura per calcolare l'esposizione giornaliera di questi lavoratori, implementando anche il calcolo dell'incertezza nel caso specifico. Questa opzione non era prevista nella versione precedente della Norma che prevedeva per le esposizioni molto variabili il ricorso al livello di esposizione settimanale e come unica alternativa l'indicazione della "peggiore" giornata lavorativa nominale.

Le possibili strategie di misura restano invariate rispetto alla versione precedente: rimane per i valutatori la possibilità di scegliere la strategia più adatta (per compiti, per mansioni e per esposizione giornaliera) anche utilizzando le tabelle comparative riportate nel testo della Norma. Il prospetto B.1 della Norma fornisce una base per orientarsi fra le varie strategie di misurazione per diversi modelli di lavoro, mettendo a confronto le tre strategie in diverse

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

situazioni (postazioni di lavoro fisse/mobili, compiti ben individuabili o meno, durate specificate o meno…).
Gli allegati nella nuova versione della Norma sono suddivisi in normativi e informativi e comprendono prescrizioni operative o spiegazioni, rispettivamente.
Nelle prime esperienze applicative del team coordinato dagli autori si è sperimentata una esigenza di maggior precisione, rispetto alla versione precedente. Questa ha riguardato soprattutto alcuni aspetti dell'impostazione della campagna di rilevazioni e del processo di valutazione. Il numero di campionamenti è risultato costantemente più alto delle precedenti campagne negli stessi ambienti e si è avuto occasione di utilizzare in casi particolari la nuova opzione di calcolo per lavoratori flessibili che ha fornito risultati più rappresentativi della realtà aziendale e delle attività del singolo lavoratore.

Conclusioni

Dalle prime esperienze applicative della nuova versione della UNI EN ISO 9612:2025 si sono tratte utili indicazioni per l'igienista occupazionale che dovrà d'ora in poi valutare il rischio rumore.
La metodologia aggiornata proposta dalla Norma rende necessaria una diversa impostazione e attuazione del programma di misura, modificando il numero e la distribuzione dei campioni e la modalità di elaborazione dei risultati, utilizzando le procedure e il foglio di calcolo allegati alla norma.

Bibliografia

Norma UNI EN ISO 9612:2025 Acustica - Determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro - Metodologia.

AIDII, La valutazione integrata del rischio rumore nei luoghi di lavoro e nell'ambiente, Documenti Tecnici AIDII n.3, Milano, 2025.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Valutazione sperimentale dell'esposizione ai campi elettromagnetici dei lavoratori addetti all'uso di macchine utensili in officine meccaniche

Experimental assessment of electromagnetic field exposure in workers operating machine tools in mechanical workshops

Keywords: occupational, exposure, low-frequency, magnetic, field

Giancarlo Burriesci[1], Nicola Zoppetti[2], Moreno Comelli[2], Andrea Donati[2], Carlo Bartoli[3], Andrea Bogi[4], Nicola Stacchini[4], Cecilia Vivarelli[5], Eugenio Mattei[5]

[1] *INAIL-DiMEILA, Monte Porzio Catone (RM)*
[2] *CNR-IFAC, Sesto Fiorentino (FI)*
[3] *CNR ICCOM, Sesto Fiorentino (FI)*
[4] *Settore Agenti Fisici, Laboratorio Regionale di Sanità, Siena, Italia*
[5] *MACA, Istituto Superiore di Sanità, Roma, Italia*

Corresponding author: Giancarlo Burriesci, *g.burriesci@inail.it*

Introduzione

L'esposizione professionale ai campi elettromagnetici (CEM) è oggetto di crescente attenzione nell'ambito della prevenzione dei rischi occupazionali, in particolare nei settori industriali caratterizzati dall'impiego di macchine elettriche ed elettromeccaniche. Le officine meccaniche rappresentano uno scenario di interesse poiché ospitano numerose sorgenti di CEM, spesso operanti in condizioni di funzionamento intermittente e con segnali non sinusoidali (Figura 1).

Il quadro normativo di riferimento è definito dal Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 [1], che stabilisce criteri e metodologie per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai CEM nelle diverse bande di frequenza. In presenza di segnali complessi a bassa frequenza, la valutazione richiede l'adozione di metodiche specifiche, in grado di considerare la composizione spettrale e la variabilità temporale dei campi generati.

Scopo del presente lavoro è la valutazione sperimentale dell'esposizione ai CEM dei lavoratori addetti all'uso di macchine utensili in un'officina meccanica [4,5], con particolare riferimento alla verifica del rispetto dei limiti normativi e alla determinazione di eventuali distanze di rispetto.

Materiali e Metodi

La campagna di misura è stata condotta presso l'officina meccanica dell'Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara" (IFAC-CNR) di Firenze, nell'ambito del progetto BRIC – ID 36 che prevede la collaborazione tra INAIL, Istituto Superiore di Sanità, IFAC-CNR, e il Settore Agenti Fisici del Laboratorio Regionale di Sanità di Siena.

Sono state analizzate le emissioni elettromagnetiche di due torni e tre taglierine, selezionati in quanto rappresentativi di macchine comunemente presenti nelle officine meccaniche. Le misure sono state effettuate nelle condizioni operative tipiche, considerando le postazioni abitualmente occupate dagli operatori.

Per la valutazione dell'esposizione a segnali non sinusoidali con frequenze inferiori a 10 MHz è stato applicato il metodo del picco ponderato (Weighted Peak, WP), come previsto dal D.Lgs. 81/08. È stata utilizzata una catena strumentale costituita dallo strumento ELT400 (Narda), accoppiato a un sistema di acquisizione multicanale basato su Oscilloscopio PicoScope 5444D MSO, (che ha consentito la registrazione dell'andamento temporale del segnale e la successiva elaborazione numerica. Per ciascun apparato è stato rilevato il valore massimo del campo magnetico e sono stati calcolati gli indici WP relativi sia ai lavoratori, sia alla popolazione [2]. Sebbene il metodo del picco ponderato non sia esplicitamente previsto per la popolazione, esso è stato applicato in quanto fornisce una stima più realistica dell'esposizione tenendo conto delle fasi delle componenti spettrali. Inoltre, i limiti per la popolazione rappresentano anche il valore di riferimento al di sotto del quale i rischi derivanti dall'esposizione

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

a campi elettromagnetici per individui particolarmente sensibili, come i portatori di dispositivi medici impiantabili attivi (DMIA), possono essere generalmente considerati accettabili.

Risultati e Discussione

In Figura 1 è riportato un esempio di segnale di campo magnetico registrato per una delle macchine analizzate. I risultati mostrano che, per tutti gli apparati analizzati, gli indici WP riferiti ai lavoratori risultano ampiamente inferiori al 100% dei valori di azione previsti dal D.Lgs. 81/08. Per quanto riguarda la popolazione, uno dei torni analizzati ha evidenziato un indice WP superiore al 100% in prossimità della sorgente.
Nella Tabella 1 vengono riportati i risultati più significativi.

Tabella 1. Risultati delle misure di campo magnetico e indici di esposizione calcolati con il metodo del picco ponderato

Apparato	B picco [μT]	WP lavoratori [%]	WP popolazione [%]
Tornio 1	40.9	2.8	57.3
Tornio 2	62.5	5.6	105.7
Taglierina 3	18.0	1.4	15.1
Taglierina 4	20.8	1.5	23.8
Taglierina 5	14.7	1.1	13.7

Conclusioni

I risultati della campagna sperimentale indicano che l'esposizione ai campi elettromagnetici dei lavoratori addetti all'uso delle macchine utensili esaminate risulta conforme ai limiti normativi vigenti e non richiede l'adozione di misure di protezione specifiche.
Tuttavia, per una delle macchine analizzate sono emersi livelli di esposizione superiori ai limiti previsti per la popolazione nelle immediate vicinanze della sorgente. Ciò rende necessaria l'adozione di misure organizzative, quali la limitazione dell'accesso alle aree prossime alla macchina per soggetti particolarmente sensibili, inclusi portatori di DMIA e donne in gravidanza [3].
Lo studio conferma l'efficacia dell'approccio sperimentale e dell'applicazione del metodo del picco ponderato per la valutazione dell'esposizione a segnali complessi in ambito industriale.

Bibliografia

Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 e s.m.i., Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 101, 30 aprile 2008.

Consiglio Europeo, Raccomandazione 1999/519/CE del 12 luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz, G.U. Comunità Europee, L 199, 30 luglio 1999.

Censi F., Vivarelli C., Mattei E., Calcagnini G., Bogi A., Stacchini N., Comelli M., Zoppetti N., Burriesci G., D'Agostino S., Di Liberto R., Falsaperla R., Valutazione sperimentale della compatibilità elettromagnetica di dispositivi medici impiantabili attivi in diversi ambienti di lavoro, Atti del Convegno AIRP, Lucca, 2024.

Valentini M., Di Gesu I., Trovato R., Burriesci G., Inquinamento elettromagnetico indoor prodotto da sistemi di saldatura: caso studio, Atti AIDII – Incontri Mediterranei di Igiene Industriale, Lamezia Terme, 3–4 ottobre 2019.

Andreuccetti D., Bogi A., Burriesci G., Comelli M., Falsaperla R., Picciolo F., Pinto I., Stacchini N., Zoppetti N., Valutazione mediante misure e calcolo di un intervento di bonifica realizzato su puntatrici elettromeccaniche, Atti del XXXVII Congresso Nazionale AIRP di Radioprotezione, Bergamo, 2018, pp. 357–366.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Esposizione a radiazioni ionizzanti nella pratica radiologica veterinaria: analisi sperimentale e considerazioni radioprotezionistiche

Exposure to ionizing radiation in veterinary radiological practice: experimental analysis and radiological protection considerations

Keywords: Ionizing radiation, Veterinary medicine, Occupational exposure, Dosimetry

Gabriele Sacino[1,2], Roberto Ravallese[1,2], Riccardo Ravallese[1,3], Giuseppe Ruospo[1], Giovanna Simone[1], Antonio Trevisi[4], Giovanna Parisi[1], Piero Lovreglio[1], Tommaso Maggipinto[5,6]

[1] *Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Sezione di Medicina del Lavoro, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari.*
[2] *Dottorato di Ricerca in Earth Processes and Management of Resources and Risks for a Resilient Society, Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari.*
[3] *Dottorato di Ricerca in Sanità Animale e Zoonosi, Dipartimento di Medicina Veterinaria, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Valenzano (Bari).*
[4] *Centro Interdipartimentale di Servizi per la Radioprotezione, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari.*
[5] *Dipartimento Interateneo di Fisica, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari.*
[6] *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Sezione di Bari.*

Corresponding author: Gabriele Sacino, *sacinogabriele@gmail.com*

Introduzione

L'esposizione a radiazioni ionizzanti per scopi diagnostici in ambito veterinario è caratterizzata da procedure specifiche quali per esempio la necessità di immobilizzare l'animale da irradiare, la diversa dimensione dell'animale e quindi la necessità di variare le dosi applicate e l'ambiente dove vengono effettuate le procedure di irradiazione [Jiménez et al., 2026]. Questo può rendere peculiare l'applicazione delle norme di radioprotezione dei lavoratori esposti in accordo con quanto riportato nel D.Lgs 101/2020. [D.Lgs 101/2020]

L'obiettivo dello studio, pertanto, è stato quello di misurare l'esposizione a radiazioni ionizzanti del personale veterinario nell'area dove sono impiegate apparecchiature RX in differenti condizioni reali, valutando l'efficacia di DPI e paraventi o schermate mobili.

Materiali e Metodi

Le misurazioni sono state effettuate durante l'utilizzo di un apparecchio radiologico standard, posizionando il dosimetro in cinque configurazioni spaziali e simulando l'animale con fantocci, la dose è stata valutata sia in presenza che in assenza di protezioni individuali e collettive.

La dose è stata misurata a 50 cm nelle seguenti condizioni di esposizione: standard (parametri di riferimento 66 kVp e 8 mAs), Isometrico (lato opposto per verifica simmetria radiazione diffusa), kVp con tensione aumentata (90 kVp), mAs con esposizione aumentata (16 mAs), fantoccio ridotto e senza fantoccio (scatto senza soggetto per simulare evento accidentale). Successivamente la dose è stata misurata a 1 m, a 6 m, ad altezza cristallino (1.5 m dal suolo) e a 2.5 m con protezione da paravento.

Risultati e Discussione

La dosimetria effettuata a 50 cm ha mostrato in condizioni standard senza DPI valori pari a 3.5 µSv, mentre con fantoccio ridotto sono stati osservati valori di 2.7 µSv e senza fantoccio di 2.0 µSv. La dosimetria effettuata a 1 m ha mostrato valori pari a 0.72 µSv, simile a quella riscontrata per il cristallino. L'uso dei camici piombati riduceva sostanzialmente l'esposizione a radiazioni ionizzanti osservata, mentre appare di interesse il riscontro di valori pari a 0.24 µSv con utilizzo non corretto di paravento schermante mobile.

Conclusioni

L'uso corretto di dispositivi di protezione individuali e collettivi e della distanza riduce la dose di diversi ordini di grandezza, in linea con i principi del D.Lgs. 101/2020, evidenziando come la radiologia veterinaria, se condot-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

ta secondo buone pratiche e formazione continua, dovrebbe garantire il controllo dei livelli di esposizione. I risultati osservati, tuttavia, devono essere considerati come preliminari rispetto al successivo obiettivo di indagare scenari lavorativi non ideali della pratica veterinaria come la contenzione manuale o posizioni operative scomode, al fine di individuare le misure di radioprotezione necessarie a garantire una protezione completa e specifica del personale veterinario impiegato in attività comportante esposizione a radiazioni ionizzanti.

Bibliografia

Jiménez, J., Corbacho, J.A., Escudero, P., Púa, M., Melchor, C., 2026. Evaluation of occupational equivalent doses to selected organs and tissues in veterinarians from scattered radiation during X-ray and CT examinations. Radiat. Prot. Dosimetry, 202(5), 429–440. https://doi.org/10.1093/rpd/ncaf153.

D.Lgs. 31 luglio 2020, n. 101, Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom – Norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Roma, 2020.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Percezione e conoscenza e del rischio freddo: un case report in azienda

Perception and knowledge of cold risk: a company case report

Keywords: cold work environments, health at work, safety at work, survey, risk perception

Claudia Giliberti[1], Michela Bonafede[2], Romina Scarsellone[3], Ledjana Hoxha[4] e il gruppo di lavoro Worklimate 2.0

[1] *INAIL - Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti ed insediamenti antropici, roma*
[2] *INAIL - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro ed ambientale, roma*
[3] *ASL Frosinone*
[4] *Tecnico della prevenzione – Frosinone*

Corresponding author: Claudia Giliberti, *c.giliberti@inail.it*

Introduzione

La valutazione del rischio microclimatico da basse temperature rappresenta un ambito ancora relativamente poco esplorato rispetto al rischio da caldo, nonostante il freddo possa incidere in modo significativo sulla salute dei lavoratori e sulla sicurezza delle attività produttive. L'esposizione prolungata a condizioni termiche rigide, infatti, non si limita a generare semplice disagio, ma può favorire l'insorgenza di ipotermia, congelamenti, disturbi muscoloscheletrici e una riduzione delle capacità cognitive e motorie, aumentando così la probabilità di infortuni sul lavoro.

In questo contesto si inserisce il progetto Worklimate 2.0 (BRIC INAIL 2022, coordinato da CNRIBE e INAIL), che approfondisce gli effetti delle condizioni termiche estreme sulla salute e sulla produttività dei lavoratori, con l'obiettivo di sviluppare strumenti operativi per la prevenzione del rischio microclimatico nei diversi settori produttivi. Nell'ambito del progetto è stato realizzato un caso studio in una realtà lavorativa caratterizzata da esposizione a basse temperature, con l'obiettivo di analizzare in modo sistematico la percezione del rischio freddo, le misure di prevenzione adottate e le principali criticità organizzative riportate dai lavoratori.

Obiettivi

L'obiettivo generale del caso studio è descrivere, in un campione di lavoratori impiegati in reparti caratterizzati da esposizione al freddo indoor, il livello di consapevolezza rispetto al rischio microclimatico, la frequenza e l'intensità dell'esposizione percepita, la comparsa di eventuali sintomi correlabili e il grado di applicazione delle misure di prevenzione disponibili.

Gli obiettivi specifici comprendono: valutare la conoscenza delle misure tecniche, organizzative e di protezione individuale adottabili; analizzare la percezione degli ostacoli che limitano una gestione efficace del rischio freddo; e infine fornire indicazioni utili alla personalizzazione di strumenti e percorsi formativi dedicati alla prevenzione dei rischi da basse temperature in azienda.

Metodi

È stato predisposto un questionario strutturato, sviluppato nell'ambito delle attività di Worklimate 2.0, e somministrato a tutti i lavoratori di un'azienda individuata come caso studio. Lo strumento comprende sezioni dedicate a: caratteristiche socio-demografiche e lavorative, stili di vita, percezione del rischio, conoscenza del rischio, infortuni, misure di prevenzione ed ostacoli percepiti per la prevenzione del rischio.

I questionari compilati sono stati analizzati mediante statistiche descrittive: sono state calcolate distribuzioni percentuali per le principali variabili categoriali e valori medi con deviazione standard per le variabili quantitative.

Risultati

L'indagine ha coinvolto un campione di 106 lavoratori (un terzo della popolazione lavorativa dello stabilimento), composto per il 69% da uomini e il 31% da donne, con una prevalenza della fascia d'età tra i 36 e i 50 anni (44%). La stabilità occupazionale è rappresentata dal 73% di contratti a tempo indeterminato, mentre le mansioni prevalenti sono operai (30%), impiegati amministrativi (22%) e manutentori (19%). Il 10% degli inter-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

vistati opera in ambienti estremamente freddi e il 25% a temperature abituali inferiori ai 10°C. Sulla base dei dati sanitari riportati dai lavoratori, il 26% riferisce almeno una malattia cronica, con prevalenza di patologie reumatiche (9%) e cardiovascolari (5%). Tra i disturbi riferiti connessi al freddo figurano rinosinusite (14%) e infezioni respiratorie (6%), mentre episodi di ipotermia e congelamento sono riportati rispettivamente dal 2% e dal 4% del campione. Il 28% dei soggetti dichiara di essere fumatore.

La percezione del rischio registra medie elevate per la potenziale letalità del freddo (4,23/5) e per l'efficacia delle misure preventive (4,24/5). Tuttavia, la conoscenza corretta del rischio infortuni è limitata al 25% per il lavoro all'aperto e al 19% per gli interni non climatizzati, mentre solo il 12% conosce il concetto di acclimatazione. Il freddo è riferito come ostacolo all'attività dal 56% dei lavoratori e influisce sulla perdita di produttività per il 43% degli intervistati. L'82% ha ricevuto formazione nell'azienda attuale, definita completamente chiara dal 66%. Riguardo agli ostacoli percepiti per la gestione del rischio in azienda, i lavoratori esposti a temperature inferiori ai 10°C evidenziano come barriere principali la scarsa consapevolezza dei colleghi (3,42) e dei responsabili (3,08), l'insufficienza della formazione (3,23) e l'eccessiva attenzione del datore di lavoro alla produttività (3,12).

Conclusioni

Il caso studio condotto nell'ambito del progetto Worklimate 2.0 mette in luce come il rischio da basse temperature sia riconosciuto dai lavoratori, ma risulti ancora parzialmente sottostimato e non pienamente integrato nei processi aziendali di prevenzione e protezione. La percezione della pericolosità del freddo risulta eterogenea e fortemente influenzata dall'esperienza individuale: alcuni lavoratori si definiscono direttamente esposti e vulnerabili, mentre altri tendono a considerare il rischio gestibile con le sole abitudini personali. I risultati suggeriscono la necessità di rafforzare gli interventi formativi specifici sul rischio freddo, di strutturare in modo più sistematico l'organizzazione del lavoro e di valorizzare l'uso corretto dei DPI termici.

Bibliografia e sitografia

Bonafede M., Marinaccio A., Asta F., Schifano P., Michelozzi P., Vecchi S., 2016 The association between extreme weather conditions and work-related injuries and diseases. Asystematic review of epidemiological studies.

Raimundo A.M., Oliveira A.V.M., Gaspar A.R., Quintela D.A., 2015 Thermal conditions in freezing chambers and prediction of the thermophysiological responses of workers.

https://www.worklimate.it/

https://www.inail.it

https://www.portaleagentifisici.it

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

LA CULTURA DELLA PREVENZIONE
42° Congresso nazionale
di igiene industriale e ambientale

Italian Journal of Occupational
and Environmental Hygiene

Sessione 5

Fattori di rischio trasversali

SafetyMaker: una piattaforma aperta per lo sviluppo di giochi formativi per la sicurezza industriale

SafetyMaker: an open platform for the development of training games for workplace safety

Keywords: Safety, training, serious games, virtual reality, experiential learning

Raffaele d'Angelo[1], Gennaro Bufalo[1], Ernesto Russo[1], Andrea Tarallo[2], Antonio Lanzotti[2]

[1] *Consulenza Tecnica per la Salute e la Sicurezza – INAIL Direzione Regionale Campania, Napoli, Italia*
[2] *IDEAS – Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, Italia*

Corresponding author: Raffaele d'Angelo, *r.dangelo@inail.it*

Introduzione

Il contesto lavorativo contemporaneo è caratterizzato da una crescente complessità tecnologica e organizzativa, che rende sempre più evidente la necessità di adottare strategie formative efficaci, capaci di andare oltre il mero adempimento degli obblighi normativi. In tale scenario, le tecnologie digitali offrono nuove opportunità per la progettazione di percorsi formativi maggiormente coinvolgenti, in grado di favorire l'apprendimento esperienziale e il consolidamento delle competenze.

In questo ambito si colloca il crescente interesse verso i cosiddetti giochi seri (serious games), ovvero esperienze digitali interattive progettate con finalità formative o addestrative, che riproducono dinamiche tipiche del gioco al fine di stimolare l'attenzione, la motivazione e il coinvolgimento dell'utente. La Consulenza Tecnica per la Salute e la Sicurezza – Regione Campania di INAIL, in collaborazione con il Fraunhofer Joint Lab IDEAS dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, ha sviluppato una piattaforma software aperta per la realizzazione di giochi seri destinati alla formazione in materia di sicurezza industriale.

Materiali e Metodi

La piattaforma sviluppata si articola in due ambienti principali: un Editor, destinato alla progettazione degli scenari formativi, e un Ambiente di gioco, rivolto all'utente finale. L'Editor consente di costruire scenari personalizzati strutturando ambienti di lavoro virtuali, percorsi decisionali e contenuti multimediali, secondo un paradigma evento–azione che consente l'utilizzo anche da parte di personale privo di competenze di programmazione. Il sistema permette inoltre l'integrazione con dispositivi fisici e modelli tridimensionali di ambienti di lavoro, macchinari e dispositivi di protezione individuale.

Risultati e Discussione

La piattaforma è stata applicata a diversi casi studio in ambito industriale, con particolare riferimento allo sviluppo di giochi seri per il reinserimento lavorativo e l'addestramento alla sicurezza. Attraverso la simulazione di scenari potenzialmente pericolosi in ambienti controllati, è stato possibile superare i limiti della formazione tradizionale. I risultati indicano una buona accettazione dello strumento da parte degli utenti e un miglioramento nella comprensione delle procedure di sicurezza.

Conclusioni

I giochi seri rappresentano uno strumento promettente per l'innovazione della formazione in materia di sicurezza industriale. Il lavoro presenta una piattaforma software aperta e personalizzabile per l'addestramento dei lavoratori, con particolare attenzione ai percorsi di reinserimento lavorativo. L'integrazione di realtà mista e interfacce fisiche mostra un rilevante potenziale applicativo in contesti industriali complessi.

Bibliografia

Albert, L., & Routh, C. (2021). Designing Impactful Construction Safety Training Interventions. Safety, 7(2), 42.

Lanzotti, A., Tarallo, A., d'Angelo, R., et al. (2020). Interactive tools for safety 4.0. Ergonomics, 63(3), 324–333.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Confronto tra due sistemi di analisi del movimento senza marker nella valutazione dello spostamento del centro di gravità del corpo durante il movimento da seduto a in piedi

Comparing two markerless motion analysis systems for assessing body's center of gravity displacement during the sit-to-stand movement

Keywords: Kinematic, center of mass, markerless, wearable, biomechanics

Giorgia Chini[1], Arash Ajoudani[2], Pietro Balatti[2], Luca Fortini[2], Irene Gennarelli[1,3], Mattia Leonori[2], Lorenzo Levantesi[2], Niki Martinel[3], Christian Micheloni[3], Clara Mouawad[2], Antonella Tatarelli[4], Tiwana Varrecchia[1], Alberto Ranavolo[1]

[1] *Dipartimento di Medicina Epidemiologia Igiene del Lavoro e Ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone.*
[2] *HRII Laboratory, Istituto Italiano di Tecnologia (IIT), Genova*
[3] *Dipartimento di Scienze Matematiche, Informatiche e Fisiche, Università degli Studi di Udine, Udine.*
[4] *Linea di Ricerca AMI, Istituto Italiano di Tecnologia (IIT), Genova*

Corresponding author: Giorgia Chini, *g.chini@inail.it*

Introduzione

Il movimento sit-to-stand (STS) è una delle funzioni più importanti nelle attività quotidiane [Tanaka et al., 2019]. L'automatizzazione del riconoscimento del gesto lavorativo per la valutazione del rischio biomeccanico passa anche dal riconoscimento dei gesti non lavorativi, tra cui, per importanza e diffusione, del STS. I costi e le limitazioni associati ai sistemi di analisi del movimento basati su marker (MBS) rendono tali sistemi difficili da impiegare e si stanno diffondendo sistemi per l'analisi del movimento senza marker (MLS), e.g. reti di sensori inerziali (IMU)/basati su telecamere.

Diversi studi hanno già confrontato sistemi MLS e MBS nella stima della posizione e velocità del centro di gravità (CG) nel STS [Yeung et al., 2014, Tanaka et al., 2019]. Tuttavia, non si ha evidenza in letteratura del confronto tra le performance di diversi sistemi MLS nella stima di parametri relativi al CG nel STS. Questo studio si propone di investigare la capacità di due diversi sistemi MLS nello stimare lo spostamento del CG nelle tre direzioni dello spazio durante il STS.

Materiali e Metodi

Per questo studio, approvato dal comitato etico locale (N.0078009/2021), sono state arruolate 26 persone sane (12F, 14M, età: 40.56 ± 14.64 anni, indice di massa corporea: 25.12 ± 1.73 kg/m^2).

Ciascun soggetto è stato fatto sedere su uno sgabello con seduta regolata in modo tale che avesse le ginocchia a 90° ed ha eseguito il STS senza l'aiuto delle mani e delle braccia, per almeno sei volte di seguito, a velocità auto selezionata.

Abbiamo acquisito i dati cinematici utilizzando un sistema di sensori IMU indossabili (Xsens MVN Awinda, Enschede, Paesi Bassi), modello a corpo intero, sincronizzato con un sistema di 6 telecamere RGB, (Real-Move, IIT, Genova, Italia) posizionato a 360° attorno allo spazio in cui ciascun soggetto ha eseguito il task. Abbiamo utilizzato il metodo dei segmenti corporei [Winter, 2009] per il calcolo del CG nelle tre direzioni dello spazio.

Risultati e Discussione

I dati relativi allo spostamento del CG durante il STS sono riportati in Figura 1. Si osservano differenze significative nello spostamento del CG tra i due sistemi in direzione verticale e medio-laterale ($p<0.001$), mentre non si rileva alcuna differenza statisticamente significativa in direzione anteroposteriore ($p=0.0264$). Quanto trovato testimonia ulteriormente la robustezza dei sistemi MLS, i quali infatti, avevano già rivelato una posizione del CG non statisticamente significativa rispetto ai sistemi MBS proprio nella direzione anteroposteriore, [Tanaka et al., 2019]. Mentre per le altre due direzioni, si può osservare che, sebbene la differenza tra i due sistemi sia statisticamente significativa, presenta comunque uno scarto che è nell'ordine del centimetro e una bassissima deviazione standard.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Quanto ottenuto potrebbe essere dovuto da una parte al fatto che, per come è stato configurato lo studio, i sistemi di riferimento dei due sistemi utilizzati non hanno l'origine coincidente e dall'altra al fatto che la stima delle posizioni delle diverse articolazioni utilizzate per calcolare il CG sono ottenuti in maniera diversa: Xsens fornisce i valori stimati dal modello, Real-Move la posizione vera e propria dei punti. Sviluppi futuri, perciò includono la valutazione di ulteriori parametri indipendenti dall'origine dei sistemi di riferimento (e.g. confronto degli angoli articolari), aggiornamento del software Real-Move includendo la stima da modello dei centri articolari, ampliamento del campione e dei task lavorativi/di vita quotidiana investigati.

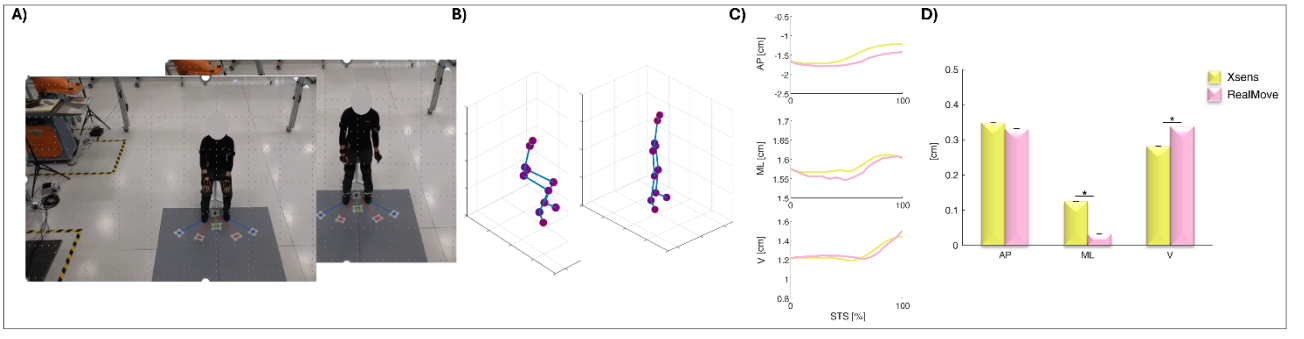


Figura 1. A) Esempio dell'inizio e fine del movimento di sit-to-stand per un soggetto rappresentativo. B) Ricostruzione tridimensionale delle posizioni dei diversi centri articolari (sfere viola) all'inizio e alla fine del momento per un soggetto rappresentativo. C) Curve dello spostamento del centro di massa ottenute con il sistema Xsens (giallo) e con Real-Move (rosa), relativamete ad una esecuzione del movimento di STS da parte di un soggetto di esempio. D) Media (altezza istogrammi) e deviazione standard (segmenti verticali neri) tra tutti i soggetti dello spostamento del centro di gravità nelle tre direzioni dello spazio (anteroposteriore, AP, mediolaterale, ML, e verticale, V) con Xsens (giallo) e Real-Move (rosa).

Conclusioni

I due sistemi investigati hanno mostrato, in generale, un elevato livello di accordo nella valutazione dello spostamento del CG durante l'attività di STS. I risultati di questo studio indicano che sia Xsens, sia Real-Move sono in grado di fornire una valutazione accurata e rilevante da un punto di vista biomeccanico dei dati di movimento durante l'esecuzione del STS.

Bibliografia

Yeung, L.F., Cheng, K.C., Fong, C.H., Lee, W.C., Tong, K.Y., 2014. Evaluation of the Microsoft kinect as a clinical assessment tool of body sway. *Gait Posture*, 40, 532–538.

Tanaka, R., Ishii, Y., Yamasaki, T., Kawanishi, H., 2019. Measurement of the total body center of gravity during sit-to-stand motion using a markerless motion capture system. *Med. Eng. Phys.*, 66: 91-95.

Winter D. *Biomechanics and motor control of human movement*. Hoboken, New Jersey, United States, John Wiley & Sons Ed., 2009.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Effetti di un esoscheletro passivo sul controllo neuromuscolare durante un overhead work task

Effects of a Passive Exoskeleton on Neuromuscular Control During an Overhead Work Task

Keywords: occupational exoskeletons, biomechanical risk assessment, high-density surface electromyography, neuromuscular control

Tiwana Varrecchia[1], Giorgia Chini[1], Giacomo Valli[2], Francesco Negro[2] , Alberto Ranavolo[1]

[1]Dipartimento di Medicina Epidemiologia Igiene del Lavoro e Ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone.
[2] Università of Brescia, Department of Clinical and Experimental Sciences, Brescia, Italy

Corresponding author: Tiwana Varrecchia, *t.varrecchia@inail.it*

Introduzione

L'evoluzione dell'industria 4.0 ha introdotto tecnologie innovative nei luoghi di lavoro, tra cui gli esoscheletri occupazionali (EO), proposti come strumenti per ridurre il rischio di disturbi muscoloscheletrici lavoro-correlati. Tuttavia, accanto ai benefici meccanici, gli EO possono comportare possibili effetti collaterali [Amicucci et al. 2026]. Infatti, i meccanismi specifici attraverso i quali il sistema nervoso centrale (SNC) gestisce l'introduzione di un EO rimangono da indagare, così come gli effetti nel lungo periodo di un dispositivo di questo tipo. In questo contesto, il presente lavoro si propone di studiare come un EO passivo per arti superiori influenzi l'attivazione muscolare e il controllo neuromuscolare durante attività eseguite con le braccia sollevate al di sopra dell'altezza delle spalle (overhead work), tramite elettromiografia di superficie ad alta densità (HDsEMG).

Materiali e Metodi

Hanno partecipato allo studio 11 soggetti maschi (età: 27±2.48 anni; BMI: 24.01±1.73 kg/m^2). Lo studio è stato approvato dal comitato etico N. 0078009/2021. Ogni partecipante ha eseguito 3 contrazioni volontarie massimali (MVC), durante le quali sono stati registrati i valori di forza utilizzando un dinamometro (DIN ERGO 81-08 PRO X) che forniva un riscontro visivo della forza applicata. I partecipanti hanno eseguito compiti sub-massimali mantenendo valori del 60% MVC per tutto il tempo che potevano sostenere e mai più di 2 minuti, in 2 condizioni, con (Exo) e senza (noExo) esoscheletro, in ordine casuale e a distanza di 2 ore. I segnali HDsEMG registati dai muscoli deltoide anteriore (DA) e bicipite brachiale capo lungo (BBCL) sono stati elaborati calcolando i valori di Root Mean Square (RMS), per creare mappe topografiche dell'attività dei muscoli [Varrecchia et al. 2021], e per calcolare l'RMS medio dell'intera griglia in tutto il compito e in diverse fasi del compito (inizio, metà e fine). Per il BBCL è stata applicata una decomposizione del segnale basata su separazione cieca delle sorgenti [Negro et al. 2016] per identificare la frequenza di scarica (DR), la variabilità, il tempo di inizio attivazione e di attivazione della unità motoria (UM).

Risultati e Discussione

I risultati (Fig. 1) mostrano che l'uso dell'EO consente ai lavoratori di eseguire l'attività lavorativa per un tempo maggiore rispetto all'esecuzione del compito in assenza dell'EO: il compito Exo implica un possibile minore affaticamento. La maggiore durata del compito EXO è coerente con una minore attivazione muscolare: si è osservata una diminuzione dei valori di RMS sia considerando istanti specifici del task, sia considerando l'intero task. Dal punto di vista neurale, sono emerse modificazioni nel comportamento delle UM del BBCL: in condizione EXO si osservano riduzione della DR, reclutamento più tardivo e maggiore variabilità della DR. Dunque, il supporto meccanico dell'EO, alleggerisce il carico muscolare ma introduce un "disturbo" che richiede un adattamento del SNC. Sono presenti alcune limitazioni: campione ridotto e composto solo da uomini, contesto di laboratorio controllato e possibili problemi di usabilità dell'EO.

Conclusioni

L'utilizzo di un EO per arti superiori nelle attività di overhead work può ridurre l'impegno muscolare immediato, rappresentando un potenziale beneficio ergono-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

mico. Tuttavia, i risultati indicano anche un'alterazione dei meccanismi di controllo neuromuscolare, con pattern di scarica delle UM più irregolari. Questo doppio effetto suggerisce cautela nell'adozione prolungata degli EO: ai vantaggi meccanici potrebbero associarsi adattamenti neuromotori non ancora pienamente compresi. Sono necessari studi sul campo, su larga scala e di medio-lungo periodo, per valutare effetti a lungo termine, differenze di genere e applicazioni in contesti lavorativi reali. Tali evidenze potranno supportare l'aggiornamento delle metodologie di valutazione del rischio e la definizione di linee guida per la scelta e l'uso degli EO.

Bibliografia

Ranavolo, A., Ajoudani, A., Cherubini, A., Bianchi, M., Fritzsche, L., Iavicoli, S, Sartori, M., Silvetti, A., Vanderborght, B., Varrecchia, T., Draicchio, F., 2020. The Sensor-Based Biomechanical Risk Assessment at the Base of the Need for Revising of Standards for Human Ergonomics. Sensors (Basel), 10, 20(20), 5750.

Negro, F., Muceli, S., Castronovo, A.M., Holobar, A., Farina, D., 2016. Multi-channel intramuscular and surface EMG decomposition by convolutive blind source separation. J. Neura.l Eng., 13, 026027.

Varrecchia, T., Ranavolo, A., Conforto, S., De Nunzio, A.M., Arvanitidis, M., Draicchio, F., Falla, D., 2021. Bipolar versus high-density surface electromyography for evaluating risk in fatiguing frequency-dependent lifting activities. Appl. Ergon., 95, 103456.

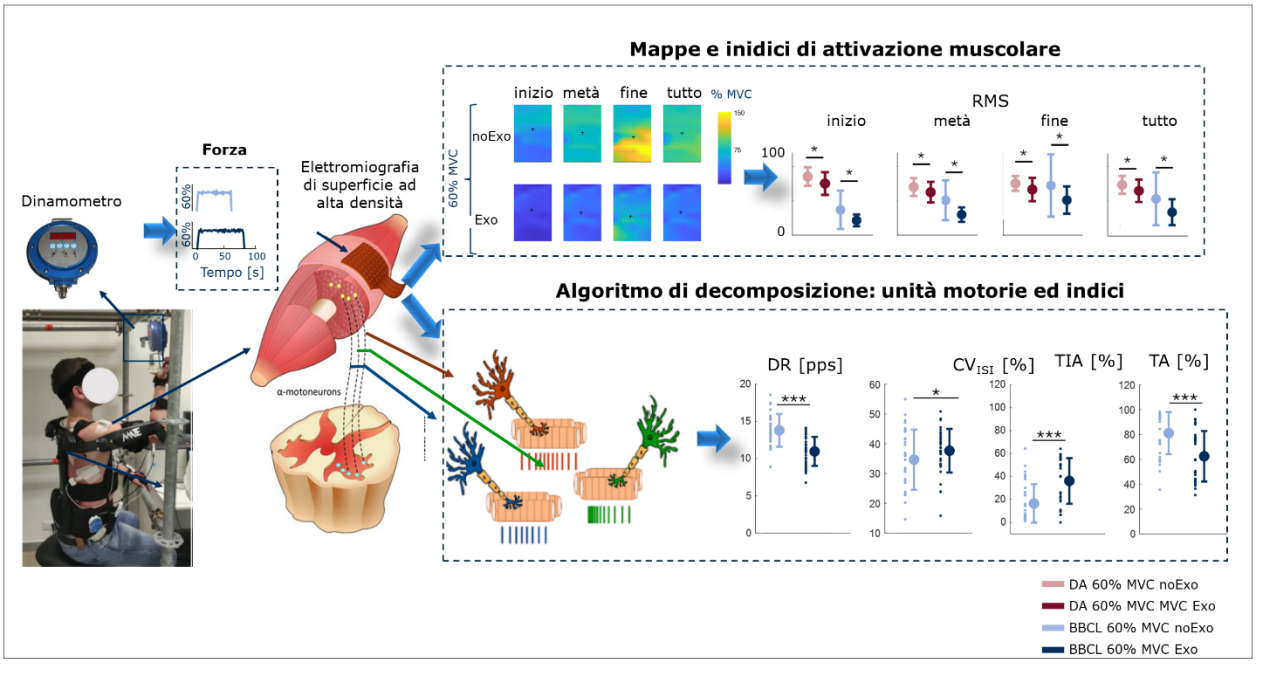


Figura 1. A sinistra un esempio di attività lavorativa eseguita con esoscheletro con tutta la strumentazione utilizzata e un esempio di forza registrata nelle due condizioni con e senza esoscheletro. A destra in alto un esempio di analisi delle mappe di attivazione e la media (±SD) del Root Mean Square (RMS) ad inizio, metà, fine e di tutto il compito per il muscolo deltoide anteriore (DA) e bicipite brachiale capo lungo (BBCL). A destra in basso, Discharge Rate (DR), Coefficiente di variazione dell'intervallo interspike (CV_{ISI}), tempo di inizio attivazione (TIA), tempo di attivazione (TA) di ciascuna unità motoria e media (±SD) di tutte le unità motorie di tutti i soggetti. * e *** indicano differenze statistiche con valore p <0,05 e <0,001 rispettivamente.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Stress Lavoro Correlato e Rischio Cardiovascolare: valutazione trasversale di una popolazione di 63 lavoratori del comparto impiegatizio sottoposti a sorveglianza sanitaria

Work-Related Stress and Cardiovascular Risk: cross-sectional assessment of a population of 63 office sector workers undergoing health surveillance

Keywords: occupational health; prevention; WHP; hypertension; PSS

Andrea Baldassarre[1], Francesco Gianfagna[2], Alberto Fedele[3], Elisa Martini[4], Rocco Giuseppe Cazzato[5], Luca Baldassarre[6], Gabriele D'Ettorre[7]

[1] *Servizio di Prevenzione e Sicurezza degli Ambienti di Lavoro, ASL Lecce*
[2] *Dipartimento di Medicina e Chirurgia, Università dell'Insubria, Varese*
[3] *Dipartimento di Prevenzione, ASL Lecce*
[4] *Servizio di Radioterapia Oncologica, ASL Lecce*
[5] *UOSD Centro Monitoraggio Infortuni sul Lavoro e Malattie Professionali, ASL Lecce*
[6] *UOC Medicina Interna e Lungodegenza P.O. Gallipoli, ASL Lecce*
[7] *UOS Medico Competente, ASL Lecce*

Corresponding author: Andrea Baldassarre, *andrea.baldassarre@asl.lecce.it*

Introduzione

In Italia le patologie cardiovascolari rappresentano circa il 30% di tutte le cause di morte e costituiscono una priorità di sanità pubblica. Queste malattie possono essere influenzate da condizioni organizzative e stress lavoro-correlato. La promozione della salute nei luoghi di lavoro (WHP) e la sorveglianza sanitaria possono contribuire a migliorare la prevenzione di queste patologie intervenendo su fattori modificabili [Giampaoli et al.,2004; Visseren et al.,2021]. Questo studio si propone di valutare il rischio cardiovascolare, lo stress percepito e la correlazione fra queste due variabili in un gruppo di lavoratori della Pubblica Amministrazione.

Materiali e Metodi

Lo studio osservazionale trasversale ha interessato una popolazione di 63 lavoratori con mansioni di tipo impiegatizio sottoposti a sorveglianza sanitaria. Sono stati valutati sesso, età, abitudine tabagica, pressione arteriosa, BMI, glicemia, assetto lipidico, creatinina, transaminasi, terapia antipertensiva, punteggio di rischio cardiovascolare, punteggio PSS di Sheldon Cohen [Cohen et al.,1983] classificato come basso (0-13), moderato (14-26) e alto (27-40). L'ipertensione è stata valutata per PAS≥140mmeHg e/o PAD≥ 90mm Hg. Il rischio cardiovascolare è stato suddiviso in basso (<3), medio (3-19) e alto (≥20). Il campione è stato analizzato statisticamente, sono state calcolate le correlazioni di Pearson ed i gruppi sono stati confrontati considerando significativo $p<0,05$.

Risultati e Discussione

Le caratteristiche del campione sono state riportate nella Tabella I. Età media 57,7±6,3 anni, BMI medio 24,9±4,5 kg/m^2, donne 74,6%, fumatori 23,8%, ipertesi 30,2%, obesi 12,7%, diabetici/prediabetici 4,8%. Il rischio cardiovascolare medio era pari a 4,5±4,9, il 58,7% dei lavoratori aveva un rischio basso, il 41,3% un rischio medio e non erano presenti soggetti ad alto rischio. Il valore medio della PSS era di 13,6±7,5; il 60,3% dei lavoratori mostrava livelli di stress basso, il 33,3% moderato e il 6,3% alto. Nella Tabella II si può notare che i maschi avevano un valore di rischio cardiovascolare medio superiore delle femmine (8,5±5,2 vs 3,1±4,0; p=0,001) invece le donne avevano valori di PSS medio maggiori (14,9±7,5 vs 9,9±6,5: p=0,016). Il rischio cardiovascolare correlava positivamente con il rapporto colesterolo totale/HDL, glicemia, BMI, età e trigliceridi; in Figura 1 si evidenzia come i valori di PSS correlavano inversamente con il rischio cardiovascolare (r=0,29; p=0,021), probabilmente a causa della prevalenza femminile con rischio cardiovascolare più basso e al significato soggettivo del livello di PSS.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Conclusioni

La sorveglianza sanitaria e programmi di WHP possono identificare i lavoratori con rischio cardiovascolare e stress percepito elevati a cui offrire counseling sugli stili di vita, follow-up clinico e interventi di prevenzione più appropriati. La valutazione dello stress percepito nei luoghi di lavoro rappresenta un'ulteriore variabile utile per una maggiore definizione dello stato di salute dei lavoratori e meritevole di ulteriori approfondimenti.

Tabella I. Caratteristiche della popolazione studiata

Parametro	Media ± DS	Mediana	Min-Max
Età, anni	57.7 ± 6.3	59.0	40.0-66-0
BMI, kg/m^2	24.9 ± 4.5	24.3	17.9-40.5
Glicemia, mg/dL	86.3 ± 15.1	83.0	69.0-151.0
Colesterolo venoso, mg/dL	220.0 ± 36.5	214.0	143.0-312.0
HDL, mg/dL	63.8 ± 20.1	63.0	21.0-100.0
LDL, mg/dL	151.8 ± 48.9	145.0	71.0-251.0
Trigliceridi, mg/dL	103.1 ± 44.9	90.0	50.0-307.0
Rapporto Col/HDL	4.0 ± 1.4	3.6	2.1-8.2
PSS Sheldon Cohen	13.6 ± 7.5	13.0	0.0-34.0
P. rischio cardiovascolare	4.5±4.9	2.5	0.2-19.7

Tabella II. Stratificazione per sesso e abitudine al fumo

Gruppo	n	Età ± DS	BMI ± DS	Rischio ± DS	PSS ± DS	Ipertens., %	Obesità, %
Femmine	47	57.6 ± 6.6	24.8 ± 4.5	3.1 ± 4.0	14.9 ± 7.5	25.5	10.6
Maschi	16	57.9 ± 5.3	25.4 ± 4.5	8.5 ± 5.2	9.9 ± 6.5	43.8	18.8
Fumatori	15	57.1 ± 7.0	24.6 ± 3.5	6.6 ± 5.3	15.6 ± 9.3	20.0	0.0
Non fumatori	48	57.9 ± 6.1	25.0 ± 4.8	3.8 ± 4.6	13.0 ± 6.9	33.3	16.7

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

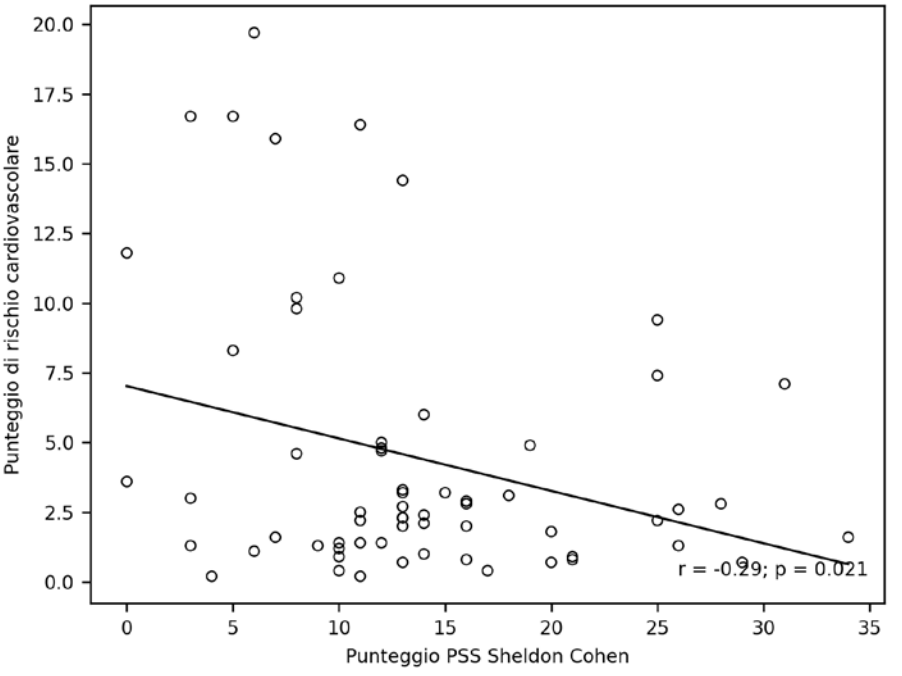


Figura 1. Correlazione tra punteggio di rischio cardiovascolare e punteggio PSS Sheldon Cohen

Bibliografia

Cohen S., Kamarck T., Mermelstein R., 1983. A global measure of perceived stress. J Health Soc Behav., 24, 385-396.

Giampaoli S., Palmieri L., ChiodiniP, et al., 2004. [The global cardiovascular risk chart]. Ital Heart JSuppl., 5, 177-185.

Visseren F.L.J., Mach F., Smulders Y.M., et al.,2021 ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. Eur Heart J., 42, 3227-3337.

OpenAI, 2026, ChatGPT, GPT5.4 Thinking [online], *https://openai.com/*.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Analisi degli infortuni e delle malattie professionali nel settore alimentare ed in particolare nei salumifici

Analysis of occupational injuries and work-related diseases in the food industry, with a focus on meat-processing plants

Keywords: biomechanical risk exposure, upper limb musculoskeletal disorders, risk interaction in occupational settings

Carmine Esposito[1], **Gabriella Marena**[1]

[1]*Consulenza tecnica salute e sicurezza, Inail DR Lombardia*

Corresponding author: Gabriella Marena, *g.marena@inail.it*

Introduzione

Il comparto alimentare e, in particolare, i salumifici presentano un profilo di rischio multifattoriale, determinato dalla compresenza di lavorazioni manuali ad alta destrezza, fasi automatizzate e stringenti vincoli igienicosanitari/microclimatici (freddo, umidità, superfici bagnate). In tale scenario, i determinanti di rischio fisici, chimici, biologici e organizzativi non agiscono in modo isolato, ma interagiscono tra loro, modificando probabilità e severità degli eventi e influenzando sia la dinamica infortunistica sia l'insorgenza di disturbi muscoloscheletrici lavorocorrelati. Obiettivo del lavoro è analizzare, attraverso i dati INAIL 2024 relativi al settore Ateco C10 – Industrie Alimentari, i principali pattern di sede/natura di lesione negli infortuni definiti e la distribuzione diagnostica e di gravità delle malattie professionali (MP) accertate, al fine di individuare priorità prevenzionistiche specifiche per il contesto del "meat processing".

Materiali e Metodi

Sono stati analizzati i dati estratti dalla banca dati statistica INAIL relativi agli infortuni e alle malattie professionali avvenuti e definiti nel 2024, in Industria e Servizi, per il settore Ateco C10 – Industrie Alimentari. Per gli infortuni sono state esaminate le sedi e le nature delle lesioni.
L'analisi delle MP ha interessato esclusivamente le diagnosi definite (accertate positive) con grado di menomazione accertato.

Tabella I. Malattie Professionali definite nel 2024, in Industria e Servizi, per l'attività economica Ateco C10 Industrie Alimentari con grado di menomazione.

	Grado di menomazione									
Malattia professionale o sostanza che la causa	**In assenza di menomazioni**	**1 - 5**	**6 - 15**	**16 - 25**	**26 - 50**	**51 - 85**	**86 - 100**	**Totale (1-100)**	**Esito mortale**	**In complesso**
51) ASMA BRONCHIALE (J45.0) CON LE SUE CONSEGUENZE DIRETTE CAUSATO DAI SEGUENTI AGENTI NON COMPRESI IN ALTRE VOCI	0	2	1	1	0	0	0	4	0	4
57) MALATTIE DA ASBESTO (esclusa l'asbestosi)	0	0	0	0	1	0	0	1	1	2
70) DERMATITE IRRITATIVA DA CONTATTO (L24) CAUSATA DA AGENTI NON COMPRESI IN ALTRE VOCI	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
75) IPOACUSIA DA RUMORE (H83.3)	2	8	12	1	0	0	0	21	0	23
76) MALATTIE CAUSATE DA VIBRAZIONI MECCANICHE TRASMESSE AL SISTEMA MANO BRACCIO	0	1	3	0	0	0	0	4	0	4
77) ERNIA DISCALE LOMBARE (M51.2)	0	2	39	6	0	0	0	47	0	47
78) MALATTIE DA SOVRACCARICO BIOMECCANICO DELL'ARTO SUPERIORE	1	235	355	89	2	0	0	681	0	682
99) MALATTIE NON TABELLATE	1	105	189	59	4	0	0	357	0	358
Totale	**4**	**354**	**599**	**156**	**7**	**0**	**0**	**1.116**	**1**	**1.121**

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Tabella II. Infortuni definiti nel 2024 in Italia per l'attività economica Ateco C10 – Industrie Alimentari.

	Natura lesione										Totale
Sede lesione	**Ferita**	**Contusione**	**Lussazione, distorsione, distrazione**	**Frattura**	**Perdita anatomica**	**Lesioni da agenti infettivi e parassitari**	**Lesioni da altri agenti**	**Corpi estranei**	**Lesioni da sforzo**	**Non determinato**	
ALLUCE	2	17	0	14	0	0	1	0	0	0	**34**
ALTRE DITA	1	6	0	18	0	0	1	0	0	0	**26**
BRACCIO,AVAMBRACCIO	176	86	37	52	0	0	52	1	13	0	**417**
CAVIGLIA	10	107	344	97	0	0	9	1	0	0	**568**
CINGOLO PELVICO	3	50	8	12	0	0	3	0	1	0	**77**
CINGOLO TORACICO	0	231	172	52	0	0	6	0	26	0	**487**
COLLO	0	17	100	0	0	0	3	0	0	0	**120**
COLONNA VERTEBRALE	2	263	411	69	0	0	3	0	74	0	**822**
COSCIA	31	25	22	19	0	0	6	0	2	0	**105**
CRANIO	108	241	0	8	0	0	9	0	0	0	**366**
FACCIA	100	75	0	43	0	0	40	1	0	0	**259**
GAMBA	48	92	14	33	0	0	16	2	0	0	**205**
GINOCCHIO	15	252	197	29	0	0	0	0	1	0	**494**
GOMITO	31	80	26	66	0	0	2	0	4	0	**209**
MANO	1.354	693	78	418	108	1	64	4	3	0	**2.723**
OCCHI	20	42	0	0	0	1	51	39	1	0	**154**
ORGANI INTERNI	1	7	0	0	0	0	5	0	0	0	**13**
PARETE TORACICA	18	209	11	204	0	0	9	0	4	0	**455**
PIEDE	27	299	36	133	0	1	35	0	0	0	**531**
POLSO	57	143	83	139	1	0	8	1	6	0	**438**
Non determinato	0	0	0	0	0	0	0	0	0	581	**581**
Totale	**2.004**	**2.935**	**1.539**	**1.406**	**109**	**3**	**323**	**49**	**135**	**581**	**9.084**

Risultati

I risultati sono stati letti in chiave ergonomica e organizzativa, con riferimento ai principali determinanti di rischio presenti nei salumifici. Le sedi di lesione più frequentemente interessate negli infortuni sono la mano, la colonna vertebrale, la caviglia, il gomito e il cingolo toracico, con una netta prevalenza della mano, coerente con l'elevata manualità delle lavorazioni. La natura delle lesioni più rappresentate risultano essere contusioni e ferite, seguite da distorsioni/strappi e fratture, riconducibili a urti, tagli, cadute e movimenti incongrui. Le ferite da taglio emergono come pericolo centrale, associate all'uso manuale di coltelli, lame e macchinari, aggravate da microclima freddoumido, superfici scivolose e affaticamento operativo.

Per quanto concerne le MP, prevalgono le patologie da sovraccarico biomeccanico dell'arto superiore, generalmente con menomazioni di grado lieve, ma numericamente rilevanti. Le diagnosi più frequenti sono la tendinite del sovraspinoso, la sindrome del tunnel carpale e l'epicondilite, indicative di esposizioni caratterizzate da ripetitività, uso di forza, impugnature prolungate, posture dell'arto in elevazione e deviazioni del polso. Sebbene la maggior parte dei casi presenti menomazioni contenute, la frequenza e la tendenza alla cronicizzazione attribuiscono a tali patologie un impatto complessivo significativo.

Le interazioni tra rischi sono spesso determinanti.

- L'interazione tra fattori chimici e fattori organizzativi genera un rischio che non è la semplice somma dei singoli pericoli, ma un effetto moltiplicativo dovuto alla riduzione del controllo operativo e procedurale.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

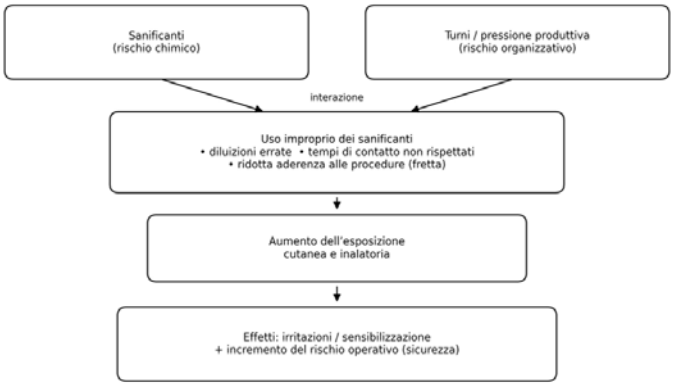


Figura I. Interazione tra rischio chimico (sanificanti) e fattori organizzativi (turni/pressione produttiva) e relativa catena causale.

- La coesistenza di rischi fisici, ergonomici e microclimatici determina un sovraccarico funzionale che riduce la capacità di controllo dell'operatore, aumentando il rischio di eventi infortunistici gravi, soprattutto nelle aree con macchine in movimento.

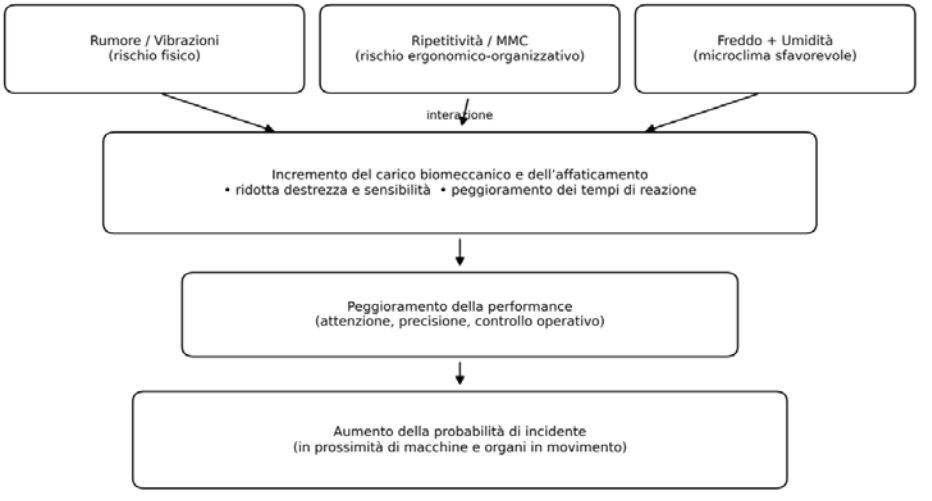


Figura II. Interazione tra rischi fisici (rumore/vibrazioni), fattori ergonomicoorganizzativi (ripetitività/MMC) e microclima sfavorevole (freddo/umidità).

Conclusioni

I risultati evidenziano un modello causale integrato, in cui condizioni ambientali sfavorevoli, fattori organizzativi e aspetti tecnologici interagiscono nel determinare il rischio infortunistico e professionale nei salumifici. La prevenzione deve pertanto basarsi su un approccio sistemico, che integri la progettazione ergonomica delle postazioni, la gestione dei ritmi e dei tempi di recupero, la manutenzione delle attrezzature, la formazione pratica e l'uso coerente dei DPI, affiancati da una sorveglianza sanitaria orientata all'individuazione precoce dei disturbi muscoloscheletrici. Solo una gestione coordinata dei molteplici fattori di rischio consente una riduzione strutturale e duratura del danno occupazionale nel comparto.

Bibliografia

INAIL. Banca dati statistica: infortuni e malattie professionali (estrazione Ateco C10, anno 2024).

INAIL. 2023 Gli infortuni sul lavoro e le malattie professionali nel settore alimentare.

Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 e s.m.i. Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro.

ISO 11228:2021 (Parti 1–3). Ergonomics — Manual handling.

EU-OSHA. Work-related musculoskeletal disorders.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

aidii
LA CULTURA DELLA PREVENZIONE
42° Congresso nazionale
di igiene industriale e ambientale

ijoehy
Italian Journal of Occupational
and Environmental Hygiene

Sessione 6

Valutazione e gestione del rischio da agenti cancerogeni, mutageni e tossici per la riproduzione

Possibile rischio cancerogeno da lavorazione di resine e prodotti oligomerici contenenti formaldeide

Potential carcinogenic risk associated with the processing of resins and oligomeric products containing formaldehyde

Giovanna Parisi[1], Antonio Carrus[1], Gabriele Sacino[1,2], Riccardo Ravallese[3,4], Roberto Ravallese[2,3], Marilena D'Ambrosio[1], Leonarda De Benedictis[3], Giuseppe Ruospo[3], Giovanna Simone[3], Piero Lovreglio[1,3]

[1] *Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Laboratorio di Igiene e Tossicologia Industriale, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari.*

[2] *Dottorato di Ricerca in Earth Processes and Management of Resources and Risks for a Resilient Society, Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari.*

[3] *Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Sezione di Medicina del Lavoro, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari.*

[4] *Dottorato di Ricerca in Sanità Animale e Zoonosi, Dipartimento di Medicina Veterinaria, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Valenzano (Bari).*

Corresponding author: Giovanna Parisi, *giovanna.parisi1@uniba.it*

Introduzione

La formaldeide (CAS 50-00-0) viene classificata come cancerogeno certo per l'uomo (Gruppo 1) dalla IARC e come cancerogeno di Categoria 1B (H350, "Può provocare il cancro") dal regolamento CLP.

Le resine a base di formaldeide e fenolo o fenoli sostituiti (Phenol-Formaldehyde Resins, PFR) rappresentano una famiglia di sostanze chimiche di uso prevalentemente industriale, ampiamente utilizzate nell'industria del legno, dell'edilizia e dei materiali compositi [Environment and Climate Change Canada & Health Canada, 2020]. Esse sono ottenute per condensazione di fenolo e formaldeide e, secondo il regolamento REACH, sono classificate come polimero (UVCB – sostanza di composizione sconosciuta o variabile). Le PFR, pur essendo identificate con il numero CAS 9003-35-4, comprendono un'ampia gamma di entità molecolari diverse (oligomeri e polimeri) che non possono essere rappresentate da una singola formula molecolare definita.

Per le PFR, in particolare quelle di tipo resol prodotte in condizioni alcaline con eccesso di formaldeide, non è possibile escludere che possano contenere formaldeide residua [NICNAS, 2005]. La loro lavorazione, pertanto, in particolare durante le fasi di miscelazione, applicazione e trattamento termico del prodotto, potrebbe comportare il rilascio di formaldeide libera, dovuto alla presenza di monomeri non reagiti, o come conseguenza di fenomeni di idrolisi.

Materiali e Metodi

È stata condotta una valutazione delle principali e più recenti fonti bibliografiche rivolte alla caratterizzazione del contenuto di formaldeide nelle PFR. Sono state consultate anche numerose SDS relative a prodotti a base di resine fenolo-formaldeide commercialmente disponibili ed utilizzati nell'industria manifatturiera. Questa valutazione rappresenta una fase preliminare alla misura sul campo dei livelli di formaldeide in differenti condizioni di possibile esposizione occupazionale.

Risultati e Discussione

Le PFR non sono attualmente classificate dalla IARC come cancerogene per l'uomo e la loro classificazione secondo il regolamento CLP evidenzia che gli effetti sulla salute legati all'esposizione a tali sostanze allo stato solido sono principalmente di carattere irritativo e sensibilizzante, con codici di pericolo H319 (Eye irrit. 2) e H317 (Skin sens. 1). Alcune fonti bibliografiche, tuttavia, riportano che la formaldeide residua non polimerizzata presente nella resina utilizzata per i test allergologici potrebbe influenzare gli effetti di sensibilizzazione cutanea [Environment and Climate Change Canada & Health Canada, 2020].

Le PFR impiegate o manipolate in processi a caldo quali saldatura, stampaggio, laminazione, ecc., inoltre, potrebbero rilasciare formaldeide presente nelle resine come impurezza o monomero residuo [Zhu et al., 2024].

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Conclusioni

Per la valutazione del rischio legata all'esposizione ad agenti cancerogeni (D. Lgs. 81/08 e smi, art. 236), dovrebbe essere misurata l'esposizione occupazionale a formaldeide per i lavoratori che manipolano oggetti costituiti o rivestiti da PFR, in particolare nelle attività che compartano lavorazioni a caldo o riscaldamento da attrito quali ad esempio taglio, foratura, carteggiatura.

Bibliografia

Environment and Climate Change Canada and Health Canada, "Screening Assessment: Phenol-Formaldehyde Resins Group," Government of Canada, Ottawa, Dec. 2020. [Online]. Available: https://www.canada.ca/en/health-canada/services/chemical-substances.html. ISBN: 978-0-660-36339-4.

National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme (NICNAS), "Final Report on Hazard Classification of Common Skin Sensitisers," Australian Government, Department of Health and Ageing, Sydney, Australia, Jan. 2005. [Online]. Available: www.nicnas.gov.au.

Zhu, B., Jiang, X., Li, S., & Zhu, M. (2024). An Overview of Recycling Phenolic Resin. Polymers, 16(9), 1255, pg. 8. https://doi.org/10.3390/polym16091255.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Esposizione occupazionale al cromo esavalente: revisione sistematica dei metodi di monitoraggio ambientale e dei progressi analitici

Occupational exposure to hexavalent chromium: a systematic review of environmental monitoring methods and analytical advances

Keywords: Cr(VI), valutazione dell'esposizione, speciazione chimica, valutazione del rischio, igiene occupazionale

Carolina Zellino[1], Francesca Borghi[1,2], Veronica Prina[1], Andrea Cattaneo[1], Sandro Recchia[1], Carlo Dossi[3], Andrea Spinazzè[1], Domenico Maria Cavallo[1]

[1] *Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia, Università degli Studi dell'Insubria, Como*
[2] *Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche, Università di Bologna, Bologna*
[3] *Dipartimento di Scienze Teoriche e Applicate, Università degli Studi dell'Insubria, Varese*

Corresponding author: Carolina Zellino, *czellino@uninsubria.it*

Introduzione

Il cromo esavalente [Cr(VI)] rappresenta un agente di rilevante interesse igienistico-occupazionale, in quanto associato a effetti tossici e cancerogeni, e presente in diversi contesti produttivi, tra cui galvanica, trattamenti superficiali, produzione di ferro-cromo e saldatura [Dayan e Paine, 2001]. La corretta valutazione dell'esposizione richiede metodi affidabili di campionamento e analisi, ma la speciazione del cromo e l'instabilità del Cr(VI) durante le fasi analitiche restano criticità importanti [Spinazzè et al., 2022].

Materiali e Metodi

È stata condotta una revisione sistematica della letteratura consultando tre banche dati scientifiche (Scopus, Web of Science e PubMed). Sono stati inclusi gli studi pubblicati dal 2014 relativi all'esposizione occupazionale a Cr(VI), con attenzione a strategie di monitoraggio ambientale, parametri dosimetrici, approcci di speciazione e metodiche alternative o innovative. Dopo rimozione dei duplicati e screening secondo criteri PRISMA, sono stati inclusi 79 studi.

Risultati e Discussione

Gli studi esaminati mostrano che la valutazione dell'esposizione a Cr(VI) si basa su approcci eterogenei, comprendenti monitoraggio ambientale, biomonitoraggio e, più recentemente, tecniche di modellazione. I livelli espositivi risultano variabili in funzione di processo, mansione e misure di prevenzione. Persistono tuttavia limiti metodologici rilevanti: difficoltà nel distinguere Cr(VI) e Cr(III), possibile interconversione tra specie durante campionamento ed estrazione, carenza di dati di speciazione affidabili e insufficiente caratterizzazione della distribuzione granulometrica, soprattutto per la frazione ultrafine. La review evidenzia inoltre che solo una parte degli studi determina analiticamente il Cr(VI), mentre molti lavori riportano solo il cromo totale, con possibili ricadute sull'interpretazione del rischio. L'integrazione tra monitoraggio in aria, determinanti contestuali e biomonitoraggio appare particolarmente utile nei comparti a maggiore esposizione, come saldatura e galvanica [Santonen et al., 2022].

Conclusioni

La letteratura conferma la necessità di rafforzare la standardizzazione analitica e di adottare protocolli in grado di distinguere accuratamente le specie chimiche del cromo. Le priorità future riguardano la misura delle frazioni ultrafini, il controllo degli artefatti analitici e la raccolta sistematica di informazioni contestuali su attività lavorative, sistemi di aspirazione e dispositivi di protezione, così da migliorare la stima del rischio e supportare strategie preventive più efficaci.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Bibliografia

Dayan A., Paine A., 2001. Mechanisms of chromium toxicity, carcinogenicity and allergenicity: Review of the literature from 1985 to 2000. *Hum. Exp. Toxicol.*, 20, 439–451.

Santonen T., Porras S.P., Bocca B., et al., 2022. HBM4EU chromates study - Overall results and recommendations for the biomonitoring of occupational exposure to hexavalent chromium. *Environ. Res.*, 204, 111984.

Spinazzè A., Spanu D., Della Bella P., et al., 2022. On the determination of Cr(VI) in Cr(III)-rich particulates: From the failure of official methods to the development of an alternative protocol. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Esposizione occupazionale a cromo totale e cromo esavalente nei saldatori: studio integrato di monitoraggio ambientale e biologico

Occupational exposure to total and hexavalent chromium among welders: an integrated environmental and biological monitoring study

Keywords: Welding fumes, occupational exposure assessment, biological monitoring, urinary chromium, exhaled breath condensate

Andrea Spinazzè[1], Veruscka Leso[2], Salvatore Della Notte[2], Carolina Zellino[1], Andrea Cattaneo[1], Sandro Recchia[1], Carlo Dossi[3], Elena Grignani[4], Domenico Maria Cavallo[1], Ivo Iavicoli[5,6]

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

Co senior authorship: Ivo Iavicoli, Domenico Maria Cavallo
Corresponding author: Andrea Spinazzè, *andrea.spinazze@uninsubria.it*

Introduzione

L'esposizione occupazionale al cromo (Cr), e in particolare al cromo esavalente [Cr(VI)], rappresenta tuttora una priorità per la valutazione e la gestione del rischio chimico nelle attività di saldatura su acciaio inossidabile. Il Cr(VI), infatti, è classificato come cancerogeno per l'uomo di Gruppo 1 dall'International Agency for Research on Cancer (IARC) ed è associato a effetti tossicologici rilevanti, in particolare a carico dell'apparato respiratorio. Inoltre, la generazione e la composizione dei fumi di saldatura possono variare significativamente in funzione del processo di saldatura adottato, dei materiali impiegati e delle specifiche condizioni operative, determinando livelli di esposizione potenzialmente eterogenei.

Metodi

È stata condotta una campagna integrata di monitoraggio ambientale e biologico in due aziende del Nord Italia nel periodo maggio–giugno 2025. Sono stati arruolati 22 saldatori (Azienda A: n = 11; Azienda B: n = 11) e 10 controlli amministrativi non professionalmente esposti. I lavoratori sono stati organizzati in due gruppi omogenei di esposizione (Similar Exposure Groups, SEG) e monitorati durante turni ordinari della durata di 8 ore, in presenza di sistemi di ventilazione generale e aspirazione localizzata attivi e con uso routinario di dispositivi di protezione individuale. Il particolato respirabile personale è stato campionato nella zona di respirazione mediante filtri in PVC accoppiati a ciclone (portata 3 L/min), con il supporto di campionamenti d'area contestuali, al fine di caratterizzare l'esposizione inalatoria ai composti del Cr. I filtri sono stati successivamente analizzati per la determinazione del Cr(VI) e del Cr totale mediante due distinti protocolli analitici. La conformità ai valori limite di esposizione occupazionale è stata valutata in accordo con la norma EN 689:2019. Il monitoraggio biologico ha incluso la determinazione del cromo urinario (U-Cr), misurato in campioni pre- e post-turno e normalizzato per creatinina quale indicatore di dose interna recente, e del cromo nel condensato di aria espirata (EBC-Cr), raccolto a fine turno come potenziale indicatore di esposizione e deposizione a livello delle vie respiratorie.

Risultati

Tutte le concentrazioni aerodisperse di Cr totale (CrTOT) e Cr(VI) sono risultate inferiori ai rispettivi valori limite di esposizione occupazionale (500 e 5 µg/m^3); tuttavia, i saldatori hanno mostrato livelli di esposizione sistematicamente superiori rispetto ai controlli. Le attività di saldatura Manual Metal Arc (MMA) hanno determinato le concentrazioni più elevate sia di Cr totale che di Cr(VI), rispetto alla tecnica Tungsten Inert Gas (TIG), confermando la presenza di determinanti di esposizione dipendenti

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

dal processo. Il metodo analitico sviluppato dal National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH 7600) ha fornito valori di Cr(VI) più elevati rispetto al metodo ISO modificato, suggerendo la possibile presenza di artefatti di ossidazione durante l'analisi. Nei fumi di saldatura il Cr è infatti presente prevalentemente come Cr(III) che, in condizioni di estrazione alcalina e in presenza di agenti ossidanti presenti nel particolato o nel mezzo di estrazione, può essere ossidata a Cr(VI) durante l'analisi, determinandone una sovrastima. Il monitoraggio biologico ha evidenziato livelli urinari di cromo (U-Cr) significativamente più elevati nei saldatori rispetto ai controlli in entrambi i momenti di campionamento [media geometrica (GM): 0,34; 0,36 e 0,05 µg/g creatinina rispettivamente nei campioni pre-turno, post-turno dei lavoratori esposti e nei controlli]. Al contrario, le concentrazioni di cromo nel condensato di aria espirata (EBC-Cr) non hanno mostrato differenze tra i gruppi (GM: 0,08 µg/L in tutti i campioni). I livelli degli indicatori biologici hanno mostrato una variabilità minima tra i diversi sottogruppi demografici e occupazionali. Le correlazioni tra le concentrazioni aerodisperse di Cr e gli indicatori biologici sono risultate deboli; tuttavia, i valori di U-Cr nei saldatori hanno superato gli intervalli di riferimento della popolazione generale, suggerendo un contributo occupazionale significativo nonostante i bassi livelli assoluti di esposizione.

Conclusioni

Il monitoraggio integrato ambientale e biologico ha confermato l'assorbimento di Cr nei saldatori nonostante il rispetto dei valori limite di esposizione professionale. In particolare, il U-Cr si è dimostrato il biomarcatore più affidabile per evidenziare il contributo dell'esposizione professionale, mentre il EBC-Cr ha mostrato una sensibilità limitata nel discriminare tra lavoratori esposti e controlli in questo contesto di basse esposizioni. Questi risultati supportano l'opportunità di perseguire strategie di minimizzazione dell'esposizione anche in condizioni di conformità normativa, in particolare per processi caratterizzati da maggiori emissioni di fumi, quali la saldatura Manual Metal Arc (MMA). Tale approccio è coerente con il principio As Low As Reasonably Achievable (ALARA), ampiamente adottato nella prevenzione del rischio da agenti cancerogeni in ambito occupazionale.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Valori soglia per le sostanze tossiche per la riproduzione non cancerogene e non mutagene: implicazioni pratiche per la valutazione del rischio occupazionale

Threshold values for non-carcinogenic or non-mutagenic reprotoxic substances: practical implications for occupational risk assessment

Keywords: Rischio chimico, esposizione, sorveglianza sanitaria, registro delle esposizioni

Monica Gherardi[1], Chiara Caterini[2], Donatella Giacopetti[3], Fabiola Leuzzi[4], Ilaria Malerba[2], Alessandra Pellegrini[2], Giulia Pizzella[5], Maria Teresa Russo[6], Giovanna Tranfo[7]

[1] *Dipartimento di Medicina, Epidemiologia Igiene del Lavoro e Ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone (RM)*
[2] *Federchimica, Milano*
[3] *Unione Energie per la mobilità (UNEM), Roma*
[4] *Area lavoro, welfare e capitale umano – Confindustria, Roma*
[5] *EIE (per Unione Energie per la mobilità (UNEM), Roma*
[6] *Dipartimento Ambiente e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma*
[7] *Associazione Italiana degli Igienisti Industriali, AIDII ETS, Milano*

Corresponding author: Monica Gherardi, *m.gherardi@inail.it*

Introduzione

Il D. lgs. 135/2024, attuazione dela direttiva (UE) 2022/431, estende il campo di applicazione del Capo II del Titolo IX del d. lgs. 81/08 alle sostanze tossiche per la riproduzione di cat. 1A o 1B (Reprotox, R), aggiorna l'allegato XLIII con valori limite di esposizione professionale (VLEP) per 12 sostanze R [Marinaccio et al., 2024] e introduce l'Allegato XLIII-bis per il valore limite biologico (VLB) del Piombo e suoi composti inorganici. Ai fini della riduzione dell'esposizione (art. 235, Capo II, Titolo IX), inoltre, distingue le sostanze R con valore soglia da quelle prive di soglia e ancora da quelle che non ricadono in alcuna di queste due categorie (annotazioni da riportare nella colonna "Osservazioni" dell'Allegato XLIII). Nel presente lavoro viene proposto un percorso concettuale per la valutazione del rischio di esposizione occupazionale a sostanze R, non cancerogene e non mutagene di CAT 1A o 1B, che tiene conto dei valori soglia per la tossicità riproduttiva, indicando le ricadute applicative in termini di adempimenti per il Datore di Lavoro (DL).

Materiali e Metodi

Sulla base del significato di VLEP e VLB, di valore di riferimento per la popolazione generale e di valore soglia [Gherardi et al. 2025] è stata effettuata la disamina del percorso di valutazione del rischio occupazionale, con approccio "step by step", ovvero con una diramazione ad albero che guida il percorso in funzione delle decisioni adottabili ai singoli nodi. A tal fine, sono stati distinti due casi: A. sostanze presenti negli Allegati XLIII e XLIII-BIS; B. sostanze non presenti negli Allegati XLIII e XLIII-BIS.

Risultati e Discussione

Con il percorso logico–decisionale per la valutazione del rischio da agenti tossici per la riproduzione, il valutatore verifica preliminarmente l'applicabilità del Titolo IX, Capo II, del D. lgs. 81/08, sulla base della presenza di agenti chimici classificati tossici per la riproduzione (cat. 1A o 1B – Reg. CLP). Successivamente, procede ad accertare l'esposizione: se può dimostrare l'assenza di esposizione, esempio ciclo chiuso, oppure se questa può essere ricondotta ai livelli della popolazione generale, se nota, non è tenuto a procedere ulteriormente con la valutazione del rischio: non sono necessari sorveglianza sanitaria e registro delle esposizioni ad agenti cancerogeni, mutageni e reprotox (CMR), restando comunque obbligatorie le misure generali di prevenzione (artt. 237–239, Capo II). Se l'assenza di esposizione occupazionale non è dimostrabile con certezza, occorre procedere con ulteriori valutazioni. In questa fase interviene la disponibilità del valore soglia: un valore soglia legislativo, in Allegato XLIII, oppure un valore altrimenti disponibile (esempio dalle restrizioni o autorizzazioni REACH), utilizzabile nella valutazione del rischio per la salute riproduttiva. Se

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

non esistono valori soglia, non è possibile escludere il rischio: è quindi necessaria una valutazione caso per caso, basata sul confronto con VLEP/VLB e su evidenze scientifiche e, se opportuno, sull'attivazione di sorveglianza sanitaria e registro delle esposizioni CMR. Se è noto un valore soglia per gli effetti di tossicità riproduttiva e l'esposizione dei lavoratori è inferiore, tenendo conto di tutte le vie di esposizione, si applica comunque il Capo I del Titolo IX, mentre se è superiore è obbligatorio il confronto con i VLEP e/o VLB e l'attivazione di sorveglianza sanitaria e registro di esposizione.

Conclusioni

Questo approccio contribuisce a delineare quale percorso sia più idoneo a una corretta valutazione dell'esposizione a sostanze tossiche per la riproduzione, guidando il valutatore ad assumere decisioni in merito all'attivazione della sorveglianza sanitaria e alla registrazione delle esposizioni. Il processo decisionale, nel caso in cui il rischio per la salute per effetti di tossicità riproduttiva possa essere considerato trascurabile, riconduce la valutazione all'ambito di applicazione del Capo I del Titolo IX (sostanze pericolose).

Bibliografia

Marinaccio A., Capanna S., Caporossi L., Castellano P., Cavallo D., De Rosa M., Gherardi M., Lanzalaco C., Papaleo B., Pera A., Scarselli A., Ursini CL., Valenti A., Tranfo G. Direttiva UE 2022/431 e novità in tema di esposizione professionale a sostanze reprotossiche e farmaci pericolosi. COLLANA RICERCHE INAIL. Tipolitografia Inail - Milano, 2024.

Gherardi, M. Poli, D., Tranfo, G. Sostanze pericolose: valori limite e valori di riferimento. Fact Sheet © 2025 Inail. Edizione 2025 (http://www.inail.it).

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Rischio da farmaci pericolosi in medicina veterinaria: dal quadro normativo all'approccio One Health. Evidenze da uno studio pilota in aziende zootecniche

Risk from Hazardous Medicinal Products in veterinary medicine: from the regulatory framework to the One Health approach. Evidence from a pilot study in livestock farms

Keywords: Veterinary workplaces, Animal Husbandry Enterprises, HMPs, Directive (EU) 2022/431, One Health.

Paola Castellano[1], Marco Melosi[2], Daniela Boltrini[2], Giorgio Neri[2], Valerio Monaco[3], Daniela Pigini[1]

[1] *Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale (DiMEILA), Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL), Monte Porzio Catone (Roma)*

[2] *Associazione Nazionale Medici Veterinari Italiani (ANMVI)*

[3] *ASL Frosinone-UOC Sanità Animale (Servizio Veterinario Area A) Dipartimento di Prevenzione, Distretto di Anagni (FR)*

Corresponding author: Paola Castellano, *p.castellano@inail.it*

Introduzione

L'uso dei farmaci pericolosi (Hazardous Medicinal Products–HMPs), contenenti sostanze CMR 1A/1B ai sensi del Regolamento CLP e richiamati dalla Direttiva (UE) 2022/431 [Castellano et al. 2025], risulta sottovalutato nel settore veterinario (cliniche e ambulatori per la cura degli animali da affezione e ambienti non confinati, tra i quali gli allevamenti zootecnici), rispetto a quello sanitario [Castellano et. al. 2024]. Nel settore zootecnico, il loro impiego coinvolge veterinari, operatori, animali e ambiente, in linea con l'approccio One Health.

Lo studio pilota, condotto in allevamenti bovini e bufalini nel territorio di Anagni (FR), rappresenta una prima applicazione sistematica della Comunicazione della Commissione europea C/2025/1150 [Castellano, Pigini 2025], che riporta un elenco indicativo di HMPs (CLP cat. 1A/1B). Attraverso l'analisi dei registri di carico e scarico dei farmaci sono stati valutati presenza, quantità e modalità d'uso di questi, con una metodologia replicabile anche in aziende più ampie.

Il lavoro propone un quadro di riferimento per la gestione sicura degli HMPs in zootecnia, basato su prevenzione, protezione degli operatori e integrazione One Health a tutela della salute umana, animale e ambientale.

Materiali e Metodi

Nello studio condotto nel 2023-2024, su 9 aziende zootecniche bovine e bufaline di piccola scala nel distretto di Anagni (ASL di Frosinone), sono state esaminate 1.136 prescrizioni veterinarie di farmaci somministrati a circa 10.000 capi, identificando 106 classi terapeutiche caratterizzate da diversi principi attivi, poi confrontati con i 236 riportati negli allegati della Comunicazione. Per quelli non inclusi nell'elenco si è proceduto ad una verifica precauzionale, consultando la banca dati dell'E-CHA, per accertare anche l'eventuale classificazione CMR cat. 2 del CLP.

La Tabella I evidenzia una distribuzione omogenea delle principali classi terapeutiche tra le aziende, indicativo di pratiche sanitarie standardizzate a fronte di criticità comuni nel comparto bovino e bufalino dell'area considerata.

Tabella I. Principali classi terapeutiche e relativi principi attivi negli allevamenti considerati.

Classe terapeutica	Principi attivi	Percentuale
Antibiotici e antimicrobici	28	26,4%
Vitamine e integratori	24	22,6%
Vaccini	15	14,2%
Ormoni e regolatori riproduttivi	12	11,3%
Antinfiammatori e analgesici	8	7,5%
Antiparassitari	7	6,6%
Altri farmaci	12	11,4%
TOTALE	106	100%

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Risultati e Discussione

In Tabella I si evidenzia una prevalenza di antibiotici e antimicrobici, a conferma della centralità della gestione delle patologie infettive, seguiti da vitamine e integratori come supporto metabolico. La percentuale di vaccini indica l'importanza delle strategie profilattiche, mentre ormoni e regolatori riproduttivi riflettono la gestione della fertilità.

Tra i principi attivi utilizzati nelle 9 aziende, prednisolone, gentamicina e progesterone rappresentano il 2,8%, classificati come Repr. 1A/1B e riportati negli allegati della C/2025/1150. Il prednisolone (all. 2b) è impiegato nel 55,6% delle aziende, la gentamicina (all. 2c) nel 22,2% e il progesterone (all. 1) nell'11,1% dei casi, ma con rilevanza aggiuntiva anche per la classificazione Canc./Mut. 1A/1B.

Tra il 2023 e 2024 l'uso degli HMPs negli allevamenti esaminati è diminuito del 29% per una revisione dei protocolli terapeutici volta alla riduzione del rischio occupazionale.

L'analisi precauzionale ha identificato, inoltre, 33 principi attivi CMR cat. 2 CLP, non inclusi negli allegati della Comunicazione, evidenziando la necessità di valutare sistematicamente il rischio chimico per la tutela integrata di salute umana, animale e ambientale.

Conclusioni

Lo studio conferma l'impiego di farmaci pericolosi anche nel settore veterinario zootecnico italiano, evidenziando la necessità di adottare strategie di prevenzione e protezione per gli operatori esposti, in conformità al D.lgs. 81/2008. È fondamentale, pertanto, includere gli HMPs nella valutazione del rischio, garantire adeguata formazione e informazione e definire procedure operative per la loro gestione in tutte le fasi e forme di impiego (soluzioni, forme aerosolizzabili e/o aerodisperse, polveri e mangimi medicati) in ambito zootecnico.

La metodologia seguita per identificare i principi attivi è replicabile in contesti veterinari più ampi e rappresenta un primo contributo alla caratterizzazione dell'uso degli HMPs utile per sviluppare strumenti di valutazione del rischio coerenti con l'approccio One Health.

Bibliografia

Castellano P., Pigini D., L'elenco dei farmaci pericolosi della Commissione Europea: inquadramento e ricadute. In: Da Cas R, Salvi E, Spila Alegiani S (Ed.). XXXIV Seminario Nazionale. La valutazione dell'uso e della sicurezza dei farmaci: esperienze in Italia. Roma, 10 dicembre 2025. Riassunti. Roma: Istituto Superiore di Sanità, (ISSN 0393-5620), 2025, ISTISAN Congressi 25/C4, p. 6.

Castellano P., Pigini D., Tranfo G., Il quadro normativo relativo alla protezione dei lavoratori esposti ai farmaci pericolosi, definiti dalla direttiva (UE) 2022/431, alla luce delle principali fonti legislative e di indirizzo della Commissione europea. In: Rivista degli Infortuni e delle Malattie Professionali-INAIL VI Serie della Rassegna della Previdenza Sociale, Anno CXII (ISSN 0035-5836), 2025, fascicolo 3, parte I, pp. 427 – 444.

Castellano P., Neri G., Boltrini D. et al. In: Prevenzione e gestione dei rischi nel settore veterinario. Focus sulla manipolazione di farmaci pericolosi alla luce della direttiva (UE) 2022/431. INAIL (Ed.), 2024, ISBN 978-88-7484-878-2, pp. 1- 63.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Alterazioni molecolari nelle proprietà delle proteine nucleari basiche in individui esposti professionalmente ai metalli pesanti

Molecular alterations in the properties of Sperm Nuclear Basic Proteins in individuals occupationally exposed to heavy metals

Keywords: Chromium, Protamine, Reprotoxic, Professional exposure, Semen quality

Marina Piscopo[1], Gennaro Lettieri[1], Carmela Marinaro[1], Simona Amore[1], Giulio Santaniello[1], Anna Rita Bianchi[1], Bruno Berman[1], Martina Falace[1], Marco Trifuoggi[2], Flavia Conte[2], Alessandra Pera[3], Mariangela De Rosa[3], Luigi Montano[4], Anna De Maio[1]

[1] *Dipartimento di Biologia, Università degli studi di Napoli Federico II, Napoli, Italia*
[2] *Department of Chemical Sciences, University of Naples Federico II, Naples, Italy.*
[3] *INAIL- DiMEILA – Laboratorio di sorveglianza sanitaria e promozione della salute.*
[4] *Unità di Andrologia e Servizio di Medicina dello Stile di Vita in UroAndrologia, Azienda Sanitaria Locale (ASL) di Salerno, Unità di Coordinamento della Rete per la Salute Ambientale e Riproduttiva (Progetto Eco-Food Fertility), "Ospedale S. Francesco di Assisi", Oliveto Citra, Salerno*

Corresponding author: Marina Piscopo, *marina.piscopo@unina.it*

Introduzione

L'inquinamento ambientale rappresenta una delle più gravi minacce per la salute riproduttiva umana. Secondo l'OMS, circa un quarto di tutte le malattie globali, compresa l'infertilità, è collegato all'esposizione a sostanze inquinanti, tra cui i metalli pesanti. L'infertilità, con una prevalenza stimata al 17,5% e un contributo maschile del 40–50%, rappresenta un problema sanitario di rilevanza mondiale. Studi epidemiologici documentano un calo della concentrazione spermatica fino al 50–60% negli ultimi quarant'anni, rendendo la qualità dello sperma un biomarcatore sensibile della salute riproduttiva e ambientale dell'individuo. Durante la spermiogenesi, gli istoni vengono sostituiti dalla protamina 1 (P1) e protamina 2 (P2), proteine basiche indispensabili per la compattazione del genoma paterno e la sua protezione da agenti mutageni e stress ossidativo [Torres-Flores et al. 2020]. Un'alterazione del rapporto protamine/istoni correla con frammentazione del DNA, riduzione della capacità fecondante e trasmissione di alterazioni epigenetiche alla progenie; un DFI >25–30% (DNA Fragmentation Index) rappresenta un marcatore prognostico negativo nei cicli di procreazione medicalmente assistita. I metalli pesanti Ni, Cr e Hg, diffusi in settori industriali come metallurgia, concia e odontoiatria, possono accumularsi nel tratto riproduttivo maschile. Ni e Cr, classificati cancerogeni di Gruppo 1 IARC, inducono genotossicità e stress ossidativo; Hg invece, è un potente interferente endocrino, capace di legarsi ai gruppi tiolici delle protamine alterandone struttura e funzione. La ricerca, realizzata tramite Bando di Ricerca in Collaborazione (BRIC) con INAIL, ha valutato le alterazioni delle SNBP e il loro impatto sulla cromatina spermatica in campioni seminali di individui esposti e non esposti professionalmente a tali metalli.

Materiali e Metodi

Le analisi sulle proteine basiche nucleari spermatiche (SNBP) hanno incluso: caratterizzazione del pattern elettroforetico mediante AU-PAGE; valutazione dell'affinità di legame al DNA tramite EMSA, con DNA plasmidico come substrato; determinazione della capacità protettiva in condizioni pro-ossidanti su gel di agarosio. I campioni sono stati sottoposti a digestione acida ossidativa assistita da microonde per la completa mineralizzazione della matrice organica; le concentrazioni di Cr, Ni e Hg sono state quantificate mediante ICP-MS [Marinaro et al. 2025], al fine di correlare le alterazioni molecolari con il livello di esposizione individuale.

Risultati e Discussione

Il rapporto protamine/istoni, valutato mediante AU-PAGE, ha mostrato che il 31,9% dei soggetti presentava un pattern canonico, mentre il 68,1% una predominanza istonica, indicativa di difetto nella sostituzione istoni-protamine con conseguente ridotta compattazione della cromatina. I saggi EMSA hanno evidenziato che solo il 27,7% raggiungeva la saturazione nel range fisio-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

logico (w/w 1,6–2,3), mentre il 72,7% richiedeva rapporti superiori a 2, indicando una compromessa capacità di compattazione. Il saggio di protezione ossidativa (H_2O_2/$CuCl_2$) ha mostrato che il 27,7% non presentava danno, il 34,9% danno lieve, il 19,4% moderato e il 18% severo [Ferrero et al. 2024]. L'analisi dei metalli ha evidenziato una marcata variabilità interindividuale: Ni e Hg sono risultati al di sotto del limite di quantificazione nella totalità dei campioni, mentre il Cr ha mostrato in un sottogruppo concentrazioni fino a 84,0 µg/L, suggerendo una possibile esposizione ambientale od occupazionale significativa in specifici individui.

Conclusioni

I risultati indicano che l'esposizione professionale a metalli pesanti compromette struttura e funzione delle SNBP, alterando il rapporto protamine/istoni, riducendo l'affinità di legame al DNA e la capacità protettiva nei confronti dello stress ossidativo. Le SNBP si confermano biomarcatori sensibili per la sorveglianza sanitaria occupazionale e la valutazione della fertilità maschile in soggetti esposti.

Bibliografia

Ferrero, G., Festa, R., Follia, L., Lettieri, G., Tarallo, S., Notari, T., Giarra, A., Marinaro, C., Pardini, B., Marano, A., Piaggeschi, G., Di Battista, C., Trifuoggi, M., Piscopo, M., Montano, L., & Naccarati, A. (2024). Small noncoding RNAs and sperm nuclear basic proteins reflect the environmental impact on germ cells. *Molecular medicine* (Cambridge, Mass.), 30(1), 12. *https://doi.org/10.1186/s10020-023-00776-6*.

Marinaro, C., Notariale, R., Cardillo, M., Guarnieri, M. G., Trifuoggi, M., Mottola, F., Rocco, L., Lettieri, G., Montano, L., & Piscopo, M. (2025). Overview of the effects of heavy metals on the reproductive health of males in the genus Mytilus spp. *Journal of trace elements in medicine and biology* : organ of the Society for Minerals and Trace Elements (GMS), 89, 127672. *https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2025.127672*.

Torres-Flores U, Hernández-Hernández A. The Interplay Between Replacement and Retention of Histones in the Sperm Genome. *Front Genet*. 2020;11:780. Published 2020 Jul 16. doi:10.3389/fgene.2020.00780 .

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Poli(ADP-ribosio) polimerasi come marcatore precoce della qualità dello sperma in uomini esposti professionalmente ai metalli pesanti

Poly(ADP-ribose) polymerase as an early indicator of sperm quality in men occupationally exposed to heavy metals

Keywords: Oxidative stress, Sperm DNA damage, PARP automodification, Lipid peroxidation, Antioxidant capacity.

Anna De Maio[1], Anna Rita Bianchi[1], Bruno Berman[1], Martina Falace[1], Gennaro Lettieri[1], Carmela Marinaro[1], Simona Amore[1], Giulio Santaniello[1], Alessandra Pera[2], Mariangela De Rosa[2], Luigi Montano[3], Marina Piscopo[1]

[1] *Dipartimento di Biologia, Università degli studi di Napoli Federico II, Napoli, Italia*
[2] *INAIL – DiMEILA – Laboratorio di sorveglianza sanitaria e promozione della salute.*
[3] *Unità di Andrologia e Servizio di Medicina dello Stile di Vita in UroAndrologia, Azienda Sanitaria Locale (ASL) di Salerno, Unità di Coordinamento della Rete per la Salute Ambientale e Riproduttiva (Progetto Eco-Food Fertility), "Ospedale S. Francesco di Assisi", Oliveto Citra, Salerno*

Corresponding author: Anna De Maio, *andemaio@unina.it*

Introduzione

L'esposizione ai metalli pesanti può indurre stress ossidativo, condizione derivante dallo squilibrio tra la produzione di Specie Reattive dell'Ossigeno (ROS) e i sistemi di difesa antiossidanti cellulari. A causa delle loro caratteristiche strutturali e metaboliche, gli spermatozoi risultano particolarmente suscettibili all'accumulo di ROS, i cui metaboliti possono danneggiare DNA, lipidi di membrana e proteine, determinando alterazioni strutturali e funzionali che possono culminare nella morte cellulare e nel deterioramento dei parametri spermatici associato all'infertilità maschile [Rashki Ghaleno et al., 2021].

Tra le prime risposte molecolari al danno ossidativo del DNA vi è l'attivazione della poli-ADPribosil)azione, una modificazione post-traduzionale covalente e reversibile catalizzata dalla famiglia delle poli(ADP-ribosio) polimerasi (PARP), che sintetizzano polimeri di ADP-ribosio (PAR) dal substrato NAD^+. I principali membri della famiglia sono gli enzimi nucleari PARP1 e PARP2, rapidamente attivati in risposta alla rottura dei filamenti di DNA. Una volta attivati, catalizzano due reazioni principali: l'automodificazione (auto-PARilazione), in cui il PAR si lega alle stesse PARP, e l'eteromodificazione, che comporta il trasferimento del PAR a diverse proteine nucleari bersaglio [Zhang & Zha, 2024]. Recentemente abbiamo dimostrato la presenza di una PARP da 75 kDa, corrispondente ad un frammento della PARP1 umana, nel liquido seminale di uomini provenienti da aree con diversa esposizione ambientale. Il livello di automodificazione di questo enzima sembrava correlato all'entità del danno al DNA spermatico: un danno lieve era associato ad una automodificazione con poche unità di ADPR, mentre polimeri lunghi e ramificati indicavano un danno massivo [Berman et al., 2025].

Alla luce di queste evidenze, la presente ricerca, realizzata tramite Bando di Ricerca in Collaborazione (BRIC) con INAIL, ha avuto lo scopo di misurare i livelli di lipoperossidi e la capacità antiossidante nel plasma seminale di 46 uomini professionalmente esposti a nichel, cromo e mercurio, per verificare la possibile insorgenza di stress ossidativo. Poiché il danno ossidativo al DNA è una delle principali cause di infertilità maschile, è stata inoltre valutata l'automodificazione della PARP e la sua attività enzimatica negli spermatozoi degli stessi individui.

Materiali e Metodi

I livelli di perossidazione lipidica e la capacità antiossidante nel plasma seminale sono stati misurati mediante metodica spettrofotometrica, utilizzando rispettivamente i kit commerciali LP Sperm Test e anti-OX Sperm Test forniti da Diacron International (Grosseto, Italia).

L'automodificazione della PARP è stata evidenziata mediante Western blotting con anticorpi anti-PAR, in grado di riconoscere almeno due unità di ADP-ribosio legate alle proteine accettrici [Berman et al., 2025]. L'attività della PARP è stata determinata mediante test radioisotopico [Berman et al., 2025].

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Risultati e Discussione

Dei 46 campioni esaminati, solo 8 hanno mostrato bassi livelli di lipoperossidi ed elevata capacità antiossidante; negli omogenati spermatici corrispondenti, la bassa attività della PARP e l'assenza di automodificazione confermano l'assenza di danno ossidativo al DNA. I restanti campioni hanno evidenziato ridotta capacità antiossidante, elevati livelli di lipoperossidi, marcata attività della PARP e automodificazione con polimeri lunghi e ramificati, indicando una condizione di stress ossidativo associata a danno massivo del DNA spermatico.

Conclusioni

I dati presentati suggeriscono che la valutazione dei livelli di automodificazione della PARP insieme alla misura della sua attività enzimatica potrebbero rappresentare una nuova strategia per diagnosticare precocemente la qualità dello sperma mediante la valutazione dell'integrità del DNA spermatico, essenziale per il processo riproduttivo.

Bibliografia

Berman, B., Lettieri, G., Falace, M., Marinaro, C., Di Giovanni, C., Bianchi, A. R., Montano, L., Piscopo, M., De Maio, A. (2025). Comprehensive characterisation of poly(ADPribosyl)ation in spermatozoa as a novel and early biomarker of sperm health. A preliminary look. *Chem. Biol. Interact.,* 421, 111747.

Rashki Ghaleno, L., Alizadeh, A., Drevet, J. R., Shahverdi, A., & Valojerdi, M. R. (2021). Oxidation of Sperm DNA and Male Infertility. Antioxidants, 10(1), 97.

Zhang, H., & Zha, S. (2024). The dynamics and regulation of PARP1 and PARP2 in response to DNA damage and during replication. *DNA repair*, 140, 103690.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Sviluppo e validazione di un metodo GC-MS/MS per il monitoraggio ambientale di C_{10}-C_{13} alchilbenzeni ramificati

Development and validation of a GC-MS/MS method for environmental monitoring of branched C_{10}-C_{13} alkylbenzenes

Keywords: gas chromatography, triple quadrupole mass spectrometry, branched alkylbenzenes, air sampling, reprotoxic.

Francesco Saverio Robustelli della Cuna[1], Matteo Balestra[1], Alessandro Volpe[1], Laura Zaratin[2], Samuele Fuso[1], Gloria Conte[1], Manlio Sutera Sardo[2], Elena Grignani[1,2]

[1] *Centro Ricerche Ambientali, Istituti Clinici Scientifici Maugeri Spa Società Benefit, Pavia (PV)*
[2] *Centro Ricerche Ambientali, Istituti Clinici Scientifici Maugeri Spa Società Benefit, Vigonza (PD)*

Corresponding author: Francesco Saverio Robustelli della Cuna, *saverio.robustelli@icsmaugeri.it*

Introduzione

La produzione di detergenti alchilbenzensolfonati è un processo industriale fondamentale per l'industria dei detergenti, poiché consente di ottenere tensioattivi anionici ad elevata efficacia pulente e buona biodegradabilità. Il processo si basa sulla sintesi dell'alchilbenzene ramificato, seguita da solfonazione e successiva neutralizzazione, fino a ottenere il sale attivo utilizzato nelle formulazioni detergenti. Grazie all'impiego di materie prime di origine petrolchimica e a tecnologie di reazione controllate, questo processo permette di produrre, su larga scala, tensioattivi con caratteristiche chimico-fisiche adatte sia a detergenti in polvere che a liquidi. Gli alchilbenzeni ramificati (BAB) sono composti organici costituiti da un anello benzenico a cui sono legati uno o più gruppi alchilici ramificati (Figura 1). Si tratta di idrocarburi aromatici che presentano una particolare stabilità grazie alla presenza dell'anello benzenico. I BAB sono ampiamente utilizzati come tensioattivi nei detergenti, tuttavia la persistenza ambientale e i prodotti di degradazione hanno sollevato preoccupazioni riguardo al potenziale reprotossico. Studi sperimentali indicano che queste sostanze possono interferire con la funzione riproduttiva e lo sviluppo embrionale, soprattutto in caso di esposizione prolungata. Attualmente non è disponibile un metodo analitico che permetta il dosaggio dei BAB aerodispersi in ambiente di lavoro. Il presente studio si propone di sviluppare e validare un metodo analitico per la determinazione quantitativa di alchilbenzeni ramificati (C_{10}-C_{13}) aerodispersi, mediante gascromatografia abbinata a spettrometria di massa a triplo quadrupolo (GC-MS/MS).

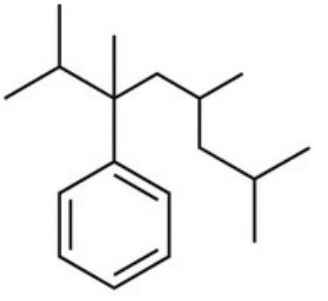


Figura 1. Struttura chimica di alchilbenzeni ramificati.

Materiali e Metodi

Il metodo prevede il campionamento dei BAB su fiale Anasorb CSC. Successivamente, gli analiti sono desorbiti utilizzando solfuro di carbonio e analizzati mediante GC-MS/MS. Per la separazione degli analiti è stata utilizzata una colonna capillare Rtx-1701 (14% cianopropilfenil/86% dimetilpolisilossano, 30 m × 0.25 mm ID, 1 µm df). Come standard interno è stato utilizzato isopropil miristato. Lo spettrometro di massa operava in multiple reaction monitoring (MRM).

Risultati e Discussione

L'analisi quantitativa è stata eseguita su gruppi di isomeri di BAB, suddivisi in base al numero di atomi di carbonio della catena alchilica. In dettaglio, BAB C_{10} isomeri n= 5, BAB C_{11} isomeri n= 5, BAB C_{12} isomeri n= 6 e BAB C_{13} isomeri n= 2. Nella Tabella I sono riassunte le caratteristiche degli analiti, gli MRM utilizzati per l'analisi quantitativa, il recupero e il limite inferiore di quantificazione (LOQ) per ciascuna classe di isomeri considerati.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Il metodo è risultato lineare (r^2 medio pari a 0.999) nel range di concentrazioni compreso tra 2 e 100 μg assoluti. La sensibilità ottenuta permetterà di effettuare il monitoraggio in ambiente di lavoro. Inoltre, l'utilizzo della rivelazione selettiva di MRM ha reso possibile la riduzione del rumore di fondo e il miglioramento di sensibilità e specificità.

Tabella I. Riassunto dei risultati analitici.

Composto	MRM	Recupero% (media)	LOQ μg assoluti (media)
BAB ISOMERI C_{10}	218→119	96.7	0.44
BAB ISOMERI C_{11}	232→119	95.6	0.39
BAB ISOMERI C_{12}	246→119	93.7	0.62
BAB ISOMERI C_{13}	260→119	93.7	0.63

Conclusioni

Il metodo sviluppato e validato nel presente lavoro appare sensibile, solido e robusto. Tali caratteristiche lo rendono adatto per il monitoraggio di BAB in ambiente di lavoro.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Sviluppo e validazione di un metodo HPLC-MS/MS per la determinazione dell'8-iso-prostaglandina F2α nelle urine umane

Development and validation of an HPLC–MS/MS method for the determination of 8-iso-prostaglandin F2α in human urine."

Keywords: Oxidative stress, ROS, biomarker, analytical method, Triple Quadrupole Mass Spectrometry.

Enrico Paci[1], **Daniela Pigini**[1]

[1] *Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro ed ambientale, INAIL, Monteporzio Catone (RM).*

Corresponding author: Enrico Paci, e.*paci@inail.it*

Introduzione

Lo stress ossidativo si verifica quando c'è uno squilibrio tra la produzione di specie reattive dell'ossigeno (ROS) e la capacità dell'organismo di neutralizzarle. Questa condizione è stata associata a diverse patologie umane, soprattutto a quelle legate ai processi infiammatori. Le ROS possono provocare l'ossidazione dei lipidi presenti nelle membrane cellulari, che rappresentano importanti bersagli della perossidazione [Fanti F, et al., 2025]. L'ossidazione dei lipidi genera idroperossidi, che si frammentano producendo gli isomeri della prostaglandina F2α (F2-isoprostani, F2-IsoP) rilasciati nel sangue, metabolizzati nel fegato ed escreti nelle urine sotto forma di acidi liberi [Cheah IK, et al.,2017] o coniugata con l'acido glucuronico. L'8-iso-prostaglandina F2α (8-iso-PGF2α) è un biomarcatore sensibile, poiché i suoi livelli nell'organismo aumentano quando lo stress ossidativo è elevato. [Dahl, JH., Van Breemen, RB., 2010]. Scopo dello studio è stato lo sviluppo e la validazione di un nuovo metodo analitico in HPLC-MS/MS, per la misura della concentrazione di 8-iso-PGF2α in campioni di urina.

Materiali e Metodi

I campioni di urina sono stati purificati mediante SPE utilizzando cartucce OASIS (Waters), addizionati con standard interno deuterato (8-iso Prostaglandina-d4), sottoposti ad idrolisi enzimatica con β-glucuronidasi di Elix Pomatia, filtrati su filtri Anotop da 0,2 , e analizzati in HPLC-MS/MS.

Risultati e Discussione

Il metodo ha mostrato picchi cromatografici molto puliti, con rumore di fondo molto basso. L'effetto matrice è risultato pari al 41,8% ed il recupero analitico è stato del 50,8%. In Tabella I sono riportati i valori di concentrazione di un gruppo di campioni di urina di volontari sani.

Tabella I. Valori medi di concentrazione in µg/L di 8-iso-PGF2α in urina.

Media	1.51
Mediana	0.88
SD	2.28
Minimo	0.00
Maximo	10.29
% <LOD (numero)	25
LOD	0.01

Inoltre, i campioni sono stati analizzati con e senza idrolisi enzimatica, per verificare il rapporto fra l'analita libero e legato nelle urine. In Tabella II sono riportati i dati relativi alle due diverse condizioni.

Tabella II. Campioni di urina con e senza idrolisi (µg/L)

Campione	Con idrolisi	Senza idrolisi
1	2,39	0,50
2	2,30	0,00
3	2,90	0,00
4	3,62	1,70
5	3,96	0,00
6	2,29	0,29
7	0,83	0,62
8	2,35	0,00
9	0,00	0,00
10	5,38	0,94
11	5,92	1,33
12	3,42	0,00
13	5,40	0,00
Media	3,14	0,41

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Conclusioni

Il metodo è risultato semplice, rapido, accurato e con adeguata sensibilità tale da permettere il dosaggio del biomarcatore 8-iso-PGF2α in un numero elevato di campioni e quindi da poter essere utilizzato anche per screening sia sulla popolazione generale che su soggetti professionalmente esposti a sostanze pericolose; il LOD è stato stimato in 0.01 µg/L, valore confrontabile con quello di altri lavori recenti, che rientra in un range compreso fra 0.001 e 0.035 µg/L. Lo step dell'idrolisi enzimatico risulta fondamentale per stimare correttamente l'8-iso-PGF2α, come si vede dalla tabella 2, che mostra un incremento medio superiore al 700%.

Bibliografia

Cheah, IK., Tang, RM., Yew, TS., Lim, KH., Halliwell, B., 2017. Administration of Pure Ergothioneine to Healthy Human Subjects: Uptake, Metabolism, and Effects on Biomarkers of Oxidative Damage and Inflammation. *Antioxid Redox Signal*., 10, 26(5), 193-206. doi: 10.1089/ars.2016.6778.

Dahl, JH., Van Breemen, RB., 2010. Rapid quantitative analysis of 8-iso-prostaglandin-F(2alpha) using liquid chromatography-tandem mass spectrometry and comparison with an enzyme immunoassay method. *Anal Biochem*., 15, 404 (2), 211-6. doi: 10.1016/j.ab.2010.05.023.

Fanti, F., Sergi, M., Compagnone, D., 2025. LC-MS/MS based analytical strategies for the detection of lipid peroxidation products in biological matrices. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis., 256, 11668. ISSN 0731-7085.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

aidii
LA CULTURA DELLA PREVENZIONE
42° Congresso nazionale
di igiene industriale e ambientale

ijoehy
Italian Journal of Occupational
and Environmental Hygiene

Sessione 7

Ergonomia
e rischio biomeccanico

Progettazione e nuove tecnologie: vantaggi e criticità

Design and new technologies: advantages and critical issues

Keywords: Human-Centric Approch; Exoskeleton; Smart DPI; Cognitive Ergonomics; Behavioral Theories

Isabella Ferrara[1], Ivan Mazzarelli[1]

[1] *INAIL - Unità Operativa Territoriale di Certificazione, Verifica e Ricerca di Napoli – Napoli*

Corresponding author: Isabella Ferrara, *i.ferrara@inail.it*

Introduzione

Seguire le tappe della trasformazione digitale che coinvolge il mondo del lavoro, e la società tutta, significa, tra l'altro, individuare i cambiamenti tecnici e organizzativi che incidono sui lavoratori, e che riguardano l'intero sistema salute e sicurezza. Intelligenza artificiale, Robotica, Realtà virtuale, Realtà aumentata vengono rapidamente perfezionate e inserite nei processi lavorativi, come supporto al lavoro umano, a volte in sua sostituzione. Risultano, quindi, necessarie una riflessione e un impegno a loro volta innovativi in merito alle procedure e alle dinamiche di valutazione dei rischi e prevenzione. L'approccio antropocentrico è quello che può, e deve, indirizzare gli interventi progettuali, organizzativi, procedurali, e di formazione e sostegno ai lavoratori. Lo *Human-centric approch* è il principio ispiratore dell'Industria 5.0 che punta sulla collaborazione e sulla progettazione congiunta tra uomo e macchine. La centralità dell'uomo si ritrova negli imperativi della produzione, della sicurezza e della sostenibilità. Il 'fattore umano' si evolve nelle relazioni uomo-macchina con le rapide innovazioni tecnologiche, si rafforza e si sviluppa il concetto rivoluzionario nel mondo del lavoro inizato con il D.Lgs. 81/08 e la definizione del concetto di salute, diventata punto di partenza e di arrivo delle misure di salute e sicurezza negli ambienti di lavoro. Art. 2, comma 1, lettera o) Salute: stato di completo benessere fisico, mentale e sociale, non consistente solo in un'assenza di malattia o d'infermità.

Materiali e Metodi

L'analisi e lo studio condotti hanno proceduto secondo le linee normative italiane e internazionali, che chiariscono campi di applicazione e limiti delle nuove tecnologie a garanzia della sicurezza sia individuale, sia sociale. Sono stati, inoltre, considerati studi di progettazione innovativa che sfrutta l'IA per le macchine industriali o per i DPI (Smart DPI); mantenendo un focus su considerazioni di ergonomia cognitiva, con l'approfondimento di studi e ricerche in merito ai rischi connessi alle nuove tecnologie, e al loro utilizzo negli ambienti di lavoro. Un utilizzo già molto avanzato che deve affrontare criticità e rischi emergenti. All'ergonomia cognitiva sono, poi, collegate le argomentazioni in merito ai rischi psicosociali connessi e all'approccio dei lavoratori alle nuove tecnologie, anche dal punto di vista delle teorie del comportamento.

Risultati e Discussione

Dal corpo umano hanno origine le rappresentazioni spaziali, lo spazio peripersonale è una di queste. Un sistema neuronale risponde, integrandoli, agli stimoli tattili sul corpo, visivi e uditivi che accadono in prossimità del corpo. Lo spazio peripersonale può essere modificato con l'utilizzo di strumenti per raggiungere parti dello spazio extrapersonale rendendo raggiungibile lo spazio irraggiungibile. Il mouse del computer è un esempio di artefatto tecnologico che spinge la mano della persona oltre un dato limite, estendendolo ad uno schermo. L'evoluzione tecnologica ha trasformato l'approccio alla fisiologia della forza lavoro, sia culturalmente che empiricamente, robot indossabili, o esoscheletri, vengono ormai utilizzati in molti contesti lavorativi a supporto e/o potenziamento dei movimenti dei lavoratori. L'esoscheletro, quindi, rappresenta una estensione delle capacità fisiche, e si sviluppa nella interconnessione tra ingegneria, ergonomia, responsabilità etiche che riguardano il fattore umano, e considerazione dell'approccio basato sull'uomo delle trasformazioni tecnologiche. Gli esoscheletri riducono il carico muscolare e i rischi biomeccanici di mansioni ripetitive o di sollevamento, e rappresentano uno strumento di prevenzione soprattutto in ambienti lavorativi, logistica, automotive, edilizia, agroalimentare, dove i disturbi muscoloscheletrici rappresentano una delle principali cause di assenza dal lavoro. Anche Smart DPI come gli Head-Mounted Di-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

spaly (HMD) rientrano a loro volta in queste categorie di artefatti tecnologici a sostegno delle attività dei lavoratori. Ai vantaggi si affiancano, d'altro canto, le criticità. La riduzione della fatica fisica si accompagna ad un aumento dell'impegno cognitivo su un maggior numero di processi e competenze funzionali. A ridefinire il rapporto fra tecnologia, design, errore e, soprattutto, fattore umano, è l'intersezione tra IA, che interpreta i movimenti tramite sensori, li prevede e ne regola l'assistenza, l'ergonomia cognitiva, che richiede attenzione ad aspetti di percezione, accettazione e uso della tecnologia, e potenzialità e limiti dei sistemi con cui l'operatore interagisce [1]. La progettazione, quindi, gioca un ruolo fondamentale nell'adeguamento dell'innovazione alle esigenze dei lavoratori; con una *user experience*, per es., che preveda interfacce intuitive che, però, non annullino la creatività e l'autonomia dell'utente/utilizzatore [2]. La progettazione, cioè, deve supportare, e non ostacolare, il funzionamento cognitivo dell'operatore. I rischi connessi, le criticità, comprendono condizioni che coinvolgono aspetti fisici, psicosociali e cognitivi. Per i dispositivi indossabili esistono rischi legati a caratteristiche di peso, forma, indossabilità; alle differenze di età e genere; all'emissione di luce blu molto ravvicinata agli occhi, nel caso degli HMD; ridotte necessità di movimento fisico, distrazione e affaticamento visivo durante le operazioni in realtà aumentata; vertigini e disorientamento nell'utilizzo della realtà virtuale; condizioni di malfunzionamento della tecnologia utilizzata. Cybersickness, stress, sovraccarico sensoriale e cognitivo, impatto negativo sulle funzioni dell'attenzione, la memoria, la consapevolezza spaziale afferiscono alle considerazooni sull'ergonomia cognitiva e sulle teorie del comportamento, utili per analizzare l'approccio degli individui alle innovazioni tecnologiche, come la Technology Acceptance Model (TAM) [3]. La TAM considera l'accettazione della tecnologia come il risultato di un processo che coinvolge le caratteristiche di progettazione che generano la percezione di facilità e utilità d'uso, le quali influenzano l'atteggiamento e l'intenzione verso l'uso della tecnologia, caratterizzandone, infine, il comportamento d'uso. Approfondimenti e analisi successive evidenziano come l'accettazione della tecnologia, anche quella indossabile, da parte dei dipendenti varia a seconda dei casi d'uso ed è connessa a fattori legati al contesto organizzativo, al clima di sicurezza, alle caratteristiche e alle convinzioni dei dipendenti.

Conclusioni

Fattore umano ed ergonomia sono, ad oggi, termini utilizzati spesso come sinonimi, in quanto descrivono e si occupano, nella teoria e nella pratica, dello studio delle caratteristiche e delle abilità umane, con lo scopo di migliorare lo sviluppo delle interazoni delle persone con gli oggetti che usano e l'ambiente circostante in cui le usano (Wilson, Sharples). La tecnologia indossabile è un chiaro esempio della necessità che l'innovazione tecnologia in atto sia orientata da e verso il concetto di centralità dell'essere umano, per una concezione di lavoro sicuro e sostenibile e di salute. Questo richiede, contemporaneamente, norme sull'omologazione e certificazione di tali DPI, ricerca e sperimentazione, linee guida per il loro utilizzo, formazione e monitoraggi continui degli effetti a lungo termine sulla salute e sicurezza degli utilizzatori, sia in termini fisici, che psichici e cognitivi.

Bibliografia

Jesse V. Jacobs, Lawrence J. Hettinger, Yueng-Hsiang Huang, Susan Jeffries, Mary F. Lesch, Lucinda A. Simmons, Santosh K. Verma, Joanna L. Willetts, Employee acceptance of wearable technology in the workplace, Applied Ergonomics, Volume 78, 2019, Pages 148-156, ISSN 0003-6870, *https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.03.003*. (*https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687018306094*).

Norman, Donald A. The Design of Everyday Things. MIT Press, 2013.

Marikyan, D.& Papagiannidis, S. (2025) Technology Acceptance Model: A review. In S. Papagiannidis (Ed), TheoryHub Book. Available at *https://open.ncl.ac.uk* / ISBN: 9781739604400.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Esoscheletri occupazionali: considerazioni su salute e sicurezza – la monografia INAIL

Occupational exoskeletons: health and safety considerations – the INAIL monograph

Keywords: Passive and active exoskeletons, biomechanical risk assessment, potential adverse effects, international ergonomics standards, Machinery Directive

Alberto Ranavolo[1], Giorgia Chini[1], Simona Del Ferraro[1], Vincenzo Molinaro[1], Alessio Silvetti[1], Giovanna Tranfo[1], Tiwana Varrecchia[1]

[1] *Dipartimento di Medicina Epidemiologia Igiene del Lavoro e Ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone.*

Corresponding author: Alberto Ranavolo, *a.ranavolo@inail.it*

Introduzione

Gli esoscheletri occupazionali (EO) rappresentano un promettente intervento ergonomico nel campo della prevenzione dei disturbi muscoloscheletrici (DMS) causati da attività di movimentazione manuale dei carichi (MMC) o che implicano il mantenimento di posture fisse e incongrue. Gli EO generano una forza esterna per supportare uno specifico distretto corporeo riducendo l'impegno fisico del lavoratore e contribuendo a ridurre l'insorgenza dei DMS. Per contro, numerose attività di ricerca stanno provando a fare luce sui possibili effetti avversi derivanti da un uso di lungo periodo in contesti occupazionali reali.

Con la finalità di fornire un contributo sul tema salute e sicurezza associati agli EO, il "Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale" e il "Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici" del Centro Ricerche INAIL hanno costituito un gruppo di lavoro con l'obiettivo principale di redigere un documento di sintesi sulla attuale conoscenza e sui necessari sviluppi futuri.

Materiali e Metodi

Gli esperti di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro dei due dipartimenti hanno analizzato la letteratura scientifica e la normativa di riferimento riguardanti gli EO. Inoltre, i ricercatori e i tecnologi hanno reso disponibili i risultati delle attività svolte all'interno dei piani triennali della ricerca istituzionale e scientifica relativi a: definizioni, DMS lavoro-correlati, valutazione, standard internazionali di ergonomia e strumentale [Ranavolo et al. 2020], rischio da sovraccarico biomeccanico in presenza di EO, concetti di validazione, valutazione e verifica sul campo, potenziali effetti avversi, implicazioni degli EO sul costo metabolico e sulla risposta termica, legislazione applicabile alla progettazione, alla costruzione e all'uso degli EO, normativa sulla sicurezza funzionale applicabile agli EO e, infine, EO per la formazione.

Risultati e Discussione

Le attività descritte nella sezione "materiali e metodi" hanno permesso la realizzazione di una monografia INAIL intitolata "Esoscheletri Occupazionali: considerazioni su salute e sicurezza" [Amicucci et al. 2026] contenente numerosissimi riferimenti scientifici, normativi e sitografici.

Il documento riporta che, ai punti di forza associati agli EO, si contrappongono alcuni limiti e potenziali effetti avversi: tra questi, un maggiore impegno di muscoli non direttamente supportati dall'azione degli EO, maggiore sovraccarico cognitivo ed alterazione dei meccanismi di controllo motorio attuati dal sistema nervoso centrale [Billardello et al. 2025] raccomandano una estrema prudenza.

Inoltre, il testo evidenzia che l'efficacia degli EO è stata dimostrata prevalentemente in laboratorio (ambiente isolato e controllato) con attività lavorative simulate e non direttamente nei luoghi di lavoro che presentano una maggiore complessità e variabilità delle attività.

Ancora, resta non risposto il quesito di come effettuare la stima del rischio da sovraccarico biomeccanico nelle attività di MMC e in quelle in cui è necessario il mantenimento di posture fisse e incongrue eseguite con l'ausilio degli EO. Un approfondimento viene inoltre fatto sull'impatto che gli EO possono avere sul metabolismo energetico, sulla risposta termofisiologica e sul comfort termico dei lavoratori che li indossano, soprattutto in

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

ambienti estremamente caldi e freddi. Infine, all'interno del documento si sottolineano alcune criticità associate, tra le altre, a possibili collisioni tra gli EO indossati dai lavoratori ed altre macchine presenti nell'ambiente circostante e alla eventuale necessità di evacuazione.

Conclusioni

Sebbene gli EO rappresentino un valido ausilio che può contribuire a ridurre l'insorgenza dei DMS, è necessario prestare particolare attenzione alla associazione EO-specifico compito lavorativo, monitorare la loro efficacia nel medio-lungo periodo direttamente nei luoghi di lavoro e condividere con i lavoratori un approfondito ed ampio percorso informativo e formativo.

Bibliografia

Amicucci, G.L.,Anastasi, S., Chini, G., Del Ferraro, S., Delle Site, C., Di Donato, L., Ferraro, A., Molinaro, V., Monica, L., Pera, F., Pirozzi, M., Ranavolo, A., Silvetti, A., Tranfo, G., Varrecchia, T., 2026. Esoscheletri Occupazionali: considerazioni su salute e sicurezza. *Inail*.

Billardello, R., Tamantini, C., Cordella, F., di Luzio, F. S., Varrecchia, T., Chini, G., Draicchio, F., Zollo, L2025. Estimating Workers' Physical Effort during Isometric Contractions through sEMG: The Role of Feature Selection. ACM Trans. *Hum Robot Interact*, 15, 1-21

Ranavolo, A., Ajoudani, A., Cherubini, A., Bianchi, M., Fritzsche, L., Iavicoli, S, Sartori, M., Silvetti, A., Vanderborght, B., Varrecchia, T., Draicchio, F., 2020. The Sensor-Based Biomechanical Risk Assessment at the Base of the Need for Revising of Standards for Human Ergonomics. *Sensors (Basel)*, 20, 5750.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Effetti dell'assistenza di un esoscheletro per gli arti superiori sulla scarica delle unità motorie durante il mantenimento di un carico esterno

Effects of Upper-Limb Exoskeleton Assistance on Motor Unit Discharge During External Load Holding

Keywords: occupational exoskeletons, neuromuscular control, high-density surface electromyography, neural drive.

Giacomo Valli[1], Martina Mosso[2], Maria Lucia Cavallo[1], Alessandro Piol[2], Emilia Scalona[3], Tiwana Varrecchia[4], Giorgia Chini[4], Alberto Ranavolo[4], Luca Falciati[1], Debora Brignani[1], Nicola Francesco Lopomo[5], Francesco Negro[1]

[1] *Dipartimento di Scienze Cliniche e Sperimentali, Università degli Studi di Brescia, Brescia, Italia*
[2] *Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università degli Studi di Brescia, Brescia, Italia*
[3] *Centro Protesi Inail, Vigorso di Budrio, Italia*
[4] *Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone, Rome, Italia*
[5] *Dipartimento di Design, Politecnico di Milano, Milano, Italia*

Corresponding author: Giacomo Valli, *giacomo.valli@unibs.it*

Introduzione

Gli esoscheletri occupazionali rappresentano una soluzione promettente per mitigare l'affaticamento fisico durante i compiti di movimentazione manuale dei carichi, riducendo le sollecitazioni a carico di articolazioni e muscoli. Nonostante la loro crescente adozione, gli esoscheletri vengono ancora progettati principalmente sulla base di principi meccanici e biomeccanici, mentre i loro effetti fisiologici su più ampia scala sono raramente presi in considerazione [Bengler et al. 2023]. Con questo studio, intendiamo indagare come le forze di supporto applicate esternamente influenzino il controllo neurale del movimento. L'elettromiografia di superficie ad alta densità (HDsEMG) fornisce uno strumento non invasivo per studiare il comportamento delle unità motorie (UM), consentendo la valutazione della loro frequenza e variabilità di scarica (DR), i quali sono marcatori diretti del drive neurale e delle strategie di controllo motorio.

Materiali e Metodi

Dodici uomini giovani sani e fisicamente attivi (età 18–40 anni) hanno eseguito compiti di mantenimento del carico in condizioni quasi-isometriche in due modalità: senza supporto dell'esoscheletro (No Exo) e con un esoscheletro ibrido per gli arti superiori (Exo; prototipo Wearable Robotics LBE 30, Wearable Robotics srl, Italia), in grado di fornire un'assistenza meccanica regolabile alla flessione della spalla e del braccio tramite un attuatore collegato al polso. I partecipanti hanno sostenuto carichi bilaterali di 4 kg e 8 kg all'altezza della vita per 30 s. Nella condizione Exo, l'assistenza è stata impostata al 75% per il carico di 4 kg e al 50% e 75% per il carico di 8 kg. I segnali HDsEMG sono stati registrati dai muscoli deltoide anteriore e bicipite brachiale durante la fase isometrica stabile di ogni contrazione. I pattern di scarica delle UM sono stati estratti utilizzando un algoritmo di blind source separation [Negro et al. 2016] e le stesse UM sono state seguite tra le condizioni No Exo ed Exo utilizzando i vettori peso della decomposizione. Dai tempi di scarica identificati, sono state calcolate la frequenza di scarica delle UM (DR) e la variabilità dell'intervallo inter-spike (CoVisi).

Risultati e Discussione

Durante il compito con 4 kg, la DR delle UM è risultata inferiore nella condizione Exo rispetto a No Exo per il deltoide anteriore ($p = 0.0261$), il quale ha mostrato anche valori di DR inferiori tra le diverse condizioni. Non sono state rilevate differenze per la CoVisi. Risultati simili sono stati osservati per il compito con 8 kg con supporto al 50%: la DR delle UM era inferiore nella condizione Exo per il deltoide anteriore ($p = 0.0433$) e non è stata rilevata alcuna differenza per la CoVisi. Per il compito con 8 kg con supporto al 75%, la DR delle UM è risultata inferiore nella condizione Exo sia per il bicipite brachiale

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

($p < 0.0001$) che per il deltoide anteriore ($p = 0.0001$). La CoVisi delle UM ha inoltre mostrato un aumento significativo nella condizione Exo per entrambi i muscoli, bicipite brachiale ($p < 0.01$) e deltoide anteriore ($p = 0.001$).

Conclusioni

L'impatto dell'assistenza dell'esoscheletro sulla DR delle UM e sulla sua variabilità dipende strettamente sia dal carico esterno che dal livello di supporto meccanico fornito, evidenziando un trade-off: un maggiore supporto riduce il carico neuromuscolare ma altera il controllo delle UM. Questi risultati sottolineano l'importanza di calibrare attentamente il supporto dell'esoscheletro in base alle richieste del compito, al fine di raggiungere un equilibrio ottimale tra la riduzione del carico e la preservazione delle strategie naturali di controllo motorio.

Bibliografia

Bengler K, Harbauer CM, Fleischer M., 2023. Exoskeletons: A challenge for development. *Wearable Technol,*5, 4:e1.

Negro, F., Muceli, S., Castronovo, A.M., Holobar, A., Farina, D., 2016. Multi-channel intramuscular and surface EMG decomposition by convolutive blind source separation. *J. Neura.l Eng.,* 13, 026027.

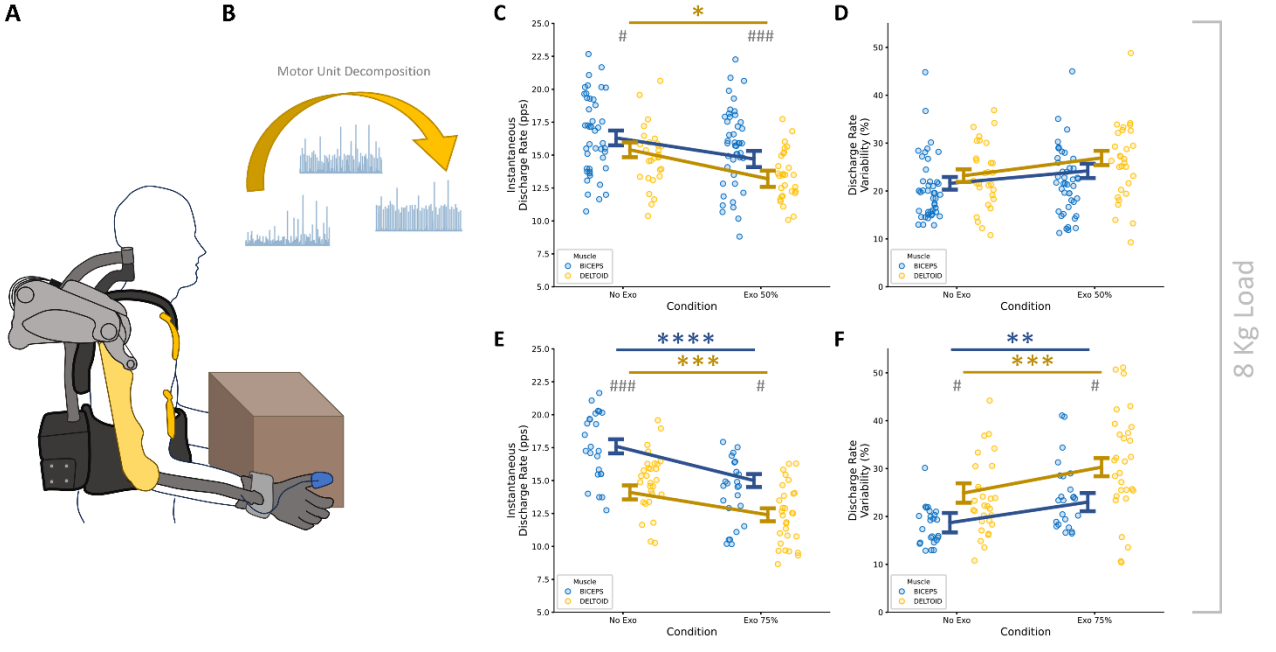


Figura 1. (A) Rappresentazione schematica dell'esoscheletro, del task quasi-isometrico e delle posizioni delle matrici HDsEMG. (B) I segnali sono stati decomposti utilizzando un algoritmo di blind source separation per estrarre i pattern di scarica delle singole unità motorie (UM). (C, E) Analisi della frequenza e (D, F) variabilità di scarica delle UM nelle modalità senza supporto dell'esoscheletro (No Exo) e con un esoscheletro ibrido per gli arti superiori con supporto al 50 (Exo 50%) o al 75% (Exo 75%). I diversi muscoli sono rappresentati da colori diversi (deltoide anteriore in giallo, bicipite brachiale in blu). Le singole UM sono rappresentate da punti. I dati riassuntivi sono presentati come media ± errore standard e la direzione delle variazioni è evidenziata da una linea di collegamento. Le differenze significative tra le condizioni sono state contrassegnate con asterischi, tra i muscoli con hashtag. I livelli di significatività sono: *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ****p<0,0001, #p<0,05, ###p<0,001.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Biomechanical evaluation of upper-body exoskeletons during lifting and overhead tasks: a preliminary study

Valutazione biomeccanica di esoscheletri upper-body durante attività di sollevamento e compiti overhead: uno studio preliminare

Keywords: Hybrid Exoskeleton, Biomechanics, Muscular Activation, Kinematics.

Alessandro Piol[1], Emilia Scalona[2], Martina Mosso[1], Fatehia Bushara Garma[1], Maria Lucia Cavallo[3], Giacomo Valli[3], Noemi Pintori[3], Tiwana Varrecchia[4], Giorgia Chini[4], Alberto Ranavolo[4], Luca Falciati[3], Debora Brignani[3], Francesco Negro[3], Nicola Francesco Lopomo[5]

[1] *Department of Information Engineering, Università degli Studi di Brescia, Italy*
[2] *INAIL Prosthetic Centre, Italy*
[3] *Department of Clinical and Experimental Sciences, Università degli Studi di Brescia, Italy*
[4] *Department of Occupational and Environmental Medicine, Epidemiology and Hygiene, INAIL, Italy*
[5] *Department of Design, Politecnico di Milano, Italy*

Corresponding author: Alessandro Piol, *alessandro.piol@unibs.it*

Introduction

In the field of occupational safety and health, effective strategies to reduce work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) are critical. Within Industry 4.0 and the emerging Industry 5.0, exoskeletons, whether active (powered actuators) or passive (mechanical springs), have gained increasing attention to mitigate biomechanical strain in occupational settings [Scalona et al., 2023; Gao et al., 2024], particularly in tasks involving repetitive manual load handling [Gao et al., 2024].

However, in specific scenarios such as asymmetric load handling, exoskeletons may unintentionally increase WMSD risk due to their limited ability to adapt to user needs and task requirements, potentially contributing to increased biomechanical load, heightened muscle activation, or elevated metabolic demand [Bär et al., 2021]. Understanding how different designs influence movement strategies and musculoskeletal adaptations remains a crucial area of investigation [Bär et al., 2021].

Considering these aspects, this study aimed to compare three exoskeleton models for industrial applications, passive and hybrid, highlighting their distinct characteristics and identifying critical areas for further research.

Materials and Methods

The study involved 10 healthy subjects (9 right-handed and 1 left-handed) performing 2 motor tasks:

1. a *Lifting Task* (*Lft*), consisting of lifting and relocating a box (5 kg: *Lft5*; 15 kg: *Lft15*) to a higher elevation with an in-place body rotation;
2. a *Force Maintenance Task* (*Mnt*), requiring the subject to sustain an overhead force (5 kg) from three foot positions: left (*MntL*), center (MntC), and right (MntR) with respect to the vertical projection of the force application point.

The acquisition protocol included 10 repetitions for the lifting task (5 per weight condition) and 15 repetitions for the maintenance task (5 per foot position).

The protocol was completed by each subject initially under free-body conditions and subsequently repeated with the assistance of upper-body exoskeletons. A total of three upper-body exoskeletons were analyzed: two passive models (MATExt, Comau, Italy (*Com*); Levitate, Levitate Tech, USA (*Lev*)) and one hybrid model (HAE, Wearable Robotics, Italy (*WR*)).

Exoskeleton impact was evaluated via kinematic, kinetic, dynamic, and energy expenditure analyses. Data were acquired via full-body inertial measurement units (XSens) protocol, surface EMG (Cometa Systems) on 16 upper-body muscles, a metabolic analyzer (K5, COSMED), and force platforms (BTS Bioengineering), and processed through a custom pipeline.

Results and Discussion

The most significant kinematic differences were observed with the WR exoskeleton during the lifting task. Table I

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

reports the Statistical Parametric Mapping (SPM) analysis of right shoulder, elbow, and wrist joint angles during Lft5, revealing significant differences across all three joints, particularly at the wrist, where the initial 67% of the cycle diverges from the NoExo condition.

Table I. SPM results of shoulder, elbow and wrist (right segments) angles during the phase 2 of the Lft5 task with WR

Joint	Significant clusters (% cycle)	Direction (SPM{t})	p_value
Shoulder	37Optima LT Std60	Negative	4.96e-05
Elbow	43 - 61.3, 88 - 98	Pos/Neg	2.71e-05 , 0.0053
Wrist	0 - 67	Negative	0

Figure 1 shows the muscle activation (iEMG) variations for MntC: all three exoskeletons produced substantial decreases in primary muscle activation, with the greatest benefits for the anterior deltoid (AD) and biceps brachii (BB). Compensatory activations were observed in the erector spinae (ES).

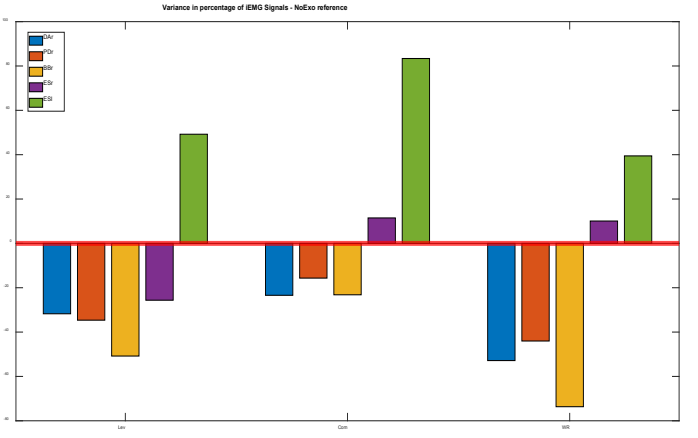


Figure 1. iEMG variance for the maintenance task, center position (MntC).

Conclusions

The present study highlighted the impact of exoskeleton use on muscle activation and kinematics during lifting and overhead maintenance tasks. Passive and hybrid devices provided significant reductions in upper-body muscle activation during overhead work, though compensatory activations in back muscles were observed. The operating principle and weight of the devices, particularly the WR model, also introduced motor constraints during dynamic tasks. Further studies should address the metabolic and cognitive impact of these devices, as well as their long-term effects.

Although data from force platforms and metabolic devices were also collected, a comprehensive analysis of kinetic and metabolic outcomes will be addressed in future work.

References

Bär, M., Steinhilber, B., Rieger, M. A., & Luger, T., 2021. The influence of using exoskeletons during occupational tasks on acute physical stress and strain compared to no exoskeleton - A systematic review and meta-analysis. Applied ergonomics, 94, 103385. *https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103385*.

Gao, G., C L So, B., Cheng, A. S. K., Man, S. S., & Ng, S. S. M., 2025. Effect of exoskeleton devices on work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) among healthcare workers: a scoping review. Ergonomics, 68(9), 1409–1421. *https://doi.org/10.1080/00140139.2024.2413150*.

Scalona, E., De Marco, D., Avanzini, P., Fabbri Destro, M., Andreoni, G., and Lopomo, N. F., 2023. Human Ergonomic Assessment Within "Industry 5.0" Workplace: Do Standard Observational Methods Correlate with Kinematic-Based Index in Reaching Tasks? In Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management: 14th International Conference, DHM 2023, Held as Part of the 25th HCI International Conference, HCII 2023, Copenhagen, Denmark, July 23–28, 2023, Proceedings, Part I. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 205–214. *https://doi.org/10.1007/978-3-031-35741-1_17*.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Valutazione ergonomica della postazione dell'autista-operatore di camion per la raccolta di rifiuti stradale tramite analisi elettromiografica

Ergonomic evaluation of the workstation of the driver-operator of a truck for street waste collection through electromyographic analysis of muscle stress

Keywords: ergonomia, postura, elettromiografia di superficie, camion raccolta rifiuti

Adriano Papale[1], Azzurra Nardi[2], Alessio Silvetti[1]

[1] *INAIL, DiMEILA - Laboratorio di Ergonomia e Fisiologia, Monte Porzio Catone*
[2] *ASL Frosinone - Servizio Sicurezza Prevenzione e Protezione*

Corresponding author: Adriano Papale, *a.papale@inail.it*

Introduzione

La raccolta differenziata dei rifiuti urbani può essere "porta a porta" (gli operatori svuotano manualmente i bidoni nei furgoni), oppure "stradale" (svuotamento meccanico dei cassonetti nei camion). Mentre i rischi biomeccanici nella raccolta porta a porta sono stati ampiamente investigati, i pochi studi che hanno analizzato l'attività sui camion nella raccolta stradale si sono prevalentemente focalizzati sui rischi legati alla guida e sulle patologie lombari e cervicali [Bovenzi, 2015; Joseph, 2020; Netto, 2022]. Limitate sono le conoscenze sul rischio biomeccanico, in particolare per spalle e collo, legato alla postura condizionata dalla posizione dello schermo che il lavoratore guarda per controllare lo svuotamento dei cassonetti nel camion e del joystick con cui il lavoratore manovra il carico e scarico meccanico del cassonetto.
Questo studio analizza, tramite elettromiografia di superficie, l'efficacia nel ridurre il rischio biomeccanico di un nuovo design della postazione di lavoro in un camion. Le modifiche hanno riguardato la seduta ed il diverso posizionamento dello schermo e del joystick.

Materiali e Metodi

Il compito prevedeva la simulazione dello svuotamento di un cassonetto effettuato con tre diversi camion utilizzati nel corso degli anni dalla ditta. Le acquisizioni elettromiografiche (sEMG) sono state fatte su di un operatore di 63 anni con 30 anni di esperienza (peso 80 Kg; altezza 173 cm). Per ogni tipologia di camion sono state fatte 5 acquisizioni in cui è stata calcolata l'attività elettromiografica media, espressa come percentuale della Massima Contrazione Volontaria (%MCV), dei seguenti muscoli: Trapezio superiore destro (TRdx) e sinistro (TRsx), estensore del collo destro (EXCdx) e sinistro (EXCsx), deltoide anteriore destro (DAdx), flessore dell'avambraccio (FLEXdx), estensore dell'avambraccio destro (EXAdx) e interosseo della mano destra (IOdx). La figura 1 mostra il lavoratore durante le acquisizioni nei tre abitacoli dei camion analizzati.

Figura 1

L'Atlante delle zone di innervazione [Barbero, 2012] è stato usato come riferimento degli esercizi di MCV e del posizionamento delle sonde per la sEMG. Per le registrazioni è stato usato un elettromiografo con una frequenza di campionamento di 1kHz (FreeEMG 300, BTS SpA). I segnali EMG sono stati rettificati, integrati, filtrati e normalizzati rispetto alla media dei picchi massimi di due acquisizioni della MCV.

Risultati

La tabella I riassume i risultati delle registrazioni sEMG fatte sui tre camion per ognuno dei muscoli investigati. Il CSL848 ha riportato un valore di %MCV dell'EXCdx

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

decisamente inferiore rispetto agli altri due mezzi. Valori superiori di %MCV del CSL848 rispetto al CSL771 sono stati riscontrati nel TRdx, TRsx e IOdx. I restanti muscoli sono risultati pressoché identici in tutti e tre i mezzi investigati.

MUSCOLO	CSL588 (2019)	CSL771 (2024)	CSL848 (2025)
TRdx	9.5 ± 6.2	8.7 ± 5.8	11.7 ± 9.1
TRsx	8.2 ± 4.2	7.7 ± 4.5	9.1 ± 0.1
EXCdx	28.0 ±6.3	29.2 ± 5.9	22.4 ± 1.5
EXCsx	24.6 ± 5.3	26.4 ± 6.7	25.1 ± 2.4
DAdx	1.8 ± 2.6	2.3 ± 2.1	1.7 ± 0.2
FLEXdx	7.7 ± 4.2	8.9 ± 4.0	8.7 ± 0.1
EXAdx	6.3 ± 3.4	5.7 ± 3.7	5.2 ± 0.3
IOdx	17.9 ± 8.4	8.3 ± 6.5	14.0 ± 1.5

Discussione e conclusioni

Ogni acquisizione è durata circa un minuto. In un turno di tre ore, la mansione viene svolta circa 80 volte, per cui i lavoratori passano quasi metà del tempo con il collo rivolto verso lo schermo per monitorare lo scarico del cassonetto.

Il confronto tra i tre camion mostra che il design più recente comporta una riduzione dell'impegno dei muscoli del collo, zona dove i lavoratori lamentavano più disturbi, in quanto l'avvicinamento del monitor e la maggiore risoluzione hanno ridotto la flessione e torsione del collo. Tuttavia, il nuovo posizionamento di bracciolo e joystick, più elevato rispetto ai mezzi usati in precedenza, ha fatto incrementare l'attività dei muscoli di spalla e mano.

Per ridurre questa criticità e favorire una postura corretta è possibile: 1) inclinare il joystick per facilitarne l'uso con meno sforzo; 2) rendere regolabile la postazione, in particolare sedile e schermo, fornendo, anche, ai lavoratori informazioni sulle regolazioni consentite dall'automezzo.

Bibliografia

Barbero, M., et al. 2012. Atlas of Muscle Innervation Zones, Springer, DOI: 10.1007/978-88-470-2463-2.

Bovenzi, M. 2015. A prospective cohort study of neck and shoulder pain in professional drivers. *Ergonomics*., 58(7):1103-16.

Joseph, L., et al. 2020. Prevalence of musculoskeletal pain among professional drivers: A systematic review. *J Occup Health*., 62(1): e12150.

Netto, K., et al. 2022. Posture and Muscle Activity during Waste Collection Work. *Ann Work Expo Health*., 7;66(1):119-123.

Ringraziamenti

Lo studio è stato promosso dalla fondazione Rubes Triva

Effetti biomeccanici dell'abbacchiatore elettrico: analisi mediante l'uso di miotonometria e termografia a infrarossi, studio pilota

Biomechanical effects of the electric olive harvester: measurements using myotonometry and infrared thermography, a pilot study

Keywords: olive harvester, ergonomics, myotonometry, infrared thermography, musculoskeletal disorders

Paola Senia[1], Federico Roggio[2], Francesca Vella[3], George Dounias[4], Elio Romano[5], Jelena Reste[6], Veronica Filetti[3], Giuseppe Musumeci[2], Rosa Chiantia[1], Angela Stufano[7], Lucia Rapisarda[3], Ermanno Vitale[3]

[1] *Medicina del Lavoro, Dipartimento di Medicina Clinica e Sperimentale, Università di Catania, Catania*
[2] *Scuola di Medicina, Sezione di Anatomia, Istologia e Scienze del Movimento, Dipartimento di Scienze Biomediche e Biotecnologiche, Università di Catania, Catania*
[3] *Dipartimento di Medicina e Chirurgia, Università di Enna «Kore», Enna*
[4] *Department of Occupational and Environmental Health, University of West Attica, Atene*
[5] *Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA), Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari, Treviglio*
[6] *Department of Occupational and Environmental Medicine, Riga Stradinš University, Riga*
[7] *Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche, Università di Foggia, Foggia*

Corresponding author: Ermanno Vitale, *ermanno.vitale@unikore.it*

Introduzione

La meccanizzazione della raccolta delle olive ha migliorato produttività e tempi di lavoro, ma ha introdotto nuovi profili di rischio ergonomico, legati soprattutto a vibrazioni mano-braccio, posture incongrue e lavoro protratto con gli arti superiori sollevati [Benos et al., 2020; Cerruto e Manetto, 2022]. In questo contesto, tecniche strumentali non invasive come miotonometria e termografia a infrarossi possono contribuire a rilevare precocemente alterazioni funzionali correlate al sovraccarico biomeccanico [Roggio et al., 2022].

Materiali e Metodi

Lo studio osservazionale è stato condotto su10 volontari maschi sani, destrimani, sottoposti a una simulazione standardizzata di raccolta con abbacchiatore elettrico per 15 minuti. Sono stati rilevati tono, stiffness ed elasticità di deltoide, bicipite e tricipite bilateralmente mediante MyotonPRO®, e la temperatura cutanea di regione cervicale, dorsale e lombare mediante termografia a infrarossi FLIR, in tre tempi: baseline (T0), entro 10 minuti dal termine della prova (T1) e dopo 2 ore di recupero (T2). L'attività è stata eseguita in condizioni ambientali controllate. L'analisi statistica è stata effettuata con test per dati appaiati e stima dell'effect size.

Risultati e Discussione

Dopo il compito, i muscoli dell'arto dominante hanno mostrato un aumento significativo di tono e stiffness, soprattutto a carico di bicipite e deltoide, con modificazioni meno omogenee sul lato controlaterale. In particolare, il bicipite destro ha evidenziato incremento di tono e stiffness, mentre il sinistro ha mostrato un pattern opposto, suggerendo una distribuzione asimmetrica del carico. Anche il tricipite ha presentato variazioni significative, confermando il coinvolgimento multi-muscolare del gesto tecnico. Sul piano termico, si è osservata una riduzione significativa della temperatura cutanea nelle regioni cervicale, dorsale e lombare immediatamente dopo la prova, con recupero solo parziale a 2 ore. Tali dati indicano una risposta acuta neuromuscolare e vasomotoria compatibile con sovraccarico funzionale, anche dopo esposizioni di breve durata, e rafforzano l'utilità di un monitoraggio ergonomico oggettivo nei contesti agricoli meccanizzati [Benos et al., 2020; Cerruto e Manetto, 2022; Roggio et al., 2022].

Conclusioni

L'uso dell'abbacchiatore elettrico determina effetti misurabili sul piano biomeccanico e termico già dopo una breve esposizione. L'integrazione tra miotonometria e termografia a infrarossi appare utile per individuare pre-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

cocemente segni di sovraccarico, supportando la valutazione del rischio ergonomico e la definizione di misure preventive in agricoltura.

Bibliografia

Benos L., Tsaopoulos D., Bochtis D., 2020. A review on ergonomics in agriculture. Part II: Mechanized operations. Appl. Sci., 10, 3484.

Cerruto E., Manetto G., 2022. Vibration from electric hand-held harvesters for olives. Appl. Sci., 12, 1768.

Roggio F., Vitale E., Filetti V., et al., 2022. Ergonomic evaluation of young agricultural operators using handle equipment through electromyography and vibrations analysis between the fingers. Saf. Health Work, 13, 440–447.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Valutazione del rischio biomeccanico nell'attività boschiva tramite analisi posturale e della frequenza cardiaca: un caso studio

Loggers' Biomechanical risk assessment through posture and Heart Rate analysis: a case study

Keywords: Frimat, wearables, ergonomics, awkward posture, musculoskeletal disorders

Alessio Silvetti[1], Massimo Campagna[2], Stefano Colaluca[2], Guglielmo De Majo[2], Adriano Papale[1]

[1] *INAIL, DiMEILA - Laboratorio di Ergonomia e Fisiologia, Monte Porzio Catone*
[2] *ASLRM6, S.Pre.S.A.L, Ariccia*

Corresponding author: Alessio Silvetti, *al.silvetti@inail.it*

Introduzione

La letteratura evidenzia che l'attività forestale presenta un elevato rischio da sovraccarico biomeccanico. [Masci, 2022]. Il contesto lavorativo e le modalità di esecuzione della mansione, ogni volta diversi, rendono difficile l'applicazione dei metodi di valutazione del rischio tipici dell'ergonomia. La frequenza cardiaca (FC) è stata spesso utilizzata per valutare lo sforzo fisico dei lavoratori [Meyer, 1996]. Il basso costo delle moderne tecnologie indossabili [Lee, 2024] permette di effettuare l'analisi della FC, e di molti altri parametri fisiologici e cinematici, nei contesti lavorativi in maniera semplice, affidabile ed economica.

Scopo del lavoro è la valutazione del rischio biomeccanico in una coppia di lavoratori in un reale contesto lavorativo tramite l'analisi cinematica della postura del tronco e della loro FC.

Materiali e Metodi

Le acquisizioni sono state fatte su due lavoratori per tre ore continuative. Un lavoratore effettuava il taglio degli alberi (taglialegna), l'altro ne direzionava la caduta durante il taglio (assistente). Entrambi indossavano un dispositivo che registra parametri fisiologici e la flesso-estensione del tronco (Zephyr Bioharness). La FC è stata analizzata tramite valore medio della registrazione (FC_M), i parametri di Frimat [1989] e calcolando la percentuale di tempo nelle zone di impegno ($\%FC_T$) proposte dall'ACGIH [1971]. La postura è stata valutata tramite valore medio della registrazione (P_M) ed il tempo percentuale di flesso-estensione del tronco ($\%P_T$) nei range posturali proposti dalla ISO 11226 e dal protocollo REBA. L'analisi della postura è stata investigata anche in maniera più approfondita suddividendo in due il range 20-60°.

Risultati

La FC_M del taglialegna era di 131 bpm (attività pesante per l'ACGIH), la FC_M dell'assistente era di 116 bpm (attività moderata per l'ACGIH). Il punteggio di Frimat era 30 (attività molto pesante) per entrambi. La Figura 1 mostra la $\%FC_T$ dei due lavoratori nelle zone proposte dall'ACGIH.

La FC del taglialegna era per il 99.4%FC_T nelle zone moderata (27.9%), pesante (69.0%) e molto pesante (2.5%); la FC dell'aiutante era per l'83,5%FC_T nelle zone moderata (53.8%), pesante (28.9%) e molto pesante (0.8%).

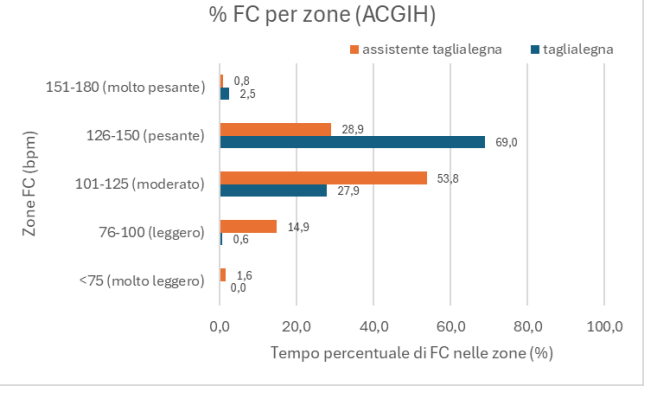


Figura 1. Tempo percentuale (%FCT) nelle zone di FC dell'ACGIH per entrambi i lavoratori. Dal livello moderato l'ACGIH raccomanda pause.

La Figura 2 mostra, per entrambi i lavoratorio la $\%P_T$ nelle categorie della ISO 11226 e del protocollo REBA (2a) e la $\%T_P$ in cinque categorie facendo un'analisi più approfondita del range 20-60° (2b).

La P_M del taglialegna era di 28.7°. La sua postura era per il 19.8%P_T non raccomandabile per la ISO 11226 e per

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

il protocollo REBA (11.6%P_T > 60° di flessione; 8.2%P_T in estensione). Il tronco era in flessione nel range 20-60° per il 48.6%P_T; l'analisi dettagliata mostra una flessione tra 20-40° per il 32.7%P_T e tra 40-60° per 15.9%P_T.
La P_M dell'assistente era di 15.1°. La sua postura era per il 6.7%P_T non raccomandabile per la ISO 11226 e per il protocollo REBA (4.1%P_T > 60° di flessione; 2.6%P_T in estensione). Il tronco era in flessione nel range 20-60° per il 22.4%P_T; l'analisi dettagliata mostra che la flessione avviene quasi interamente nel range 20-40° (21.1%P_T). La flessione del tronco dell'assistente era buona per la maggior parte del tempo (70.9%P_T tra 0-20°).

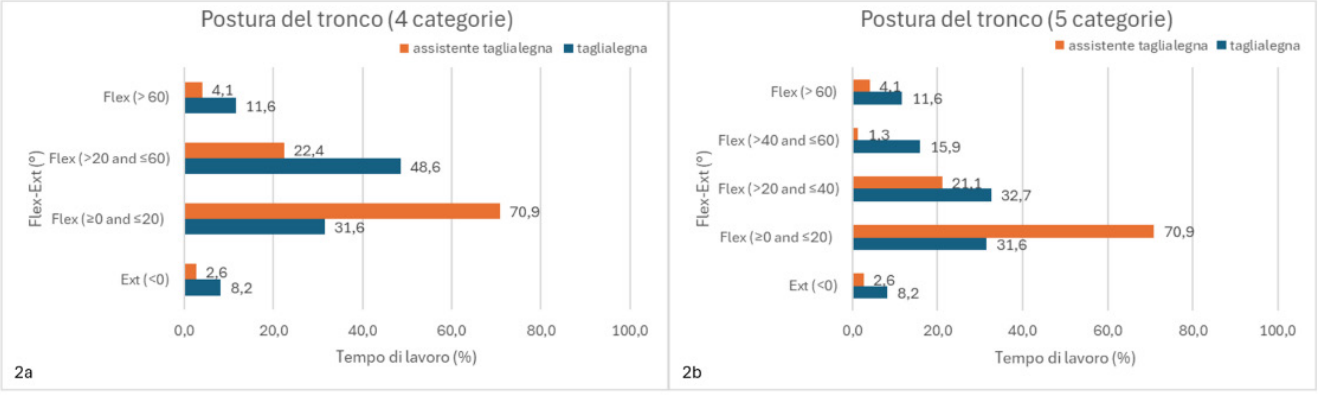


Figura 2. %T_P nei 4 range posturali della ISO 11226 e del protocollo REBA (2a). %T_P i n cui il range 20-60° è suddiviso in due (2b).

Discussione e Conclusione

L'analisi della FC ha riportato alti livelli di impegno in entrambi i lavoratori. L'analisi posturale ha evidenziato una postura incongrua del taglialegna per quasi tutta la durata della registrazione. I risultati concordano con quelli della letteratura [Masci, 2022]. La mansione è ad alto rischio nonostante le frequenti pause forzate, circa cinque minuti ogni mezz'ora, per la manutenzione dell'attrezzatura (rifornimento benzina e affilamento lame).
Il dispositivo indossabile usato quantifica il movimento del tronco solo sul piano sagittale; la presenza anche di torsioni e inclinazioni laterali, non misurate, contribuisce ad aumentare ulteriormente il rischio biomeccanico.
La FC si conferma un parametro fisiologico valido, affidabile e facile da integrare nei luoghi di lavoro per monitorare l'impegno dei lavoratori [Moon, 2024; Sammito, 2024] in particolare in attività non standardizzate che difficilmente possono essere valutate con i metodi osservazionali tradizionali dell'ergonomia. Inoltre, con le moderni tecnologie indossabili, è possibile investigare più parametri fisiologici insieme a quelli cinematici più rilevanti.
Le moderne tecnologie indossabili permettono di monitorare attività variabili in ambienti lavorativi reali su più lavoratori durante l'intero turno ed a costi sostenibili anche per le PMI.

Bibliografia

ACGIH. 1971. Ergonomics Guide to the assessment of metabolic and cardiac costs of physical work. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 32(8):560-4.

Frimat, P., et al. 1988. Utilisation d'une grille d'évaluation de l'astreinte cardiaque. *Rev. Med. Trav.*, 15(4):159-60.

Lee, G. et al. 2024. Wearable heart rate sensing and critical power-based whole-body fatigue monitoring in the field. *Appl. Ergon.*, 121:104358.

Masci, F. et al. 2022. Assessing the Impact of Work Activities on the Physiological Load in a Sample of Loggers in Sicily (Italy). *Int. J. Environ. Res. Public Health.,* 19(13):7695.

Meyer, J.P. 1996. La frequence cardiaque, un indice d'astreinte physique ancien servi par une methodologie moderne. Ergonomie TL 20. *Doc. Med. trav.*, 68; 315-22.

Sammito, S., et al. 2024. Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational health science. *J. Occup. Med. Toxicol.,* 13;19(1):15

Moon, J., et al. 2024. Wearable Sensors for Healthcare of Industrial Workers: A Scoping Review. *Electronics* 13, 3849.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Analisi biomeccanica della movimentazione manuale dei pazienti negli operatori sanitari mediante sensori IMU

Biomechanical analysis of manual patient handling in healthcare workers using IMU sensors

Keywords: Musculoskeletal Disorders (MSDs),Lumbar Compression Forces, Assistive Devices, Inverse Dynamics, Ergonomic Risk Assessment

Stefano Maso[1], Nicolò Martini[1], Pietro Zaffalon[1]

[1] *UOC Medicina del Lavoro - Azienda Ospedale Università Padova, Dipartimento di Scienze Cardio-Toraco-Vascolari e Sanità Pubblica; Università degli Studi di Padova*

Corresponding author: Pietro Zaffalon, *pietro.zaffalon@studenti.unipd.it*

Introduzione

La movimentazione manuale dei pazienti rappresenta una delle principali cause di sovraccarico biomeccanico e di disturbi muscoloscheletrici negli operatori sanitari, in particolare a carico del rachide lombare. I metodi tradizionali di valutazione del rischio, prevalentemente basati su osservazioni qualitative, non consentono di stimare con precisione le forze interne di compressione e di taglio che agiscono sulla colonna vertebrale e sulle principali articolazioni durante le manovre assistenziali. L'impiego di tecnologie innovative, quali sensori inerziali indossabili (IMU) integrati con modelli muscolo-scheletrici computerizzati, permette invece di ottenere una valutazione quantitativa e più realistica del carico biomeccanico associato alle diverse modalità operative.

Il presente studio ha avuto l'obiettivo di analizzare quantitativamente, mediante l'utilizzo di sensori IMU, il sovraccarico biomeccanico generato durante la movimentazione manuale di un paziente non collaborante, valutando l'influenza di differenti modalità esecutive, della postura adottata e dell'utilizzo di ausili a basso attrito. In particolare, sono state confrontate diverse tecniche di movimentazione, tra cui la modalità abituale ("libera"), la tecnica appresa ("corretta"), la postura in squat e le relative varianti con telo ad alto scorrimento, al fine di descrivere come tali fattori influenzino le forze agenti sull'operatore sanitario.

Materiali e Metodi

L'analisi è stata condotta mediante sensori inerziali Xsens applicati sui principali segmenti corporei dell'operatrice, consentendo la ricostruzione tridimensionale del movimento. I dati cinematici acquisiti sono stati elaborati attraverso il software di modellazione muscolo-scheletrica BoB Biomechanics, che, tramite dinamica inversa, ha permesso di stimare le forze di compressione e di taglio a livello lombare (L4–L5) e le sollecitazioni articolari su spalla e polso. La valutazione è stata integrata con la misurazione della forza di trazione mediante dinamometri, e con la percezione soggettiva dello sforzo rilevata tramite scala di Borg.

Risultati e Discussione

I risultati hanno evidenziato differenze significative tra le diverse modalità operative. In particolare, l'utilizzo del telo ad alto scorrimento ha determinato una riduzione consistente delle sollecitazioni biomeccaniche, fino a circa il 40%, a livello lombare e degli arti superiori. Inoltre, si è osservata contestualmente una più omogenea distribuzione del carico tra le mani, in quanto senza ausili lo sforzo risultava nel sovraccarico della mano dominante. Da notare come alcune posture, ritenute ergonomicamente protettive, come lo squat eseguito con o senza ausili, hanno mostrato valori di compressione lombare discordanti verosimilmente dovuti alle modalità di esecuzione. È stata inoltre osservata una discrepanza tra carico biomeccanico reale e percezione soggettiva dello sforzo: alcune modalità percepite come più sicure o meno faticose non corrispondevano necessariamente a una riduzione effettiva delle forze agenti sul rachide.

Conclusioni

Nel complesso, i risultati suggeriscono che il sovraccarico biomeccanico nella movimentazione manuale dei pazienti dipende dall'interazione di più fattori, tra

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

cui postura, attrito e modalità esecutive, soprattutto per quanto riguarda eventuali instabilità posturali e variabilità intra-serie dell'operatore. È emersa una riduzione significativa delle forze di compressione a livello del rachide lombare, della spalla e del polso destro, nonché una migliore distribuzione del carico sulle mani, se la movimentazione viene eseguita nella modalità corretta con ausili. L'impiego di sensori IMU integrati con modelli muscolo-scheletrici rappresenta quindi uno strumento promettente per una valutazione più accurata del rischio ergonomico e per lo sviluppo di strategie preventive e formative mirate alla tutela della salute degli operatori sanitari.

Bibliografia

Coenen, P. *et al*. Cumulative Low Back Load at Work as a Risk Factor of Low Back Pain: A Prospective Cohort Study. *J Occup Rehabil* 23, 11–18 (2013).

Eurofound. *Sixth European Working Conditions Survey – Overview Report*. *Publications Office of the European Union, Luxembourg https://www.eurofound.europa.eu/en/surveys-and-data/surveys/european-working-conditions-survey/ewcts-2021* (2021).

Hartvigsen, J. *et al*. What low back pain is and why we need to pay attention. *The Lancet* 391, 2356–2367 (2018).

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Reti europee di ricerca OSH in ergonomia e rischio biomeccanico: uno studio di social network analysis

European OSH research networks on ergonomics and biomechanical risk: a social network analysis study

Keywords: OSH; Rischio biomeccanico; Innovazione tecnologica; EU Framework Programme; Social Network Analysis

Simone Russo[1], Grazia Fortuna[1], Paola Tassone[1], Marco Mirabile[1], Diana Gagliardi[1]

[1] *Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone (Roma)*

Corresponding author: Paola Tassone, *p.tassone@inail.it*

Introduzione

Dati recenti mostrano che i disturbi muscolo-scheletrici (MSD) costituiscono la principale categoria di patologie lavoro-correlate: nel 2020 il 6% dei lavoratori UE ha riportato problemi osteoarticolari legati al lavoro [Eurostat 2021]; nel 2024 il 64% delle imprese UE segnala posture sedentarie e il 63% movimenti ripetitivi come principali fattori di rischio [EU-OSHA, 2025].

Dal 1980 l'Unione Europea investe in programmi di ricerca e politiche dedicate alla prevenzione dei rischi per la salute e sicurezza sul lavoro (OSH), promuovendo collaborazioni scientifiche attraverso i Framework Programme (FP/H) per la Ricerca e l'Innovazione. I MSD rappresentano un'area tematica di ricerca oggetto di progetti collaborativi cofinanziati dalla Commissione Europe attraverso i FP di Ricerca finalizzati allo sviluppo di strumenti innovativi e buone pratiche per la valutazione e la gestione dei rischi OSH. Nell'ambito del più ampio studio mirato a contribuire alla costruzione di un osservatorio permanente sulle reti di ricerca europee OSH [Mirabile et al. 2025; Fortuna et al. 2025], questo studio analizza nel dettaglio - attraverso la Social Network Analysis (SNA) - l'evoluzione delle collaborazioni e dei partenariati che si sono occupati dei MSD.

Materiali e Metodi

L'analisi è stata condotta su 200 progetti OSH del 5°, 6° e 7° FP e H2020 (1998–2020), identificati attraverso CORDIS.

I progetti di ricerca selezionati hanno riguardato l'area tematica del rischio biomeccanico/ posturale (BP) a confronto con le restanti aree tematiche (Ageing; Agenti biologici; Agenti chimici, cancerogeni, mutageni; Agenti fisici; Esposizione a Nanomateriali; General OSH; Infortuni sul lavoro; Rischio psicosociale e salute mentale).

La SNA rappresenta una rete sociale come un grafo costituito da vertici (nodi)e da archi (linee), che rappresentano le relazioni tra di essi [Johnson et al. 2010]. Le caratteristiche strutturali della rete sono state calcolate tramite metriche quantitative a livello di nodo (centrality) e di rete (centralization), tra cui il degree, la betweenness, la closeness, l'eigenvector, i coefficienti (clustering locale, clustering globale) e la densità del grafo [Bralić et al. 2017].

Risultati e Discussione

Nei quattro FP/H considerati, il rischio BP ha interessato il 10% dei progetti complessivi. Questo dato e l'andamento nel tempo (Tabella 1) indicano che, nonostante alcune oscillazioni, il rischio BP rappresenta un'area tematica consolidata, con una presenza costante e una crescita rilevante soprattutto nell'ultima fase dello studio (H2020).

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Tabella 1. Evoluzione dell'area tematica OSH "rischio biomeccanico/posturale" nell'UE – FP/H (valori assoluti).

Framework Programme	Progetti	Output		Tipologia di innovazione tecnologica
	Area tematica: rischio biomeccanico/posturale	*Buone pratiche*	*Innovazione tecnologica*	
FP 5	7	6	1	Software per informazioni tecnologiche
FP 6	1	1	0	--
FP 7	4	1	3	VR, Robotica, Piattaforma/portale, Dispositivi di protezione individuale innovativi, Esoscheletri (sensoristica indossabile)
H2020	8	0	8	Dispositivi di protezione individuale innovativi, sensoristica ambientale IoT, Machine learning, micro-moments, temporal reasoning, recommender systems, data analytics, gamification, Internet of things, AI, Robotica Esoscheletri (sensoristica indossabile)
Totale	20	8	12	

Tabella 2. Indicatori di struttura gerarchica delle reti per tipologia di rischio; Framework Programme 5, 6, 7 e Horizon 2020.Dalla Tabella 2 si evidenzia che il network delle collaborazioni sul rischio BP è più denso (0,08 vs 0,02) rispetto agli rischi, indicando una maggiore coesione tra gli attori coinvolti; tuttavia, presenta anche un coefficiente di clustering più alto (0,79 vs 0,44), segno che le collaborazioni tendono a formare piccoli gruppi chiusi e poco connessi tra loro. Inoltre, la betweenness centralization più elevata (0,20 vs 0,11) indica che il network BP è più dipendente da pochi nodi "ponte" per mantenere la connessione complessiva.

Tabella 2. Indicatori di struttura gerarchica delle reti per tipologia di rischio; Framework Programme 5, 6, 7 e Horizon 2020.

Indicatori di struttura	Rischio biomeccanico/ rischio posturale	Altri Rischi
Degree centralization	0.20	0.21
Betweenness centralization	0.20	0.11
Closeness centralization	1.06	1.21
Eigen centralization	0.89	0.92
Graph Density	0.08	0.02
Global clustering coefficient	0.79	0.44

La Figura 1. Dimensione del Paese e valori somma della betweenness centrality per tipologia di rischio; Framework Programme 5, 6, 7 e Horizon 2020. mostra che Paesi con dimensioni demografiche simili spesso riportano valori totali di betweenness marcatamente diversi. Finlandia e Paesi Bassi hanno mostrato in entrambi i casi una betweenness più alta rispetto a paesi con popolazione simile o molto più grande come Svizzera e Austria o Spagna e Francia. I maggiori Paesi europei riportano valori non particolarmente elevati rispetto agli altri, soprattutto per il rischio BP.

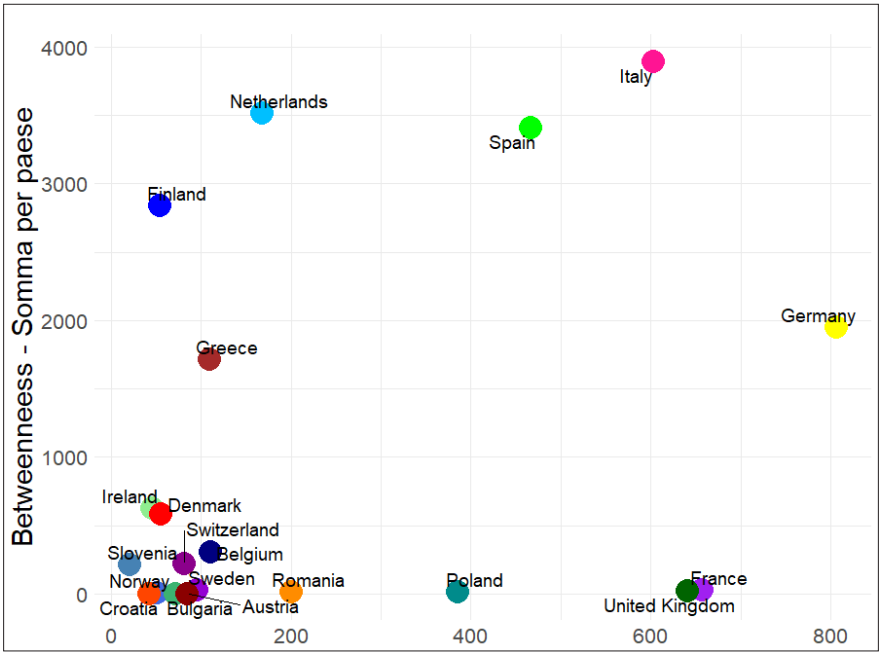
L'Italia mostra il valore somma più elevato per il rischio biomeccanico/posturale, anche se nell'ordine di grandezza di Paesi con popolazioni leggermente o significativamente più piccole come Spagna e Paesi Bassi.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

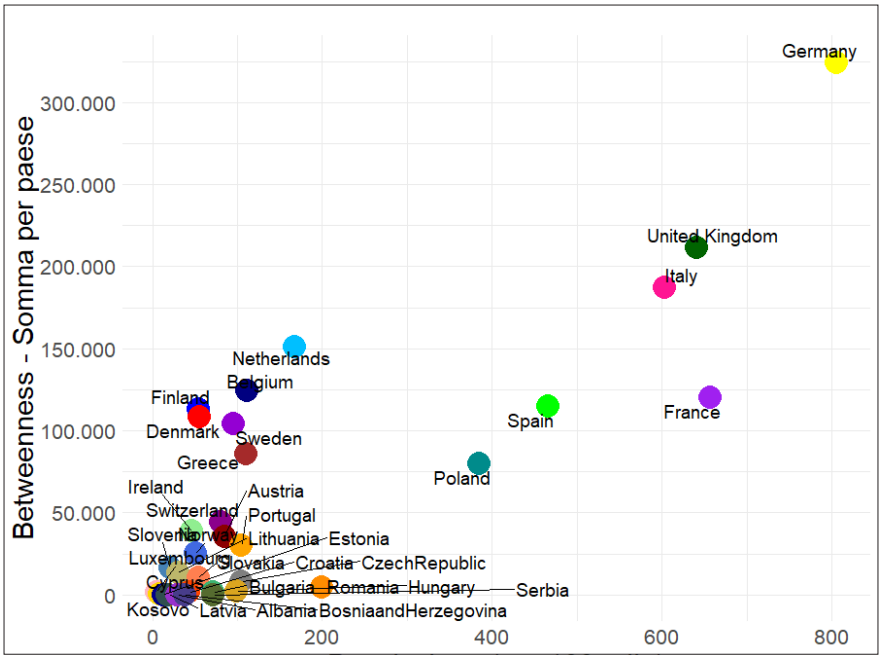
e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Figura 1. Dimensione del Paese e valori somma della betweenness centrality per tipologia di rischio; Framework Programme 5, 6, 7 e Horizon 2020.

Rischio biomeccanico/rischio posturale. Popolazione (per 100 mila)



Altri rischi. Popolazione (per 100 mila)



Conclusioni

L'analisi delle reti di ricerca mostra differenze significative tra le reti europee di cooperazione per le due tipologie di rischio considerate. L'Italia mostra un ruolo particolarmente significativo e centrale nella rete del rischio BP, segnalando una importante capacità di attrazione di fondi e partecipazione a partenariati internazionali.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Bibliografia

Bralić A. Social Network Analysis of Country Participation in Horizon 2020 Programme. In: Proceedings of the 28th CECIIS; 2017 Sep 27-29; Varaždin, Croatia

European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). Prolonged sitting, psychosocial risks and digitalisation top workplace safety and health concerns, new EU survey reveals (ESENER 2024—press release) [Internet]. Bilbao: EU-OSHA; 2025 Feb 7 [cited 2026 Mar]. Available from: https://osha.europa.eu/en/about-eu-osha/press-room/prolonged-sitting-psychosocial-risks-and-digitalisation-top-workplace-safety-and-health-concerns-new-eu-survey-reveals

Eurostat. Self-reported work-related health problems and risk factors—key statistics [Internet]. Luxembourg: Eurostat; 2021 [cited 2026 Mar]. Available from: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?oldid=543879

Fortuna G, Tassone P, Russo S, Gagliardi D, Mirabile M. Evoluzione del rapporto fra Intelligenza Artificiale e Salute e sicurezza sul lavoro nei programmi di ricerca europei. In: Journal of Preventive Medicine and Hygiene 2025. Pacini Editore Medicina. E385-386

Johnson J, Honnold J, Stevens F. Using Socia! Network Analysis to Enhance Nonprofit Organizational Research Capacity: A Case Study. J Community Pract 2010. 18:493-512.

Mirabile M, Fortuna G, Gagliardi D, Tassone P, Boccuni V, Russo S. Evoluzione del rapporto tra la ricerca per la SSL e l'innovazione tecnologica. In: Atti 87° Congresso Nazionale Società Italiana di Medicina del Lavoro. Bologna, 1-3 ottobre 2025. Giornale Italiano di medicina del lavoro ed ergonomia. Vol XLVII – Numero Unico p.235-236

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

aidii
LA CULTURA DELLA PREVENZIONE
42° Congresso nazionale
di igiene industriale e ambientale

ijoehy
Italian Journal of Occupational
and Environmental Hygiene

Sessione 8

Igiene occupazionale in servizi e strutture sanitarie e socio-sanitarie

Esposizione a vapori di formaldeide nelle strutture ospedaliere

Occupational exposure to formaldehyde vapours in healthcare settings

Keywords: Formaldehyde exposure, Healthcare workers, Risk perception

Andrea Martinelli[1], Fabiola Salamon[1,2], Francesco Zuin[1], Simone Mameli[1], Mariella Carrieri[1,2]

[1] *Dipartimento di Scienze Cardio-Toraco-Vascolari e Sanità Pubblica, Università di Padova, Padova*
[2] *UOC Medicina del Lavoro, Azienda Ospedale-Università Padova, Padova*

Corresponding author: Andrea Martinelli, *andrea.martinelli@unipd.it*

Introduzione

La formaldeide è un composto chimico che si presenta a temperatura e pressione atmosferica in forma di gas infiammabile e incolore con un caratteristico odore sgradevole e irritante. In ambito ospedaliero trova ampia diffusione, in soluzione acquosa al 4 o 10%, grazie alle sue proprietà che la rendono il composto più diffuso per la conservazione dei tessuti e biopsie derivanti da interventi chirurgici, da ambulatori endoscopici e per la fissazione dei tessuti in anatomia patologica [Perbellini e Schinella, 2015]. Dal punto di vista tossicologico è classificata dalla IARC come cancerogeno del Gruppo 1 e inclusa nell'allegato XLIII del D.Lgs. 81/08 [IARC, 2006]. Lo studio si pone l'obiettivo di valutare i livelli di formaldeide aerodispersa presso un'azienda ospedaliera universitaria, confrontando diverse realtà operative per identificare le aree a maggior rischio.

Materiali e Metodi

La valutazione dell'esposizione a formaldeide è stata condotta su operatori impiegati in diverse attività con potenziale esposizione all'inquinante presso sale operatorie, ambulatori di endoscopia e laboratori di anatomia patologica. I campionamenti sono stati effettuati mediante campionatori diffusivi Radiello, costituiti da una cartuccia adsorbente contenente silice legata alla 2,4-dinitrofenilidrazina, un corpo diffusivo in polietilene microporoso e una piastra di supporto in policarbonato. La durata dei prelievi è variata da 2 a 6,5 ore, in funzione della reale durata delle attività monitorate. Sono stati inoltre eseguiti campionamenti di breve durata per il monitoraggio di operazioni considerate potenzialmente più espositive, utilizzando fiale Sep-Pak (Waters) contenenti silice legata alla 2,4-dinitrofenilidrazina e una pompa aspirante operante a un flusso di 1,0 L/min.

Le analisi per la determinazione quantitativa della formaldeide sono state condotte mediante HPLC-UV a 360 nm. Per l'interpretazione dei risultati si è fatto riferimento ai valori limite di esposizione professionale adottati a livello nazionale.

Risultati e Discussione

L'esposizione professionale e quella di breve durata, comprese rispettivamente nei range 0,002–0,371 mg/m^3 e <0,002–0,423 mg/m^3, sono risultate, come atteso e come riportato in letteratura, altamente variabili in relazione alla tipologia di attività svolta [Del Vecchio et al., 2026]. Nelle sale operatorie l'esposizione è risultata ampiamente contenuta con livelli compresi tra 0,002 e 0,044 mg/m^3; le esposizioni di breve durata hanno raggiunto al massimo un livello di 0,124 mg/m^3, pari al 17% del relativo valore limite italiano di 0,74 mg/m^3.

Risultati analoghi sono stati riscontrati negli ambulatori di endoscopia dove i livelli di esposizione sono decisamente contenuti e simili a quelli presenti negli ambienti di vita indoor (esposizione giornaliera compresa nel range 0,006-0,021 mg/m^3 e di breve durata nel range 0,012-0,055 mg/m^3). Esposizioni significativamente più elevate (test di Mann-Whitney, $p < 0,01$) sono state riscontrate nei laboratori di anatomia patologica, sia per l'esposizione giornaliera (media: 0,088 mg/m^3) sia per quella di breve durata (media: 0,136 mg/m^3). Il valore massimo di esposizione di breve durata (15 minuti) è stato pari a 0,423 mg/m^3 (circa il 57% del limite italiano).

Alcuni livelli più elevati sono stati osservati tra gli operatori che svolgono attività al di fuori delle cappe chimiche (ad esempio addetti all'accettazione e allo smaltimento dei campioni), con valori, in alcuni casi, prossimi o leggermente superiori al limite nazionale.

Questo dato suggerisce che il rischio di esposizione non è necessariamente legato alla manipolazione diretta della sostanza, bensì all'assenza o al mancato uti-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

lizzo dei sistemi di prevenzione e protezione installati. Gli operatori che lavorano a diretto contatto con la formaldeide tendono ad adottare correttamente le misure di sicurezza – quali cappe aspiranti e sistemi di ventilazione localizzata – riducendo in modo significativo la propria esposizione. Al contrario, il personale impiegato in attività accessorie o che non percepisce un rischio diretto può operare in ambienti privi di adeguati sistemi di contenimento o non utilizzarli in maniera appropriata, risultando pertanto maggiormente esposto.

Conclusioni

Lo studio ha evidenziato che l'esposizione a formaldeide del personale sanitario è generalmente contenuta nella maggior parte delle strutture monitorate, indicando un buon livello di controllo del rischio. Persistono tuttavia alcune criticità nei laboratori di anatomia patologica, legate talvolta a specifiche attività svolte senza l'ausilio dei sistemi di prevenzione collettiva disponibili. Risulta pertanto importante estendere la valutazione a tutti gli ambienti potenzialmente contaminati, non limitandole alle sole aree di utilizzo diretto della formaldeide, e promuovere una cultura della sicurezza diffusa e consapevole tra tutti gli operatori.

Bibliografia

Del Vecchio R.L., Bracciano P., Borghi F., Carminati A., Zellino C., Pagani E., Fanti G., Cattaneo A., De Vito G., Spinazzè A., Cavallo, D. M., 2026. Exposure to carcinogenic, mutagenic, and reprotoxic chemical agents in research laboratories and the healthcare sector: A systematic review. *Hygiene*, 6, 13.

IARC, 2006; International Agency for Research on Cancer. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans 88, 39-225.

Perbellini L., Schinella S., Trattato di Medicina del Lavoro a cura di Alessio L., Franco G., Tomei F., Padova, Piccin, 2015

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

La sostituzione della formaldeide nei laboratori di anatomia patologica come misura di prevenzione primaria per la salute degli operatori

The replacement of formaldehyde in pathology laboratories as a primary prevention measure for workers' health

Keywords: cancerogeni, salute occupazionale, prevenzione, fissazione tessuti, analisi molecolari

Giovanna Tranfo[1,2]

[1]*Associazione Italiana degli Igienisti Industriali, AIDII-ETS, Milano*
[2] *Comitato Scientifico Tossicologia Occupazionale ICOH (ICOH-SCOT), Chair*

Corresponding author: Giovanna Tranfo, *giovanna.tranfo@gmail.com*

Introduzione

La formaldeide è usata negli ambienti sanitari in soluzione acquosa (formalina) come fissativo e conservante per tessuti biologici. Mantiene intatti materiali prelevati in sale operatorie, ambulatori endoscopici o urologici/ginecologici, preservando morfologia cellulare e architettura tissutale per analisi istologiche.

La formaldeide rientra nel gruppo 1 IARC per evidenza di cancerogenicità per l'uomo. Vi sono sufficienti evidenze epidemiologiche per supportare il nesso di causalità tra formaldeide e tumore nasofaringeo umano, una forte ma non sufficiente evidenza di associazione con leucemia, e una limitata evidenza di associazione con tumore naso-sinusale.

La classificazione armonizzata riporta le frasi di rischio: H350, cancerogeno di cat. 1B; H341, mutageno di cat. 2; H331, tossicità acuta cat. 3 per inalazione; H311, tossicità acuta cat. 3 per contatto cutaneo; H301, tossicità acuta cat. 3 per ingestione; H314, corrosivo cutaneo di cat.1B; H317, sensibilizzante cutaneo di cat. 1.

I valori limite di esposizione professionale sono: 0,37 mg/m^3 (TWA) e 0,74 mg/m^3 (STEL), con notazione "sensibilizzazione cutanea".

Il D.Lgs. 81/08 all'Art. 235: *Sostituzione e riduzione*, indica come il datore di lavoro debba evitare o ridurre l'utilizzazione di un agente cancerogeno, mutageno o di una sostanza tossica per la riproduzione sul luogo di lavoro, sostituendolo, se tecnicamente possibile, con una sostanza o una miscela o un procedimento che, nelle condizioni in cui viene utilizzato, non risulta nocivo o risulta meno nocivo per la salute e la sicurezza dei lavoratori. Eliminazione o sostituzione sono le misure di prevenzione primaria da privilegiare nell'ambito del processo di prevenzione dei rischi, come sottolineato nel fact sheet INAIL 2026 "Esposizione a formaldeide nei laboratori di anatomia patologica: il ruolo della prevenzione primaria".

Gli studi per la sostituzione

Rispetto all'utilizzo della formalina, molti studi si sono concentrati sulla formulazione di fissativi tissutali non tossici che non contengano formaldeide, quali sostanze naturali [Thangamani et al., 2025], fissativi a base alcolica [Rahman et al., 2022], altri composti e perfino gli ultrasuoni [Nietner et al., 2012]. Tuttavia, nessuno dei sostituti studiati è considerato "perfetto" in tutti gli aspetti: morfologia, immunoistochimica, FISH, PCR, sequenziamento di nuova generazione (NGS); quindi, è necessaria una validazione per ogni laboratorio, in funzione delle specifiche esigenze.

La letteratura recente è ancora scarsa per la conservazione a lungo termine, mentre è più robusta per applicazioni a breve-medio termine (mesi–1–2 anni).

Il gliossale (nome IUPAC etandiale) è una dialdeide con formula $C_2H_2O_2$, ed è stato testato come fissativo istologico con risultati di instabilità e tossicità residua. Rimuovendo gli acidi dal gliossale con una resina a scambio ionico, si ottiene il GAF (Glyoxal acid free). Basato anch'esso su un meccanismo di fissazione aldeidica, garantisce risultati equivalenti o superiori rispetto alla formalina, preservando l'integrità del DNA nei campioni e migliorando l'affidabilità delle analisi molecolari avanzate [Ryska et al., 2024], con il vantaggio di essere classificata ai sensi del Regolamento CLP come sostanza non pericolosa nel normale utilizzo; è stato sperimentato an-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

che a lungo termine (studi non ancora pubblicati), dimostrando un'efficace conservazione dei tessuti incorporati in paraffina, garantendo il rispetto dei limiti di ritenzione legali.

Conclusioni

La sostituzione costituisce la misura di prevenzione primaria ideale per la tutela della salute dei lavoratori dall'esposizione a sostanze pericolose, ed è un dovere del datore di lavoro riportare nel DVR le indagini svolte per la possibile sostituzione degli agenti cancerogeni e le sostanze e i preparati eventualmente utilizzati come sostituti. Relativamente alla sostituzione della formaldeide in anatomia patologica il Glyoxal acid free rappresenta una soluzione che, rispetto ad altre ancora in fase di studio, ha già raggiunto un ampio livello di validazione clinica.

Bibliografia

Nietner, T., Jarutat, T., Mertens, A., 2012. Systematic comparison of tissue fixation with alternative fixatives to conventional tissue fixation with buffered formalin in a xenograft-based model. Virchows Arch., 461(3),259-69. doi: 10.1007/s00428-012-1248-5.

Rahman, M.A., Sultana, N., Ayman, U., Bhakta, S., Afrose, M., Afrin, M., Haque Z., 2022. Alcoholic fixation over formalin fixation: A new, safer option for morphologic and molecular analysis of tissues. Saudi J Biol Sci., 29(1), 175-182.

Ryska, A., Sapino, A., Landolfi, S. et al., 2024. Glyoxal acid-free (GAF) histological fixative is a suitable alternative to formalin: results from an open-label comparative non-inferiority study. Virchows Arch, 485, 213–222. https://doi.org/10.1007/s00428-023-03692-6.

Thangamani, S.S., Ravindran, S., Thiagarajan, M.K., Mayilvakanam, S.K., Ravi, A., Annamalai, S., 2025. Rethinking tissue preservation: A review of non-toxic and environmentally sustainable fixatives. Annals of Diagnostic Pathology, 78. https://doi.org/10.1016/j.anndiagpath.2025.152500.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Esposizione occupazionale a chemioterapici antiblastici: un nuovo approccio per valutare i livelli di rischio nel personale ospedaliero

Occupational exposure to antineoplastic chemotherapy drugs: a new approach to assessing risk levels among hospital personnel

Keywords: Wipe test, Occupational exposure, Surface contamination, Healthcare workers, Risk assessment, Hygienic Guidance Exposure Limits (HGVs)

Cristina Sottani[1], Francesco Saverio Robustelli della Cuna[1], Samuele Fuso[1], Gloria Conte[1], Elena Grignani[1]

[1] *Centro Ricerche Ambientali, Istituti Clinici Scientifici Maugeri IRCCS, Pavia, Italy*

Corresponding author: Cristina Sottani, *cristina.sottani@icsmaugeri.it*

Introduzione

I farmaci antineoplastici (AD) sono medicinali pericolosi indicati nel quadro strategico dell'UE in materia di salute e sicurezza sul lavoro 2021-2027.

Il rischio professionale a farmaci antineoplastici viene discusso in letteratura, confrontando la contaminazione ambientale con i valori guida proposti (HGVs), poiché non sono ancora stati formalmente stabiliti valori ammissibili o accettabili. Pertanto, viene valutata l'esposizione indiretta, legata alla contaminazione ambientale delle superfici. Una crescente attenzione riguarda anche il parametro che stima un possibile *daily dermal intake* (DDI) per ottenere una valutazione integrata del rischio [Portilha-Cunha et al., 2025; Gerding et al., 2022; Sottani et al., 2022]. Ciò richiede un ulteriore sviluppo di protocolli per la misurazione delle esposizioni chimiche sul posto di lavoro.

L'obiettivo del presente studio è rappresentato da: i) valutazione dei livelli di contaminazione superficiale in diverse unità farmaceutiche ospedaliere; ii) identificazione di hotspot di contaminazione; iii) confronto dei i risultati ottenuti con valori guida (HGV) in relazione ai dati di letteratura; IV) stima delle criticità operative al fine di suggerire azioni correttive.

Metodi

Sono stati analizzati 383 campioni superficiali raccolti in cinque ospedali (HA–HE) nel decennio 2016–2026 per un totale di 1148 determinazioni. Le analisi sono state condotte mediante UHPLC-MS/MS. Per ciascun ospedale sono stati calcolati numero totale di campioni, numero di campioni positivi (>LOD), percentuale di positività e concentrazione massima (ng/cm^2). Sono riportati i valori soglia HGV e il DDI è stato stimato secondo un modello worst-case assumendo una superficie cutanea di 400 cm^2 e fattore di assorbimento pari a 1.

Risultati

La percentuale di positività variava dal 24,0% (ospedale HC) all'82,4% (ospedale HE). Le concentrazioni massime erano comprese tra 2,70 ng/cm^2 (ospedale HB) e 9,27 ng/cm^2 (ospedale HA). HGV ha evidenziato un trend in diminuzione in quanto è passato dal valore di 0.35 ng/cm^2 a 0.23 ng/cm^2.

Discussione

I risultati ottenuti evidenziano una contaminazione ambientale diffusa in tutti i centri, con marcata variabilità tra ospedali sia in termini di frequenza di positività sia di intensità delle concentrazioni. Questo andamento è coerente con quanto riportato in letteratura, dove la contaminazione superficiale da farmaci antiblastici è altamente eterogenea e dipendente dal contesto operativo, dalle procedure adottate e dalle misure di prevenzione implementate. Nel lavoro di Portilha-Cunha et al, le percentuali di campioni positivi risultano particolarmente elevate nei contesti di farmacia (84–98%) evidenziando come le attività di manipolazione rappresentino una fase critica del processo. Analogamente, nel presente studio si osservano valori elevati di positività (fino all'82,4%), confermando la presenza di esposizione indiretta anche in contesti diversi e su più anni di monitoraggio. Si presume pertanto pattern di esposizione intermittente associato a specifiche attività o superfici critiche. Questo studio integrato tra monitoraggio ambientale e identificazione degli indici di esposizione consente una valutazione più completa del rischio e supporta l'implementazione di interventi mirati sulle superfici critiche, nonché il miglioramento delle procedure operative e di pulizia.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Conclusioni

L'esposizione indiretta a farmaci antiblastici è presente in tutte le strutture analizzate. Sebbene i livelli stimati di rischio siano inferiori alle soglie di riferimento, la presenza di contaminazione diffusa e di valori elevati suggerisce la necessità di mantenere elevate misure di prevenzione e monitoraggio continuo. Procedure operative, formazione del personale, sistemi di contenimento tecnico e condivisioni dei risultati rimangono i cardini più importanti per i responsabili della sicurezza in ambiente di lavoro al fine di influenzare in modo rilevante il livello di contaminazione ambientale e, conseguentemente, il rischio occupazionale.

Tabella I. Livello di Rischio Occupazionale di Chemioterapici Antineoplastici sotto il profilo tossicologico.

Classificazione	Farmaci	Livello di rischio	
IARC Gruppo 1 (cancerogeni per l'uomo)	Ciclofosfamide, Etoposide		Rosso - rischio elevato
IARC Gruppo 2A (probabile cancerogeno per l'uomo)	Doxorubicina		Arancio – rischio probabile
IARC Gruppo 3 / non classificati ma inclusi tra gli Hazardous Drugs NIOSH	Ifosfamide, Gemcitabina, 5-Fluorouracile, Paclitaxel, Docetaxel		Rischio - potenziale

Tabella II. Risultati globali delle analisi di *wipe tests* campionati in ambito ospedaliero e frequenza di positività del dato.

Ospedale	Anno	N dati totali	N dati >LOQ	% positività
A	2016	72	40	55.6%
A	2017	72	32	44.4%
A	2019	108	59	54.6%
A	2020	108	84	77.8%
A	2021	108	78	72.2%
A	Totale	468	293	62.6%
B	2016	96	38	39.6%
B	2017	96	31	32.3%
B	2019	96	39	40.6%
B	2020	96	76	79.2%
B	2021	102	52	51.0%
B	Totale	486	236	48.6%
C	2016	96	10	10.4%
C	2017	120	13	10.8%
C	2019	111	6	5.4%
C	2020	111	63	56.8%
C	2021	75	31	41.3%
C	Totale	513	123	24.0%
D	2025	126	55	43.7%
E	2026	68	56	82.4%

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

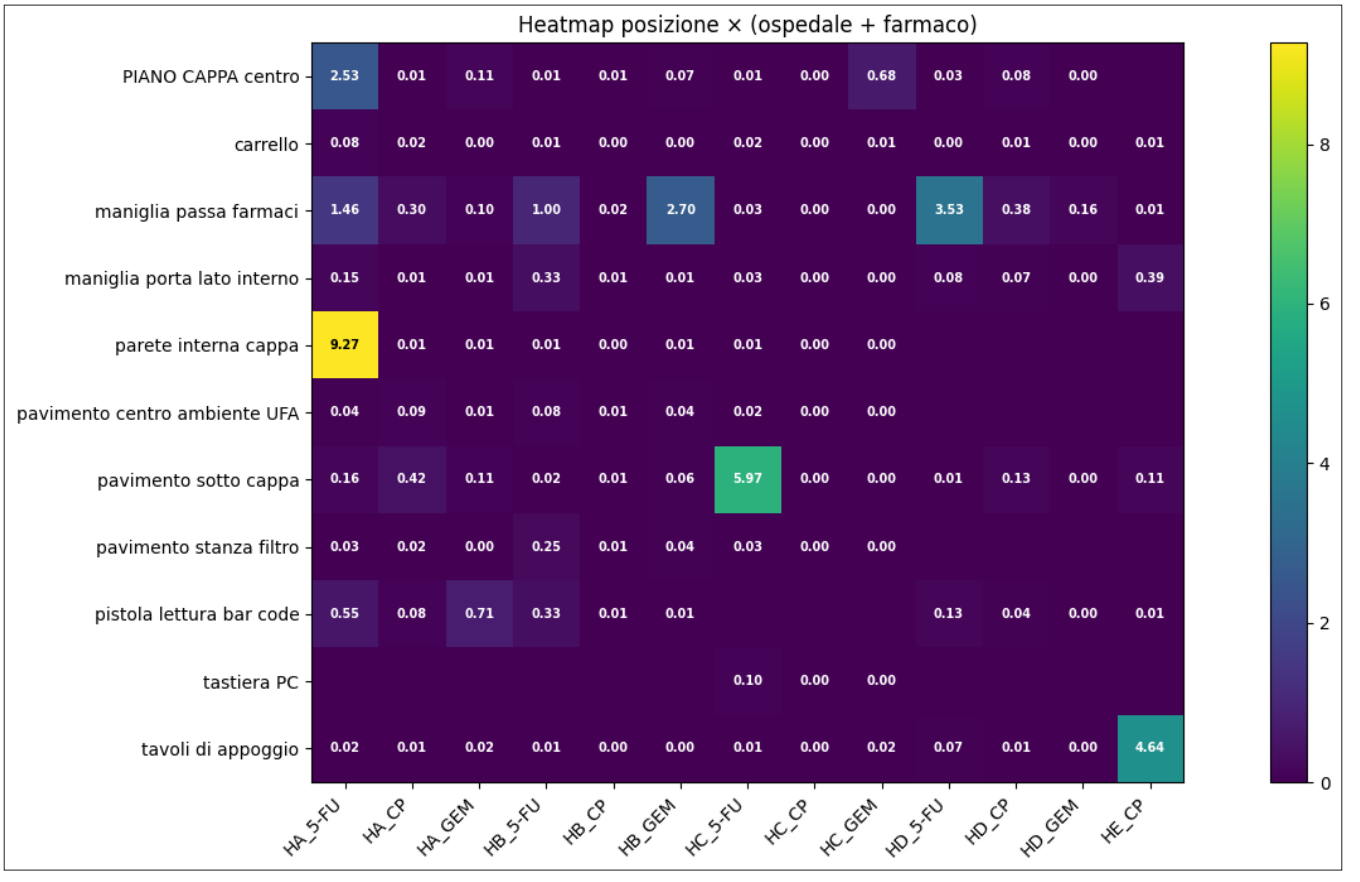


Figura I. Risultati delle analisi di *wipe tests* campionati in ambito ospedaliero (5 unità HA, HB, HC, HD, HE) suddivisi per farmaco, anno di campionamento e posizione di campionamento.

Bibliografia

Portilha-Cunha MF, et al. Antineoplastic drugs' contamination in healthcare settings: New insights on surface cleaning approaches. J Occup Environ Hyg. 2025 May;22(5):386-399. doi: 10.1080/15459624.2025.2449945. Epub 2025 Jan 21. PMID: 39836873.

Gerding J, et al. A simple approach to assess the cancer risk of occupational exposure to genotoxic drugs in healthcare settings. J Occup Med Toxicol. 2022 Apr 1;17(1):8. doi: 10.1186/s12995-022-00349-z. PMID: 35365163; PMCID: PMC8973544.

Sottani C, et al. Occupational Exposure Assessment to Antineoplastic Drugs in Nine Italian Hospital Centers over a 5-Year Survey Program. Int J Environ Res Public Health. 2022 Jul 14;19(14):8601. doi: 10.3390/ijerph19148601. PMID: 35886450; PMCID: PMC9321125.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Dieci anni di monitoraggio dell'esposizione ai gas anestetici in un grande ospedale mediante monitoraggio personale, ambientale e biologico

A ten-year monitoring programme of waste anaesthetic gas exposure in a large hospital using personal, environmental and biological assessment

Keywords: healthcare workers, inhalation anaesthesia, dental sedation, exposure determinants, prevention

Laura Campo[1,2], Giulia Colella[1], Luca Olgiati[2], Andrea Spinazzè[3], Luca Boniardi[1], Francesca Borghi[3,4], Giacomo Fanti[1], Dario Consonni[5], Domenico Maria Cavallo[3], Silvia Fustinoni[1,2]

[1] *Dipartimento di Scienze Cliniche e di Comunità, Università degli Studi di Milano, Milano*
[2] *Laboratorio di Tossicologia, Fondazione IRCCS Ca' Granda Ospedale Maggiore Policlinico, Milano*
[3] *Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia, Università degli Studi dell'Insubria, Como*
[4] *Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche, Università di Bologna, Bologna*
[5] *Unità di Medicina del Lavoro, Fondazione IRCCS Ca' Granda Ospedale Maggiore Policlinico, Milano*

Corresponding author: Francesca Borghi, *francesca.borghi12@unibo.it*

Introduzione

I gas anestetici sono impiegati routinariamente in chirurgia e odontoiatria per l'anestesia generale o la sedazione del paziente. Durante l'utilizzo, una quota di questi agenti chimici può disperdersi nell'ambiente di lavoro, determinando esposizione degli operatori sanitari. Tra i composti di maggiore interesse rientrano sevoflurano, desflurano e protossido di azoto, con modalità d'impiego differenti a seconda del contesto clinico [Becker e Rosenberg, 2008; Byhahn et al., 2001].

Metodi

Il contributo sintetizza dieci anni di indagini svolte, dal 2015 al 2024, in un grande ospedale di Milano, comprendendo sale operatorie e ambulatori odontoiatrici. Per tali indagini è stato adottato un approccio integrato basato su monitoraggio ambientale in tempo reale, monitoraggio personale dell'esposizione e monitoraggio biologico, con determinazione urinaria di protossido di azoto, desflurano ed esafluoroisopropanolo, metabolita del sevoflurano. Per ciascuna campagna sono state inoltre raccolte informazioni sulle procedure, sulle fasi operative e sulle modalità di utilizzo dei gas anestetici, al fine di descrivere i profili espositivi e individuare i principali determinanti dell'esposizione.

Risultati e discussione

Nel periodo considerato sono state effettuate numerose campagne di monitoraggio in differenti contesti clinici, con valutazione integrata ambientale, personale e biologica su operatori sanitari esposti. Il sevoflurano è risultato il gas più frequentemente utilizzato. Nel complesso, i monitoraggi hanno evidenziato esposizioni generalmente contenute ai gas anestetici alogenati nelle procedure di anestesia generale, mentre valori di esposizione più elevati sono stati determinati per alcune attività con protossido di azoto, in particolare negli ambulatori odontoiatrici dedicati alla sedazione. Il monitoraggio in tempo reale ha inoltre consentito di identificare incrementi transitori associati a specifiche fasi operative, confermando l'utilità di un approccio integrato per riconoscere le sorgenti emissive e orientare gli interventi di prevenzione. Tali elementi risultano coerenti con quanto riportato in letteratura per la chirurgia pediatrica e per la sedazione odontoiatrica [Byhahn et al., 2001; Zaffina et al., 2019].

Conclusioni

L'esperienza decennale descritta dal contributo conferma che il monitoraggio combinato ambientale, personale e biologico costituisce uno strumento efficace per caratterizzare l'esposizione ai gas anestetici residui e supportare la prevenzione nei contesti sanitari. Nei reparti chirurgici le condizioni osservate appaiono nel complesso favorevoli per sevoflurano e desflurano, mentre l'impiego di protossido di azoto nella sedazione odontoiatrica richiede particolare attenzione. I risultati sostengono pertanto il mantenimento di programmi strutturati di sorveglianza espositiva e l'adozione di misure mirate nelle situazioni a maggior potenziale emissivo.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Bibliografia

Becker, D.E., Rosenberg, M., 2008. Nitrous oxide and the inhalation anesthetics. Anesth. Prog., 55, 124–130.

Byhahn, C., Heller, K., Lischke, V., Westphal K., 2001. Surgeon's Occupational Exposure to Nitrous Oxide and Sevoflurane during Pediatric Surgery. World J. Surg., 25, 1109–1112.

Zaffina, S., Lembo, M., Gilardi, F., Bussu, A., Pattavina, F., Tucci, M.G., Moscato, U., Raponi, M., Derrico, P., Galeotti, A., Camisa, V., 2019. Nitrous oxide occupational exposure in conscious sedation procedures in dental ambulatories: a pilot retrospective observational study in an Italian pediatric hospital. BMC Anesthesiol,19, 42.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Valutazione microbiologica dell'aria e del particolato in ambiente chirurgico e camere bianche

Assesment of air quality surgical settings and clean rooms: microbiological contamination and particles monitoring

Keywords: cleanrooms, surgical air quality, microbiological monitoring, particulate contamination, ISO 14644

Giorgio Favorido Barraza[1], Alice Cimino[1], Laura Dilsani Nanayakkarawasam Nagahawatta Arachchige[1], Maria Lorena Fiorentino[1], Elena Grignani[1]

[1] *ICS Maugeri IRCCS, Centro Ricerche Ambientali, Laboratorio di Microbiologia Ambientale.*

Corresponding author: Giorgio Favorido Barraza, *giorgio.favoridobarraza@icsmaugeri.it*

Introduzione

Il monitoraggio della contaminazione microbiologica e particellare dell'aria negli ambienti a contaminazione controllata rappresenta un elemento essenziale per garantire elevati standard di sicurezza in ambito sanitario, in particolare in sale operatorie e camere bianche, dove anche minime alterazioni delle condizioni ambientali possono influire sul rischio infettivo e sulla qualità dei processi.

Tali ambienti, regolati dalle norme ISO 14644 e ISO 14698, richiedono un controllo continuo dell'efficacia dei sistemi di ventilazione, filtrazione e gestione dei flussi d'aria, integrato da procedure di verifica microbiologica e particellare.

Le linee guida ISPESL del 2009 prevedono un approccio multidisciplinare che non si limita alla sola conformità ai limiti di riferimento, ma mira anche all'identificazione precoce di eventuali criticità ambientali correlate a fattori strutturali, gestionali o operativi. In quest'ottica, il monitoraggio assume un ruolo strategico non solo come verifica dello stato igienico, ma anche come strumento di miglioramento continuo dei protocolli di sanificazione e prevenzione.

Materiali e Metodi

Lo studio è stato condotto presso il laboratorio di Microbiologia ambientale di ICS Maugeri mediante monitoraggi periodici in sale operatorie e ambienti classificati. Il campionamento microbiologico dell'aria è stato effettuato mediante campionatore attivo SAS (Surface Air System), con aspirazione di volumi definiti di aria fino a 1000 L e impatto diretto su terreni colturali selettivi e non selettivi, tra cui Tryptic Soy Agar per la conta batterica totale, Sabouraud Dextrose Agar per miceti e lieviti e Violet Red Bile Glucose Agar per enterobatteri.

Il campionamento del particolato è stato eseguito mediante contatore laser LASAIR secondo ISO 14644-1, con rilevazione in continuo delle particelle aerodisperse ≥0.5 µm e ≥5 µm.

Nelle sale operatorie, il campionamento è stato eseguito posizionando il dispositivo a circa 1,5 m dal pavimento, in prossimità del campo operatorio e dell'area occupata dal chirurgo, al fine di valutare la contaminazione aerodispersa in condizioni operative. Il posizionamento dei punti tiene conto della distribuzione del particolato e dei flussi d'aria, in particolare in presenza di sistemi a flusso unidirezionale.

Il numero dei punti è stato calcolato in relazione alla superficie del locale tenuto conto della distribuzione del particolato, con particolare attenzione alle zone a flusso unidirezionale, alle aree di turbolenza e ai punti di ingresso/uscita dell'aria.

Entrambe le misurazioni, sia di particolato che microbiologica dell'aria vengono effettuate in condizioni operative "at rest" e "in operation", al fine di valutare sia la qualità di fondo dell'aria sia l'impatto dell'attività antropica.

Risultati e discussione

I monitoraggi microbiologici e particellari hanno evidenziato valori complessivamente conformi ai limiti normativi, con scostamenti correlati alle diverse condizioni operative.

Per quanto riguarda la contaminazione microbiologica dell'aria, è emersa una chiara correlazione con il grado di affollamento e l'intensità dell'attività antropica: in condizioni "at rest" i valori risultano contenuti (≤10 CFU/m^3 nelle sale a flusso laminare), mentre durante le fasi "in

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

operation" possono raggiungere o superare 150 CFU/m^3, con criticità più evidenti nelle camere bianche.
Incrementi localizzati della carica microbica e del particolato sono stati osservati in prossimità di ingressi, aree di cambio DPI e zone filtro di accesso alle UFA, caratterizzate da maggiore turbolenza dei flussi d'aria.
L'estensione del campionamento a punti non convenzionali, definiti in accordo con la normativa di riferimento, ha inoltre consentito di identificare criticità non rilevabili nei soli punti standard, migliorando la rappresentatività della valutazione ambientale.

Conclusioni

I risultati confermano che, a fronte di una generale conformità ai limiti normativi, la qualità microbiologica e particellare dell'aria è influenzata sia dalle condizioni operative e dai flussi di personale, sia dall'efficacia e dal monitoraggio dei sistemi di filtrazione dell'aria.
In questo contesto, il monitoraggio ambientale non può essere considerato esclusivamente come strumento di verifica statica, ma deve essere interpretato in chiave dinamica e gestionale. In particolare, il campionamento ripetitivo degli stessi punti può introdurre un bias nel controllo, riducendo la rappresentatività dei dati e influenzando indirettamente le pratiche di sanificazione.
L'adozione di strategie di campionamento variabili nel tempo, integrate con punti fissi di riferimento, consente invece una valutazione più realistica delle condizioni ambientali e una maggiore capacità di individuare criticità emergenti. Questo approccio rafforza il ruolo del monitoraggio come strumento di prevenzione e miglioramento continuo nei contesti a contaminazione controllata.

Bibliografia

ISO 14644-1, Cleanrooms and associated controlled environments.

ISO 14698, Biocontamination control.

ISPESL, Linee guida sul controllo della contaminazione microbiologica dell'aria negli ambienti ospedalieri, 2009.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Valutazione dei rischi legati alla movimentazione manuale dei carichi e indice di capacità lavorativa tra gli operatori sanitari nel Sud Italia

Risk assessment of manual material handling and work ability index among healthcare workers in Southern Italy

Keywords: manual material handling, musculoskeletal disorders, healthcare workers, NIOSH lifting index, work ability

Roberta Piccarreta[1], Valentina Schino[2], Francesca Fortunato[1], Moris Sangineto[1], Angela Stufano[1]

[1] *Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche, Università degli Studi di Foggia, Foggia, Italia*
[2] *Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Sezione di Medicina del Lavoro, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari, Italia*

Corresponding author: Roberta Piccarreta, *robertapiccarreta@gmail.com*

Introduzione

La movimentazione manuale dei carichi (MMC) rappresenta uno dei principali rischi occupazionali nel settore sanitario. In Italia, il D.lgs. 81/08 (Titolo VI) e le norme tecniche ISO 11228-1/2 impongono la valutazione quantitativa attraverso metodologie validate: metodo NIOSH per il sollevamento, Snook-Ciriello per spinta e traino. Sebbene i valori ottenuti dai documenti di valutazione del rischio ricadano spesso entro la fascia di accettabilità (Indice di Sollevamento <0,85; Indice di Spinta/Traino <1,0), l'esposizione cumulativa a lungo termine potrebbe comunque associarsi a un deterioramento della salute muscoloscheletrica e ad una riduzione della capacità lavorativa. Il presente studio esplora l'associazione tra il livello di esposizione a MMC, definito per mansione, e indicatori di salute auto-riferiti dal personale di un policlinico universitario.

Materiali e Metodi

Lo studio ha coinvolto 177 lavoratori del Policlinico Riuniti di Foggia, reclutati da ottobre 2025 a febbraio 2026. Il campione, con età media di 38 anni e anzianità lavorativa media di 8,5 anni (range 1-20), è stato stratificato in tre livelli di esposizione a MMC sulla base della mansione: MMC-1 basso (medici, tecnici; n=64), MMC-2 medio (infermieri, ostetriche; n=79), MMC-3 alto (OSS, ausiliari; n=33). I livelli proxy di esposizione sono stati ricavati dagli indici NIOSH (IS: 0,38–0,83) e Snook-Ciriello (ISR: 0,08–0,70) redatti secondo la ISO/TR 12295:2014. Gli outcome valutati tramite questionario strutturato comprendevano: dolore fisico e interferenza con il lavoro (SF-36), limitazioni fisiche nelle attività quotidiane (SF-36), prevalenza di patologie muscoloscheletriche diagnosticate e Work Ability Index (WAI, 0-10). Le associazioni sono state valutate con il test di Kruskal-Wallis (α=0,05), correlazione di Spearman e post-hoc Mann-Whitney con correzione di Bonferroni.

Risultati e discussione

Nonostante tutti gli indici ricadessero nella fascia verde di accettabilità, sono emerse associazioni significative tra il livello MMC e alcuni indicatori di salute (Tabella I). Il dolore che interferisce con il lavoro aumenta progressivamente con il livello di MMC (ρ=0,182, p=0,016); l'analisi post hoc evidenzia una differenza significativa tra MMC-1 e MMC-3 (U=778, p=0,015). Le limitazioni fisiche nelle attività quotidiane mostrano la differenza più marcata tra i gruppi (H=8,19, p=0,017; ρ=0,178, p=0,018), con separazione significativa tra MMC-1 e MMC-2 (U=1932, p=0,005). La prevalenza di patologie muscoloscheletriche diagnosticate mostra un gradiente crescente (30% → 33% → 46%), senza tuttavia raggiungere la significatività statistica (p=0,29), probabilmente per la dimensione del sottogruppo OSS (n=33). I lavoratori con impegno prevalentemente fisico (n=13, principalmente OSS) mostrano una prevalenza MSK del 69%, contro il 29-32% degli altri gruppi. Il WAI risulta sostanzialmente uniforme tra i gruppi (8,3-8,5/10, p=0,91), indicando che l'impatto sulla capacità lavorativa percepita non è ancora misurabile in un campione relativamente giovane (età media 38 anni, anzianità media 8,5 anni).

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Tabella I: Indicatori di salute per livello di esposizione a MMC (media ± DS).
KW = test di Kruskal-Wallis; ~ p<0,10; * p<0,05.

Indicatore	MMC-1 (n=64)	MMC-2 (n=79)	MMC-3 (n=33)	p (KW)
Dolore fisico (0–5)	0.72 ± 0.98	0.91 ± 1.21	1.25 ± 1.30	0.104
Dolore → lavoro (0–5)	0.30 ± 0.56	0.63 ± 1.07	0.85 ± 1.15	0.054 ~
Limitazioni fisiche SF-36	0.52 ± 1.10	1.92 ± 3.33	1.30 ± 2.23	0.017 *
Prevalenza MSK (%)	29.7%	32.9%	45.5%	0.289
WAI (0–10)	8.53 ± 1.21	8.47 ± 1.38	8.31 ± 1.55	0.914
Salute percepita (1–5)	3.83 ± 0.73	3.62 ± 0.84	3.55 ± 0.83	0.146

Conclusioni

I risultati confermano che, anche in presenza di indici DVR entro i limiti normativi, l'esposizione a MMC si associa a un gradiente crescente di dolore, limitazioni funzionali e patologie muscoloscheletriche nelle mansioni a elevato impegno fisico. I dati supportano la necessità di programmi di promozione della salute ergonomica differenziati per categoria occupazionale, con priorità per OSS e ausiliari, che presentano la più alta prevalenza di MSK e i punteggi di dolore più elevati.

Bibliografia

ISO 11228-1: Ergonomics – Manual handling – Part 1: Lifting and carrying. International Organization for Standardization, Ginevra, 2021.

ISO/TR 12295: Ergonomics – Application document for ISO 11228-1, ISO 11228-2 and ISO 11228-3 and ISO 11226. International Organization for Standardization, Ginevra, 2014.

Waters, T.R., Putz-Anderson, V., Garg, A., Fine, L.J., 1993. Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. Ergonomics, 36(7), 749–776.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

aidii
LA CULTURA DELLA PREVENZIONE
42° Congresso nazionale
di igiene industriale e ambientale

ijoehy
Italian Journal of Occupational
and Environmental Hygiene

Sessione 9

Qualità dell'aria indoor e salute in ambiente scolastico

RELAZIONE A INVITO

Progetto Monitoraggio abbattImento riSchi Sanitari InquinamentO iNdoor (MISSION) – PREV-A-2022-12377010

The MISSION project, aimed at mitigating health risks from indoor contamination

Keywords: indoor air quality, IAQ

Veronica Todeschini[1], **Sonia Vitaliti**[2]

[1] *Regione Lombardia Dg Welfare UO Prevenzione Struttura Prevenzione Sanitaria da rischi ambientali, climatici e lavorativi.*

[2] *ATS Città Metropolitana di Milano SC Laboratorio Prevenzione*

Corresponding author: Veronica Todeschini, *veronica_todeschini@regione.lombardia.it*

Introduzione

L'inquinamento atmosferico, in particolare quello indoor, rappresenta un rilevante determinante di rischio per le malattie non trasmissibili, in considerazione dell'elevata permanenza della popolazione in ambienti confinati. In tale contesto, la qualità dell'aria indoor (IAQ) assume un ruolo centrale per la tutela della salute pubblica, soprattutto negli edifici scolastici, caratterizzati da elevata densità di occupazione e frequenti criticità nei sistemi di ventilazione. Evidenze scientifiche indicano che una IAQ inadeguata è associata a effetti avversi sulla salute respiratoria, sul benessere psicofisico e sulle performance cognitive, mentre la pandemia da SARS-CoV-2 ha ulteriormente evidenziato il ruolo della trasmissione per aerosol e l'importanza di adeguate strategie di ventilazione e filtrazione.

In questo scenario si inserisce il progetto MISSION (Monitoraggio abbattimento rischi sanitari Inquinamento indoor), finanziato dal Piano nazionale per gli investimenti complementari (PNC) nell'ambito della Missione 1.4 "Salute, ambiente, biodiversità e clima" e in coerenza con il Piano nazionale della prevenzione 2020–2025. Il progetto ha l'obiettivo di migliorare la IAQ negli ambienti scolastici e pubblici frequentati da popolazioni vulnerabili, attraverso la riduzione dell'esposizione agli inquinanti indoor e la promozione di ambienti salubri e sostenibili.

MISSION prevede la realizzazione di una rete tecnico-scientifica interregionale e l'implementazione di una campagna nazionale integrata di monitoraggio ambientale e sanitario, finalizzata alla valutazione dell'esposizione di studenti e insegnanti agli inquinanti chimici, fisici e biologici, alla correlazione con gli esiti di salute e alla verifica dell'efficacia di interventi di mitigazione basati su sistemi di purificazione e filtrazione dell'aria. Il partenariato, coordinato da Regione Lombardia con il supporto di enti sanitari, agenzie ambientali, università e istituti di ricerca, garantisce un approccio multidisciplinare fondato sulla standardizzazione dei protocolli, sulla validazione interlaboratorio e sulla condivisione dei dati. Il disegno metodologico si articola in sei linee operative: revisione della letteratura e indagini conoscitive; monitoraggio ambientale multiparametrico; monitoraggio sanitario mediante questionari e test non invasivi; interventi migliorativi con dispositivi di filtrazione; sviluppo di una piattaforma nazionale per l'integrazione dei dati; attività di formazione e citizen science.

Il progetto mira a fornire solide evidenze scientifiche per la definizione di linee guida, protocolli operativi e politiche nazionali finalizzate al miglioramento della qualità dell'aria indoor e alla tutela della salute delle popolazioni più vulnerabili.

Ringraziamenti

Progetto realizzato con il supporto tecnico e finanziario del Ministero della salute – PIANO NAZIONALE PER GLI INVESTIMENTI COMPLEMENTARI (PNC)" E.1 SALUTE, AMBIENTE, BIODIVERSITA E CLIMA1.4: Promozione e finanziamento di ricerca applicata con approcci multidisciplinari in specifiche aree di intervento salute – ambiente –biodiversita – clima.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Progetto MISSION: disegno dello studio

MISSION project: study design

Keywords: school buildings, air quality, sampling, analyses

Sonia Vitaliti[1], Arianna Ballarin[1], Alessandro Palestra[1]

[1]ATS Città Metropolitana di Milano, Dipartimento di Prevenzione Sanitaria, SC Laboratorio di Prevenzione

Corresponding author: Sonia Vitaliti, *svitaliti@ats-milano.it*

Introduzione

ATS Città Metropolitana di Milano è PI del Progetto MISSION. Tra i suoi compiti il coordinamento del progetto come linee strategiche e accompagnamento dei sottogruppi agli obiettivi.
In particolare, l'anno di avvio del progetto è stato utilizzato per la definizione del disegno di studio e a seguire con l'autorizzazione del comitato etico.

Materiali e Metodi

Il comitato scientifico del progetto nel corso del primo anno ha definito i parametri per l'avvio sistematico del piano di monitoraggio ambientale e sanitario, identificando il numero di unità operative coinvolte nei monitoraggi, le modalità di scelta delle scuole, il numero di aule da monitorare, il protocollo di monitoraggio ambientale e sanitario, la logistica del trasporto campioni.
Il secondo anno ha effettuato una serie di incontri per definire le policy di progetto e i contenuti del documento da portare al comitato etico.

Risultati e Discussione

Sono stati realizzati documenti di supporto per armonizzare i comportamenti e scelti i laboratori dove centralizzare le analisi al fine di rendere i dati raccolti il più confrontabili possibili. Tali documenti sono stati scelti come base di partenza per altri progetti PNC Investimento 1.2 (SINTESI – modello di intervento e messa a punto e valutazione di efficacia di interventi di prevenzione primaria e secondaria per ridurre l'impatto sanitario delle patologie attribuibili all'ambiente e alle diseguaglianze sociali).
Nel secondo anno lo studio è stato approvato dal comitato etico ed è stata stabilita la titolarità dei dati.

Conclusioni

La collaborazione finalizzata all'obiettivo dello studio ha permesso di avviare nell'anno scolastico 2024/2025 la prima campagna di monitoraggio ambientale e sanitario che si è conclusa, come da progetto, con il follow up sulle stesse strutture, aule e alunni, nell'anno 2025/2026.
In corso l'elaborazione statistica dei dati ed il confronto tra i due anni scolastici per le conclusioni dello studio.

Ringraziamenti

Progetto finanziato "MISSION – Monitoraggio abbattimento rischi sanitari inquinamento indoor" – Ministero della Salute – Piano nazionale investimenti complementari al PNRR – 1 "Salute-Ambiente-Biodiversita'-Clima". Gruppo di Lavoro MISSION

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Progetto MISSION: revisione della letteratura e valutazione delle caratteristiche strutturali e delle conoscenze in tema di qualità dell'aria indoor nelle scuole

Mission project: literature review and evaluation of structural characteristics and knowledge on indoor air quality in schools

Keywords: school buildings, air quality, health effects, comfort, IAQ management

Paolo Carrer[1,2], Chiara Di Giorgio[2]

[1] *Dipartimento di Scienze biomediche e cliniche, Università degli Studi di Milano*
[2] *U.O. Medicina del Lavoro – A.S.S.T. Fatebenefratelli Sacco, Milano*

Corresponding author: Paolo Carrer, *paolo.carrer@unimi.it*

Introduzione

Nell'ambito del progetto finanziato dal Ministero della Salute "MISSION", l'Obiettivo Specifico 1.1 prevede la revisione della letteratura scientifica sugli effetti sanitari associati all'esposizione all'inquinamento indoor a breve e lungo termine in contesti scolastici e sulle misure di miglioramento della qualità dell'aria indoor (IAQ). Il lavoro è stato organizzato in sottogruppi valorizzando l'expertise di tutti i partecipanti ed i temi trattati sono stati: 1. sorgenti e inquinanti indoor; 2. effetti sanitari; 3. misure di miglioramento; 4. iniziative nazionali in tema di IAQ nelle scuole. Un ulteriore obiettivo 1.2 prevede la valutazione tramite un Questionario per i Dirigenti scolastici delle strutture scolastiche e della loro conoscenza in materia di qualità dell'aria indoor nelle scuole.

Materiali e Metodi

Ogni sottogruppo ha usato apposite stringhe di ricerca per l'estrazione delle fonti da database scientifici internazionali o in genere da motori di ricerca e stabilito criteri di esclusione. Gli elaborati e le revisioni selezionate, sono stati vagliati analiticamente e le conclusioni di tutte le evidenze, distinte per tema, sono confluite in ciascuna delle revisioni redatte dai sottogruppi.

Il Questionario per i Dirigenti scolastici è stato messo a punto a partire dall'esperienza del progetto "Indoor School" e si compone di tre parti che indagano le caratteristiche degli edifici, la conoscenza della normativa, degli effetti degli inquinanti su salute e performance, nonché la presenza di protocolli interni per la gestione e prevenzione dell'IAQ.

Risultati e Discussione

In merito all'IAQ nell'ambiente scolastico, la revisione evidenzia che le ricerche sono numerose, ma spesso eterogenee per metodi, obiettivi e ambienti considerati. Esiste una forte prevalenza di review narrative, mentre mancano revisioni sistematiche recenti focalizzate esclusivamente sull'ambiente scolastico. Tra gli agenti di rischio chimico, il particolato atmosferico è l'inquinante meglio documentato e potenzialmente idoneo a una futura "umbrella review", anche se la variabilità metodologica tra studi rende complesso un confronto diretto dei dati. Per altri inquinanti (formaldeide, NO_2, benzene) le revisioni esistenti sono utili ma spesso limitate geograficamente o datate. Le principali lacune conoscitive riguardano gli agenti biologici, con scarsa disponibilità di dati quantitativi e studi aggiornati e il radon, spesso trattato superficialmente e con revisioni non sistematiche. Emerge quindi l'opportunità di nuove revisioni sistematiche ad hoc, basate su stringhe di ricerca specifiche per ciascuna categoria di inquinanti, al fine di colmare le attuali carenze informative e migliorare la gestione della qualità dell'aria nelle scuole.

Le revisioni sistematiche circa gli effetti sulla salute di una cattiva IAQ risultano in numero inferiore rispetto alle revisioni narrative e riguardano principalmente la performance scolastica dei bambini, mentre si rileva la mancanza di una vera e propria revisione sistematica che affronti esclusivamente il tema degli effetti, a breve e lungo termine, sulla salute respiratoria dei bambini [Lazzara V., 2025].

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

La maggior parte delle scuole non presenta una ventilazione adeguata e si avvale principalmente della ventilazione naturale. Si rileva che periodi lunghi e ripetuti di areazione delle aule tramite apertura delle finestre hanno un effetto positivo sulla riduzione della CO_2 ma comportano un aumento delle concentrazioni degli inquinanti generati all'esterno. I test di ventilazione meccanica hanno mostrato effetti positivi simultanei su tutti gli inquinanti in esame così come sul risparmio energetico. L'installazione di purificatori d'aria nelle scuole vicine a strade trafficate può essere una soluzione congeniale da adottare in edifici dove non sono presenti sistemi di ventilazione meccanica; l'uso di purificatori d'aria con finestre chiuse può portare ad una significativa riduzione dei rapporti tra concentrazione interna ed esterna di $PM_{1\text{-}10}$, CO_2 e NO_2.

Tra le iniziative nazionali in tema di IAQ nelle scuole (2010-2023) sono da segnalare i progetti europei SEARCH e SINPHONIE, ai quali hanno partecipato anche gruppi di ricerca italiani, oltre ad iniziative nazionali quali il progetto CCM – Indoor School. È stata evidenziata l'importanza della valutazione della IAQ negli edifici scolastici, della loro corretta progettazione e contesto urbano, della ventilazione, della regolare manutenzione e monitoraggio degli inquinanti e, infine, della formazione. Il quadro normativo italiano in materia di IAQ comprende il D.Lgs. 81/08, le linee guida del 2001 sugli ambienti confinati, il divieto di fumo e specifiche linee guida per le scuole emanate nel 2011 e in particolare nel 2022 [DPCM 26 luglio 2022], [MIM, DM 106 2022].

Per quanto riguarda la valutazione delle caratteristiche strutturali e delle conoscenze relative alla qualità dell'aria indoor nelle scuole, i risultati preliminari del Questionario per i Dirigenti scolastici indicano che il sistema di riscaldamento più diffuso è rappresentato dall'utilizzo dei termosifoni ed è ancora marginale l'adozione di sistemi di ventilazione meccanica controllata. Si rileva una soddisfacente conoscenza dei Dirigenti scolastici del D.Lgs. 81/08, mentre è da migliorare la consapevolezza sugli inquinanti chimici e biologici indoor e soprattutto la loro correlazione con l'asma.

Conclusioni

La valutazione e gestione della IAQ nelle scuole è un tema di salute prioritario che richiede un approccio integrato che coinvolga politiche pubbliche, innovazione tecnologica e partecipazione comunitaria. Solo attraverso uno sforzo collettivo sarà possibile garantire un'aria pulita e sicura per le future generazioni di studenti.

Ringraziamenti

Progetto finanziato "MISSION – Monitoraggio abbattimento rischi sanitari inquinamento indoor" – Ministero della Salute – Piano nazionale investimenti complementari al PNRR – 1 "Salute-Ambiente-Biodiversita'-Clima". Gruppo di Lavoro MISSION

Bibliografia

Lazzara V. et al. 2025. A scoping review of review on school indoor air quality and respiratory health in schoolchildren: Evidence available, key concepts and knowledge gaps. Indoor and Built Environment 2025 1–14 – DOI: 10.1177/1420326X251403351

Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, 26 luglio 2022. Linee guida sulle specifiche tecniche in merito all'adozione di dispositivi mobili di purificazione e impianti fissi di aerazione e agli standard minimi di qualità dell'aria negli ambienti scolastici e in quelli confinati degli stessi edifici.

Ministero dell'Istruzione e del Merito, DM 106 2022. Progettare, costruire e abitare la scuola. Linee guida per la progettazione degli edifici scolastici.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Progetto MISSION: monitoraggi ambientali mediante campionamento passivo. Discussione dei risultati analitici relativi a VOC, Formaldeide, Ozono e NO_2

MISSION Project: environmental monitoring through passive sampling. Discussion of the analytical results related to VOCs, formaldehyde, ozone, and NO_2

Keywords: Radiello, Iaq, Indoor, Outdoor

Alessandro Palestra[1], Veronica Cavalli[1], Arianna Ballarin[1], Francesco Daniele[1], Francesco Gavazzeni[1], Claudia Lionetti[2], Luigina Patricola[2], Marco Boni[2], Elisa Galbiati[3], Giuseppe De Palma[4], Roberta Ghitti[4], Giulia Tocchini[4], Giovanna Bregante[3], Andrea Cattaneo[5], Piera Ielpo[6], Velia Malizia[7], Veronica Todeschini[8], Sonia Vitaliti[1]

[1] *ATS Milano, SC Laboratorio di Prevenzione, Milano*
[2] *ATS Insubria, SC Laboratorio di Prevenzione, Varese*
[3] *ASST Brianza, SC Medicina del Lavoro, Ospedale Pio XI Desio*
[4] *ASST Spedali Civili Brescia, SC Medicina del Lavoro*
[5] *Università Degli Studi Dell'Insubria*
[6] *ISAC-CNR Lecce*
[7] *IFT-CNR – Palermo*
[8] *Regione Lombardia, DG Welfare*

Corresponding author: Alessandro Palestra, apalestra@ats-milano.it

Introduzione

Nel contesto del progetto PNC MISSION è stata condotta la prima campagna multicentrica di monitoraggio ambientale nei plessi scolastici di cinque regioni italiane (Lombardia, Toscana, Marche, Puglia e Sicilia), con l'obiettivo di caratterizzare i livelli di inquinanti prioritari in ambienti indoor e outdoor e le possibili fonti. Gli inquinanti oggetto del monitoraggio sono stati formaldeide, biossido di azoto (NO_2), ozono (O_3) e composti organici volatili (VOC).

Materiali e Metodi

Il monitoraggio è stato eseguito mediante campionatori passivi Radiello, selezionando specifici supporti adsorbenti in funzione dell'analita di interesse e della metodica analitica utilizzata:

- VOC: cartucce Carbograph. Analisi mediante desorbimento termico (TD) e GC-MS;
- Ozono (O_3): supporto impregnato con 4,4'-dipiridiletilene. Analisi mediante UV-VIS;
- Formaldeide: cartucce con derivatizzazione a DNPH. Analisi mediante HPLC-UV;
- Biossido di azoto (NO_2): supporto adsorbente a trietanolammina (TEA). Analisi mediante UV-VIS.

Il posizionamento dei campionatori passivi è stato effettuato in tre differenti contesti:

- Ambienti indoor occupati: aule con presenza dei bambini durante le attività scolastiche;
- Ambienti indoor non occupati: aule senza presenza di bambini;
- Ambienti outdoor: aree esterne di pertinenza del plesso scolastico.

La valutazione ha interessato 41 scuole del territorio nazionale, con il monitoraggio di 3 aule per ciascun istituto, per un totale di 123 aule. In ogni scuola sono stati inoltre monitorati 1 area outdoor e 1 ambiente non occupato, per un totale complessivo di 205 campionatori passivi per analita.

Per garantire il campionamento in condizioni di finestre chiuse, il monitoraggio è stato effettuato tra dicembre e aprile, per un totale di 5 giorni a scuola, dal lunedì alle 8:30 al venerdì alle 16:00, coprendo complessivamente 104 ore.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Discussione

La prima campagna multicentrica del progetto PNC MISSION ha permesso di ottenere uno screening preliminare dei livelli medi di formaldeide, NO_2, ozono e VOC nelle diverse scuole.

Le tabelle sottostanti riportano, per ciascuna regione, i valori medi delle concentrazioni di ozono, NO_2 e formaldeide rilevati negli ambienti indoor e outdoor. Per ragioni di brevità, i risultati relativi ai VOC non sono stati inclusi nella presente sezione.

OUTDOOR µg/m³	NO_2 MEDIA (DS)	HCOH MEDIA (DS)	O_3 MEDIA (DS)
LOMBARDIA	21.99 (6.79)	3.50 (5.23)	23.54 (19.33)
TOSCANA	14.27 (5.15)	2.06 (1.43)	33.87 (18.66)
MARCHE	12.98 (6.58)	3.19 (4.74)	34.79 (22.56)
PUGLIA	11.98 (6.28)	1.83 (0.70)	51.3 (21.69)
SICILIA	20.01 (8.54)	2.11 (0.52)	7.08 (4.67)

INDOOR µg/m³	NO_2 MEDIA (DS)	HCOH MEDIA (DS)	O_3 MEDIA (DS)
LOMBARDIA	22.50 (6.56)	5.74 (2.62)	1.94 (2.16)
TOSCANA	12.73 (3.65)	8.16 (3.18)	2.94 (3.23)
MARCHE	12.18 (4.26)	7.32 (2.12)	1.51 (1.01)
PUGLIA	11.18 (4.42)	7.23 (2.71)	5.81 (5.63)
SICILIA	23.28 (6.89)	4.83 (1.27)	3.84 (2.66)

La suddivisione dei dati per regione evidenzia differenze geografiche, suggerendo che fattori territoriali come densità di traffico, caratteristiche urbanistiche, periodo di campionamento e condizioni climatiche possano influenzare i livelli di inquinanti rilevati.

Conclusioni

I confronti tra microambienti di aule occupate, aule non occupate e ambienti outdoor, così come i rapporti tra il tenore degli inquinanti indoor/outdoor e le differenze geografiche offrono elementi utili per interpretare le differenze tra le concentrazioni medie degli inquinanti e comprendere l'influenza delle sorgenti interne ed esterne oltre che l'impatto del territorio.

Le differenze tra regioni evidenziano, infatti, la necessità di considerare anche il contesto territoriale nella valutazione dell'esposizione scolastica agli inquinanti prioritari.

Bibliografia

Analisi esplorativa dei dati del primo monitoraggio PNC MISSION.

Manuale Radiello®, Il campionatore diffusivo a simmetria radiale. Edizione 02/2003.

Method TO-11°: Determination of formaldehyde in Ambient Air Using Adsorbent Cartridge Followed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ISO 16000-4:2011: Indoor air – Part 4: Determination of formaldehyde – Diffusive sampling method.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Valutazione della contaminazione da gas e vapori in aule scolastiche su scala nazionale mediante strumenti di monitoraggio in tempo reale

Assessment of gas and vapor contamination in school classrooms at a national scale using real-time monitors

Keywords: qualità dell'aria indoor, monitoraggio in tempo reale, scuole, inquinanti aeriformi
indoor air quality; real-time monitoring; schools; gaseous pollutants

Andrea Cattaneo[1], Sonia Vitaliti[2], Pierina Ielpo[3], Maria Cristina Aprea[4], Alessandro Palestra[2], Claudia Lionetti[5], Marta Carcano[6], Giuseppe De Palma[7], Maria Tutino[8], Marco Baldini[9], Elisa Gerbino[10], Velia Malizia[11], Giuseppe Sarno[12], Veronica Todeschini[13], Andrea Spinazzè[1], Domenico Maria Cavallo[1]

[1] *Università degli Studi dell'Insubria*
[2] *ATS Città di Milano*
[3] *CNR ISAC – Lecce*
[4] *Dipartimento di Prevenzione Azienda USL Toscana sud est*
[5] *ATS Insubria*
[6] *ASST Brianza*
[7] *ASST Spedali Civili di Brescia*
[8] *ARPA Puglia*
[9] *ARPA Marche*
[10] *Dipartimento di Prevenzione ASP Catania*
[11] *CNR IFT – Palermo*
[12] *CNR IFC – Pisa*
[13] *Regione Lombardia*

[*]**Corresponding author**: Andrea Cattaneo, *andrea.cattaneo@uninsubria.it*

Introduzione

La qualità dell'aria indoor nelle scuole è un determinante rilevante per la salute dei bambini. Il progetto PNC MISSION ha previsto un monitoraggio multicentrico nazionale per caratterizzare la qualità dell'aria in ambienti scolastici. Il presente contributo è focalizzato su contaminanti allo stato di gas o vapori.

Materiali e Metodi

Sono state installate sonde multigas in aule e postazioni outdoor in cinque regioni italiane. Sono stati monitorati CO, CO_2, NO_2, O_3, TVOC, formaldeide, temperatura, umidità. I dati sono stati a oggi analizzati, in via del tutto preliminare, distinguendo tra orario scolastico (OS) e non scolastico (ONS), mediante statistiche descrittive.

Risultati e Discussione

Le concentrazioni indoor mostrano, come atteso, elevata variabilità e distribuzioni asimmetriche. La CO_2 aumenta significativamente in OS (mediana fino a >900 ppm), confermando il ruolo dell'elevata densità di occupanti in relazione ai tassi di ventilazione / ricambio dell'aria. Anche i TVOC risultano più elevati durante le attività scolastiche, con episodici picchi a elevata intensità.

Anche per il CO si osservano incrementi in OS; tuttavia, in assenza di sorgenti di combustione attese negli ambienti scolastici, tali valori devono essere interpretati con cautela e verificati alla luce di possibili interferenze strumentali (es. temperatura). Analogamente, come atteso, l'ozono presenta livelli estremamente bassi nel periodo invernale e più elevati in orario scolastico, coerentemente con la sua origine fotochimica.

La temperatura risulta maggiore in OS, effetto combinato della presenza umana e della gestione della ventilazione (apertura finestre e modulazione del riscaldamento).

Allo stato attuale, si evidenziano differenze anche importanti tra regioni. Tali variazioni non sono ancora interpretabili come reali variazioni ambientali, perché occorrerà effettuare una attenta pulizia dei dati ed eventuali correzioni ex-post sulla base degli esiti di test con miscele a concentrazione nota, alla luce dei ben noti limiti di

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

accuratezza, anche per questioni di scarsa specificità, e precisione che caratterizzando sensori real-time, nonché possibili problematiche di calibrazione/zeroing.

Conclusioni

Il monitoraggio real-time su scala nazionale evidenzia ancora una volta il ruolo determinante delle attività scolastiche sulla qualità dell'aria indoor. Tuttavia, l'interpretazione dei dati è fortemente condizionata dalle prestazioni degli strumenti utilizzati. È pertanto necessario integrare rigorose procedure di controllo qualità, validazione e analisi statistica avanzata per distinguere tra variabilità reale e artefatti di misura.

Ringraziamenti

Progetto realizzato con il supporto tecnico e finanziario dal Ministero della Salute-PNC PREV-A-2022-12377010.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Valutazione della qualità dell'aria indoor in aule scolastiche: ruolo dei bioaerosol e impatto di purificatori d'aria – risultati preliminari

Assessment of indoor air quality in school classrooms: the role of bioaerosols and the impact of air purifiers – preliminary findings

Keywords: bioaerosol; school environment; air purifier; indoor air quality; fluorescent particles

Alessio Carminati[1], Andrea Spinazzè[1], Francesca Borghi[1,2], Stefano Boscolo[1], Giacomo Fanti[3], Eleonora Pagani[1], Carolina Zellino[1], Veronica Todeschini[4], Sonia Vitaliti[5], Claudia Lionetti[6], Andrea Cattaneo[1], Domenico Maria Cavallo[1]

[1] *Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia, Università degli Studi dell'Insubria, Como*
[2] *Unità di Medicina del Lavoro, Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Bologna*
[3] *Dipartimento di Scienze Cliniche e di Comunità, Università degli Studi di Milano*
[4] *Regione Lombardia, DG Welfare – Prevenzione Ambienti di Vita e di Lavoro, Milano*
[5] *ATS Città Metropolitana di Milano*
[6] *ATS dell'Insubria*

Corresponding author: Alessio Carminati, *acarminati@uninsubria.it*

Introduzione

Le aule scolastiche sono ambienti ad alta densità di occupazione in cui gli inquinanti possono accumularsi fino a raggiungere concentrazioni elevate. Tra questi, il particolato atmosferico e la frazione biologica aerodispersa (bioaerosol) sono potenzialmente responsabili di effetti avversi sulla salute umana, con impatti più rilevanti nelle popolazioni suscettibili, come i bambini [Annesi-Maesano et al., 2013; Fennelly et al., 2017]. In tale contesto, risulta fondamentale garantire un'adeguata qualità dell'aria indoor attraverso interventi mirati di mitigazione. Questo studio rappresenta un approfondimento rispetto al disegno di studio del Progetto Monitoraggio abbattImento riSchi Sanitari InquinamentO iNdoor (MISSION), e ha l'obiettivo di valutare l'impatto dell'installazione di purificatori d'aria a filtri elettrostatici sulla qualità dell'aria in aule scolastiche sulle concentrazioni di bioaerosol.

Materiali e Metodi

Il monitoraggio dei bioaerosol è stato condotto in tre classi di una scuola primaria a Milano (MI_Cl1; MI_Cl2; MI_Cl3) e in due classi di una scuola primaria a Como (CO_Cl1; CO_Cl2). Sono state realizzate due campagne di misura nei periodi invernali 2025 e 2026; durante la seconda campagna è stato installato un purificatore d'aria in una classe per ciascuna scuola (MI_Cl1; CO_Cl2). Le misure sono state effettuate mediante lo strumento Rapid-E+, basato sulla tecnica della fluorescenza indotta da luce: le particelle fluorescenti sono state considerate come proxy della frazione biologica aerodispersa [Pöhlker et al., 2012].

Risultati e discussioni

Complessivamente, i risultati (vengono riportate le concentrazioni mediane) hanno mostrato concentrazioni mediane maggiori nell'inverno 2025, sia delle particelle totali (8.843,8 n/L vs 3.878,4 n/L) che fluorescenti (74,4 n/L vs 13,1 n/L) [Tabella I]. Interessante è invece il risultato complessivo ottenuto confrontando i livelli durante gli orari di lezione (pausa pranzo compresa, sebbene nessuno fosse presente in aula almeno per una parte di essa) rispetto agli orari di assenza di lezione. In particolare, le particelle totali hanno mostrato valori simili: 5.199,7 n/L e 5.062,0 n/L, rispettivamente. Al contrario, maggiori concentrazioni di particelle fluorescenti sono state osservate durante gli orari di lezione (147,8 n/L) rispetto agli orari non di lezione (34,1 n/L). Questi risultati mostrano come le concentrazioni di particolato siano legate soprattutto alle condizioni al contorno, mentre la componente fluorescente sia maggiormente influenza dalla presenza di alunni e insegnati, validando di conseguenza la rappresentatività come frazione biologica.

Considerate le differenze complessive osservate tra le due campagne di monitoraggio, l'effetto dell'installazione del purificatore è stato valutato con due approcci: (i)

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

confrontando, nel 2026, le concentrazioni mediane osservate nelle aule dotate di purificatore con quelle delle altre aule della stessa scuola; (ii) confrontando, per ciascuna aula e limitatamente agli orari di lezione, le concentrazioni mediane rilevate nel 2026 con quelle misurate nel 2025. Come mostrato in Tabella II, nelle aule in cui è stato installato il purificatore si osservano concentrazioni mediane inferiori, sia per le particelle totali sia per quelle fluorescenti, accompagnate dalle maggiori riduzioni percentuali rispetto alle concentrazioni determinate l'anno precedente.

Tabella I. Concentrazioni mediane (espresse come numero di particelle su litro – n/L) delle particelle totali (a) e fluorescenti (b) misurate nelle diverse classi in entrambi gli anni (totale), durante la prima (2025) e seconda (2026) campagna di misura, e durante gli orari di lezione e assenza di lezione.

Particelle totali					
Aula	Totale	2025	2026	Lezione	Non-lezione
MI_Cl1	3.715,8	8.415,2	1.025,2	3.720,2	3.473,2
MI_Cl2	4.914,3	10.041,0	4.615,4	7.406,6	4.275,9
MI_Cl3	8.596,1	10.525,4	2.356,8	4.819,5	10.900,7
CO_Cl1	4.596,4	6.990,0	4.348,2	6.049,8	4.291,2
CO_Cl2	5.475,4	8.738,2	4.985,8	5.280,0	5.690,6
Totale	5.146,4	8.843,8	3.878,4	5.199,7	5.062,0
Particelle fluorescenti					
Aula	Totale	2025	2026	Lezione	Non-lezione
MI_Cl1	53,9	101,5	20,4	263,1	32,7
MI_Cl2	230,8	284,3	87,2	330,7	46,2
MI_Cl3	154,8	113,0	276,1	242,6	85,5
CO_Cl1	23,3	45,6	9,6	78,6	15,1
CO_Cl2	27,6	54,5	2,9	20,1	28,1
Totale	52,0	74,4	13,1	147,8	34,1

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Tabella II. Valutazione delle differenze tra le concentrazioni mediane nelle aule monitorate durante le due campagne di misura negli orari di lezione. Le concentrazioni sono espresse come particelle su litro (n/L). Il confronto tra 2026 e 2025 è stato eseguito applicando la seguente formula: "(mediana 2026 – mediana 2025)/mediana 2026".

Aula	Anno	Purificatore	Particelle totali		Particelle fluorescenti	
			Mediana	2026 vs 2025	Mediana	2026 vs 2025
MI_Cl1	2025	NO	5.004,7	-196,3%	368,4	-96,2%
	2026	SI	1.689,2		187,75	
MI_Cl2	2025	NO	10.004,0	-80,8%	288,8	24,1%
	2026	NO	5.533,6		380,6	
MI_Cl3	2025	NO	5.614,9	-120,1%	222,5	26,4%
	2026	NO	2.550,9		302,2	
CO_Cl1	2025	NO	6.528,8	-7,9%	99,5	-98,4%
	2026	NO	6.049,6		50,1	
CO_Cl2	2025	NO	9.278,6	-121,0%	120,6	-3.448,5%
	2026	SI	4.198,4		3,4	

Conclusioni

I risultati dello studio evidenziano come la componente biologica del particolato aerodisperso nelle aule scolastiche sia fortemente influenzata dalla presenza degli occupanti, mentre le concentrazioni di particolato totale sembrano essere maggiormente determinate dalle condizioni ambientali e di fondo.

Una riduzione significativa delle particelle totali e fluorescenti è stata osservata durante la seconda campagna di monitoraggio, specialmente nelle aule dotate di purificatore d'aria, sottolineando l'importanza degli interventi mirati per il miglioramento della qualità dell'aria, specialmente in ambienti ad alta occupazione e con soggetti più vulnerabili come i bambini.

Bibliografia

Annesi-Maesano, I., Baiz, N., Banerjee, S., Rudnai, P., Rive, S., & Sinphonie Group. (2013). Indoor air quality and sources in schools and related health effects. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, 16(8), 491-550.

Fennelly, M. J., Sewell, G., Prentice, M. B., O'Connor, D. J., & Sodeau, J. R. (2017). The use of real-time fluorescence instrumentation to monitor ambient primary biological aerosol particles (PBAP). Atmosphere, 9(1), 1.

Pöhlker C, Huffman JA, Pöschl U. Autofluorescence of atmospheric bioaerosols – Fluorescent biomolecules and potential interferences. Atmos Meas Tech. 2012;5(1):37-71. doi:10.5194/amt-5-37-2012

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Studio dei trend di concentrazioni indoor e outdoor delle frazioni fini e grossolane del particolato atmosferico nelle scuole del progetto MISSION

Study of indoor and outdoor trends of fine and coarse fractions of atmospheric particulate matter in schools of the MISSION project

Keywords: PM indoor, PM outdoor, indoor air quality, schools

Piera Ielpo[1], Ivano Ammoscato[2], Alessandro Palestra[3], Sonia Vitaliti[3], Veronica Todeschini[4], Gianluigi de Gennaro[5,6], Maria Cristina Aprea[6], Giuseppe Sarno[7], Claudia Lionetti[8], Elisa Galbiati[9], Giuseppe De Palma[10], Silvia Bertolacci[11], Carmelo Petralia[12], Velia Malizia[13], Andrea Cattaneo[14]

[1] *CNR ISAC (Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima) – Lecce*
[2] *CNR ISAC (Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima) – Lamezia Terme*
[3] *S.C. Laboratorio di Prevenzione ATS Milano*
[4] *Regione Lombardia, DG Welfare – Prevenzione Ambienti di Vita e di Lavoro, Milano*
[5] *Dipartimento di Bioscienze, Biotecnologie E Ambiente, Università degli Studi di Bari*
[6] *Dipartimento di Prevenzione Azienda USL Toscana sud est*
[7] *CNR IFC – Pisa*
[8] *ATS Insubria*
[9] *Università degli Studi dell'Insubria*
[10] *ASST Spedali Civili di Brescia*
[11] *ARPA Marche*
[12] *Dipartimento di Prevenzione ASP Catania*
[13] *CNR IFT – Palermo*
[14] *Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia – Università degli Studi dell'Insubria.*

***Corresponding author**: Pierina Ielpo, *pierina.ielpo@cnr.it*

Introduzione

Al fine di implementare misure a lungo termine per migliorare la qualità dell'aria nelle scuole e ridurre i rischi per la salute della popolazione scolastica associati all'inquinamento chimico, fisico e biologico dell'aria indoor, nell'ambito del progetto MISSION (Monitoraggio Abbattimento Rischi Sanitari Inquinamento Indoor), è stata promossa e sviluppata una rete tecnico-scientifica nazionale che ha indagato la qualità dell'aria ed i rischi per la salute degli alunni di 40 scuole primarie in 5 regioni italiane (Lombardia, Toscana, Marche, Puglia, Sicilia).
Obiettivo: valutare le relazioni tra i trend indoor ed outdoor delle concentrazioni delle frazioni di particolato atmosferico, al fine di stimare il contributo dell'infiltrazione rispetto a quello delle sorgenti indoor.

Materiali e Metodi

Campagne di monitoraggio sanitario e ambientale sono state condotte in 24 aule per ciascuna delle cinque regioni, al fine di valutare i livelli di concentrazione e la variabilità di diversi parametri chimico-fisici (tra cui diverse frazioni di particolato atmosferico (PM), COV (Composti Organici Volatili), ozono, formaldeide e biossido di azoto), biologici e microclimatici, nonché valutare le capacità respiratorie degli studenti mediante test sanitari. Sono state effettuate due campagne di monitoraggio: una basale (inverno 2024/2025) ed un'altra di follow up (inverno 2025/2026).
Le concentrazioni indoor ed outdoor delle frazioni PM0.5, PM1, PM2.5, PM5, PM10 e TPM sono state monitorate mediante contatori ottici di particelle (Optical Particle Counter GrayWolf Sensing solutions, Ireland). Al momento, i dati sono stati analizzati, in via preliminare, distinguendo tra orario scolastico (OS – presenza di alunni in aula) e non scolastico (ONS – assenza di alunni in aula), mediante statistiche descrittive.

Risultati

Dall'analisi preliminare dei dati della prima campagna di monitoraggio emerge che le concentrazioni medie delle frazioni di PM indoor presentano valori minori delle ri-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

spettive outdoor (es. la mediana della concentrazione di PM0.5 indoor è pari a 3.6 µg/m^3, mentre la mediana del corrispondente valore outdoor è pari a 4.2 µg/m^3; mediana del PM2.5 indoor 12.9 µg/m^3 rispetto alla mediana del PM2.5 outdoor 16.3 µg/m^3). Le concentrazioni medie delle frazioni più grossolane di PM indoor (PM5, PM10 e TPM) presentano una variabilità più marcata rispetto alle frazioni più sottili. La concentrazione media del PM10 indoor nelle ore scolastiche (179,3 µg/m^3) è circa cinque volte il valore monitorato in orario non scolastico (35,9 µg/m^3), e il TPM raggiunge 278,1 µg/m^3 in orario scolastico contro 43,6 µg/m^3 in orario non scolastico. Le concentrazioni medie di PM0.5 indoor in orario scolastico risultano invece più basse di quelle in orario non scolastico. Le frazioni grossolane di PM outdoor (PM5, PM10, TPM) mostrano concentrazioni superiori durante le ore diurne scolastiche.

Conclusioni

Il monitoraggio real-time delle frazioni di PM su scala nazionale evidenzia il ruolo determinante delle attività scolastiche sulla qualità dell'aria indoor: la presenza di studenti e personale docente, il loro movimento e le operazioni di pulizia si configurano come le principali sorgenti di particolato grossolano indoor. Tuttavia, un'esaustiva interpretazione dei dati si potrà avere in seguito all'analisi dei dati della seconda campagna di monitoraggio, valutando inoltre l'effetto dei purificatori d'aria utilizzati nella metà delle aule monitorate.

Ringraziamenti

Progetto realizzato con il supporto tecnico e finanziario dal Ministero della Salute- Piano Nazionale per gli investimenti Complementari (PNC) al PNRR – PREV-A-2022-12377010.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Monitoraggio dell'aria in ambito scolastico: risultati preliminari del progetto MISSION in Toscana

Air monitoring in schools: preliminary results of the mission project in Tuscany

Keywords: radon, IAQ, microbiology, exposure

Giovanna Renna[1], Elisa Lazzeri[1], Francesco Picciolo[2], Andrea Bogi[1], Nicola Stacchini[1], Katiuscia Gulino[1], Roberta Salvestroni[1], Monica Cerretani[1], Riccardo Fontani[3], Francesca Bazzani[3], Giulia Fanti[3], Sara Gallicchio[3], Giuseppe Sarno[4], Ilaria Stanisci[4,5], Sandra Baldacci[4], Maria Cristina Aprea[1]

[1] *Laboratorio di Sanità Pubblica Azienda, USL Toscana Sud Est, Siena, Regione Toscana*
[2] *Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Siena*
[3] *UO Tecnici della Prevenzione ambito Igiene Pubblica e Nutrizione, Azienda USL Toscana sud est, Siena, Regione Toscana*
[4] *Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Fisiologia Clinica (IFC), Pisa*
[5] *Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali e Statistiche, Università di Palermo, Palermo*

Corresponding author: Andrea Bogi, *andrea.bogi@uslsudest.toscana.it*

Introduzione

Il progetto ministeriale "MISSION" (Monitoraggio Abbattimento Rischi Sanitari Inquinamento Indoor) ha l'obiettivo di lanciare una campagna nazionale di analisi ambientali e di indagini sanitarie, finalizzata a promuovere interventi volti a migliorare la Qualità dell'Aria Indoor (IAQ) nelle scuole. Diverse evidenze scientifiche, infatti, mostrano che l'inquinamento indoor delle scuole influisce negativamente sulla salute e sul rendimento degli studenti. In particolare, la IAQ incide sull'esposizione globale dei bambini che sono un gruppo particolarmente suscettibile.

L'inquinamento dell'aria interna analizzato nell'ambito del progetto comprende agenti chimici, fisici e biologici. Uno degli obiettivi del progetto era la realizzazione, in un campione di scuole, di interventi rivolti al miglioramento della qualità dell'aria indoor e all'abbattimento dei principali fattori di rischio integrato con miglioramento dell'efficienza energetica. In quest'ottica sono state previste campagne di misura di agenti chimici, fisici e biologici da effettuarsi sia prima che dopo eventuale installazione di sistemi che combinano il trattamento dell'aria tramite sanificazione UVC e controllo della CO_2, di cui si riportano nel presente lavoro i risultati preliminari per la Toscana.

Le elaborazioni di tali risultati forniranno la base per valutare sia quali interventi realizzare ai fini del miglioramento delle condizioni ambientali nelle scuole selezionate, che, una volta verificati gli effetti di tali interventi, la definizione di criteri che potranno sperabilmente essere applicati anche in altre realtà.

Agenti biologici

Il monitoraggio microbiologico ambientale è stato eseguito effettuando controlli dell'aria, in assenza ed in presenza degli alunni, utilizzando la tecnica del campionamento attivo ricercando i seguenti parametri microbiologici:

- carica batterica totale psicrofila (temperatura ottimale di accrescimento 25 °C);
- carica batterica totale mesofila (temperatura ottimale di accrescimento di 37°C);
- carica fungina totale (muffe e lieviti).

Per la valutazione della qualità dell'aria all'interno degli edifici è stato utilizzato l'approccio di riferimento riportato nel lavoro di Dacarro [Dacarro et al. 2000], che prevede i seguenti tre indici:

1. IGCM, indice globale di contaminazione;
2. ICM, indice di contaminazione da batteri mesofili;
3. IA, indice di amplificazione.

L'analisi degli indici determinano diverse classi di contaminazione: Molto Bassa, Bassa, Intermedia, Alta e Molto Alta.

Analizzando i nostri dati in base agli indici sopra citati, i livelli di contaminazione delle scuole esaminate rientrano nella classe di contaminazione Intermedia. Inoltre, in presenza degli alunni si nota un aumento dell'indice ICM, ossia di quello legato alla contaminazione da parte

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

dei batteri di origine umana e animale, tra i quali possono essere presenti specie potenzialmente patogene.

Gas radon

L'inquinamento analizzato durante il progetto è quello da gas radon.

Il radon è un gas radioattivo naturale, incolore, inodore e insapore, che si forma dal decadimento dell'uranio presente nel suolo e nelle rocce. È presente ovunque nella crosta terrestre, ma tende ad accumularsi negli ambienti chiusi – abitazioni, uffici, scuole – dove può raggiungere concentrazioni pericolose per la salute.

Nell'ambito dell'indagine in ogni ambiente selezionato, è stato effettuato un campionamento della durata di un anno, come previsto dalla normativa vigente, e contemporaneamente due campionamenti successivi della durata di circa 6 mesi ciascuno. Questo ha permesso sia un confronto fra i due diversi metodi di campionamento, che un monitoraggio più puntuale dell'andamento della concentrazione di radon.

Quasi tutti gli ambienti analizzati hanno mostrato una concentrazione di radon inferiore ai livelli di riferimento.

Bibliografia

Dacarro C., Grignani E., Lodola L., Grisoli P., Cottica D., 2000. Proposta di indici microbiologici per la valutazione della qualità dell'aria degli edifici. G. It. Med. Lav. Erg., 22(3): 229-235

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Ambiente percepito a scuola ed effetti respiratori, allergici e sistemici negli alunni: progetto MISSION

Environmental perceptions at school and allergic, respiratory and systemic symptoms in schoolchildren: MISSION project

Keywords: students, comfort, air quality, health effects, cross-sectional study

Giuseppe Sarno[1], Ilaria Stanisci[1,2], Sara Maio[1], Anna Angino[1], Patrizia Silvi[1], Velia Malizia[3], Stefania La Grutta[3], Pietro Alfano[3], Andrea Perri[3,4], Valentina Lazzara[2,3], Veronica Todeschini[5], Sonia Vitaliti[6], Alessandro Palestra[6], Sandra Baldacci[1]

[1] *Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Fisiologia Clinica (IFC), Pisa*
[2] *Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali e Statistiche, Università di Palermo, Palermo*
[3] *Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Farmacologia Traslazionale (IFT), Palermo*
[4] *Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare, Università di Palermo, Palermo*
[5] *Regione Lombardia, DG Welfare – Prevenzione Ambienti di Vita e di Lavoro, Milano*
[6] *ATS Città Metropolitana di Milano*

Corresponding author: Giuseppe Sarno, *giuseppe.sarno@cnr.it*

Introduzione:

I bambini trascorrono molte ore in ambienti confinati (a scuola, a casa). Le condizioni ambientali indoor (temperatura, umidità, rumore, illuminazione e qualità dell'aria) possono influenzare il comfort degli occupanti e conseguentemente la loro salute, benessere e produttività. Poche informazioni sono disponibili sulla percezione della qualità dell'aria nell'ambiente scolastico.

Obiettivo

Valutare la relazione tra ambiente percepito e gli effetti sulla salute respiratoria, allergica e sistemica negli studenti italiani.

Materiali e Metodi

Nell'anno scolastico 2024/25, 1605 alunni di 38 scuole primarie di 5 regioni italiane (Lombardia, Toscana, Sicilia, Marche e Puglia) hanno partecipato alla prima indagine del Progetto Monitoraggio abbattImento riSchi Sanitari InquinamentO iNdoor (MISSION) realizzato con il supporto tecnico e finanziario del Ministero della Salute nell'ambito del Piano Nazionale per gli investimenti Complementari (PNC) al PNRR (PRE-V-A-2022-12377010).

Il progetto ha previsto la compilazione di un questionario da parte degli alunni (somministrato a scuola da un operatore previo consenso informato da parte dei genitori) sulla salute respiratoria, allergica, sistemica e i principali fattori di rischio e la percezione della qualità dell'aria all'interno/esterno della scuola e delle condizioni microclimatiche (scala 0-6) della propria aula.

Le associazioni tra comfort ambientale (categorie: 0-2 scarso, 3-4 moderato, 5-6 buono) e sintomi sono state valutate con test χ^2 di Pearson. Sono stati eseguiti modelli di regressione logistica multivariata (outcome: sintomi cutanei-SC, sintomi oculari-SO, sintomi nasali-SN, sintomi respiratori-SR e sintomi sistemici-SS) con percezione del comfort come variabile indipendente continua, aggiustando per sesso, età, città e fumo passivo.

Risultati e Discussione

Si osservano più elevate prevalenze di sintomi nasali (67.8%), sistemici (62.2%), respiratori (52.4%). Una peggiore percezione di temperatura e umidità è associata a maggior prevalenza di tutti i sintomi (30.2% SC, 46.2% SO, 80.1% SN, 61.4% SR, 79.5% SS in coloro che giudicano scarso il comfort della temperatura; 28.5% SC, 43.3% SO, 77.6% SN, 60.2% SR, 73.9% SS in coloro che giudicano scarso il comfort dell'umidità). Nei modelli multivariati, un incremento unitario del comfort nella percezione della temperatura si associa a una riduzione statisticamente significativa del rischio di aver avuto negli ultimi 7 giorni di SC (OR=0.90), SO (OR=0.89), SN (OR=0.90), SR (OR=0,89) e SS (OR=0.82). L'umidità mostra associazioni inverse statisticamente significative per SC (OR=0.92) e SS (OR=0.93). Associazioni inverse sono state osservate anche per percezione della qualità

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

dell'aria indoor e SS (OR=0.91) e percezione della qualità dell'aria outdoor e SO (OR=0.87).

Conclusioni

Una peggiore percezione dell'ambiente scolastico è associata a una maggiore prevalenza di sintomi nei bambini, indipendentemente da fattori individuali e, in larga parte, dai livelli misurati di inquinanti. I risultati suggeriscono che la percezione soggettiva rappresenti un indicatore rilevante di benessere ambientale e di rischio per la salute, da integrare nei programmi di monitoraggio e prevenzione in ambito scolastico.

Ringraziamenti

Gruppo di *Lavoro MISSION: Danilo Cereda, Veronica Todeschini (Regione Lombardia); Sonia Vitaliti, Palestra Alessandro, Arianna Ballarin, Francesco Daniele, Francesco Gavazzeni (ATS Milano); Raffaele Manna (ATS Brianza); Claudia Lionetti, Luigina Patricola (ATS Insubria); Giovanna Bregante, Elisa Galbiati (ASST Brianza); Domenico Cavallo, Andrea Cattaneo, Andrea Spinazzè (Università degli Studi dell'Insubria); Paolo Carrer, Chiara Di Giorgio (A.S.S.T. Fatebenefratelli Sacco); Giuseppe De Palma, Roberta Ghitti, Giulia Tocchini (ASST Spedali Civili di Brescia); Marco Baldini, Miriam Sileno, Romina Pompei, Silvia Baertolacci (ARPA Marche); Cristina Aprea, Riccardo Fontani, Francesco Picciolo (Dipartimento di Prevenzione Azienda USL Toscana sud est); Sandra Baldacci, Giuseppe Sarno, Sara Maio, Ilaria Stanisci, Patrizia Silvi, Anna Angino (CNR IFC- Pisa); Paola Coletti (Universitas Mercatorum); Giorgio Buonanno (Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale); Elisa Gerbino, Carmelo Petralia, Rosa Lo Faro (Dipartimento di Prevenzione ASP Catania); Stefania La Grutta, Velia Malizia, Pietro Alfano, Valentina Lazzara (CNR IFT – Palermo); Pierina Ielpo, Ivano Ammoscato, Cristina Mangia (CNR ISAC – Lecce e Lamezia Terme); Maria Tutino (ARPA Puglia)*

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

aidii
LA CULTURA DELLA PREVENZIONE
42° Congresso nazionale
di igiene industriale e ambientale

ijoeh
Italian Journal of Occupational
and Environmental Hygiene

Sessione 10

Qualità dell'aria e salute negli ambienti di vita

in collaborazione
con AssoArpa e Arpae Emilia-Romagna

RELAZIONE A INVITO

I progetti su qualità dell'aria e salute in Emilia-Romagna

Air quality and health projects in Emilia-Romagna region

keywords: Atlante, Aria, Salute

Andrea Ranzi[1], **Paola Angelini**[2]

[1] *Arpae Emilia-Romagna, Struttura Tematica Ambiente Prevenzione e Salute*
[2] *Regione Emilia-Romagna, Direzione generale Cura della persona, Salute e Welfare*

Corresponding author: Andrea Ranzi, *aranzi@arpae.it*

Introduzione

Le evidenze scientifiche riguardo l'influenza dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana sono sempre più numerose ed il controllo della qualità dell'aria è ormai riconosciuto come aspetto chiave per la tutela della salute dei cittadini. La Pianura Padana ha condizioni climatiche e antropiche tali che la portano ad essere una delle zone di Europa dove l'inquinamento atmosferico è maggiore ed espone la popolazione ai suoi effetti dannosi.

Negli ultimi anni le politiche di riduzione dell'inquinamento atmosferico messe in atto a livello nazionale e locale, hanno portato a una sensibile riduzione dell'inquinamento anche nella Pianura Padana, che rimane comunque a livelli superiori di quelli raccomandati dall'OMS a tutela della salute umana.

È importante avere a disposizione studi, strumenti e meccanismi di governance che possano informare i processi decisionali mettendo a disposizione in modo organizzato dati aggiornati e di alta qualità riguardo all'esposizione agli inquinanti atmosferici in relazione ai possibili esiti sanitari, nonché all'impatto degli interventi di mitigazione.

La rilevanza della problematica dell'inquinamento atmosferico nell'area della Pianura Padana, la disponibilità di sistemi di monitoraggio (dell'inquinamento atmosferico da un lato e di sistemi informativi sanitari dall'altro) molto accurati, completi e interoperabili, la recente storia di studi ambientali e sanitari effettuati nel territorio regionale (Moniter, Supersito, Prepair) che ha permesso di disporre di professionalità ben consolidate per questo tipo di indagini, sono alla base dello sviluppo di un progetto regionale ("Progetto Aria e Salute") per la valutazione degli effetti sulla salute dell'esposizione all'inquinamento atmosferico per i residenti nella regione Emilia-Romagna, nonché di fornire strumenti per monitorare l'impatto delle politiche di miglioramento della qualità dell'aria e stimarne l'effetto futuro.

Le indagini all'interno del progetto riguardano lo studio degli effetti sulla salute derivanti da esposizioni a breve e a lungo termine all'inquinamento atmosferico nella popolazione regionale, utilizzando dati sul particolato e le sue fonti, grazie alle attività di monitoraggio e modellistica effettuate da Arpae Emilia-Romagna. In continuità col progetto Supersito, queste indagini permettono di monitorare lo stato di salute della popolazione in relazione alle esposizioni alle diverse sorgenti del particolato atmosferico, fornendo informazioni utili per la pianificazione di politiche di riduzione dell'impatto del particolato e delle sue componenti sulla salute.

Questa know-how ha messo la regione nelle condizioni di coordinare a livello nazionale il progetto "Atlante outdoor e salute: un atlante a supporto delle decisioni e della ricerca", finanziato all'interno del Piano Nazionale per gli investimenti complementari (PNC) (E.1 Salute Ambiente Biodiversità e Clima).

L'Atlante Aria e Salute fornisce ad ogni Regione stime concrete di impatto dell'inquinamento atmosferico sulla salute, comodamente consultabili per il pubblico, ma soprattutto per i decisori politici e offre la possibilità di operare una valutazione dell'impatto dell'inquinamento dell'aria sulla salute attraverso dati e modalità omogenee per l'intero territorio nazionale.

L'atlante integra informazioni sugli inquinanti atmosferici $PM_{2,5}$ e NO_2, collegandoli a diversi esiti di salute: mortalità per cause naturali e per specifiche patologie cardiovascolari, respiratorie e tumore al polmone, oltre alle ospedalizzazioni per BPCO, infarto del miocardio e ictus (quest'ultime ancora in fase di sviluppo). L'analisi considera esclusivamente la popolazione di età superiore ai 30 anni.

Le mappe di concentrazione degli inquinanti di basano su un modello nazionale a risoluzione 1 km × 1 km, ottenuto tramite un algoritmo Random Forest applicato a

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

dati satellitari (fonte DEP/ISPRA). Gli esiti sanitari derivano dai tassi provinciali di mortalità e ospedalizzazione, stratificati per causa, età e sesso e provenienti da ISTAT e dal Ministero della Salute. Completano il quadro i dati sulla popolazione residente per età (fonte ISTAT).

I progetti attivi nella regione Emlia-Romagna su inquinamento atmosferico e salute mirano da un lato a monitorare gli effetti sanitari dell'esposizione all'inquinamento atmosferico nella popolazione regionale, sfruttando il grande patrimonio informativo presente riguardo al particolato e alle sue componenti e sorgenti.

Passando dagli effetti agli impatti, l'Atlante rappresenta uno strumento efficace per attuare quanto richiesto dalla direttiva europea 2024/2881, che impone agli stati membri di garantire un'informazione tempestiva e adeguata al pubblico, ai portatori di interesse, ai decisori e alle organizzazioni sanitarie. In particolare, la direttiva richiede che siano messi a disposizione dati e valutazioni sulla qualità dell'aria e sui piani dedicati al suo miglioramento, nonché sugli effetti derivanti dal superamento dei valori limite e degli altri obiettivi normativi. Gli Atlanti contribuiscono a soddisfare queste richieste offrendo una sintesi chiara degli indicatori, delle esposizioni e degli impatti sanitari associati.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

La modellistica di qualità dell'aria a supporto delle attività delle agenzie ambientali italiane

Air Quality Modeling to Support Italian Environmental Agencies' Activities

keywords: Modelling, qualità dell'aria, Copernicus, Kairos

Michele Stortini[1], Lidia Bressan[1], Roberta Amorati[1]

[1] *Arpae Emilia-Romagna, Struttura Idro-Meteo-Clima*

Corresponding author: Michele Stortini, *mstortini@arpae.it*

Inroduzione

La qualità dell'aria è una componente fondamentale per la salute umana e per la salvaguardia degli ecosistemi. Per lo studio e l'analisi della qualità dell'aria, si utilizzano modelli matematici che permettono di calcolare la concentrazione e l'evoluzione degli inquinanti in atmosfera, simulando la dispersione degli inquinanti e le reazioni chimiche in atmosfera. Ormai da qualche anno, questi modelli matematici rivestono un ruolo cruciale: non solo contribuiscono alla comprensione delle complesse relazioni chimico-fisiche tra gli inquinanti, ma forniscono anche uno strumento predittivo indispensabile. Essi consentono di valutare gli effetti a lungo termine delle attività antropiche sull'aria che respiriamo: vengono infatti utilizzati per simulare scenari alternativi per stimare l'efficacia delle misure di riduzione dell'inquinamento prima della loro effettiva implementazione.

La nuova Direttiva Europea sulla Qualità dell'Aria (Direttiva UE 2024/2881), entrata in vigore alla fine del 2024, segna un vero e proprio cambio di paradigma rispetto al passato poiché sancisce il passaggio a un approccio di valutazione integrata, in cui i modelli matematici diventano il vero motore decisionale per la tutela della salute pubblica e dell'ambiente. La modellistica atmosferica assume un ruolo centrale per l'analisi della situazione presente e per la programmazione futura: alcuni esempi sono l'ottimizzazione delle reti di monitoraggio, identificando l'effettiva area di rappresentatività delle centraline, il supporto alla redazione dei piani di risanamento e per identificare e quantificare l'apporto delle diverse fonti emissive (source apportionment).

Nell'ambito del programma europeo Copernicus di osservazione della Terra, alla fine del 2022 è stato siglato il CAMS National Collaboration Programme (un accordo tra ECMWF e ISPRA) che ha coinvolto diverse agenzie ambientali regionali ed enti nazionali (CNR, ENEA). Nell'ottobre 2024 è stato firmato un nuovo accordo che ha ampliato il numero dei partner da 8 a 12, promuovendo una collaborazione rafforzata per massimizzare l'impatto del progetto sia a livello nazionale che locale. In questo contesto, sono stati sviluppati tre sistemi modellistici nazionali, gestiti da Arpae, CNR ed ENEA, che utilizzano dati forniti da Copernicus e che vengono utilizzati per la realizzazione di un "modello ensemble nazionale" (i cui risultati sono disponibili sul sito Copernicus Italia *https://www.copernicus-italia.it/?page_id=1453*). Il modello gestito da Arpae è il sistema modellistico kAIROS, che è stato sviluppato nell'ambito del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA).

È stato inoltre predisposto un sistema di interscambio dati aperto a tutte le agenzie regionali che necessitano di utilizzare gli output dei modelli nazionali per alimentare le proprie catene modellistiche.

Il sistema kAIROS fornisce quotidianamente analisi e previsioni a tre giorni dei principali inquinanti normati dalla legislazione europea, tra cui NO2, O3, PM10 e PM2.5 (inclusa la componente dust con diametro equivalente inferiore a 10 μm). La catena modellistica operativa si basa sull'implementazione del modello euleriano fotochimico e di trasporto CHIMERE v2017r4 (Mailler et al., 2017), ampiamente utilizzato a livello internazionale sia per la ricerca scientifica sia come strumento operativo. La forzante meteo è il modello ICON_2I, le emissioni antropogeniche sono basate su l'inventario fornito dal Copernicus Atmospheric Monitoring Service CAMS e dalle emissioni nazionali fornite da ISPRA. Le mappe di concentrazione degli inquinanti al suolo vengono pubblicate quotidianamente tramite la piattaforma ISPRA per la qualità dell'aria (*https://www.snpambiente.it/prodotti/previsioni-qualita-dellaria-in-italia/*). Inoltre, i campi tridimensionali delle concentrazioni prodotte da kAIROS

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

vengono impiegati operativamente come condizioni al contorno da diverse agenzie ambientali (es. Arpae Emilia-Romagna, ARPA Veneto, ARPA Umbria) per le rispettive simulazioni a scala regionale e sovraregionale.
Il modello kAIROS viene anche utilizzato da ISPRA per produrre mappe annuali di concentrazioni di PM10, PM25 e NO2 a scala nazionale con una risoluzione orizzontale di 1 km, applicando un modello statistico bayesiano di tipo INLA-SPDE.
Nonostante i notevoli progressi, la modellistica a scala nazionale e regionale affronta sfide significative. La complessità delle interazioni atmosferiche, la necessità di mitigare gli impatti del cambiamento climatico e l'esigenza di una risoluzione spaziale sempre maggiore richiedono non solo modelli sempre più sofisticati, ma anche una costante evoluzione degli approcci metodologici. In questo scenario, l'uso di post-processori di tipo statistico o di machine learning, e l'utilizzo integrato di modelli fotochimici e lagrangiani/gaussiani allo scopo di raggiungere scale spaziali nell'ordine delle centinaia di metri rappresenta la nuova frontiera. Si tratta di un vero e proprio cambio di paradigma tecnologico e conoscitivo.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Progetto inSINergia in Toscana: determinazione dei livelli di PFAS nella frazione PM_{10} e della distribuzione dimensione delle nanoparticelle in aria ambiente

inSINergia Project in Tuscany: Determination of PFAS levels in the PM_{10} fraction and the size distribution of nanoparticles in ambient air

Keywords: PFAS, PM_{10}, inSINergia, UFP

Bianca Patrizia Andreini[1], Marina Rosato[1], Elisa Bini[1], Chiara Collaveri[1], Fiammetta Dini[1], Stefano Fortunato[1], Andrea Agostini[2], Cristiano Baiocchi[2], Michele Mazzetti[2], Lucia Pierro[2], Roberto Signorini[2]

[1] *ARPAT Centro Regionale Tutela Qualità dell'Aria (CRTQA)*
[2] *ARPAT Laboratorio Area Vasta Costa*

Corresponding author: Bianca Patrizia Andreini, *bp.andreini@arpat.toscana.it*

Per la prima volta in Toscana è stata avviata un'attività a carattere sperimentale finalizzata alla valutazione dei livelli dei PFASs nella frazione di PM_{10} di aria ambiente campionata nei dintorni di due Siti di Interesse Nazionale per la bonifica nella provincia di Livorno, nell'ambito del Progetto inSINergia, iniziativa strategica nazionale finanziata dal Piano Nazionale per gli Investimenti Complementari (PNC). Nell'ambito del progetto sono stati determinati anche IPA, Metalli, Benzene e derivati, aldeidi, conteggio delle particelle ultrafini e studio della loro distribuzione dimensionale nell'area dei due SIN.

For the first time in Tuscany an experimental study has been launched to assess PFAS levels in the PM_{10} fraction of ambient air sampled near two Sites of National Interest (SIN) for remediation in the province of Livorno. This study is part of the inSINergia Project, a strategic national initiative funded by the National Plan for Complementary Investments (PNC). The project also determined PAHs, metals, benzene and derivatives, and aldehydes, as well as ultrafine particle counts and their size distribution in the area of the two SINs.

Introduzione

Il Progetto inSINergia è un progetto operativo pilota di iniziativa strategica nazionale finanziata dal Piano Nazionale per gli Investimenti Complementari (PNC) nell'ambito del programma E.1 SALUTE, AMBIENTE, BIODIVERSITA' E CLIMA dal titolo "Valutazione dell'esposizione di popolazione agli inquinanti organici persistenti, metalli e PFAS ed effetti sanitari, con particolare riferimento alle popolazioni più suscettibili" che coinvolge 9 regioni italiane per un totale di 13 siti SIN nazionali. Il progetto è organizzato in 7 obiettivi specifici a partire dalla caratterizzazione del profilo di contaminazione del sito con un focus specifico sulla salute umana (esposizione ad inquinanti e rischi associati) per la creazione di un modello integrato interregionale Salute-Ambiente-Clima. L'ente capofila, Regione Veneto, coordina numerose realtà specializzate in settori e matrici diverse. ARPA Toscana partecipa con 2 dei suoi 4 siti SIN regionali collocati sulla costa, SIN di Livorno e SIN di Piombino storicamente oggetto di numerose attività industriali pesanti con contaminazione ambientale diffusa di sostanze inquinanti con elevato rischio sanitario e biologico. Per quanto riguarda la qualità dell'aria ambiente, i parametri richiesti dal progetto sono monitorati rispettivamente dalle stazioni di qualità dell'aria di Livorno (LI-Stagno) e Piombino (LI-Cotone) grazie a campagne stagionali a partire dall'estate 2025, in parte ancora in parte in corso per alcuni parametri.

Presso le due stazioni di monitoraggio agli inquinanti monitorati anche in passato (es. BTEX, IPA e metalli pesanti nel PM10), ne sono stati aggiunti anche altri definiti "emergenti" quali PFASs, nanoparticelle ed aldeidi, monitorati secondo un programma stagionale di campagne. Nel presente lavoro verranno illustrati i risultati preliminari relativi ai PFASs riscontrati, effettuando una

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

loro disamina rispetto ai dati di letteratura ed ai livelli degli altri inquinanti monitorati [Peters et al. 2025]

PFASs nel PM_{10}

L'esperienza di ARPAT nelle analisi dei PFASs riguarda l'ambito del programma di monitoraggio sui corpi idrici superficiali e sotterranei della Toscana, per verificarne il raggiungimento degli obiettivi di qualità e definirne la classificazione. Per la prima volta con il Progetto inSINergia è stata avviata un'attività a carattere sperimentale finalizzata alla valutazione dei livelli dei PFASs nella frazione di PM10 di aria ambiente. Il monitoraggio dei PFASs nei due SIN toscani è stato realizzato con campagne stagionali di almeno 21 giorni consecutivi a partire dalla stagione estiva 2025 e si conclude nella primavera 2026, per un totale di almeno 80 giorni per sito. La frazione PM10 in aria ambiente è stata raccolta su filtri di quarzo con campionatori sequenziali a basso volume secondo il metodo UNI EN 12341, collocati presso le due centraline di monitoraggio delle qualità dell'aria LI-Stagno (Collesalvetti) e LI-Cotone (Piombino). L'intervallo dei livelli di PM10 rilevati nei due siti SIN nei periodi di campionamento estate-autunno 2025 è stato rispettivamente 6-28 µg/m³ per LI-Stagno e 6-24 µg/m³ per LI-Cotone.

In particolare sono stati ricercati 6 PFASs ovvero 6 molecole target (C4-C8) appartenenti rispettivamente agli acidi perfluorocarbossilici PFCAs (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFOA) ed agli acidi perfluorosolfonici PFSAs (PFBS e PFOS), specie semivolatili o non volatili che la letteratura riporta come avere la tendenza ad adsorbirsi sulle polveri o alle superfici solide [Zangrando et al,2023].

Il metodo analitico, applicato a campioni compositi settimanali dei filtri PM10, prevede l'estrazione dei PFAS mediante solvente metanolico assistita da ultrasuoni, erogati tramite sonda a immersione. L'estratto viene successivamente purificato mediante SPE su colonna a carbone grafitato (GCB) e filtrato a 0,2 µm. La determinazione e la quantificazione degli analiti sono effettuate tramite diluizione isotopica con standard isotopicamente marcati al ^{13}C (ILS ^{13}C), utilizzando la cromatografia liquida ad alta prestazione accoppiata a spettrometria di massa ad alta risoluzione (HPLC-HR-MS) con tecnologia Orbitrap e ionizzazione elettrospray (ESI) negativa. I risultati evidenziano recuperi degli analiti isotopicamente arricchiti in linea con i criteri di qualità per le concentrazioni considerate, indicando una buona performance del metodo applicato, caratterizzato inoltre da semplicità e rapidità di esecuzione.

Si riportano gli esiti della campagna estiva ed autunnale 2025: solo PFBA (Acido perfluorobutanoico), PFAS a catena corta, è stato riscontrato in entrambi i SIN a livelli molto bassi prossimi al LOQ.

In particolare nella stagione estiva i valori medi settimanali non hanno mai superato 2 pg/m³ per il SIN di Livorno e 4 pg/m³ per il SIN di Piombino. Solo in un campione settimanale relativo al SIN di Livorno è stato rilevato il PFOA in quantità comunque inferiore a 2 pg/m³. I valori determinati sono del tutto preliminari ma in linea con quelli riscontrabili in letteratura che individuano il PDBA come uno dei PFASs a catena corta più comune nei campioni di Particolato. (Figura 1).

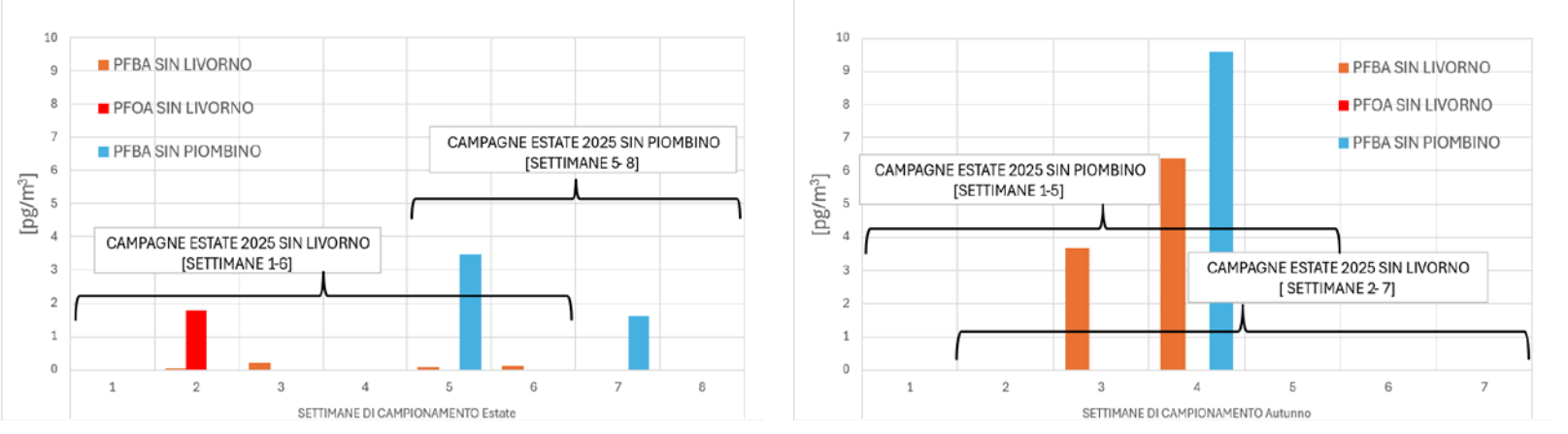


Figura 1. Livelli di PFAS su PM10 estate e autunno

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Conclusioni

I primi risultati del Progetto inSINergia in Toscana hanno evidenziato che:

- i due siti SIN oggetto di indagine non presentano particolari criticità per i parametri ad oggi valutati complessivamente a livello annuale (PM10, PM2,5, BTEX) e stagionale per le campagne finora analizzate per IPA e Metalli pesanti su PM10: i livelli riscontrati infatti risultano essere paragonabili a quelli di stazioni di fondo della costa toscana, completamente conformi ai limiti o obiettivi normativi vigenti e anche della Direttiva europea 2024/2881:
- i 6 PFASs su PM_{10} monitorati durante le campagne estive ed autunnali 2025 sono stati identificati solo in alcuni campioni stagionali ed a livelli comunque esigui sempre inferiori a 10 pg/m^3;
- le campagne per il monitoraggio delle aldeidi e delle nanoparticelle sono in corso.

Complessivamente i valori riscontrati per i parametri monitorati anche attraverso la rete regionale toscana sono coerenti con le serie storiche nei siti ed i primi risultati relativi agli inquinanti emergenti non destano particolare preoccupazione ma dovranno essere integrati con i risultati delle campagne stagionali successive che potranno aiutare a completare il quadro preliminare per una migliore caratterizzazione di questi siti.

Bibliografia

J. Peters, P. Berghmans, A. Reis de Carvalho, T. Meul PFAS air quality monitoring in Flanders in Belgium. EAC 2025.

R. Zangrando, S. Pizzini, E. Barbaro, M. Feltracco, A. Gambaro. Poly- and Perfluorinated Alkyl Substances in the Atmospheric Aerosol From a Rural Area of the Italian PFAS Hotspot (Veneto Region). Atti del XVIII International Conference on Chemistry and the Environment. 2023, p.378

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Gestione e fruizione di una rete di dispositivi multi-parametro, per la misura del $PM_{2.5}$ a elevata risoluzione spazio-temporale

Management and operation of a high spatio-temporal resolution network of multi-parameter devices for $PM_{2.5}$ monitoring

Keywords: Sensori low-cost, Particolato fine, Inquinamento atmosferico, Microambienti urbani, Pianura Padana.
Low-cost sensors, Fine particulate matter, Air pollution, Urban microenvironments, Po Valley

Stefano Boscolo[1], Giacomo Fanti[2], Andrea Cattaneo[1], Andrea Spinazzè[1], Alessio Carminati[1], Eleonora Pagani[1], Carolina Zellino[1], Ester Luconi[3], Elia Biganzoli[3], Domenico Maria Cavallo[1], Valentina Bollati[3]

[1] *Dipartimento di Scienza ed Alta Tecnologia, Università degli Studi dell'Insubria, Como (Italia)*
[2] *Dipartimento di Scienze Cliniche e Comunità, Università degli Studi di Milano, Milano (Italia)*
[3] *Dipartimento di Scienze Biomediche e Cliniche, Università degli Studi di Milano, Milano (Italia)*

Corresponding author: Stefano Boscolo, *sboscolo@studenti.uninsubria.it*

Introduzione

L'inquinamento atmosferico rappresenta oggi una delle principali sfide per la salute pubblica. La criticità è massima nel bacino della Pianura Padana, un'area classificata tra gli hotspot più complessi d'Europa, dove la conformazione orografica e le condizioni meteorologiche concentrano gli inquinanti al suolo. Le reti di monitoraggio istituzionali (ARPA) rimangono il riferimento normativo imprescindibile, garantendo dati di altissima qualità. Soffrono tuttavia di un limite strutturale: la scarsa densità spaziale. Pochi punti di misura non riescono a catturare la reale variabilità dell'esposizione agli inquinanti all'interno di un tessuto urbano complesso. Inserendosi nel progetto MAMELI, lo studio ha validato e analizzato l'operatività di una rete di sensori low-cost ad alta risoluzione spazio-temporale, dedicata al monitoraggio del particolato atmosferico fine ($PM_{2.5}$) dispiegata nel comune di Legnano (MI). La città non è interessata dalla presenza di una centralina ARPA.

Materiali e Metodi

L'approccio metodologico si è sviluppato in due fasi. La prima ha riguardato la co-locazione di 17 dispositivi ottici light scattering TSI BlueSky™, al fine di verificarne la precisione nella misura del $PM_{2.5}$. L'applicazione dei criteri di Watson per valutarne equivalenza o comparabilità rispetto al metodo di riferimento e l'analisi dell'interferenza di fattori meteorologici mediante diagrammi polari, hanno permesso di escludere artefatti significativi legati alla direzione del vento. Successivamente, i dispositivi sono stati collocati sul territorio di Legnano, ove sono tuttora attivi. Per migliorare l'accuratezza della misura, è stato necessario testare e applicare un protocollo di correzione del dato a posteriori con un fattore di correzione (CF) dinamico giornaliero, ritenuto ad oggi la soluzione migliore rispetto all'applicazione di fattori su una base temporale più estesa.

Risultati e Discussione

Il presente studio analizza un dataset relativo a una finestra temporale di 13 mesi, compresa tra il 1° ottobre 2024 e il 31 ottobre 2025. Per validare il dato, un sensore è stato mantenuto in co-locazione permanente con un campionatore gravimetrico di riferimento (Digitel DPA-14), a sua volta verificato tramite confronto con la stazione ARPA di Saronno ($R^2 > 0.95$). L'analisi dei dati ha fatto emergere alcune potenziali criticità. Anzitutto, si conferma come l'umidità relativa sia un importante interferente nella misura, anche in questi fotometri basati sul principio del light scattering. Ad alti livelli di umidità relativa, le particelle aerodisperse sono soggette a fenomeni di crescita igroscopica che portano a una sovrastima del $PM_{2.5}$. I risultati ottenuti hanno svelato una città ben diversa da quella descritta dalle tradizionali medie giornaliere, evidenziando concentrazioni tutt'altro che omogenee e segnate da gradienti spazio-temporali talora rilevanti. La rete ha permesso di identificare e distinguere andamenti temporali short-term caratteristici di alcuni microambienti urbani: i siti di traffico mostrano un fondo costante ritmato dai picchi dovuti ai pendolari, mentre le zone residenziali seguono una dinamica propria, dove

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

le concentrazioni massime si registrano la sera. Tale evidenza può essere interpretata come un effetto combinato di variazioni dell'altezza dello strato di rimescolamento atmosferico (PBL) e dei tassi di emissione dovuti all'accensione dei riscaldamenti, che confermano il particolato primario (e.g. combustione di biomassa legnosa) e secondario (e.g. nucleazione di particelle di sali da reazioni acido-base da precursori gassosi) come sorgenti chiave dell'inquinamento invernale da $PM_{2.5}$ su scala locale.

Conclusioni

Questo lavoro dimostra che le reti di sensori low-cost, se supportate da rigorosi protocolli di calibrazione, diventano preziosi strumenti informativi, permettendo di mappare fenomeni locali non rilevabili dalle centraline classiche e offrendo alle amministrazioni l'opportunità di pianificare interventi mirati, rendendo il monitoraggio ambientale ancor più uno strumento attivo di tutela della salute.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Elevated hydrogen sulfide concentrations in the production of fertilizers for commercial mushroom farms in Pennsylvania, USA

Concentrazioni elevate di solfuro di idrogeno durante la produzione di fertilizzanti per la coltivazione commerciale di funghi in Pennsylvania, USA

Keywords: Solfuro di Idrogeno, Coltivazione, Fertilizzanti, Outdoor Air Quality

Lorenzo Cena[1], Laurel Gaston[1], Tristan Washington[1], Daniel Engelbrecht[1], Daniel Farcas[2]

[1] *Department of Public Health Sciences, West Chester University, West Chester, PA, USA*
[2] *Hydro-Environmental Technologies, Inc. Acton, MA, USA*

Corresponding author: Lorenzo Cena, *lcena@wcupa.edu*

Introduction

Chester County, Pennsylvania contains the largest concentration of mushroom farms in the United States and produces more than half of all fresh mushrooms sold domestically. During the 2022–2023 growing season the industry generated approximately $1.0 billion in market value [Gorgo-Simcox, 2024]. Mushroom cultivation requires a nutrient-rich substrate produced locally through composting processes [Ab Rhaman et al., 2022; CoAS, 2008]. Substrate production in Chester County occurs in close proximity to residential areas, with distances between compost piles, substrate facilities, and homes sometimes as little as 30 m.

Mushroom substrate production typically begins with composting straw, horse and chicken manure, calcium sulfate, and ground corn cobs [Beyer, 2023]. Residents living near these operations have reported concerns for decades regarding strong odors, respiratory irritation, potential health impacts, and accelerated corrosion of metal equipment on their properties. Limited research has evaluated the sources of these issues.

Hydrogen sulfide (H_2S) is a known byproduct of organic decomposition and composting processes and is a recognized toxic gas [CoAS, 2008; ATSDR, 2016]. Velusami et al. [2013] reported that H_2S emissions from compost and spent mushroom substrate vary with moisture, temperature, airflow, and disturbance of piles. Under certain conditions, concentrations may exceed 2000 ppm, which can cause immediate fatality if inhaled [OSHA, 2026]. Regulatory limits vary widely. The Pennsylvania Department of Environmental Protection (DEP) sets an ambient air standard of 0.1 ppm averaged over one hour [DEP, 2026], while the OSHA permissible exposure limit (PEL) for workers is 20 ppm. The goal of this study was to evaluate ambient H_2S concentrations near mushroom farming operations and assess potential exposure risks for workers and nearby residents.

Materials and Methods

Seven area monitors (G7-EXO, Blackline Safety, Calgary, Canada) were deployed 30–200 m from suspected emission sources associated with substrate production and composting operations. Monitors operated from April 2025 through April 2026 to measure ambient hydrogen sulfide concentrations. Devices were calibrated according to manufacturer specifications and recorded H_2S within a detection range of 0.5–500 ppm. Measurements were logged at 10-second intervals. Data were analyzed to calculate descriptive statistics and time-weighted averages and compared with federal and state air quality standards.

Results and Discussion

Measured H_2S concentrations showed elevated and irregular patterns during the monitoring period. The maximum recorded concentration was 37 ppm. Hourly averages frequently exceeded the DEP ambient air quality standard of 0.1 ppm, and several measurements surpassed the OSHA PEL of 20 ppm. Elevated concentrations occurred most often between midnight and 8:00 AM.

Ambient gas levels were influenced by environmental factors such as temperature, atmospheric pressure, wind direction, and seasonal conditions. Higher peak concentrations were observed during spring and fall. Study limitations prevented placement of monitors closer than 30 m from suspected sources; therefore, workers operating directly near compost piles and drainage lagoons may experience higher exposures than those measured. Worker proximity to fermenting compost and wastewater lagoons likely increases exposure risk.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

During the monitoring period, corrosion and failure of nearby metal and electrical equipment were also observed. This damage is suspected to result from atmospheric reactions between H_2S, moisture, and oxygen that produced sulfuric acid. Although this study did not directly link reported resident symptoms with measured exposure levels, the complaints are consistent with known effects of H_2S and support the need for further health-focused research.

Conclusions

The continued growth of the mushroom industry, combined with the close proximity of residential areas to substrate production sites, warrants further evaluation in land-use planning and environmental health studies. Health effects of H_2S exposure have primarily been examined through animal models and short-term human studies.

The findings of this study highlight the need to investigate potential health impacts associated with repeated or irregular community-level exposures over long periods. Future research should also focus on identifying specific emission sources within substrate production and composting processes so that effective mitigation strategies can be implemented.

References

Ab Rhaman, S. M. S., Naher, L., & Siddiquee, S., 2022. Mushroom quality related with various substrates' bioaccumulation and translocation of heavy metals. Journal of Fungi, 8(1), 42.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2016, November). Toxicological profiles for hydrogen sulfide and carbonyl sulfide. https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp114.pdf (Accessed March 2026).

Beyer, David. (2023, March 6). Spent Mushroom Substrate. https://extension.psu.edu/spent-mushroom-substrate (Accessed March 2026).

College of Agricultural Sciences (CoAS). (2008). Mushroom Substrate Preparation Odor-Management Plan. https://www.americanmushroom.org/clientuploads/Enviro%20Management/MshrmSubstr.pdf (Accessed March 2026).

Gorgo-Simcox, M. (2024, August 23). Pennsylvania Mushroom Farmers Lead U.S. in Mushroom Production. https://extension.psu.edu/pennsylvania-mushroom-farmers-lead-u-s-in-mushroom-production (Accessed March 2026).

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2026). Hydrogen Sulfide. https://www.osha.gov/hydrogen-sulfide/hazards (Accessed March 2026).

Pennsylvania Department of Environmental Protection (DEP). (2026). Ambient Standards. https://www.dep.pa.gov/Business/Air/BAQ/PollutantTopics/Pages/Ambient-Standards.aspx (Accessed March 2026.

Velusami, B., Curran, T. P., & Grogan, H. M., 2013. Hydrogen sulfide gas emissions during disturbance and removal of stored spent mushroom compost. Journal of agricultural safety and health, 19(4), 261–275.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Caratterizzazione dell'esposoma urbano di lavoratori della città di Pavia nell'ambito del progetto IDEA (Impatto Dell'ambientE urbano sull'età biologicA)

Characterization of the urban exposome of workers in the city of Pavia within the framework of the IDEA project (Impact of the urban environment on biological age)

Keywords: personal exposure, air pollutants, benzene, nitrogen dioxide,

Paolo Sacco[1], Roberta Pernetti[2], Francesca Sellaro[2], Enrico Oddone[2,3], Laura Zaratin[4], Franco Quaglio[4], Marco Pattaro[4], Elena Grignani[4]

[1] *Chimico, già ICS Maugeri, Centro Ricerche Ambientali*
[2] *Dipartimento di Sanità Pubblica, Medicina Sperimentale e Forense, Università degli Studi di Pavia, Pavia*
[3] *ICS Maugeri IRCCS, Unità Operativa Ospedaliera di Medicina del Lavoro, Pavia*
[4] *ICS Maugeri, Centro Ricerche Ambientali*

Corresponding author: Paolo Sacco, *paolo.sacco@icsmaugeri.it*

Introduzione

L'obiettivo del progetto IDEA è la valutazione dell'impatto dell'esposoma urbano [Vrijheid 2014] sulla salute umana, effettuata su 150 lavoratori, suddivisi in "esposti" (che lavorano prevalentemente all'aperto) e "non esposti". È stato studiato l'effetto della qualità dell'aria [Choudhary and Tarlo 2014] e dello stress lavorativo sulle citochine infiammatorie e sul profilo di metilazione del DNA [Mongelli et al. 2023].

Il progetto, finanziato dal PNRR nell'ambito del Programma di ricerca del Centro Nazionale della Biodiversità, è iniziato in novembre 2024 e si è concluso, per la parte sperimentale, in novembre 2025. Sono qui presentati i risultati delle misure di qualità dell'aria (benzene, biossido di azoto, biossido di zolfo) effettuate nella città di Pavia nel periodo indicato.

Materiali e Metodi

L'esposizione personale è stata rilevata mediante campionatori diffusivi Radiello, muniti di cartucce a carbone grafitizzato per benzene e altri composti organici volatili (COV), di cartucce in polietilene impregnato di trietanolammina per biossido di zolfo e biossido di azoto.

Il benzene e altri COV sono stati determinati mediante gascromatografia-spettrometria di massa; il biossido di azoto ed il biossido di zolfo sono stati determinati mediante cromatografia ionica.

I campionamenti, della durata di circa cinque giorni, sono stati effettuati in autonomia dai partecipanti, dopo opportuna formazione.

Risultati e Discussione

Il progetto ha riguardato in totale 151 lavoratori, sottoposti a visita anamnestica preliminare, monitoraggio di biomarcatori di infiammazione, parametri metabolici e indicatori di età biologica. Fra questi, 100 soggetti sono stati sottoposti a monitoraggio personale della qualità dell'aria (benzene, COV, biossido di azoto e biossido di zolfo): 29 soggetti fanno parte del gruppo degli esposti (polizia locale, polizia di stato, tassisti), mentre gli altri 71 soggetti fanno parte del gruppo di controllo (lavoratori d'ufficio).

I risultati delle misure sono riassunti nelle due tabelle seguenti.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Tabella I. Statistica descrittiva dell'esposizione media settimanale dei soggetti esposti.

Sostanza	Benzene (µg/m³)	Biossido di azoto (µg/m³)	Biossido di zolfo (µg/m³)
n	24	29	29
Media	2,7	24,3	1,2
Deviazione standard	2,7	9,6	0,2
Mediana	2,4	21,7	1,1
Minimo	0,3	5,7	1,0
Massimo	14,0	46,3	2,2
95° percentile	4,5	38,0	1,5

Tabella II. Statistica descrittiva dell'esposizione media settimanale dei soggetti non esposti.

Sostanza	Benzene (µg/m³)	Biossido di azoto (µg/m³)	Biossido di zolfo (µg/m³)
n	67	71	71
Media	1,6	23,1	1,2
Deviazione standard	1,4	7,2	0,1
Mediana	1,4	23,1	1,2
Minimo	< 0,3	8,4	0,7
Massimo	9,2	39,2	1,5
95° percentile	3,1	34,8	1,4

Il test ANOVA ad un fattore mostra che i valori di esposizione media a benzene del gruppo degli esposti sono significativamente superiori a quelli del gruppo di controllo (p = 0,01), mentre non risultano differenze significative fra i due gruppi né per il biossido di azoto né per il biossido di zolfo (p = 0,47 e 0,99 rispettivamente).

I valori di esposizione media settimanale sono inferiori, almeno nel 95% dei casi, agli attuali valori limite (come media annua) per la qualità dell'aria (D.Lgs. 155/2010). Nella maggior parte dei casi, i valori del biossido di azoto superano i valori limite che entreranno in vigore dal 1° gennaio 2030, a seguito del recepimento della Direttiva UE 2024/2881.

I valori medi di esposizione a benzene sono sensibilmente superiori ai valori di concentrazione misurati dalla stazione automatica di rilevamento della qualità dell'aria in un sito di background a Pavia, mediati sugli stessi periodi di campionamento, come illustrato dalla figura.

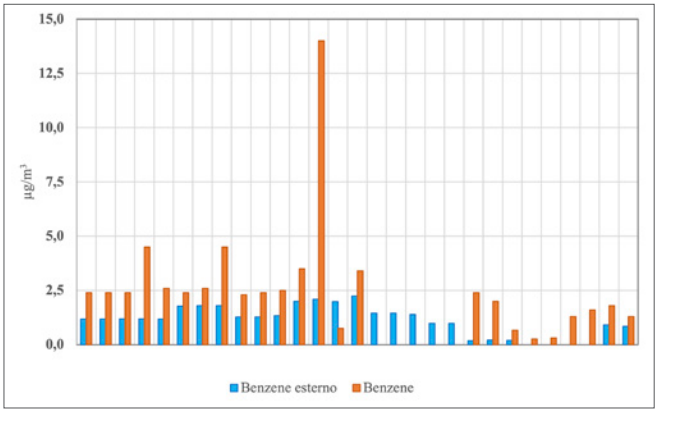


Figura 1. Esposizione media settimanale a benzene dei soggetti esposti a confronto con i valori medi di concentrazione in un sito di background, rilevati negli stessi periodi di campionamento.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Conclusioni

I valori di esposizione dei lavoratori della città di Pavia, misurati nell'ambito del progetto IDEA, rispettano, nella gran parte dei casi, gli attuali valori limite per la qualità dell'aria, ma non soddisfano completamente i valori limite fissati dalla direttiva europea 2024/2881, che entreranno in vigore il 1° gennaio 2030, in particolare per il biossido di azoto.

I piani di miglioramento della qualità dell'aria urbana dovrebbero tener conto del fatto che i valori di esposizione media al benzene sono significativamente superiori alle concentrazioni medie rilevate dalla stazione di background di rilevamento della qualità dell'aria. I valori di esposizione a benzene hanno mostrato un incremento significativo nei soggetti esposti rispetto al gruppo di controllo, mentre non vi sono differenze significative per il biossido di azoto, né per il biossido di zolfo.

Bibliografia

Vrijheid M. 2014. The exposome: a new paradigm to study the impact of environment on health. Thorax 69(9):876-878

Choudhary C., Tarlo S.M. 2014. Airway effects of traffic-related air pollution on outdoor workers. Current opinion in allergy and clinical immunology 14(2):106-112.

Mongelli A., Panunzi S., Nesta M., Gottardi Zamperla M., Atlante S., Barbi V., Mongiardini V., Ferraro F., De Martino S., Cis L., Re A., Maltese S., Bachetti T., La Rovere M.T., Martelli F., Pesce M., Nanni S., Massetti M., Pontecorvi A., Farsetti A., Gaetano C. 2023. Distinguishable DNA methylation defines a cardiac-specific epigenetic clock. Clinical epigenetics 15(1):53.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

LA CULTURA DELLA PREVENZIONE
42° Congresso nazionale
di igiene industriale e ambientale

Italian Journal of Occupational
and Environmental Hygiene

Sessione 11

Fattori di rischio chimico

Esposizione professionale a xileni in ambito sanitario: esperienze di monitoraggio ambientale e biologico

Occupational exposure to xylene in healthcare settings: experiences in environmental and biological monitoring

Keywords: Biomarkers, COV, Industrial hygiene, Occupational risk, Pathological anatomy.

Fabiola Salamon[1,2], Andrea Martinelli[1], Giulio Abatangelo[1], Mariella Carrieri[1,2]

[1] *Dipartimento di Scienze Cardio-Toraco-Vascolari e Sanità Pubblica, Università degli Studi di Padova, Padova*
[2] *UOC Medicina del Lavoro, Azienda Ospedale-Università Padova, Padova*

Corresponding author: Fabiola Salamon, *fabiola.salamon@unipd.it*

Introduzione

Lo xilene è un idrocarburo aromatico utilizzato nei laboratori di anatomia patologica per la preparazione e la colorazione dei campioni istologici. Le concentrazioni di lavoro risultano generalmente inferiori al limite italiano di 221 mg/m^3 [Fustinoni et al., 2021]. L'ACGIH adotta un valore limite più restrittivo di 87 mg/m^3 [ACGIH, 2026]. La sostanza è lipofila, rapidamente assorbita attraverso tutte le vie di esposizione, il cui odore viene percepito tra gli 0,347 e 16 mg/m^3 in relazione agli isomeri ed alla sensibilità individuale [ATSDR, 2007]. L'esposizione può causare irritazione oculare e respiratoria, effetti emotossici e sul sistema nervoso centrale. L'ACGIH raccomanda il monitoraggio biologico mediante dosaggio dell'acido metilippurico totale urinario di fine turno, adottando un BEI di 0,3 g/g di creatinina dal 2023, considerando la co-esposizione a etilbenzene e il possibile assorbimento cutaneo. Lo studio analizza i livelli di esposizione del personale delle UOC di Anatomia Patologica nel periodo 2023–2025 mediante tecniche di monitoraggio ambientale e biologico.

Materiali e Metodi

Il monitoraggio ambientale è stato effettuato mediante campionatori passivi Radiello®, posizionati in prossimità delle vie respiratorie degli operatori (n = 26). Sono stati inoltre eseguiti campionamenti di area, collocando i campionatori su appositi cavalletti a circa 1,60 m dal piano di calpestio (n = 15). La determinazione dei livelli di xilene aerodisperso è stata effettuata in GC-FID, previo desorbimento delle cartucce Radiello® con solfuro di carbonio. Per il monitoraggio biologico sono stati analizzati 137 campioni urinari di fine turno per la determinazione del metabolita in HPLC-DAD. I risultati sono stati confrontati con i limiti di esposizione professionale e i valori di riferimento, sia nazionali che internazionali.

Risultati e Discussione

I livelli di xilene aerodisperso sono risultati ampiamente contenuti (media: 2,59 mg/m^3; range: 0,13÷9,56 mg/m^3) e, inferiori sia al VLEP italiano, sia al limite ACGIH. Il valore massimo di 9,56 mg/m^3 (superiore a un decimo del valore limite ACGIH) è stato riscontrato nel campione relativo a un addetto ai coloritori. Valori sovrapponibili sono stati rilevati anche nei campionamenti in posizione fissa (media: 2,30 mg/m^3; range: 0,04÷8,42 mg/m^3). Durante le giornate di monitoraggio sono stati evidenziati alcuni comportamenti non adeguati, come l'uso improprio delle cappe di aspirazione e la presenza di recipienti contenenti il solvente lasciati aperti, che possono determinare disagio olfattivo per gli operatori, pur in assenza di superamenti dei limiti di esposizione professionale. Il monitoraggio ambientale ha inoltre consentito di misurare i livelli di etilbenzene, risultati significativamente correlati a quelli dello xilene e pari a circa il 20% ($y = 0{,}207x + 0{,}039$; $r = 0{,}98$; $p < 0{,}0001$). La bassa esposizione è stata confermata dai dati di monitoraggio biologico: i livelli urinari di acido metilippurico sono risultati compresi tra <0,010 e 0,116 g/g di creatinina (media: 0,015 g/g di creatinina), inferiori al BEI ACGIH. I livelli urinari del metabolita (media 14 mg/L; range <10÷66 mg/L) sono in linea con i valori di riferimento proposti dalla SIVR per la popolazione non professionalmente esposta (range: <LoQ÷84,9 mg/L).

Conclusioni

I risultati dello studio evidenziano livelli di esposizione a xilene nel personale delle UOC di Anatomia Patologica ampiamente inferiori ai limiti di esposizione professio-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

nale, sia nazionali che internazionali, confermando un quadro di rischio contenuto. Anche i dati di monitoraggio biologico risultano coerenti con una bassa esposizione complessiva. Tuttavia, la presenza di picchi di esposizione, seppur limitati, e il superamento della soglia olfattiva richiedono attenzione alle condizioni operative. Le criticità comportamentali osservate evidenziano la necessità di migliorare le pratiche lavorative tramite formazione e rispetto delle procedure. L'integrazione di monitoraggio ambientale e biologico con interventi mirati di sensibilizzazione rappresenta la strategia ottimale per garantire un controllo efficace dell'esposizione anche a livelli molto bassi.

Bibliografia

ACGIH. Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs). Cincinnati, OH, 2026.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Xylene. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, 2007.

Fustinoni, S., Campo, L., Spinazzè, A., Cribiù, F.M., Chiappa, L., Sapino, A., Mercadante, R., Olgiati, L., Boniardi, L., Cavallo, D.M, Riboldi, L., Ferrero, S., Boggio, F., 2021. Exposure and management of the health risk for the use of formaldehyde and xylene in a large pathology laboratory. Ann. Work Expo. Health., 65(7): 805-818.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Esposizione ad acido peracetico in ambito ospedaliero: dalle metodiche di campionamento alle misure di contenimento del rischio

Exposure to peracetic acid in hospital settings: from sampling methods to risk mitigation measures

Keywords: Peracetic Acid, Occupational Hygiene, Active Sampling, Chemical Risk, Prevention

Maria Lorena Fiorentino[1], Gloria Conte[1], Marco Pattaro[2], Elena Grignani[1,2]

[1] *Centro Ricerche Ambientali, Istituti Clinici Scientifici Maugeri Spa Società Benefit, Pavia (PV)*
[2] *Centro Ricerche Ambientali, Istituti Clinici Scientifici Maugeri Spa Società Benefit, Vigonza (PD)*

Corresponding author: Gloria Conte, *contegloria02@gmail.com*

Introduzione

L'acido peracetico (PAA) è attualmente il principale agente sterilizzante a freddo in ambito ospedaliero, sostituendo di fatto composti a maggiore tossicità cronica come la glutaraldeide.
Le caratteristiche chimico-fisiche dell'acido peracetico (elevata reattività, instabilità e volatilità) e il suo profilo tossicologico (potere fortemente irritante per le vie respiratorie, azione corrosiva su occhi, mucose e cute) [Burns et al. 2025] impongono una particolare attenzione nella gestione del rischio residuo sia nelle procedure operative per il personale delle unità di endoscopia e sterilizzazione, sia nella fase di monitoraggio e valutazione analitica.

In Italia, il D.Lgs. 81/2008 e s.m.i. non riporta un valore limite di esposizione professionale (VLEP) specifico per l'acido peracetico ma obbliga il datore di lavoro a valutare i rischi derivanti da agenti chimici pericolosi e ad attuare le relative misure di prevenzione, indipendentemente dalla presenza di un limite normativo nazionale. In questo caso occorre fare riferimento ai valori stabiliti da organismi scientifici internazionali o europei. Tra questi, l'ACGIH (2026) definisce per l'acido peracetico un valore limite di breve durata (TLV-STEL) di 0,4 ppm (1,24 mg/m^3), riferito a un'esposizione media ponderata su un periodo di 15 minuti. Il DFG (2025) invece definisce un limite MAK riferito alle 8 ore lavorative TLV-TWA di 0,1 ppm (0,316 mg/m^3).

Materiali e Metodi

La valutazione preliminare del rischio da esposizione a PAA è stata effettuata tramite il Modello delle Congruenze Organizzative (MCO) che analizza nel dettaglio le fasi e le attività elementari del processo lavorativo e della sua organizzazione, consentendo l'individuazione di eventuali criticità. Tale modello permette, inoltre, di acquisire le informazioni necessarie per proporre scelte organizzative alternative volte per una maggiore congruenza del processo in termini di efficienza e efficacia, finalizzata al massimo contenimento dei rischi e alla promozione del benessere dei lavoratori coinvolti.
Per il monitoraggio ambientale e personale di acido peracetico, a seguito di una revisione della letteratura, sono stati messi a confronto i metodi analitici disponibili [Dugheri et al.2018], valutandone limiti e criticità. Tra questi il più accurato è quello proposto da Hecht et al. [2004]. Il metodo consente la separazione selettiva dell'analita dal perossido di idrogeno, in quanto utilizza un prefiltro al titanio ossisolfato posto in serie alla fiala di gel di silice alcalinizzato impregnato con metil-p-tolil solfossido (MTSO).

Risultati e Discussione

L'analisi del processo (MCO) ha evidenziato che le fasi di maggior rischio sono quelle di travaso e preparazione delle soluzioni disinfettanti, spesso caratterizzate da procedure manuali poco congrue, che espongono il personale, e soggette a variabilità. Sono stati identificati interventi di revisione del processo per il contenimento del rischio espositivo intervenendo anche su aspetti strutturali dell'ambiente in cui si svolgono le attività.
Le concentrazioni di acido peracetico (PAA) rilevate durante le attività ordinarie sono risultate sempre inferiori ai limiti di esposizione raccomandati (STEL di 1,24 mg/m^3). Sono stati registrati valori superiori a 1/10 del limite

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

esclusivamente durante la preparazione della soluzione disinfettante. L'impiego del prefiltro al titanio ossisolfato ha confermato l'assenza di interferenze da perossido di idrogeno, garantendo una misura accurata della sola frazione di PAA aerodisperso.

Conclusioni

L'integrazione del modello MCO con il monitoraggio analitico ha permesso di confermare che il rischio chimico è strettamente correlato a specifiche criticità organizzative e procedurali. Il contenimento del rischio è stato ottenuto non solo tramite DPI, ma soprattutto attraverso la riprogettazione delle fasi di lavoro più critiche.

Bibliografia

Burns ES, Olgun NS, Friend SA, McKinney WG, Sinsel EW, Reynolds JS, et al. Peracetic acid effects on human bronchial cells in an air liquid interface. PLoS One. 2025;20(5).

Dugheri S, Bonari A, Pompilio I, Colpo M, Montalti M, Mucci N, Arcangeli G. Assessment of occupational exposure to gaseous peracetic acid. Int J Occup Med Environ Health. 2018 Jul 4;31(4):527-535.

Hecht G, Héry M, Hubert G, Subra I. Simultaneous sampling of peroxyacetic acid and hydrogen peroxide in workplace atmospheres. Ann Occup Hyg. 2004 Nov;48(8):715-21.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Nanoparticelle a base di cromo e nichel e salute occupazionale: analisi dei meccanismi di danno cellulare in modelli di epitelio respiratorio

Chromium- and Nickel-Based Nanoparticles in Occupational Health: Analysis of Cellular Damage Mechanisms in Respiratory Epithelial Models

Keywords: Nanotossicologia, Tossicologia in vitro, Citotossicità, Esposizione professionale

Diana Poli[1], Silvana Pinelli[2], Gloria Cencia[3,4], Veronica Saponara[2], Benedetta Ghezzi[2], Chiara Maccari[2,5], Francesca Rossi[3], Roberta Andreoli[2,5], Paola Mozzoni[2,5]

[1] *Dipartimento di Medicina Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone (Roma)*
[2] *Dipartimento di Medicina e Chirurgia, Università degli Studi di Parma, Parma*
[3] *Istituto dei Materiali per l'Elettronica ed il Magnetismo, CNR, Parma, Italia*
[4] *Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale, Università degli Studi di Parma, Parma*
[5] *CERT, Centro di eccellenza per la ricerca tossicologica, Università di Parma, Parma, Italia*

Corresponding author: Silvana Pinelli, *s.pinelli@unipr.it*

Introduzione

L'impiego crescente di nanoparticelle metalliche nei processi industriali, nelle lavorazioni meccaniche, nella saldatura e nella produzione di leghe metalliche comporta un potenziale aumento dell'esposizione professionale dei lavoratori [Schulte, 2008]. Le vie respiratorie rappresentano una delle principali modalità di assorbimento, rendendo l'epitelio polmonare un bersaglio critico [Schulte, 2008]. Tuttavia, i meccanismi molecolari e cellulari alla base degli effetti avversi indotti da nanoparticelle metalliche risultano ancora parzialmente chiari, con importanti ricadute per la valutazione del rischio occupazionale [Zhang, 2022]. Obiettivo del lavoro è stato valutare in vitro gli effetti citotossici di nanoparticelle di cromo (Cr), nichel (Ni), nichel-cromo (Ni/Cr) e nichel-ferro (Ni/Fe) su cellule di adenocarcinoma polmonare umano A549, utilizzate come modello dell'epitelio respiratorio.

Materiali e Metodi

Le nanoparticelle sono state caratterizzate in termini di forma, diametro medio, area di superficie specifica e potenziale zeta in diversi mezzi di dispersione. L'internalizzazione cellulare è stata valutata mediante citofluorimetria. Gli endpoint biologici analizzati hanno incluso vitalità cellulare, alterazioni morfologiche, ciclo cellulare, apoptosi, stress ossidativo e risposta infiammatoria.

Risultati e Discussione

Le nanoparticelle testate hanno mostrato un comportamento colloidale fortemente dipendente dalla composizione e dal mezzo di dispersione, con fenomeni di aggregazione particolarmente evidenti per le nanoparticelle di Ni. Tutte le formulazioni sono state internalizzate dalle cellule A549, inducendo una riduzione dose dipendente della vitalità cellulare, più marcata per le nanoparticelle contenenti Ni, in particolare Ni/Cr. L'esposizione ha determinato alterazioni morfologiche e del ciclo cellulare, con arresto del ciclo cellulare in fase G2/M, aumento della granularità intracellulare e attivazione di meccanismi di stress ossidativo e risposta infiammatoria, evidenziati dall'aumento dell'espressione di emeossigenasi-1 (HO-1) e dal rilascio di interleuchina-8 (IL-8), più marcate in seguito al trattamento con nanoparticelle a base di Ni. Le differenze osservate tra le diverse formulazioni confermano come la risposta cellulare non dipenda esclusivamente dalla dose, ma sia fortemente influenzata anche dalle caratteristiche fisicochimiche e dal comportamento colloidale delle nanoparticelle nei mezzi biologici. In particolare, l'elevata aggregazione e l'efficiente internalizzazione delle nanoparticelle contenenti nichel potrebbero contribuire all'accentuazione degli effetti citotossici e allo squilibrio redox osservato, con conseguente alterazione del ciclo cellulare e attivazione di segnali proinfiammatori [Mo et al., 2024].

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Conclusioni

I risultati dimostrano che le nanoparticelle metalliche selezionate, potenzialmente presenti in molteplici ambienti di lavoro, sono in grado di indurre effetti citotossici, pro-apoptotici, ossidativi e infiammatori nelle cellule polmonari anche a basse concentrazioni. Le differenze riscontrate tra le diverse formulazioni suggeriscono inoltre che, ai fini della valutazione del rischio per la salute dei lavoratori esposti, sia opportuno considerare non solo la loro composizione chimica, ma anche le loro caratteristiche chimicofisiche, in quanto potenzialmente in grado di influenzare l'interazione con le cellule e l'intensità degli effetti osservati.

Nel complesso, questi risultati rafforzano la rilevanza delle nanoparticelle ingegnerizzate come fattore di rischio emergente per la salute occupazionale e ne supportano l'inclusione nei processi di valutazione e prevenzione del rischio occupazionale.

Bibliografia

Mo Y., Zhang Y., Zhang Q., 2024. The pulmonary effects of nickelcontaining nanoparticles: cytotoxicity, genotoxicity, carcinogenicity, and underlying mechanisms. Environ. Sci.: Nano, 11(5).

Schulte P.A., Geraci, C., Zumwalde, R., Hoover, M., Kuempel, E., 2008. Occupational risk management of engineered nanoparticles. J. Nanopart. Res., 5(4), 239-249.

Zhang N., Xiong G., Liu Z., 2022. Toxicity of metalbased nanoparticles: Challenges in the nano era. Front Bioeng Biotechnol,10.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

REACH e nanoforme: tra requisiti normativi, stato delle registrazioni e nuove sfide metodologiche per la valutazione della sicurezza

REACH and nanoforms: regulatory requirements, registration status and new methodological challenges for safety assessment

Keywords: REACH 1907/2006, Risk assessment, Advanced material safety, Nanoform and nanoparticles, Nano-specific requirements

Lorenzo Bazzi[1], Fabiola Longo[1], Gianluca Stocco[1]

[1] *Normachem S.r.l., Fontaniva (PD)*

Corresponding author: Lorenzo Bazzi, *l.bazzi@normachem.it*

Abstract

Con l'entrata in vigore del Reg. (UE) 2018/1881, a modifica del Reg. REACH, sono stati introdotti requisiti specifici per la registrazione di nanoforme, prevedendo la necessità di un approccio specifico rispetto alle sostanze chimiche convenzionali. Dopo alcuni anni dall'entrata in vigore emergono diverse criticità, tra cui scarsità e bassa qualità dei dati nei dossier di registrazione, carenze nella caratterizzazione delle nanoforme, nonché limitata disponibilità di metodologie e linee guida adeguate. Alcune criticità portano ad un rallentamento nella conoscenza globale delle nanoforme, ma risultano dare spinta a nuove opportunità di regolamentazione ed approfondimento. Su questa strada vi sono la revisione del Reg. REACH con ulteriori specifiche per le nanoforme, iniziative per nano-leghe, materiali multi-componente, fibre critiche. Tra le sfide emergono inoltre l'armonizzazione delle metodologie sperimentali, lo sviluppo di New Approach Methodologies (NAMs) e l'identificazione di Adverse Outcome Pathway. Nonostante le difficoltà dovute alla complessità insita nell'affrontare l'ampio spetto di nanoforme possibili, la spinta regolatoria può essere motore ed opportunità per aumentare e migliorare le conoscenze dei nanomateriali e per imparare a gestirli correttamente.

Introduzione

I nanomateriali sono utilizzati da molto tempo, tuttavia, il loro numero e le loro applicazioni sono aumentati notevolmente negli ultimi decenni dato il grande potenziale tecnologico. Esempi di sostanze in nanoforma presenti nella vita quotidiana includono nanoTiO_2 e nanoZnO impiegati come filtri UV in alcuni prodotti cosmetici (es. creme solari), silice amorfa sintetica (SAS) utilizzata come antiagglomerante in polveri e formulazioni industriali, nanoargento impiegato per proprietà antimicrobiche in alcuni materiali e rivestimenti, e nanocarbonio in compositi e materiali avanzati.

Le nanoforme sono quindi sempre più presenti lungo l'intero ciclo di vita di prodotti e materiali, ciò ha portato ad un progressivo affinamento dei requisiti regolatori, come la pubblicazione del Regolamento (UE) 2018/1881, che ha trasformato il trattamento implicito dei nanomateriali in un approccio esplicito e mirato, definendo obblighi specifici per la loro registrazione ai sensi del Reg. (CE) 1907/2006 REACH. Scopo del presente approfondimento è quello di analizzare lo stato dell'arte dall'entrata in vigore dei requisiti regolatori specifici per i nanomateriali.

Requisiti di informazione nano-specifici

Il Reg. REACH definisce la nanoforma come una forma di una sostanza con almeno il 50% di particelle con dimensione o distribuzione dimensionale tra 1 e 100 nm e stabilisce l'obbligo di fornire, per ciascuna forma, dati su distribuzione dimensionale numerica, forma, area superficiale specifica e funzionalizzazione/trattamento superficiale. Sono inoltre richieste informazioni specifiche riguardo i dati (eco)tossicologici previsti per fascia di tonnellaggio. Tra i requisiti minimi, sono introdotti polverosità e tasso di dissoluzione in vari mezzi, oltre a dati fisico-chimici supplementari. Ciò è necessario perché la tossicità dei nanomateriali non dipende solo dalla chimica molecolare: le proprietà fisico-chimiche agiscono come determinanti del pericolo e nanoforme diverse del-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

la stessa sostanza possono presentare profili tossicologici differenti.
In ottica REACH, è inoltre opportuno chiarire che la gestione delle nanoforme non riguarda esclusivamente quelle immesse sul mercato dal fabbricante/importatore: qualora un utilizzatore a valle (DU), attraverso lavorazioni o processi (es. macinazione ulteriore, abrasione, dispersione ad alta energia), generi una nanoforma della sostanza e ne determini l'immissione sul mercato o un uso, vanno valutate alcune azioni: sebbene non sarà richiesta una nuova registrazione (i DU non hanno obblighi di registrazione), sarà necessario verificare che la propria sostanza sia coperta da registrazione effettuata a monte. In caso contrario, sarà necessario chiedere al fornitore di coprire la propria nanoforma; qualora a monte dovesse essere negata questa possibilità, il DU dovrà dimostrare la sicurezza del proprio uso tramite un CSR-DU.

Stato dell'arte delle registrazioni per nanoforme

Nel periodo 2019–2025 l'attuazione dei requisiti nanospecifici del Reg. REACH ha determinato un incremento moderato delle registrazioni di sostanze in nanoforma. La revisione delle autorità federali tedesche [Baua, 2025] segnala, per il 2019–2024, 176 sostanze con informazioni nanospecifiche e 939 dossier correttamente inviati, a fronte di attese iniziali nell'ordine di 350 sostanze.
I dati più recenti discussi dal Nanomaterial Expert Group di ECHA [NMEG 21-22, 2025] indicano, ad ottobre 2025, 184 sostanze e 1044 registrazioni, confermando una crescita limitata ma stabile. L'introduzione di obblighi dedicati ha rafforzato il quadro regolatorio, consentendo dossier evaluation mirate e lo sviluppo di approcci metodologici su casi pilota (TiO_2, ZnO, MWCNT, SAS, graphene oxide), inclusi i concetti di set di nanoforme e l'impiego di New Approach Methodologies (NAMs). Permangono tuttavia criticità rilevanti: molti dossier non risultano aggiornati, la caratterizzazione delle nanoforme è spesso incompleta o non collegata ai dataset ecotossicologici e il concetto di "set di nanoforme simili" genera incertezze scientifiche e legali. Inoltre, la validazione di metodi di prova e strategie NAMsbased specifiche per nanomateriali procede lentamente, limitando la possibilità di richiedere sistematicamente dati robusti per tutti gli endpoint degli allegati VII–X REACH.
Anche spostandosi in altri frame normativi permangono le stesse criticità legate alla disponibilità/qualità dei dati su nanoforme. Ciò emerge ad esempio dai pareri del Comitato Scientifico per la Sicurezza dei Consumatori (CSSC) in ambito cosmetico: in diversi casi, il CSSC conclude che non è possibile effettuare una valutazione della sicurezza, poiché le informazioni essenziali (in particolare su caratterizzazione della nanoforma, esposizione e/o endpoint tossicologici chiave) risultano limitate o mancanti. Tali conclusioni rafforzano la necessità di dossier più solidi e comparabili, nonché di metodi e strategie di prova adeguati alle specificità dei nanomateriali.
Nel complesso, lo stato dell'arte delinea un sistema ancora in transizione, nel quale pochi casi faro sostengono la costruzione dell'evidenza mentre persistono lacune in dossier, guide e nelle metodiche di prova.

Sfide e opportunità future

Sul piano sperimentale, prosegue l'adeguamento di linee guida esistenti e produzione di nuove. Inoltre, sono in sviluppo NAMs (in silico, in vitro, in chemico) per ridurre i test su animali e gestire le numerose varianti di nanoforme possibili. Altro fronte di studio riguarda l'identificazione di Adverse Outcome Pathway, per esempio per collegare proprietà fisico-chimiche ad eventi molecolari iniziali. Sul piano regolatorio è in corso la revisione del REACH, che potrebbe vedere un rafforzamento del concetto di nanoforma.
Ulteriori sviluppi futuri potrebbero riguardare set di nanoforme simili, nanoleghe e materiali-multi-componente. Inoltre, è allo studio una restrizione di sostanze in forma di fibre critiche, il cui obiettivo è introdurre nel REACH il paradigma di fattore di tossicità indipendente dalla composizione chimica.
Per quanto riguarda la gestione dei rischi professionali sono in fase di sviluppo nuovi standard (es CEN/TC 137) per la misurazione dell'esposizione professionale e la gestione del rischio da inalazione di nano-oggetti, aggregati e agglomerati.

Conclusione

Nonostante la spinta data dalla normativa, persistono lacune significative nella qualità dei dati e nella disponibilità di metodi di prova standardizzati, che ostacolano una valutazione del rischio completa ma che offrono importanti spunti di miglioramento. La materia è complessa e sfidante ed i terreni di intervento sono diversi. L'esperienza REACH introduce il concetto di approccio specifico rispetto alle sostanze convenzionali. Risulta sempre più chiaro quanto la caratterizzazione sia il primo passo per identificare correttamente le nanoforme e come alcune proprietà fisico-chimiche risultino strettamente correlate alla potenziale pericolosità. Le maggiori conoscenze fa-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

voriscono approcci sempre più contestuali ed opportuni, volti a ridurre le incertezze circa il potenziale impatto dei nanomateriali sulla salute e sull'ambiente.

Bibliografia

BauA, F. I. (July 2025). Information requirements for substances in nanoform - Review five years after entry into force.

ECHA. (2022). Appendix for nanoforms applicable to the Guidance on Registration and Substance Identification.

ECHA. (2025). Report for the 22nd meeting of ECHA's Nanomaterials Expert Group (NMEG-22).

ECHA. (2025). Summary report of the 21st meeting of ECHA's Nanomaterials Expert Group (NMEG-21).

Regolamento REACH. (s.d.). REGOLAMENTO (CE) N. 1907/2006 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 18 dicembre 2006 concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH).

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Esposizione occupazionale a miscele di microplastiche (PE, PP, PVC): valutazione della citotossicità su fibroblasti gengivali umani mediante saggio MTT

Occupational exposure to microplastic mixtures (PE, PP, PVC): cytotoxicity assessment on human gingival fibroblasts by MTT assay

Keywords: esposizione occupazionale, citotossicità, leaching, fibroblasti gengivali, miscela polimerica

Valentina Schino[1], Roberta Piccarreta[2], Francesca Posa[3], Federica Piccolo[3], Lorenzo Sanesi[3], Giorgio Mori[3], Angela Stufano[2]

[1] *Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Sezione di Medicina del Lavoro, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari, Italia.*
[2] *Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche, Università degli Studi di Foggia, Foggia, Italia*
[3] *Dipartimento di Medicina Clinica e Sperimentale, Università di Foggia, Foggia, Italia*

Corresponding author: Valentina Schino, *schinovalentina@gmail.com*

Introduzione

L'esposizione occupazionale a microplastiche (MPs) rappresenta un rischio emergente in numerosi settori industriali, tra cui la produzione e trasformazione di materie plastiche, la gestione dei rifiuti e l'industria manifatturiera. I lavoratori di questi comparti possono essere esposti principalmente per via inalatoria e cutanea a miscele di polimeri di diversa natura chimica, tra cui polietilene (PE), polipropilene (PP) e polivinilcloruro (PVC). Sebbene la tossicità cellulare delle MPs sia stata documentata per particelle micrometriche e submicrometriche [Chwiej et al., 2025; Di Cintio et al., 2025], gli effetti biologici di particelle di dimensioni maggiori (355-500 µm), tipicamente generate nei processi di lavorazione industriale, rimangono scarsamente indagati. Appare pertanto prioritario valutare il potenziale citotossico di tali MPs sui fibroblasti gengivali umani (hGF), modello cellulare di barriera biologica suscettibile al contatto con particelle depositate nel cavo orale a seguito di esposizione inalatoria, tenendo conto anche del rilascio di additivi chimici (leaching) in condizioni di esposizione combinata a polimeri multipli.

Materiali e Metodi

Fibroblasti gengivali umani (hGF) sono stati coltivati in DMEM/F-12 supplementato con 5% FBS e 1% penicillina-streptomicina a 37 °C e 5% CO_2. Una miscela equimassica di MPs di PE, PP e PVC (355-500 µm) è stata sospesa in DMEM completo a concentrazioni crescenti (0,001; 0,01; 0,05; 0,1 g/L), con sonicazione preliminare per ridurre gli aggregati. Le cellule (2.000-5.000/pozzetto, piastra a 96 pozzetti) sono state esposte per 24 e 48 ore. La vitalità cellulare è stata valutata mediante saggio MTT (lettura a 570 nm), previa rimozione delle particelle con lavaggio PBS per eliminare interferenze ottiche. Per PE e PP, data la tendenza a galleggiare, è stata applicata una breve centrifugazione (300×g, 1 min) per garantire il contatto con il monostrato. Il disegno sperimentale prevedeva tre replicati tecnici e almeno tre esperimenti indipendenti ($n \geq 3$); i dati sono stati analizzati con ANOVA a una via e post-hoc di Tukey ($p < 0,05$).

Risultati e Discussione

È stata riscontrata una riduzione della vitalità cellulare dose- e tempo-dipendente, con effetti significativi principalmente alle concentrazioni più elevate (0,05-0,1 g/L) a 48 ore. Il meccanismo dominante è attribuibile al leaching combinato degli additivi: il PVC, che sedimenta contattando direttamente il monostrato, è il principale contributore alla tossicità chimica attraverso il rilascio di plastificanti, stabilizzanti allo zinco e antiossidanti fenolici [Gao et al., 2023]. L'effetto combinato dei tre polimeri è ipotizzato essere almeno additivo, con possibile sinergismo per la co-presenza di composti con meccanismi d'azione distinti sulla membrana cellulare e sulle vie infiammatorie. Alle dosi basse (0,001-0,01 g/L), corrispondenti a scenari occupazionali più realistici, è

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

stata riscontrata una modesta riduzione della vitalità (85-100% del controllo), che potrebbe non raggiungere la significatività statistica in questo modello di esposizione acuta.

Conclusioni

Il presente studio contribuisce a caratterizzare il potenziale citotossico di MPs di grandi dimensioni in miscela su cellule bersaglio. I risultati suggeriscono che, anche in assenza di internalizzazione diretta, l'esposizione a miscele di MPs può ridurre la vitalità cellulare attraverso meccanismi chimici mediati dal leaching. Questi dati potranno supportare la definizione di soglie di esposizione occupazionale sicura e la necessità di misure preventive nei comparti industriali a rischio.

Bibliografia

Chwiej J., Wytrwal M., Papacz K. et al., 2025. Tracing micro and nanoplastics toxicity in human pulmonary fibroblasts through integrated Raman and transcriptomic analyses. *Sci. Rep.*, 15, 39459.

Di Cintio F., Ruggieri A.G., De Simone C. et al., 2025. Polystyrene microplastics are internalized by human gingival fibroblasts, enhance cell motility and induce molecular changes revealed through proteomic analysis. *Sci. Rep.*, 15, 35128.

Gao L., Su Y., Mehmood T. et al., 2023. Microplastics leachate may play a more important role than microplastics in inhibiting microalga *Chlorella vulgaris* growth at cellular and molecular levels. *Environ. Pollut.*, 328, 121643.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Biomarcatori di dose ed effetto nell'esposizione occupazionale allo stirene: uno studio in un'azienda produttrice di serbatoi in vetroresina

Biomarkers of dose and effect in occupational exposure to styrene: a study in a fiberglass tank manufacturing company

Keywords: Mandelic acid, Phenyl glyoxylic acid, biomarkers of oxidative stress, HPLC-MS/MS

Daniela Pigini[1], Enrico Paci[1], Monica Gherardi[1], Filippo Sanjust[1], Teresa Botti[1], Luigi Cerini[1], Renata Sisto[1]

[1] *Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale, INAIL, Monteporzio Catone (RM)*

Corresponding author: Daniela Pigini, *d.pigini@inail.it*

Introduzione

Lo stirene è un idrocarburo aromatico utilizzato nell'industria chimica per la produzione di gomme, resine e materie plastiche. L'esposizione occupazionale avviene principalmente per inalazione, soprattutto nella produzione di plastica rinforzata (es. vetroresina), successivamente viene ossidato e metabolizzato in acido mandelico (MA) e acido fenilgliossilico (PGA) ed escreti nelle urine, come MA e PGA, biomarcatori di dose suggeriti dall'ACGIH per l'esposizione professionale, con un BEI di 400 mg/g di creatinina per la somma delle loro concentrazioni (MA+PGA) [ACGIH. 2020]. La IARC classifica lo stirene come possibilmente cancerogeno per l'uomo (Gruppo 2A), la cui esposizione cronica a basse dosi è associata a effetti sul SNC, danni epatici e renali e deficit sensoriali, anche in relazione a meccanismi di stress ossidativo. L'obiettivo dello studio è stato quello di valutare l'esposizione occupazionale dei lavoratori di una piccola azienda produttrice di serbatoi in vetroresina in correlazione con i biomarcatori urinari di ossidazione degli acidi nucleici e delle proteine.

Materiali e Metodi

Lo studio ha coinvolto 9 lavoratori, di una piccola azienda produttrice di grandi serbatoi in vetroresina, con esposizione non trascurabile a vapori di stirene e un gruppo di volontari sani, costituito da 15 soggetti non occupazionalmente esposti a stirene. I lavoratori hanno consegnato un campione di urina a inizio e fine turno, mentre il gruppo di volontari un campione a spot. L'analisi quantitativa degli analiti è stata effettuata in HPLC-MS/MS e i livelli di MA e PGA sono stati determinati secondo il metodo da noi pubblicato [Paci E, et al., 2013]. I biomarcatori di ossidazione al DNA, RNA e proteine, 8-oxoGua (8-oxo-7,8-diidroguanina), 8-oxoGuo (8-oxo-7,8-diidroguanosina), 8-oxodGuo (8-oxo-7,8-diidro-2'-deossiguanosina), 3-NO_2Tyr (3-nitrotyrosina), 5-MeCyt (5-metilcitidina), sono stati dosati su tutti i campioni. La creatinina è stata determinata usando un test colorimetrico con picrato alcalino in UV/Vis a 490 nm.

Risultati e Discussione

I valori medi e mediani dei livelli urinari dei metaboliti e dei biomarcatori di ossidazione espressi in µg/g creatinina sono riportati in Tabella I. I lavoratori esposti a stirene presentano valori medi di concentrazione più elevati a fine turno rispetto all'inizio turno per tutti i biomarcatori di dose, con differenze statisticamente significative per MA e per MA+PGA. La somma dei due metaboliti MA e PGA a fine turno è comunque inferiore al BEI di 400 mg/g di creatinina dell'ACGIH con una relazione tra esposizione a stirene e biomarcatori di ossidazione agli acidi nucleici. I valori medi della 8-oxoGua, prodotto di ossidazione della guanina, presente sia nel DNA che RNA, sensibile alle esposizioni croniche a basse dosi di stirene è buon indicatore di effetto i cui livelli di concentrazione a inizio e fine turno, sono superiori a quelli dei volontari con una differenza statisticamente significativa tra i valori di fine turno e i volontari. Inoltre, differenza significativa è mostrata anche per la 5-MeCyt tra il fine ed inizio turno. Nei lavoratori esposti, a fine turno, l'MA, il PGA e la loro somma correlano positivamente con 8-oxoGua e 8-oxoGuo (Tabella II).

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Tabella I. Concentrazioni urinarie in mg/g creatinina e µg/g creatinina dei biomarcatori di dose e di effetto nei gruppi.

Lavoratori esposti (n.9)								
	MA	**PGA**	**MA+PGA**	**8-oxoGua**	**8-oxoGuo**	**8-oxodGuo**	**3-NO_2TYr**	**5-MeCyt**
Inizio Turno	**mg/g creatinina**			**µg/g creatinina**				
Media (Std)	32,93* (23,04)	42,13 (30,51)	75,07** (53,12)	83,49 (70.66)	4,39 (3,70)	6,70 (4,94)	7,08 (2,16)	2,34*** (0,98)
Mediana	34,29	38,29	74,17	51,08	3,84	4,40	6,75	2,10
Fine turno								
Media (Std)	78,31* (53,51)	64,91 (44,47)	143,22** (96,07)	233,09 § (260,75)	4,06 (2,59)	6,40 (3,60)	7,52 (2,55)	4,55*** (1,94)
Mediana	72,53	61,44	133,97	178,22	3,33	5,22	7,66	4,42
Volontari (n. 15)								
Media (Std)	-------	-------	-------	55,34 § (58,45)	6,56 (2,99)	6,70 (5,30)	13,00 (4,17)	29,73 (43,93)
Mediana	-------	-------	-------	18,91	6,58	5,49	13,65	10,06

Differenze statisticamente significative: t-Test p <0,05.
Gruppo esposti: MA (FT) vs MA (IT) (p=0,02); ** MA+PGA (IT) vs MA+PGA (FT) (p=0,04),*** 5-MeCyt (FT) vs 5-MeCyt (IT) (p=0,004).*
Gruppo esposti vs Gruppo volontari: §8-oxoGua (FT) vs 8-oxoGua (p=0,04).

Tabella II: Correlazione di Pearson's tra i biomarcatori nei soggetti esposti a stirene.

FT	**8-oxoGua**	**8-oxoGuo**	**8-oxodGuo**	**3-NO_2TYr**	**5-MeCyt**	**MA**	**PGA**
8-oxoGuo	0,91						
8-oxodGuo	0,78	0,72					
3NO2TYr	-0,08	-0,25	-0,20				
5MeCyt	-0,19	-0,34	-0,19	0,55			
MA	**0,48**	**0,53**	-0,03	0,14	-0,19		
PGA	**0,50**	**0,63**	0,09	0,02	-0,19	0,92	
MA+PGA	**0,50**	**0,59**	0,02	0,08	-0,19	0,98	0,98

Conclusioni

I biomarcatori dello stress ossidativo possono essere prodotti, oltre che dal metabolismo cellulare, dall'esposizione a sostanze pericolose, a farmaci, a stili di vita con effetti sulla salute. L'esposizione ad agenti chimici può favorire processi di ossidazione che interessano il DNA, l'RNA e le proteine. Questo studio ha mostrato una relazione tra esposizione a stirene e biomarcatori di ossidazione agli acidi nucleici; i gruppi esposti a stirene risultano soggetti al danno ossidativo e mostrano valori più bassi della 5-MeCyt rispetto al gruppo non esposto. La 5-MeCyt è presente in tutte le specie di RNA e influenza la struttura e le funzioni dell' RNA stesso, i cui livelli risulterebbero più bassi nei soggetti esposti ad agenti chimici e nei malati [Guo C., et al 2018].

Bibliografia

American Conference of the Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of the of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 7 th ed, Cincinnati, OH, USA, 2020.

Guo, C., Xie, C., Chen, Q., et al., 2018. A novel malic acid-enhanced method for the analysis of 5-methyl-20 deoxycytidine, 5-hydroxymethyl-20-deoxycytidine, 5-methylcytidine and 5-hydroxymethylcytidine in human urine using hydrophilic interaction liquid chromatography-tandem mass spectrometry. Analytica Chimica Acta., 1034, 110e118. doi: 10.1016/j.aca.2018.06.081.

Paci, E., Pigini, D., Caporossi, L., et al., 2013. Matrix Effect in the Quantitative Determination of Mandelic and Phenylglyoxylic Acid in Urine Samples by HPLC-MS/MS with Isotopic Dilution. Current Analytical Chemistry., 9, 439-446. doi:10.2174/1573411011309030013.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Esposizione occupazionale ad agenti chimici reprotossici con effetto sul feto: rischi associati all'esposizione maschile

Occupational exposure to reprotoxic chemicals with effect on foetus: risks linked with male exposure

Keywords: developmental toxicity, men, occupational exposure

Lidia Caporossi[1], Paola Castellano[1], Enrico Paci[1], Daniela Pigini[1]

[1]*Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone (RM)*

Corresponding author: Lidia Caporossi, *l.caporossi@inail.it*

Per "tossicità per lo sviluppo" si intende l'evidenza di esiti avversi durante la gravidanza come conseguenza dell'esposizione dei genitori ad agenti pericolosi. Si è posta molta attenzione all'esposizione materna a questi agenti reprotossici mentre l'impatto dell'esposizione paterna è stato spesso sottovalutato. È stata condotta una ricerca bibliografica su PubMed, Scopus e Google Scholar per identificare studi che esaminassero gli effetti sullo sviluppo nella prole correlati all'esposizione paterna durante la fase pre-concezionale. La ricerca si è concentrata sui contaminanti occupazionali o ambientali e mostra che il contatto paterno con sostanze tossiche per lo sviluppo può influenzare negativamente la salute della prole attraverso molteplici vie biochimiche. Ampie prove sperimentali dimostrano che diverse sostanze chimiche possono indurre tossicità dello sviluppo attraverso l'esposizione paterna, evidenziando la particolare suscettibilità della linea germinale maschile alle alterazioni ereditarie. I dati sull'uomo rimangono complessi da interpretare; tuttavia, numerosi studi indicano possibili rischi per lo sviluppo delle generazioni future.

Developmental toxicity refers to adverse outcomes that arise during pregnancy because of parental exposure to harmful agents. Maternal exposure has traditionally received most of the scientific attention while the potential impact of paternal exposure has frequently been underestimated. The purpose of this work is to emphasize the relevance of male-mediated developmental toxicity. A literature search was conducted in PubMed, Scopus, and Google Scholar to identify studies examining developmental effects in offspring linked to paternal exposure during the preconception phase. Research spanning occupational or environmental contaminants and consistently shows that paternal contact with developmental toxicants can negatively influence offspring health through multiple biochemical pathways. Extensive experimental evidence demonstrates that several chemicals can induce developmental toxicity via paternal exposure, highlighting the particular susceptibility of the male germ line to heritable alterations. Human data remain complex to interpret; nonetheless, numerous studies point to possible developmental risks for the next generation.

Introduzione

La tossicità per lo sviluppo è stata definita [OECD, 2008] come "...qualsiasi effetto che interferisca con il normale sviluppo del concepito, prima o dopo la nascita, e derivante dall'esposizione di uno dei genitori prima del concepimento, o dall'esposizione della prole in via di sviluppo durante lo sviluppo prenatale, o postnatale, fino al momento della maturazione sessuale".

La questione di come l'esposizione occupazionale paterna possa influenzare la salute della prole è diventata sempre più importante, anche alla luce dell'evoluzione della normativa di tutela dei lavoratori in materia.

La Direttiva (UE) 2022/431 ha allineato le misure di gestione dei rischi sul luogo di lavoro per le sostanze reprotossiche a quelle stabilite per le sostanze cancerogene e mutagene, adottando un approccio più precauzionale, per i lavoratori di entrambi i sessi. La legislazione non fa distinzione di genere in merito alle misure di prevenzione e protezione da attuare in caso di reprotossici che colpiscano il feto.

Materiali e Metodi.

È stata effettuata una ricerca bibliografica da giugno a luglio 2025 utilizzando i database Scopus, PubMed e Goo-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

gle Scholar, utilizzando le Keywords «esposizione paterna» e "tossicità dello sviluppo" o "esposizione maschile" e "tossicità fetale". Sono stati esclusi studi pubblicati in lingue diverse da inglese, italiano, francese o spagnolo. Sono stati inclusi solo gli studi che indagavano l'esposizione paterna preconcezionale che porta a esiti avversi dello sviluppo nella prole. La letteratura grigia non è stata considerata. La revisione si è concentrata principalmente su indagini epidemiologiche sull'essere umano.

Risultati e Discussione

In tabella I è presentata una sintesi degli esiti degli studi presi in considerazione che hanno valutato effetti sulla prole di lavoratori maschi esposti a specifici agenti chimici [Caporossi et al. 2025].

Tabella I. Esempio di esposizione occupazionale ad agenti chimici di lavoratori uomini ed effetti sul concepito (estratto da [Caporossi et al. 2025]).

Agenti chimici	Effetti sul concepito	Risultati/ indici di rischio
Pesticidi	criptorchidismo	OR[1]= 1,04, 95% CI[2] 0,96-1,12
	Ipospadia	RR[2]=1,19, 95% CI 1,00-1,41
	Labbro leporino	OR=**3,00** 95%CI 1,03-8,70
Solventi organici	Difetti del tubo neurale	OR= **1,86**, 95% CI 1,40-2,46
	Anencefalia	OR= **2,18**, 95% CI 1,52-3,11
	Spina bifida	OR= 1,59, 95% CI 0,99-2,56
Ftalati e composti policlorurati	Difetti cardiaci congeniti	OR= **2,08**, 95% CI 1,27-3,40
Ftalati	Difetto del setto ventricolare perimembranoso	OR= **2,84**, 95% CI 1,37-5,92
Bisfenoli	Difetti del setto ventricolare atriale	OR= **4,22**, 95% CI 1,23-14,42
Alchilfenoli	coartazione dell'aorta	OR= **3,85**, 95% CI 1,17-12,67
Conservanti del legno al clorofenato	Malformazioni oculari	OR= **2,87**, 95% CI 1,5-5,5
	cataratta	OR= **5,68**, 95% CI 1,4-22,6
	Mancata discesa dei testicoli	OR= 1,16, 95% CI 0,8-1,6
	Malformazioni genitali	OR= 1,29 95% CI 0,9-1,5
	Spina bifida	OR= 1,32 95% CI 0,2-2,1
Solventi in attività di pittura	Difetti alla nascita	OR=**1,86** 95% CI 1,4-2,5
	Difetti alla nascita	OR=**6,2** 95% CI 1,4-28

[1]**OR-** *Odds ratio;* [2]*CI- Intervallo di confidenza;* [3]*RR- Rischio Relativo*

Una prima revisione sistematica del 1994 [Savitz et al, 1994] aveva già sottolineato questo genere di rischio, classificando il rischio di aborti spontanei o difetti alla nascita associati all'esposizione professionale maschile come "forte" per il mercurio e i gas anestetici, "moderato" per il piombo e i solventi organici e "limitato" per i pesticidi.

Sebbene i dati sull'uomo siano spesso complessi e difficili da interpretare, le attuali scoperte scientifiche sollevano preoccupazioni sui potenziali rischi per lo sviluppo della prole derivanti dall'esposizione professionale del padre a sostanze chimiche.

Quando si parla di salute riproduttiva e sviluppo embrionale, l'attenzione è spesso rivolta principalmente alla madre. Tuttavia, negli ultimi anni, una crescente attenzione è stata rivolta al ruolo paterno, e alla sua possibile esposizione prima del concepimento.

Conclusioni

Gli studi raccolti, relativi alla tossicità dello sviluppo mediata dai maschi hanno indicato come esistano prove sostanziali che collegano l'esposizione pre-concezionale paterna a effetti avversi nella prole e questo richiede attenzione da parte dei datori di lavoro nelle loro azioni

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

di prevenzione del rischio reprotossico.
Purtroppo, troppo spesso, la protezione dei lavoratori potenzialmente esposti a tossici per lo sviluppo del feto viene limitata alle donne e strettamente al periodo di gravidanza, senza considerare gli effetti a lungo termine sulla fertilità e i possibili danni per le gravidanze future in caso di esposizioni pre-concezionali, per entrambi i sessi.
È noto che solventi organici, pesticidi e sostanze come alcol, tabacco e droghe interferiscono con la spermatogenesi e alterano i meccanismi epigenetici. Sebbene queste esposizioni possano non produrre sintomi evidenti negli uomini adulti, possono indurre cambiamenti duraturi nelle cellule germinali che danno origine al liquido seminale. Le modificazioni genetiche o epigenetiche a questo livello possono essere trasmesse alla prole, influenzandone potenzialmente lo sviluppo, il metabolismo, la fertilità e la suscettibilità alle malattie in età adulta.

Bibliografia

Organization for Economic Cooperation and Development- OECD. Series on testing and assessment, number 43 Guidance Document on mammalian reproductive toxicity testing and assessment. Paris, 2008. ENV/JM/MONO 16.

Caporossi L, Castellano P, Paci E, Pigini D. A Scoping Review on Male-Mediated Developmental Toxicity. Toxics 2025, 13, 707.

Savits DA, Sonnefeld NL, Olshan AF. Review of epidemiologic studies of paternal occupational exposure and spontaneous abortion. Am J Ind Med 1994, 25: 361-83.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Dai test preliminari all'idea di un DPI smart per il contenimento di particolato ultrafine e il rilevamento di composti organici volatili (COV): un progetto in evoluzione

Smart Respiratory PPE: Early Experimental Evidence and Emerging Perspectives for UFP capture and VOC detection

Keywords: exposure characterization, nanomaterials, respiratory protection

Francesca Tombolini[1], Fabio Boccuni[1], Claudio Natale[2], Francesca Sebastiani[2], Silvia Casalinuovo[3], Daniela Caschera[4], Simone Quaranta[4], Domenico Caputo[3], Riccardo Ferrante[1]

[1] *Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone, Roma*
[2] *D3Pharma Chemistry, Nanoregulatory Group, Istituto Italiano di Tecnologia IIT, Genova*
[3] *Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Elettronica e Telecomunicazioni (DIET), Sapienza Università di Roma, Roma*
[4] *Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati (ISMN), CNR, Montelibretti (Roma)*

Corresponding author: Francesca Tombolini, *f.tombolini@inail.it*

Introduzione

L'utilizzo di nanomateriali come elementi attivi di sensori integrabili in innovativi dispositivi di protezione individuale delle vie respiratorie, è sempre più diffuso. Risulta, quindi, essenziale monitorare l'eventuale rilascio in aria degli stessi, per garantire la sicurezza e la tutela della salute dell'utilizzatore.

In questo lavoro vengono presentati i risultati preliminari delle prove di rilascio di nanoparticelle d'oro (AuNPs), utilizzate come materiale attivo in una matrice polimerica su un sensore tessile in cotone, progettato per la rilevazione di COV caratteristici dello stato fisiopatologico del lavoratore. La caratterizzazione morfologica/strutturale/elettrica del sensore è stata oggetto di uno studio precedente [Casalinuovo et al., 2023].

Materiali e Metodi

La caratterizzazione dell'esposizione dovuta all' eventuale dispersione in aria delle AuNPs è stato condotta seguendo le linee guida armonizzate dell'OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), così come gia applicato in ambito occupazionale su diverse tipologie di nanomateriali [Boccuni et al, 2020; Natale et al, 2025].

Il sensore è stato collocato in una glove box equipaggiata con un filtro HEPA e sottoposto a una attività respiratoria simulata da un polmone artificiale (40 L/min; W = 230 W/m^2), al fine di valutare l'eventuale rilascio di particolato durante la sollecitazione meccanica indotta dal flusso d'aria.

Il setup sperimentale (Fig.1) comprende: strumentazioni real time quali il Condensation Particle Counter (CPC) e il Fast Mobility Particle Sizer (FMPS), per la misura della concentrazione in numero (PNC) e della distribuzione dimensionale e un impattore inerziale (MiniMoudi) per le analisi chimico-morfologiche del particolato aerodisperso, tramite microscopia elettronica a scansione.

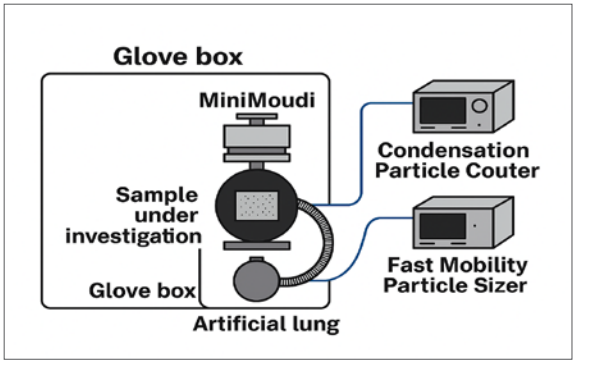


Figura 1. Set up sperimentale.

Risultati e Discussione

Le acquisizioni hanno evidenziato l'assenza di rilascio di AuNPs, con la comparsa di sole strutture particellari submicrometriche molto probabilmente riconducibili a impurezze/particelle di polvere adsorbite sulla superficie del sensore stesso, confermando la stabilità della matrice polimerica e la robustezza del sensore in condizioni di sollecitazione meccanica.

I risultati preliminari ottenuti costituiscono oggi il fondamento metodologico sul quale è stato proposto un

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

progetto BRIC, finanziato dall'INAIL, per lo sviluppo di dispositivi di protezione individuale innovativi delle vie respiratorie per la salute dei lavoratori esposti a nanomateriali.
I DPI così realizzati potrebbero essere utilizzati anche come sensori smart di biomarcatori presenti nel respiro, con ricadute per la valutazione dello stato di salute del lavoratore. Tali DPI potranno essere testati sia in ambienti simulati in laboratorio che in scenari di esposizione reali.

Conclusioni

Il lavoro mostra come, a partire da test preliminari sulla sicurezza dei materiali, sia possibile proporre lo sviluppo di soluzioni tecnologiche idonee alla gestione integrata del rischio (DPI smart), soprattutto in contesti occupazionali caratterizzati da elevata complessità.

Bibliografia

F. Boccuni, R. Ferrante, F. Tombolini, C. Natale , A. Gordiani, S. Sabella and S. Iavicoli, 2020. Occupational exposure to graphene and silica nanoparticles. Part I: workplace measurements and samplings. Nanotoxicology, 14, 1280-1300.

C. Natale, F. Tombolini, R. Ferrante, F. Sebastiani, A. Gordiani, M. Manigrasso, A.E. Del Rio Castillo, F. Bonaccorso, S. Sabella, F. Boccuni , 2025. Scaling up the graphene production from R&D to the pilot plant stage: Implications for workers' exposure to airborne nano-objects, NanoImpact, 100555,ISSN 2452-0748, https://doi.org/10.1016/j.impact.2025.100555.

S. Casalinuovo, D. Caschera, S. Quaranta, V. Genova, A. Buzzin, F. Federici, G. De Cesare, D. Puglisi, D. Caputo, 2023. Gold nanoparticle-functionalized cotton as promising flexible and green substrate for impedometric VOC detection Materials, 16, 5826-5842. https:// *doi.org/10.3390/ma16175826*

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

LA CULTURA DELLA PREVENZIONE
42° Congresso nazionale
di igiene industriale e ambientale

Italian Journal of Occupational
and Environmental Hygiene

Sessione 12

POSTER
sui temi congressuali
e a tema libero

Riprogettazione ergonomica delle postazioni di lavoro presso lo stabilimento Piaggio & C. spa di Pontedera ai fini del reinserimento lavorativo

Ergonomic redesign of workstations at the Piaggio & C. spa plant in Pontedera for job reintegration

Keywords: musculoskeletal diseases, ergonomic design, return to work, inclusion

Chiara Breschi[1], Marina Mameli[1], Luca Valori[1], Stella Greco[2], Simona Bondioli[2], Alfonso Cristaudo[3], Carmine Parletta[4], Carmine Cervo[2]

[1] *Inail, Direzione regionale Toscana – Consulenza tecnica salute e sicurezza (CTSS)*
[2] *Inail, Direzione territoriale di Pisa e Pontedera*
[3] *Piaggio & C. s.p.a. Medico Competente Coordinatore*
[4] *Piaggio & C. s.p.a., Head of H&S*

Corresponding author: Chiara Breschi, *c.breschi@inail.it*

Introduzione

I datori di lavoro, per garantire la parità di trattamento delle persone con disabilità occupazionale, sono tenuti a adottare accomodamenti ragionevoli nei luoghi di lavoro anche con programmi di mantenimento dell'impiego e di reinserimento.

Il D.lgs. 151/2015 ha rafforzato il ruolo dell'Inail in materia di reinserimento e integrazione lavorativa dei disabili da lavoro.

In questo contesto, Piaggio spa, a Pontedera, ha presentato alla sede Inail di Pisa 41 progetti di reinserimento lavorativo per altrettanti dipendenti affetti da malattie professionali o infortunati che operano nello stabilimento 2 ruote. I progetti si riferivano a dipendenti addetti al preassemblaggio su banchi di lavoro ubicati parallelamente alle linee di montaggio dei ciclomotori, caratterizzate da elevata manualità e da utilizzo di attrezzature pneumatiche. I progetti sono stati presentati singolarmente secondo quanto previsto dal Regolamento Inail per il reinserimento.

Materiali e Metodi

Per ridurre le limitazioni funzionali a carico dell'apparato muscolo scheletrico, con particolare riguardo ai distretti anatomici di spalle, gomiti, mani, polsi, rachide e agli arti inferiori, i progetti prevedevano la realizzazione di nuove postazioni di lavoro ergonomiche dotate di: banchi di lavoro regolabili in altezza; migliore disposizione della minuteria; supporti per i pezzi da preassemblare, anche con base rotante o basculante; sostituzione dei vecchi avvitatori pneumatici con avvitatori elettrici o elettronici dotati di braccio telescopico e bilanciatore; sedute regolabili in altezza. Le nuove postazioni di lavoro comprendevano le connessioni tecniche alle reti impiantistiche ed erano dotate di carrelli con piani regolabili in altezza o a struttura alveolare per il flusso dei pezzi in entrata e uscita.

A completamento dei progetti per i lavoratori erano previsti interventi di formazione e addestramento sulle nuove dotazioni.

In conformità al Regolamento, i progetti sono stati presi in carico dall'équipe multidisciplinare Inail, composta da funzioni tecniche, amministrative e sociosanitarie che, ciascuna per i propri ruoli e competenze, ne hanno valutato l'efficacia in relazione alle limitazioni funzionali dei lavoratori, anche con sopralluoghi negli ambienti di lavoro, visite e colloqui, pre e post realizzazione degli interventi, con i dipendenti. Per l'uniformità di trattamento dei casi dal punto di vista tecnico, sono stati definiti dei criteri per la valutazione delle dotazioni proposte nei progetti, al fine di selezionare quelle efficaci in relazione alle limitazioni funzionali del singolo lavoratore e rispondenti al Regolamento.

Vista la novità della trattazione contemporanea di decine di casi afferenti alla medesima azienda, sono state coinvolte anche le Direzioni centrali dell'Inail.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Risultati e Discussione

È stato realizzato un nuovo reparto ed al suo interno sono state ubicate le 41 postazioni interessate dai progetti, così come verificate dall'équipe Inail.
Le valutazioni aziendali del rischio da sovraccarico biomeccanico pre e post intervento hanno evidenziato il miglioramento dell'ergonomia delle postazioni.
I lavoratori sono stati intervistati ed hanno espresso soddisfazione per gli interventi attuati e per le nuove modalità lavorative.
La Direzione regionale Inail Toscana, ricevuti i pareri favorevoli di regolare esecuzione dei progetti dall'équipe multidisciplinare di I livello, ha provveduto a concedere il finanziamento richiesto.

Conclusioni

I 41 progetti di reinserimento lavorativo realizzati in Piaggio mettono in risalto l'importanza del raccordo interprofessionale per l'istruttoria, sia tra le diverse figure professionali interne all'Inail sia con quelle aziendali coinvolte nella progettazione e realizzazione delle postazioni.
Le modalità operative messe a punto possono essere replicate e adattate in diversi contesti lavorativi, esprimendo un modello di collaborazione tra Inail, lavoratori e imprese.

Bibliografia

Breschi, C., De Sarlo, M., Gilioni, D., Mameli, M., Tramuto, S., Valori L., 2025. Il reinserimento lavorativo Inail: il ruolo dell'igienista industriale. Atti del 41° Congresso Nazionale di Igiene Industriale e Ambientale, Taranto, 25-27 giugno 2025.

Cristaudo, A., Guglielmi, G., Foddis, R., et al., 2023. Diversity & Inclusion: Fitness for Work Through a Personalized Work Plan For Workers With Disabilities and Chronic Diseases According to the Iso 30415/2021. Med Lav. 2023;114(3):e2023026. doi:10.23749/mdl. v114i3.14339

Determinazione del Presidente dell'Inail 11 luglio 2016, n. 258: "Regolamento per il reinserimento e l'integrazione lavorativa delle persone con disabilità da lavoro" in attuazione della legge 23 dicembre 2014, n.190, articolo 1, comma 166; Circ. 30 dicembre 2016, n. 51: "Regolamento per il reinserimento e l'integrazione lavorativa delle persone con disabilità da lavoro. Legge 23 dicembre 2014, n.190, articolo 1, comma 166".

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Ergonomia applicata ai progetti di reinserimento di persone con disabilità da lavoro

Applied ergonomics in workplace reintegration projects for workers with work-related disabilities

Keywords: Occupational Health, Biological damage, Risk Assessment.

Irene Pugliesi[1], Miriam De Sarlo[1], Chiara Breschi[1], Luca Gambacciani[1], Domenico Gilioni[1], Marina Mameli[1], Elvira Nucaro[1], Fabrizio Pini[1], Stella Tramuto[1], Luca Valori[1]

[1] *Inail, Direzione regionale Toscana – Consulenza tecnica salute e sicurezza (CTSS)*

Corresponding author: Irene Pugliesi, *i.pugliesi@inail.it*

Introduzione

Il reinserimento lavorativo di persone con disabilità si basa su normative che affidano a Inail il compito di sostenere interventi personalizzati per garantire il mantenimento dell'impiego o l'accesso a nuove mansioni. Tali interventi includono: superamento di barriere architettoniche, adeguamento di postazioni, ausili, formazione e ridefinizione dei compiti. La legge italiana prevede la valutazione dei rischi da sovraccarico biomeccanico, posture e movimenti ripetitivi, mentre le norme tecniche, forniscono concetti per progettare attività e ambienti compatibili con i bisogni delle persone.

Materiali e Metodi

La Ctss Toscana ha creato nel 2025 un database dei progetti di reinserimento (94 casi dal 2018 al 2025) che include dati su aziende, mansioni, età, genere, limitazioni funzionali, ipotesi e interventi proposti, note e criticità. L'analisi di questi dati ha permesso di classificare i progetti presentati, dando evidenza delle criticità segnalate e indicando possibili soluzioni.

Risultati

Al momento dell'analisi non tutti i 94 progetti sono stati completati poiché alcuni ancora in fase di trattazione. Solo 7 sono stati valutati negativamente perché non ragionevoli nell'accomodamento, non adatti alle limitazioni o per richiesta di attrezzature già presenti in azienda. La percentuale di invalidità dei lavoratori coinvolti varia dal 2 al 100%. La fascia 50–59 anni è prevalente (42 casi), con equilibrio tra uomini e donne, ma con maggiore incidenza femminile nell'industria. Tra le donne (31 casi), con età media di 54 anni, prevalgono malattie come la sindrome del tunnel carpale e di tipo muscolo-scheletriche da posture incongrue. I casi di reinserimento degli uomini invece, con età media di 51 anni, derivano, dove indicato, da 28 malattie professionali (muscolo-scheletriche, tendinopatie, ernie) e da 23 infortuni.

Tabella I. Tipologie di interventi suddivise per macrosettori produttivi (classificazione ISTAT)

Settore	Tipologie di interventi
Primario	Modifica di sedili e comandi di macchine agricole, meccanizzazione di operazioni manuali, attrezzature a batteria e impianti automatizzati.
Secondario	Acquisto o adeguamento di banchi regolabili, sistemi di movimentazione assistita, riduzione del carico su arti superiori e rachide, adeguamento del posto di guida di veicoli.
Terziario	Adeguamenti VDT, riorganizzazione degli spazi, abbattimento delle barriere architettoniche.

Le criticità segnalate riguardano un terzo dei progetti, prevalentemente riconducibili a carenze istruttorie (26), ma anche a irrealizzabilità tecniche o al mancato accordo tra le parti (7). L'approccio risolutivo ha previsto una check list di supporto agli aspetti tecnici.

Discussione

I progetti sono rivolti a lavoratori con limitazioni muscolo-scheletriche o menomazioni degli arti, per i quali l'intervento prioritario si concentra sugli aspetti ergonomici, con un'analisi approfondita dell'interazione tra individuo, ambiente e compiti lavorativi. L'adozione di

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

un approccio di ergonomia partecipativa – basato su sopralluoghi, osservazione diretta e valutazione dei gesti lavorativi – risulta indispensabile per identificare soluzioni realmente efficaci. I risultati più soddisfacenti si ottengono quando la valutazione iniziale è accurata al fine di implementare opportune soluzioni tecniche, compresa la riorganizzazione delle mansioni e la previsione di adeguata formazione. Le principali criticità riscontrate durante la valutazione tecnica riguardano, nella maggior parte dei casi, la carenza della documentazione di progetto.

Conclusioni

La personalizzazione ergonomica nei progetti di reinserimento è fondamentale per la sostenibilità occupazionale. La Ctss Toscana ha indicato la documentazione necessaria alla valutazione preliminare in una check-list interna che, differenziata per settori lavorativi, include documenti che consentano di comprendere il contesto di lavoro, le specifiche tecniche di macchine e impianti e le caratteristiche individuali dei soggetti. La check-list, fornisce ai tecnici Ctss un quadro completo per la valutazione dell'idoneità ergonomica. Una progettazione ergonomica personalizzata applicata alle postazioni di lavoro e non solo ai casi di reinserimento, può contribuire alla prevenzione dei rischi, limitando l'insorgenza delle malattie professionali.

Bibliografia

Andreoni, G., Baglioni, A., Costa, F., Oliva, S., 2006. Un approccio multidisciplinare al redesign ergonomico delle macchine. Politecnico di Milano, Facoltà del design, VIII Congresso Nazionale Società Italiana di Ergonomia.

UNI EN ISO 6385:2017, Principi ergonomici nella progettazione dei sistemi di lavoro – Ergonomics principles in the design of work systems – UNI Ente Italiano di Normazione

UNI EN ISO 26800:2011, Ergonomia. Approccio generale, principi e concetti – Ergonomics. General approach, principles and concepts – UNI Ente Italiano di Normazione.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Role of weekly working hours in modulating biomechanical risk for musculoskeletal disorders

Ruolo delle ore lavorative settimanali nella modulazione del rischio biomeccanico di disturbi muscoloscheletrici

Keywords: ergonomics, part-time, full-time

Francesca Graziosi[1], Francesco Decataldo[1], Francesco Saverio Violante[1], Roberta Bonfiglioli[1,2]

[1] *Department of Medical and Surgical Sciences, Alma Mater Studiorum University of Bologna, Bologna*
[2] *Division of Occupational Medicine, IRCCS Azienda Ospedaliero-Universitaria di Bologna, Bologna*

Corresponding author: Francesca Graziosi, *francesca.graziosi@unibo.it*

Introduction

Musculoskeletal disorders (MSDs) represent one of the leading occupational health concerns worldwide, significantly impacting workers' health and quality of life and generating substantial socio-economic costs. Exposure to biomechanical factors, including repetitive movements, awkward postures, and manual handling of loads, is widely recognized as a key determinant in the development of these conditions, particularly when such exposures occur in combination and over prolonged periods [de Kok et al., 2019]. However, ongoing changes in work environments, driven by automation and the increasing adoption of flexible work arrangements, have altered both the nature and distribution of occupational risks, highlighting the need to re-assess traditional approaches to risk evaluation [Hurley and Litardi, 2024]. In this context, we investigated the role of working time duration – specifically weekly working hours and the distinction between full-time and part-time employment – in modulating biomechanical load associated with MSDs. Here, we present preliminary results [Violante et al., 2025] with the objective to determine whether reducing exposure time may act as a protective factor against the onset of these disorders.

Materials and Methods

A preliminary review of the available scientific literature was conducted, focusing on epidemiological and observational studies comparing biomechanical risk exposure and MSDs prevalence/incidence among workers with different working schedules. Attention was given to studies directly comparing part-time and full-time employment, in order to identify potential differences in risk levels.

Results and discussion

The findings indicate a positive linear relationship between weekly working hours and the risk of developing MSDs. A preliminary mathematical analysis reveals a linear correlation between MSDs risk and weekly working hours, with an estimated 3% increase for each additional hour worked within the 20–40 hours/week range [Violante et al., 2025]. This association was observed across multiple occupational sectors and anatomical regions, suggesting a broadly consistent effect of exposure duration on musculoskeletal health. Notably, a lower risk trend was identified among part-time workers compared to full-time workers, supporting the hypothesis that reduced working hours may limit cumulative biomechanical stress and consequently decrease the likelihood of MSD development.

These results suggest that organizational interventions aimed at reducing working hours – such as implementing shorter schedules or part-time arrangements – could represent an effective strategy for MSDs prevention. Nevertheless, the current body of evidence remains limited and characterized by considerable methodological heterogeneity, including variability in study design and risk assessment. Furthermore, many existing studies have been conducted in traditional industrial settings, which may not fully reflect the complexity of contemporary work environments.

Given these limitations, with this analysis we wanted to stress the clear need for rigorous longitudinal studies capable of capturing the temporal dynamics of biomechanical exposure and evaluating the long-term health effects of different working time arrangements. Such research would enable a more precise quantification of the relationship between working hours and MSDs risk, as well as the

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

identification of evidence-based exposure thresholds and preventive strategies.

Conclusion

Although preliminary evidence suggests that reducing working hours may have a protective effect against MSDs, further research is required to confirm and correctly quantify this association. Strengthening the evidence base in this area will be essential to support occupational health professionals and policymakers in designing effective interventions and promoting safer, healthier, and more sustainable work environments.

References

[1] de Kok, J., Vroonhof, P., Snijders, J., Roullis, G., Clarke, M., Peereboom, K., van Dorst, P., Isusi, I., 2019. Work-related musculoskeletal disorders: prevalence, costs and demographics in the EU. Safety and health at work EU-OSHA. https://osha.europa. eu/it/publications/msds-facts-and-figures-overview-prevalence-costs-and-demographics-msds-europe.

[2] Hurley, J., Litardi, C., 2024. The changing structure of employment in the EU: Annual review 2023. https://doi. org/10.2806/906320.

[3] Violante, F.S., Graziosi, F., Caraballo-Arias, Y., Decataldo, F., Bonfiglioli, R., 2025. Influence of Weekly Working Hours on Musculoskeletal Disorder Risk Associated with Biomechanical Factors. IISE Trans Occup Ergon Hum Factors. 13(4):256-263. doi: 10.1080/24725838.2025.2529872. Epub 2025 Jul 21.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Innovative and commercial wearable sensors for quantitative and objective biomechanical assessment

Sensori indossabili innovativi e commerciali per la valutazione biomeccanica quantitativa e oggettiva

Keywords: Wearable pressure sensors, Biomechanical risk assessment, Smart textiles, Grip force measurement, PEDOT:PSS

Francesco Decataldo[1], Francesca Graziosi[1], Abubakar Ahman Babangida[1], Marta Tessarolo[2], Beatrice Fraboni[2], Francesco Saverio Violante[1], Roberta Bonfiglioli[1]

[1] *Department of Medical and Surgical Sciences, Alma Mater Studiorum University of Bologna, Bologna*
[2] *Department of Physics and Astronomy, Alma Mater Studiorum University of Bologna, Bologna*

Corresponding author: Francesco Decataldo, *francesco.decataldo2@unibo.it*

Introduction

Biomechanical risk assessment in occupational settings is strongly based on observational methods, subjective rating scales, or video analysis, which often lack quantitative force measurement and real-time applicability. Even the highly validated criteria still require expert consensus and their professional, but subjective, evaluation [Graziosi et al., 2025]. Recent advances in wearable technologies enable continuous and objective monitoring of biomechanical loads and exerted forces during manual tasks. In particular, pressure sensors integrated into wearable devices represent a promising solution for evaluating hand-related stress. This work presents pressure sensors technologies, highlighting the transition from commercial Tekscan Grip™ system to conductive polymers-based wearable gloves for grip force assessment.

Materials and Methods

Tekscan Grip™ system is based on pressure-sensitive matrices widely used for grip force analysis. Sensors are patterned using inorganic material (i.e. gold) onto flexible, thin plastic foils that can then be shaped into specific design to match the required monitored area (i.e. into gloves or insoles). Finally, they can be glued or fixed to textile surfaces for active monitoring pressure in real-time [Grip Pressure | Grip System | Tekscan].

Textile pressure sensors were developed using PEDOT:PSS drop casted directly onto cotton fabric through low-cost solution-based processes. The sensing element operates via a piezoresistive mechanism and is integrated with conductive threads to create flexible and conformable devices. Sensor response was characterized under controlled compression up to ~100 kPa, covering the typical force range of manual occupational activities. Different polymer formulations, including ethylene glycol additives, were tested to tune sensitivity and conductivity. Sensors were fully embedded into wearable gloves for real-time monitoring of pressure values in specific hand areas [Tessarolo et al., 2018].

Results and Discussion

The polymer-based sensors exhibit stable and reproducible piezoresistive responses over a wide pressure range (up to ~100 kPa), relevant for occupational hand tasks.

We investigated the sensing mechanism, which is governed by three contributions: (i) macroscopic compression of the textile structure, (ii) increased contact points between fibers, and (iii) intrinsic piezoresistivity of PEDOT:PSS. The addition of ethylene glycol enhances conductivity and improves sensitivity in low-to-medium pressure ranges.

Compared to Tekscan Grip™ system, textile sensors provide superior wearability, flexibility, and minimal interference with natural hand movements, making them suitable for prolonged and in-field monitoring. However, Tekscan system offer higher spatial resolution, standardized calibration, and greater metrological accuracy, making them preferable for controlled laboratory measurements.

Conclusions

PEDOT:PSS-based textile pressure sensors represent a promising approach for biomechanical risk assessment in occupational environments. Their integration into we-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

arable gloves enables real-time, unobtrusive monitoring of grip forces under realistic conditions.
While Tekscan system remain the reference for precise measurements, textile sensors offer significant advantages for continuous field applications. At this stage, the two technologies could be considered complementary, but optimizing and scaling the polymer-based sensing technologies fabrication could lead to fully wearable and low-cost sensorized personal protective equipment. Their introduction into occupation medicine can then strongly improve the evaluation of musculoskeletal risk exposure and support more effective prevention strategies.

References

Graziosi, F., Bonfiglioli, R., Decataldo, F., Violante, F. S., 2025. Criteria for Assessing Exposure to Biomechanical Risk Factors: A Research-to-Practice Guide – Part 2: Upper Limbs. Life, Vol. 15, Page 109, 15(1), 109. *https://doi.org/10.3390/life15010109*. Grip Pressure | Grip System | Tekscan. Retrieved March 26, 2026, from *https://www.tekscan.com/products-solutions/systems/grip-system*.

Tessarolo, M., Possanzini, L., Campari, E. G., Bonfiglioli, R., Violante, F. S., Bonfiglio, A., Fraboni, B., 2018. Adaptable pressure textile sensors based on a conductive polymer. Flexible and Printed Electronics, 3(3), 034001. *https://doi.org/10.1088/2058* 8585/aacbee.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Donne e asma professionale da sensibilizzanti chimici: cosa emerge dagli studi recenti?

Women and occupational asthma due to chemical sensitizers: what is the evidence?

Keywords: occupational asthma, chemical agents, sensitizers, gender differences

Simona Di Renzi[1], Lidia Caporossi[1], Elisa Partenzi[1], Delia Cavallo[1], Paola Tomao[1], Diana Poli[1]

[1] *Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del lavoro e ambientale (DiMEILA), Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL), Monte Porzio Catone, RM, Italia.*

Corresponding author: Simona Di Renzi, *s.direnzi@inail.it*

Introduzione

L'asma è una malattia respiratoria cronica causata da una complessa interazione di fattori genetici, ambientali e professionali. Attualmente è riconosciuta come la malattia respiratoria occupazionale più diffusa nei paesi industrializzati [Cormier et al., 2020].

La prevalenza, la gravità e la suscettibilità all'asma differiscono tra uomini e donne, come mostrato da numerosi studi sul dimorfismo sessuale. L'influenza degli ormoni sessuali è determinante nell'insorgenza e gravità della patologia: l'asma è più frequente nei bambini maschi mentre dopo la pubertà la prevalenza diventa maggiore nelle donne in ragione delle variazioni ormonali. Molti studi mostrano che gli estrogeni tendono a potenziare il sistema immunitario e l'infiammazione, mentre gli androgeni agiscono come immunosoppressori. Anche differenze genetiche ed epigenetiche contribuiscono alle diverse risposte immunitarie tra uomini e donne.

L'esposizione ai sensibilizzanti chimici può favorire lo sviluppo dell'asma. Questi sono ampiamente presenti sia nell'ambiente domestico che in quello lavorativo e includono una vasta gamma di tipologia di sostanze (Tabella I).

Tabella I: Elenco indicativo e non esaustivo dei settori lavorativi in cui vi è esposizione di sostanze sensibilizzanti.

Settore occupazionale	Principali sostanze sensibilizzanti
Sanità e farmaceutica	Penicilline, cefalosporine, enzimi, alcuni acrilati/metacrilati
Pulizie e servizi	Ammine quaternarie, alcuni terpeni
Industria tessile	Coloranti reattivi, enzimi
Industria chimica e manifatturiera	Diisocianati, anidridi, sali di platino
Odontoiatria / estetica / stampa 3D	Acrilati e metacrilati

Per comprendere il rischio di sviluppare asma professionale correlato all'esposizione a sensibilizzanti chimici, è importante considerare anche l'impatto della differenza di genere al fine di consentire strategie di prevenzione più precise, in particolare durante la sorveglianza sanitaria sul posto di lavoro [Poli et al., 2022].

Scopo

Lo studio ha cercato di evidenziare eventuali prevalenze dell'asma nei diversi settori professionali in relazione al genere, a partire dall'analisi delle differenze fisiologiche tra uomini e donne e tenendo conto delle diverse condizioni di esposizione nei luoghi di vita e di lavoro.

Materiali e Metodi

L'indagine è stata condotta mediante una ricerca bibliografica utilizzando banche dati pubbliche come Scopus, PubMed e Google Scholar (checklist PRISMA-ScR).

Le Keywords utilizzate per la selezione degli articoli sono state "genere", "sesso", "asma", "sensibilizzante respiratorio", "ormoni", "esposizione occupazionale".

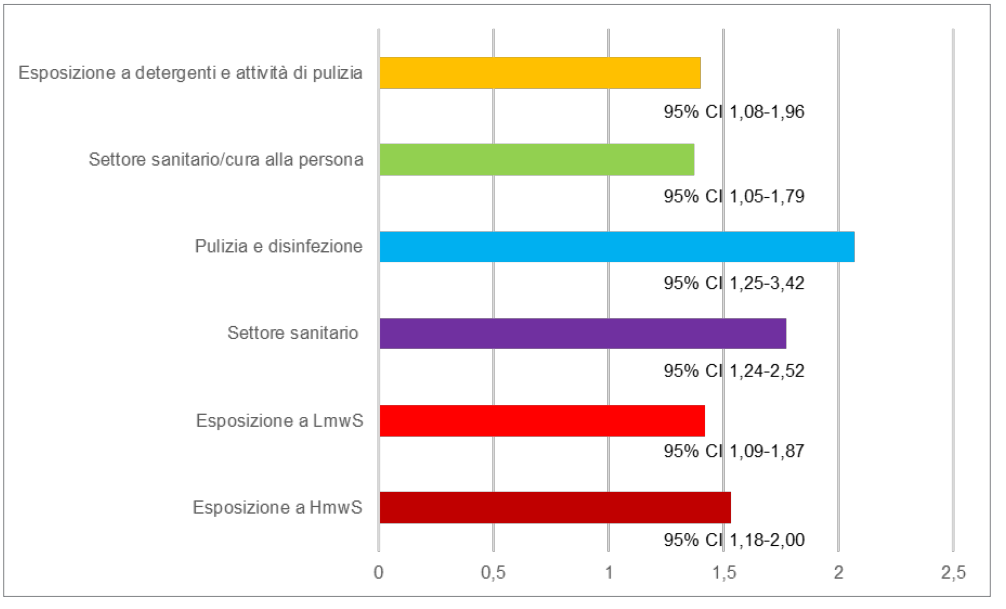
© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Risultati e Discussione

I dati epidemiologici indicano che le donne sono colpite maggiormente dall'asma presentando sintomi più gravi, tassi di comorbilità più elevati e una maggiore esposizione in alcune professioni. Fattori biologici legati al sesso (anatomia delle vie aeree, meccanismi genetici ed epigenetici, ormoni) e fattori legati al genere (ruoli sociali, esposizioni lavorative, abitudini di vita) contribuiscono alla variazione nell'insorgenza e nell'esito della malattia tra maschi e femmine.

In ambito lavorativo, l'esposizione a sensibilizzanti chimici respiratori rappresenta un importante fattore di rischio. Le donne risultano più colpite dall'asma occupazionale e tendono a sviluppare forme più severe rispetto agli uomini sia per maggiore suscettibilità biologica sia per una più alta esposizione a sostanze chimiche irritanti e sensibilizzanti in settori come sanità, pulizie e industria tessile (Figura 1).



[1]Hmws – Sensibilizzanti ad alto peso molecolare; [2]Lmws– Sensibilizzanti a basso peso molecolare

Figura 1. Indice di rischio (OR) per patologia asmatica rilevato in diverse popolazioni lavorative femminili. Nelle popolazioni di studio, le donne che hanno sviluppato asma sono risultate dal 60,8% al 75,9% del totale [Caporossi et al., 2025].

Conclusioni

Lo studio evidenzia l'influenza della differenza di genere, a fronte delle variabili fisiologiche uomo/donna, sull'incidenza e la gravità dell'asma professionale da sensibilizzanti chimici respiratori. Le donne sembrano sviluppare maggiormente asma professionale in particolari settori lavorativi, come l'ambito sanitario, della cura alla persona e le attività di pulizia e disinfezione. Questi dati epidemiologici possono orientare l'attività del datore di lavoro nella gestione del rischio occupazionale e del medico competente nella conduzione della sorveglianza sanitaria ai fini di una più efficace tutela della salute delle lavoratrici. Ulteriori indagini in diversi contesti lavorativi permetterebbero di caratterizzare meglio i rischi associati all'esposizione a sostanze sensibilizzanti in relazione al sesso e al genere considerando come la forza lavoro femminile stia crescendo anche in ruoli e mansioni tradizionalmente maschili.

Bibliografia

Caporossi, L., Di Renzi, S., Partenzi, E., Cavallo, D., Tomao, P., Poli D., 2025.. Sex- and Gender-Based Differences in Asthmatic Responses to Chemical Sensitizers, Particularly in Occupational Settings: A Scoping Review. Environments, 12, 382.

Cormier, M.; Lemière, C., 2020. Occupational asthma. Int. J. Tuberc. Lung Dis., 24, 8–21.

Poli, D.; Mozzoni, P.; Pinelli, S.; Cavallo, D.; Papaleo, B.; Caporossi, L. 2022. Sex Difference and Benzene Exposure: Does It Matter?. Int. J. Environ. Res. Public. Health, 19, 2339.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Radiazioni ottiche artificiali nei luoghi di lavoro: un'esperienza nei calzaturifici e nelle pelletterie dell' Azienda USL Toscana Centro - EmpoleseValdelsa

Artificial Optical Radiation in the Workplace: an Experience in Footwear Factories and Leather Goods Workshops of the Local Health Authority Toscana Centro – Empolese Valdelsa

Keywords: infrared, reactivation ovens

Carla Poli[2], Cassandra Calugi[2], Gianluca D'Ermiliis[2], Lorella Luti[2], Renzo Becherelli[2], Nicola Stacchini[1], Andrea Bogi[1], Maria Cristina Aprea[1]

[1] *Laboratorio Sanità Pubblica Area Vasta Toscana Sud Est, Siena*
[2] *Prevenzione Igiene e sicurezza sul Lavoro zona Empolese Azienda Sanitaria Locale Toscana Centro*

Corresponding author: Carla Poli, *carla.poli@uslcentro.toscana.it*

Introduzione

Il rischio da radiazioni ottiche artificiali (ROA) è alquanto diffuso nei luoghi di lavoro, ma spesso è sottovalutato.
Il Titolo VIII Capo V del D. lgs. 81/08 intende prevenire i rischi che possono derivare dall'esposizione alle radiazioni ottiche artificiali o dal loro impiego durante il lavoro, con particolare riguardo ai rischi dovuti agli effetti nocivi sugli occhi e sulla cute.
L'art 216 del D. lgs. 81/08 prescrive che il Datore di Lavoro valuti il rischio di esposizione a ROA, è quindi necessario identificare le sorgenti e le modalità di esposizione, controllando le informazioni fornite dai fabbricanti ed in letteratura.
Ai sensi della conformità alla normativa applicabile, i costruttori devono eliminare i rischi connessi all'utilizzo del macchinario o ridurli al minimo livello ragionevolmente raggiungibile sulla base del progresso della tecnica; al termine di tale processo devono informare l'utente degli eventuali rischi residui sia apponendo specifico pittogramma sulla macchina che dichiarandoli nel manuale d'uso e manutenzione, fornendo anche le misure di prevenzione e protezione da mettere in atto per il loro controllo.
Nei comparti calzaturiero e pelletteria, sono correntemente in uso forni-riattivatori che hanno la funzione di essiccare e/o riattivare i collanti tramite l'utilizzo di lampade a infrarossi che vengono attivate con dei temporizzatori. Tali attrezzature sono posizionate lungo la catena di assemblaggio, sia lungo le manovie che sui banchi di lavoro, alcune di esse avendo dimensioni contenute sono facilmente spostabili.

Immagine 1. Forni riattivatori

Materiali e Metodi

La tipologia di sorgenti analizzate ha emissioni rilevanti nell'intervallo degli infrarossi, in particolare data la geometria ed il tipo di emissioni, gli organi bersaglio sono la camera anteriore dell'occhio (grandezza Eir) e la cute (grandezza Hskin) per i quali sono presenti limiti di esposizione nell'allegato XXXVII del D. lgs. 81/08. Nel seguito si farà riferimento esclusivamente alla grandezza Eir relativa al danno oculare, in quanto l'esposizione della cute nelle zone normalmente raggiungibili dall'operatore non è risultata rilevante.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Per poter accertare la presenza del rischio, vista l'assenza di informazioni nei manuali d'uso e manutenzione delle attrezzature, sono state eseguite delle misurazioni al fine di stabilire i livelli di emissione da confrontare con il valore limite che per la grandezza Eir è pari a 100 W/m^2.
Le misurazioni sono state effettuate nelle condizioni di normale utilizzo con il radiometro marca DeltaOhm, modello HD2402+CH20. Tale strumento dotato di diverse sonde è in grado di misurare radiazioni nella banda 220÷ 2800 nm.

Risultati e Discussione

In tabella I sono mostrati i risultati delle misure di irradianza Eir relativamente ai 6 macchinari analizzati. I valori massimo e minimo corrispondono a differenti posizioni di misura nello spazio accessibile agli operatori.

Tabella I. Risultati delle misure di radiazione infrarossa in termini della grandezza Eir considerata dal D. lgs 81/08 per valutare il danno oculare.

Macchina	Minimo Elr W/m^2	Max Elr W/m^2
1	115	200
2	230	230
3	45	55
4	100	150
5	100	200
6	40	90

Il livello di radiazione infrarossa nella zona normalmente occupata dagli occhi dell'operatore durante la sua attività non è risultato rilevante. Tuttavia, come si vede dalla tabella, ad esclusione del macchinario 3, tutte le altre comportano durante i periodi di accensione delle lampade, dei valori di irradianza che in alcune posizioni accessibili superano i limiti stabiliti dalla normativa. Ciò ha come conseguenza che un utilizzo non corretto del macchinario potrebbe portare ad una condizione di sovraesposizione alla radiazione infrarossa del personale presente.
Tale condizione di rischio deve essere segnalata dal costruttore sia sul macchinario che sul manuale di utilizzo, specificando che il corretto utilizzo ed il corretto posizionamento all'interno del luogo di lavoro, servono anche a prevenire il rischio di esposizione a radiazioni ottiche artificiali. Ciò ai sensi dalla conformità alla Direttiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, recepita con D. lgs 17/2010 (direttiva macchine); criteri del tutto analoghi sono presenti anche nel Regolamento 2023/1230/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio che stabilisce i requisiti di sicurezza e di tutela della salute per la progettazione e la costruzione di macchine.
Inoltre si fa presente che la zona di superamento dei limiti per l'esposizione a radiazioni ottiche artificiali deve essere segnalata con apposita cartellonistica, in questo caso da apporre sul macchinario, anche in relazione a quanto previsto dal comma 2 dell'art. 217 del D. lgs. 81/08.

Conclusioni

I macchinari qui analizzati e correntemente utilizzati nel comparto della pelletteria e nei calzaturifici, rappresentano sorgenti rilevanti di radiazioni ottiche, ma questo non viene in alcun modo segnalato né sul macchinario né sul manuale d'uso e manutenzione.
Il corretto utilizzo e la corretta installazione prevengono l'esposizione degli occhi degli operatori, tuttavia la presenza del rischio potenziale deve essere segnalata dal produttore ai sensi della normativa applicabile.
Tutte le attrezzature controllate sono state oggetto di segnalazione ai Ministeri per la non conformità alla Direttiva macchine.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Fertilità maschile e stress ossidativo: possibile ruolo dell'esposizione ad alchilfenoli?

Male fertility and oxidative stress: a possible role of the exposure of alkylphenols?

Keywords: infertility, man, oxidative stress

Lidia Caporossi[1], Elisa Partenzi[2], Silvia Capanna[1], Elisa Giacomini[3], Daniela Pigini[1], Enrico Paci[1], Luca Pagliardini[3]

[1] *Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone (RM)*
[2] *Dottorato di Ricerca in Biotecnologie Medico Chirurgiche e Medicina Traslazionale, Università degli Studi di Roma Torvergata, Roma.*
[3] *Laboratorio di Scienze riproduttive, Unità di Ginecologia e Ostetricia, IRCCS Ospedale San Raffaele, Milano*

Corresponding author: Elisa Partenzi, *elisapartenzi@libero.it*

La salute riproduttiva è un tema di grande interesse negli ultimi decenni. Viene proposto uno studio trasversale su 201 uomini afferenti a un centro di fecondazione assistita per evidenziare l'eventuale ruolo dell'esposizione ad alcuni alchilfenoli nell'incremento dello stress ossidativo e nella ridotta qualità del liquido seminale. Ad ogni soggetto è stato somministrato un questionario, sono stati raccolti campioni biologici (urina e liquido seminale) su cui sono stati determinati indicatori di stress ossidativo, indicatori biologici di esposizione e i parametri di qualità del liquido seminale. L'indagine di correlazione ha mostrato una associazione positiva tra livelli espositivi di BPA, BPF e BPS con alcuni indicatori di stress ossidativo e nitrosattivo ed in particolare una riduzione della motilità spermatica associata a valori più alti di BPF. L'esito dello studio suggerisce un coinvolgimento di questo tipo di esposizione nell'incremento dello stress ossidativo e un possibile effetto avverso per la salute riproduttiva maschile, richiamando l'attenzione del datore di lavoro e del medico competente ad una gestione del rischio quanto mai accorta.

Reproductive health has become a significant concern in recent decades. This cross-sectional study involving 201 men with fertility issues aims to investigate the potential role of exposure to certain alkylphenols in increasing oxidative stress and reducing the quality of seminal fluid. Each participant completed a clinical questionnaire and provided urine and seminal fluid samples. These biological matrices were analysed for biomarkers of oxidative stress, indicators of exposure, and parameters of seminal fluid quality. The investigation revealed a positive association between exposure levels of BPA, BPF, and BPS and certain indicators of oxidative and nitrosative stress, notably a reduction in sperm motility associated with higher levels of BPF. The study's findings suggest a link between this type of exposure and increased oxidative stress, indicating a potentially adverse effect on male reproductive health. These results underscore the need for heightened vigilance by employers and occupational health professionals.

Introduzione

L'interesse alla tutela della sfera riproduttiva dei lavoratori è andato crescendo negli ultimi decenni e l'identificazione di fattori di rischio occupazionale per la riproduzione rappresenta un campo in rapido sviluppo.

Lo stress ossidativo è uno squilibrio tra l'eccessiva produzione di specie reattive dell'ossigeno (ROS) e l'incapacità da parte del sistema endogeno di fronteggiare il danno, un eccesso può determinare problematiche per la fertilità maschile, mentre un giusto equilibrio risulta funzionale per la qualità del liquido seminale [Mannucci et al., 2022].

L'esposizione a bisfenoli, in particolare bisfenolo A (BPA), ha mostrato effetti sul sistema endocrino e in particolare sulla salute riproduttiva maschile, attraverso interferenze con la sintesi degli ormoni androgeni, evidenziando un'associazione fra elevati livelli di BPA e ridotta concentrazione e motilità spermatica, è stato rilevato anche un cambiamento della normale morfologia degli spermatozoi [De Toni et al., 2020]. Questo studio ha voluto indagare il ruolo che l'esposizione a bisfenolo A, S e F (BPA, BPS, BPF), può avere sulla produzione di stress ossidativo e sulla qualità del liquido seminale.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Materiali e Metodi

È stata impostata una indagine trasversale su una popolazione maschile con difficoltà riproduttive, afferente ad un centro di fecondazione assistita a cui è stato somministrato un questionario clinico-anamnestico ad hoc, ed è stato richiesto di raccogliere un campione di urina ed un campione di liquido seminale. Il campione complessivo è risultato di 201 uomini. In tabella I è riportata la descrizione del campione. Le analisi di liquido seminale sono state condotte seguendo le linee guida della Organizzazione Mondiale della Sanità (2021), mentre le analisi di BPA, BPS e BPF urinari e degli indicatori di stress ossidativo (8-oxo-7,8-dihydroguanine – 8-oxoGua, 8-oxo-7,8-dihydroguanosine – 8-oxoGuo, 8-oxo-7,8-dihydro-2- deoxyguanosine 8-oxodGuo, 3- nitrotirosina – 3-NO_2Tyr, 5-metilcitidina 5-MeCyt) sono state realizzate mediante HPLC/MS/MS [Caporossi et al., 2020].

Tabella I. descrizione delle caratteristiche del campione

Caratteristiche		Casi (201)
Età media ± DS[1]	40,78 ± 5,24	
Classe BMI[2]	Normopeso	53,7% (108)
	Sovrappeso	35,3% (71)
	Obeso	7,0% (14)
	Mancante	4,0% (8)
Residenza	Urbana	85,0% (171)
	Industriale	2,5% (5)
	Agricola	6,5% (13)
	Costiera	3,0% (6)
	Altro	2,5% (5)
	Mancante	0,5% (1)
Fumo	Si	23,4% (47)
	No	49,3% (99)
	Ex	26,4% (53)
	Mancante	1,0% (2)
Consumo di alcol	Mai	8,0% (16)
	Occasionalmente	62,2% (125)
	Settimanalmente	25,4% (51)
	Giornalmente	4,0% (8)
	Mancante	0,5 (1)
Patologie	Malattie cardiache	4,5% (9)
	Allergie	15,9% (32)
	Malattie congenite	6,0% (12)
	Malattie infettive	33,4% (67)
	Emorroidi	5,0% (10)
	Varicocele	17,4% (35)
	Patologie endocrine	1,5% (3)
	Patologie genitourinarie	0,5% (1)
	Traumi testicolari	1,5% (3)
	Neoplasie	2,5% (5)
	Mancante	11,8% (24)
Mansione lavorativa	Impiegato al PC	60,7% (122)
	Impiegato alla guida	12,3% (25)
	Commerciante	4,0% (8)
	Artigiano	6,0% (12)
	Operaio	9,0% (18)
	Agricoltore	0,5% (1)
	Sanitario	4,0% (8)
	Militare/vigilanza	1,5% (3)
	Mancante	2,0% (4)

[1] *DS= deviazione standard;* [2]*BMI= Body Mass Index*

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Risultati e Discussione

In tabella II sono presentati i risultati delle determinazioni analitiche condotte su liquido seminale e in urina.

Tabella II. Risultati dei dosaggi degli indicatori di stress ossidativo, degli indicatori biologici di esposizione a bisfenoli e dei parametri della qualità di liquido seminale

Parametro (unità di misura)	Media	±DS[1]	Mediana	5th percentile	95th percentile	Valori di riferimento WHO[2] 2021	%< WHO 2021
Volume (mL)	2,17	0,87	2	0,53	3,00	>1,4	17,41
Concentrazione (x 10^6/mL)	34,79	26,79	30	2,90	80,00	> 16	33,83
Motilità (%)	41,21	17,65	45	05,25	69,75	> 42	49,25
BPA (µg/g creatinina)	1,98	8,41	0,01	0,00	10,69		
BPS (µg/g creatinina)	0,62	2,67	0,03	0,00	2,32		
BPF (µg/g creatinina)	1,41	4,44	0,09	0,02	6,93		
8-oxoGua[3] (µg/g creatinina)	113,77	139,78	69,48	9,67	353,01		
8-oxoGuo[4] (µg/g creatinina)	7,79	8,85	5,77	1,18	23,38		
8-oxodGuo[5] (µg/g creatinina)	8,06	7,91	6,03	0,65	24,67		
3NO2Tyr[6] (µg/g creatinina)	26,00	21,38	18,54	4,02	72,83		
5MeCyt[7] (µg/g creatinina)	23,94	51,66	7,04	0,68	122,15		
Cotinina (mg/g creatinina)	30,79	79, 00	0,16	0,037	182,71		

[1] *DS= deviazione standard; [2] BMI= body mass index; [3] 8-Oxogua= 8-oxo-7,8-dihydroguanine; [4] 8-oxoGuo= 8-oxo-7,8-dihydroguanosine; [5] 8-oxo-dGuo= 8-oxo-7,8- dihydro-2- deoxyguanosine; [6] 3NO2tyr= 3- nitrotirosina; [7] 5MeCyt= 5-metilcitidina*

Lo studio di correlazione tra i livelli degli alchilfenoli, i livelli degli indicatori di stress ossidativi e dei parametri del liquido seminale, condotto mediante l'applicazione di regressioni lineari ha mostrato: una correlazione positiva tra BPA e $3NO_2Tyr$ (p=0,006), una correlazione negativa tra BPS e motilità spermatica (p=0,026) e positiva con 8oxoGuo, 8oxodGuo e $3NO_2Tyr$ (p=0,021; p=0,017; p=0,048); una correlazione positiva tra BPF e concentrazione spermatica (p=0,025) e con i valori di 8oxoGua, 8oxodGuo e $3NO_2Tyr$ (p=0,000; p=0,024; p=0,006). Questi dati suggeriscono che un aumentato livello di esposizione ai bisfenoli possa incidere su un aumento dello stress ossidativo e nitrosattivo e, in particolare, possa influire sulla motilità spermatica.

Conclusioni

Lo studio evidenzia una possibile correlazione fra l'esposizione a BPA, BPS e BPF e un aumento del livello di stress ossidativo in una popolazione di uomini con problemi di fertilità, elemento che sembra possa essere legato ad una riduzione della qualità del liquido seminale, particolarmente della motilità spermatica. La conduzione di ulteriori indagini epidemiologiche potrà consolidare gli esiti del presente studio, questi risultati si inseriscono nelle nuove richieste normative in termini di reprotossici in ambiente di lavoro, chiamando il datore di lavoro a porre particolare accortezza alle condizioni espositive.

Bibliografia

Caporossi, L., Alteri, A., Campo, G., Paci, E., Tranfo, G., Capanna, S., Papaleo, E., Pigini, D., Viganò, P., Papaleo, B., 2020. Cross sectional study on exposure to BPA and Phthalates and semen parameters in men attending a fertility center. Int J Environ Res Public health, 13;17(2):489.

De Toni, L., De Rocco Ponce, M., Petre, G.C., Rtibi, K., Di Nisio, A., Foresta, C., 2020. Bisphenols and male reproductive health: from toxicological models to therapeutic hypotheses. Front Endocrinol, 11:301.

Mannucci, A., Argento, F.R., Fini, E., Coccia, M.E., Taddei, N., Becatti, M., Fiorillo, C., 2022. The impact of oxidative stress in male infertility. Front Mol Biosci, 5, 8:799294.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Buone pratiche nell'ambito del Programma Workplace Health Promotion (WHP): focus sulle aziende lombarde che hanno aderito al programma

Implementation of best practices within the Workplace Health Promotion (WHP) Programme: a focus on participating companies in Lombardy region

Carmine Esposito[1], **Gabriella Marena**[1]

[1] *Consulenza tecnica salute e sicurezza, Inail DR Lombardia*

Corresponding author: Gabriella Marena, *g.marena@inail.it*

Introduzione

La tutela della salute e sicurezza sul lavoro può estendersi oltre la prevenzione di infortuni e malattie professionali, includendo la riduzione dei fattori di rischio delle malattie croniche non trasmissibili e la promozione del benessere globale dei lavoratori. In questo contesto si inserisce la Promozione della Salute nei Luoghi di Lavoro (Workplace Health Promotion – WHP), strategia preventiva che integra le misure di salute e sicurezza con interventi orientati a favorire stili di vita salutari, in linea con i riferimenti dell'OMS, della Carta di Ottawa e della Dichiarazione di Lussemburgo. In Italia, i luoghi di lavoro sono riconosciuti dai Piani Nazionali della Prevenzione come setting prioritari.

Il Programma WHP, nato a Bergamo con riconoscimenti nazionali ed europei, prevede un'adesione volontaria delle aziende e un sistema di accreditamento annuale volto a garantire la continuità delle azioni. Il contributo analizza in particolare le pratiche raccomandate su alimentazione e attività fisica e le aziende lombarde aderenti al programma.

Materiali e Metodi

Il materiale analizzato comprende esempi applicativi relativi alle aziende aderenti alla Rete, con specifico riferimento alle pratiche raccomandate orientate alla promozione di una sana alimentazione e dell'attività fisica.

Le azioni implementate comprendono interventi di comunicazione e sensibilizzazione, il miglioramento dell'offerta alimentare aziendale, l'utilizzo di strumenti educativi digitali, il coinvolgimento di figure specialistiche quali il nutrizionista, nonché l'adozione di facilitazioni di tipo organizzativo finalizzate a favorire la pratica dell'attività fisica.

La valutazione degli interventi si basa su indicatori di processo, esiti intermedi e risultati a medio-lungo termine, considerando sia i cambiamenti negli stili di vita dei lavoratori sia i benefici organizzativi, quali la riduzione dell'assenteismo e degli infortuni e il miglioramento del clima aziendale.

Nell'ambito del Programma "Luoghi di lavoro che Promuovono Salute – Rete WHP Lombardia", i progetti approvati e rendicontati nel triennio 2022–2025 sono sintetizzati nei grafici che seguono.

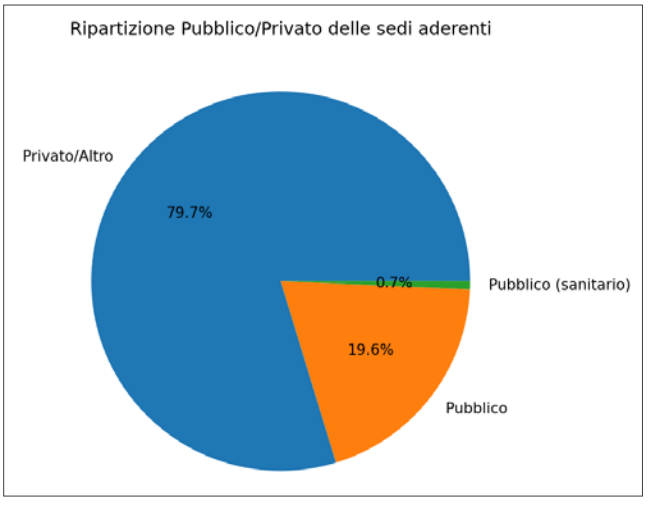


Grafico 1. Grafico a torta che rappresenta la ripartizione dei progetti tra organizzazioni pubbliche e private

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

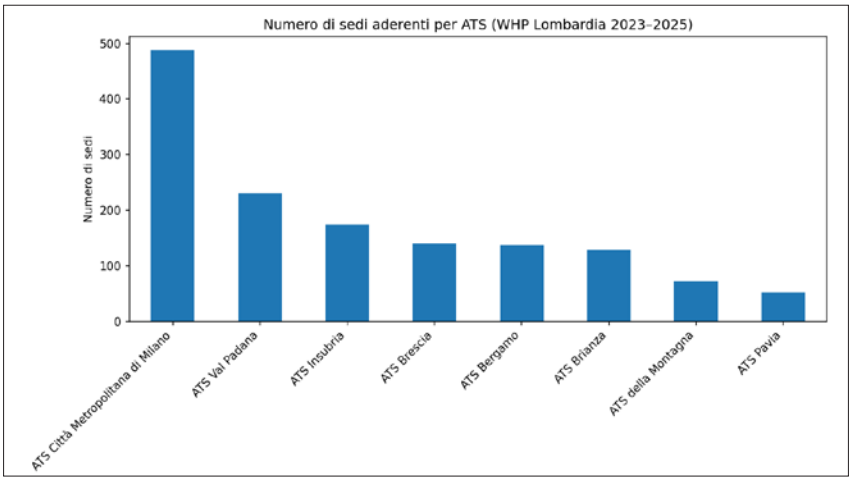


Grafico 2. Numero di sedi aderenti per ATS (WHP 2023-2025)

Le Agenzie per la Tutela e la Salute (ATS) lombarde (Milano, Insubria, Val Padana, ecc.) hanno fornito e forniscono supporto metodologico alle aziende, formazione per la costituzione del gruppo di lavoro (DL, RSPP, MC, RLS,...), strumenti e manuali operativi, monitoraggio e attestazione annuale "*Luogo di lavoro che promuove salute*". Nel triennio 2023-2025 sono state circa 1.200 aziende lombarde con oltre 1400 sedi aderenti alla Rete WHP, per oltre 300.000 lavoratori coinvolti. Tra le realtà aderenti figurano enti e aziende appartenenti a diversi settori produttivi e dei servizi, tra cui ASP Golgi-Redaelli, ente pubblico di servizi alla persona che ha integrato il WHP nella propria programmazione strategica pluriennale, nonché Acque Bresciane e le società del Gruppo Cogeme, multiutility che aderiscono da più anni al programma in collaborazione con ATS e associazioni datoriali territoriali.

Risultati

Le buone pratiche del Programma WHP promuovono un'alimentazione coerente con le linee guida nazionali e il modello mediterraneo, favorendo varietà e stagionalità degli alimenti, un maggiore consumo di cereali integrali, legumi, frutta e verdura, un'adeguata idratazione e la riduzione dei principali fattori nutrizionali di rischio. In ambito lavorativo, gli interventi sono adattati alle caratteristiche dell'attività svolta, alla termoregolazione e alla turnazione, mediante il miglioramento dell'offerta alimentare aziendale, l'uso di strumenti di supporto e il coinvolgimento del nutrizionista in collaborazione con il Medico Competente. Parallelamente, la promozione dell'attività fisica contrasta la sedentarietà attraverso politiche organizzative e iniziative che incentivano il movimento quotidiano. Gli esiti includono il miglioramento delle competenze di salute (health literacy), stili di vita più sani, migliore gestione dello stress e benefici organizzativi in termini di clima aziendale, produttività e riduzione di assenteismo e infortuni.

Conclusioni

Nel complesso, il WHP si configura come un intervento multi-componente e sostenibile, integrato nei sistemi di gestione della salute e sicurezza sul lavoro, la cui efficacia nel tempo è favorita da un monitoraggio strutturato e continuo e dall'allineamento con la valutazione dei rischi e i piani formativi aziendali.

Bibliografia

Agenzia Tutela Salute (ATS) Lombardia. Manuale per l'adozione delle Buone Pratiche WHP Lombardia. Regione Lombardia. Varie edizioni.

European Network for Workplace Health Promotion (ENWHP). Luxembourg Declaration on Workplace Health Promotion in the European Union. Version April 2018.

Inail. Alimentazione e lavoro. Fact Sheet, 2018.

Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT). Stili di vita e salute: indicatori regionali. Varie edizioni.

Regione Lombardia. Programma "Luoghi di lavoro che promuovono Salute – Rete WHP Lombardia": materiali e documentazione ufficiale. DG Welfare. Varie edizioni.

https://www.golgiredaelli.it/luoghi-di-lavoro-che-promuovono-salute-rete-whp-lombardia/

https://fondazione.cogeme.net/practice/rete-who-lombardia/

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Valutazione critica dell'efficacia degli agenti decontaminanti nella gestione del rischio occupazionale da farmaci antiblastici

Critical assessment of the effectiveness of decontamination agents in the management of occupational risk from antineoplastic drugs

Keywords: anticancer drugs, decontamination, occupational exposure, surface contamination, health care workers

Andrea Gordiani[1], Lucia Mainero Rocca[1], Giancarlo Burriesci[1]

[1] *INAIL-DiMEILA, Monte Porzio Catone (RM), Italia*

Corresponding author: Andrea Gordiani, *a.gordiani@inail.it*

Introduzione

I farmaci antiblastici sono ampiamente utilizzati nel trattamento delle patologie oncologiche e, in misura minore, in altre condizioni cliniche. Tuttavia, molte di queste sostanze sono classificate come cancerogene, mutagene e reprotossiche, rappresentando un rischio significativo per la salute dei lavoratori esposti. Numerosi studi hanno dimostrato la presenza di residui di antiblastici sia sulle superfici delle aree di preparazione sia nei campioni biologici degli operatori, confermando che l'esposizione professionale è un fenomeno concreto e diffuso.

La sanificazione degli ambienti di lavoro riveste pertanto un ruolo centrale nella prevenzione del rischio occupazionale. Tuttavia, la completa decontaminazione delle superfici risulta spesso difficile da ottenere e fortemente dipendente dal tipo di farmaco, dalle caratteristiche dei materiali e dalle procedure adottate. Scopo del presente lavoro è analizzare criticamente l'efficacia dei principali agenti decontaminanti descritti in letteratura, valutandone i limiti applicativi e le implicazioni in termini di sicurezza per gli operatori.

Materiali e Metodi

È stata condotta una revisione critica della letteratura scientifica relativa alle procedure di decontaminazione delle superfici contaminate da farmaci antiblastici. Gli studi selezionati analizzano l'efficacia di differenti agenti chimici e fisici applicati su materiali comunemente presenti nelle aree di preparazione (acciaio inox, vetro, PVC, laminati), considerando parametri quali concentrazione della soluzione, tempo di contatto, volume applicato e modalità di utilizzo.

L'efficacia di decontaminazione è stata espressa come percentuale di rimozione del contaminante (Effq%), parametro che consente il confronto tra i diversi approcci e la valutazione critica delle prestazioni dei singoli agenti.

Risultati e Discussione

Dall'analisi della letteratura emerge che gli agenti ossidanti, in particolare l'ipoclorito di sodio, presentano i valori di Effq più elevati su un ampio spettro di farmaci antiblastici. Tuttavia, l'elevata efficacia è bilanciata da criticità operative legate alla corrosività, all'irritazione delle mucose e al potenziale danneggiamento delle superfici, che ne limitano l'uso routinario.

Altri agenti ossidanti, quali il perossido di idrogeno e il reagente di Fenton, mostrano un'efficacia variabile e presentano problematiche legate alla stabilità delle soluzioni e alle condizioni operative richieste. Le soluzioni alcoliche e diversi disinfettanti antimicrobici, sebbene largamente impiegati nella pratica ospedaliera, risultano generalmente inefficaci come agenti di decontaminazione chimica, poiché agiscono prevalentemente per rimozione meccanica senza inattivare le molecole citotossiche.

I tensioattivi emergono come un'alternativa di particolare interesse: pur non determinando la degradazione chimica dei farmaci, favoriscono una efficace rimozione fisica dei contaminanti, mostrando un profilo di sicurezza più favorevole e una maggiore compatibilità con i materiali. Tuttavia, le evidenze disponibili risultano ancora frammentarie e basate su un numero limitato di molecole, rendendo necessari ulteriori studi in condizioni operative reali.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Tabella I. Confronto sintetico dell'efficacia (Effq%) e delle principali criticità operative dei decontaminanti per farmaci antiblastici.

Classe di agente	Agente / soluzione	Effq% indicativa	Limiti principali
Ossidanti	Ipoclorito di sodio (NaOCl)	86–100%	Corrosivo, irritante, danneggia superfici
	Perossido di idrogeno (H_2O_2)	Variabile (30–100%)	Dipende dal tempo di contatto, instabile
	Reagente di Fenton	≈ 99%	Uso complesso, instabile
	Permanganato di potassio	Fino a 100%	Residui mutageni, macchia superfici
Basi / Acidi	NaOH / HCl	30–60%	Bassa efficacia, corrosivi, residui tossici
Alcoli	Etanolo / Isopropanolo	< 10%	Inefficaci come degradanti chimici
Antimicrobici	Ammonio quaternario / Fenolici	90–99%	Efficacia limitata a pochi farmaci
Tensioattivi	Tensioattivi non ionici / detergenti	70–95%	Rimozione fisica, dati frammentari
Combinazioni	Sequenze / kit commerciali	Fino a ≈ 99%	Procedure complesse, scarsa praticità

Alla luce dei dati riportati in Tabella I, la selezione del decontaminante deve bilanciare efficacia, sicurezza degli operatori e sostenibilità delle procedure.

Conclusioni

L'analisi critica dei dati disponibili conferma che non esiste un agente decontaminante universale per i farmaci antiblastici. L'ipoclorito di sodio rimane il riferimento principale in termini di efficacia, ma presenta limiti significativi legati alla sicurezza degli operatori e alla sostenibilità delle procedure.

Approcci alternativi, in particolare basati sull'impiego di tensioattivi, appaiono promettenti per una gestione più sicura e flessibile della contaminazione, soprattutto in ambienti non convenzionali. In ogni caso, l'efficacia delle procedure di decontaminazione dipende fortemente dal contesto applicativo. Una strategia integrata, basata su procedure personalizzate, monitoraggio ambientale continuo e formazione degli operatori, rappresenta la chiave per una gestione efficace e sicura del rischio occupazionale da farmaci antiblastici.

Bibliografia

Castiglia L. et al., J Occup Health, 2008.

Simon N. et al., J Oncol Pharm Pract, 2019.

NIOSH, Preventing Occupational Exposure to Antineoplastic Drugs, 2004.

USP <800>, Hazardous Drugs – Handling in Healthcare Settings, 2019.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Casi-studio per valutazione del rischio al Radon in sedi INAIL Campania: indagini di screening utilizzando un rilevatore attivo istantaneo di Radon con sensori di parametri ambientali

Radon risk assessment in INAIL Campania workplaces: case studies based on screening measurements using an active real-time radon detector

Keywords: Occupational health and safety, Indoor radon, Workplace exposure, Real-time radon monitoring

Raffaele d'Angelo[1], Gennaro Bufalo[2], Carlo Novi[1], Ernesto Russo[1]

[1] *Consulenza tecnica per la salute e la sicurezza (Ctss), Istituto Nazionale Assicurazione Infortuni sul Lavoro (INAIL), Campania, Napoli, Italia.*

[2] *IDEAS, Dip. di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, Italia*

Corresponding author: Raffaele d'Angelo, *r.dangelo@inail.it*

Introduzione

Il radon, gas radioattivo e cancerogeno, è prodotto dal decadimento di uranio e radio (isotopo Rn-222). Può raggiungere concentrazioni elevate negli edifici, quindi sono necessarie misurazioni annuali. Lo screening rapido tramite dispositivi attivi consente una valutazione preliminare del rischio, monitora la variazione indoor e supporta la progettazione di interventi di mitigazione, anche se non sostituisce le misure annuali per fini legali.

Materiali e Metodi

Lo screening (misura del Radon-222 e parametri microclimatici) ha riguardato il Centro Polispecialistico INAIL di Caserta e la D.R. Campania di Napoli. Per Caserta sono state analizzate n.4 stanze dell'interrato; per la D.R. n.3 stanze al 13° piano, un corridoio seminterrato e la reception a piano terra. I locali (elencati in tabella I), tranne la reception, sono rimasti chiusi e senza personale.

Strategia di Campionamento

Anche con porte e finestre chiuse, il microclima interno dipende dalla radiazione solare e dalle caratteristiche edilizie. La T interna segue quella esterna con ritardo, l'umidità è stabile eccetto variazioni dovute ai materiali, e la pressione si adegua rapidamente all'esterno. Per evitare aliasing, si applica il teorema di Nyquist-Shannon: il campionamento avviene ogni 10 minuti per distinguere ritmo circadiano e rumore. Lo studio osserva oscillazioni di radon su cicli di 2-3 giorni in ambienti chiusi senza persone.

Strumentazioni utilizzate

Per misurare il Radon-222 è stato impiegato l'Alphaguard DF2000 (Bertin Technologies), accompagnato da sensori di T, P e umidità. Le rilevazioni sono state condotte in modalità diffusiva, ogni 10 min. per circa 3 giorni, al centro dei locali selezionati a 1,5 m dal pavimento. Temperatura, umidità rel. e pressione sono state misurate con le stesse modalità.

Risultati e Discussione

Le misurazioni hanno evidenziato che il Rn è più elevato nei locali interrati e diminuisce ai piani superiori. A Napoli, i livelli massimi si trovano nel seminterrato, mentre la reception al piano terra ha valori inferiori, probabilmente per l›apporto di aria esterna. Altri fattori influenzano maggiormente la concentrazione di Rn rispetto a temperatura, umidità e pressione. Non si osservano correlazioni evidenti tra Rn e variabili ambientali; viene riportata solo la Figura 1 come esempio. Lo screening iniziale di 2-3 giorni ha limitato l'affidabilità delle analisi; si consiglia di prolungare il periodo di osservazione. Il Radon-222 mostra periodicità con picchi notturni, ma non si conferma un ciclo infradiano della pressione; uno screening di almeno una settimana sarebbe utile. L'analisi su brevi periodi risulta poco affidabile. Per valutare le correlazioni si può applicare la regressione lineare su segmenti monotoni, utile per analisi preliminari.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Tabella I. Caratterizzazione degli ambienti delle sedi INAIL oggetto dello screening: concentrazione massima (Max), minima (Min) e media, di Radon-222; valori ricavati, per ciascun ambiente, dai dati di campionamento.

Ambiente	Radon-222 (Bq/m^3)			
	Max	Min	Media	Variabile (*)
Sede Caserta				
Piano Interrato				
stanza n. 8	97,42	1,80	28,86	Umidità relativa
stanza n. 2B	75,57	6,06	28,58	Umidità relativa
stanza n.15	145,79	16,45	58,05	Umidità relativa
Sede di Napoli				
Piano n°13				
stanza LabH	35,89	1,92	10,82	Umidità relativa
stanza LabP	53,99	1,92	21,72	Umidità relativa
stanza n.12	38,49	1,86	13,33	Temperatura
Piano Terra (*Reception*)	19,23	1,98	6,47	Non determinabile
Piano Seminterrato	87,25	1,86	21,85	Temperatura

(*) *per la quale è osservabile una possibile correlazione con la concentrazione di R-222*

La Figura 1 mostra 6 zone (linee verticali), in cui la concentrazione di Rn segue un andamento quasi monotono; anche le variabili ambientali mostrano tendenze simili. In queste zone è possibile analizzare la correlazione tra Radon-222 e variabili ambientali con regressione lineare e calcolare i coefficienti R2. L'umidità risulta la variabile più correlata al Radon (eccetto nel plateau) e nella Tabella I appare la variabile ambientale meglio correlata. Segmentare una serie storica può favorire però il "cherry picking". Le medie mobili aiutano a evitare questo rischio, mostrando il trend reale e filtrando le oscillazioni brevi, come nella Figura 1 sulla concentrazione di Radon-222.

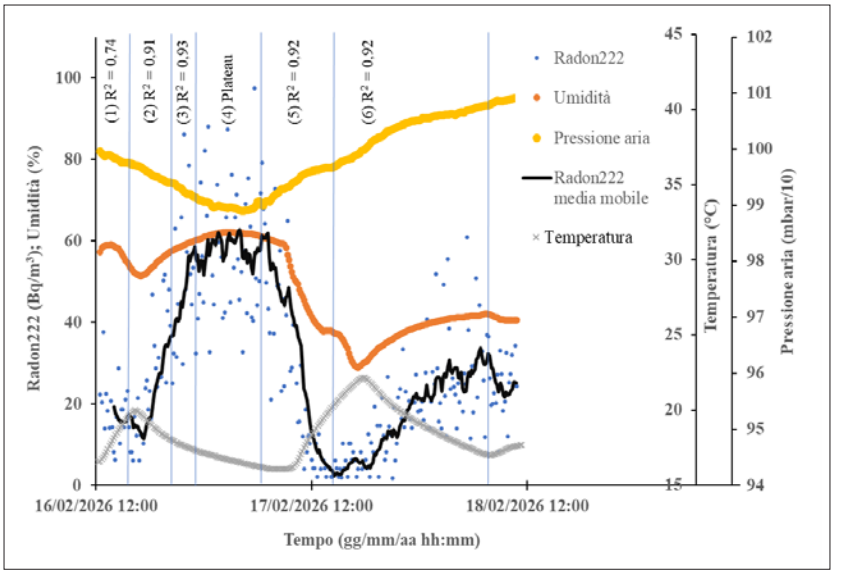


Figura 1. Andamenti, durante il tempo di screening, della concentrazione del Radon-222 e delle variabili ambientali: temperatura, pressione atmosferica, umidità relativa.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Conclusioni

L'indagine ha evidenziato che l'uso di analizzatori Radon e sensori ambientali permette una valutazione rapida del rischio. Lo screening breve non sostituisce la misurazione annuale, ma facilita l'identificazione immediata dei problemi e delle strategie di mitigazione. I casi studio mostrano che la struttura degli edifici influenza la distribuzione del gas Rn, con anomalie rilevate nel grattacielo di Napoli per effetto camino e diluizione d'aria nelle zone aperte.

Bibliografia

Bochicchio, F., Campos Venuti, G., Piermattei, S., Torri, G., Nuccetelli, C., Risica, S., Tommasino, L., 1999. Results of the national survey on radon indoors in the all the 21 italian regions. Proceedings of Radon in the Living Environment Workshop, Atene, Aprile 1999. In *https://www.researchgate.net/*

WHO-IARC World Health Organization - International Agency for Research on Cancer, Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans: Man-made Mineral Fibers and Radon. IARC Monograph Vol. 43, Lyon, France, 1988.

World Health Organization (2009). WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. World Health Organization. https://iris.who.int/handle/10665/44149

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Rischio biologico in ambienti indoor complessi, uno studio negli allevamenti suinicoli intensivi

Biological risk in complex indoor environments: a study in intensive pig farms

Keywords: Airborne microorganisms, endotoxins, Aspergillus, exposed workers.

Angela Gioffrè[1], Ida E.R. Montesanti[1], Emilia Paba[2], Alessandra Chiominto[2], Pasquale Samele[1], Anna Maria Marcelloni[2], Daniela Visaggio[3], Francesco Casalinuovo[4], Francesco Mediati[1,5]

[1] *Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale, INAIL, Lamezia Terme, Catanzaro*
[2] *Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone, Roma*
[3] *Dipartimento di Scienze, Università degli Studi Roma Tre, Roma.*
[4] *Istituto Zooprofilattico Sperimentale del Mezzogiorno, Sezione di Catanzaro, Catanzaro*
[5] *Dipartimento di Scienze Chimiche, Biologiche, farmaceutiche ed Ambientali, Università di Messina, Messina.*

Corresponding Author: Angela Gioffrè, *an.gioffre@inail.it*

Introduzione

Gli ambienti confinati sono di fatto ad elevato rischio espositivo per i lavoratori del settore, e ancor più se tali ambienti sono quelli utilizzati per la produzione animale di tipo intensivo. In questi ambienti complessi ci siamo concentrati sull'esposizione per via inalatoria e/o contatto diretto ad agenti biologici e a loro metaboliti e componenti [Liu et al., 2023]. Obiettivo dello studio è quello di approfondire il rischio di esposizione ad agenti biologici nel settore zootecnico, attraverso l'analisi di alcune matrici ambientali (aria e superfici), e di capire se le caratteristiche strutturali degli ambienti e/o le fasi lavorative possono concorrere all'aumento del rischio espositivo.

Materiali e Metodi

Il monitoraggio è stato effettuato su 20 aziende suinicole, 10 delle quali intensive e 10 allo stato brado/semibrado, ubicate nella regione Calabria. Nelle aziende intensive sono stati effettuati monitoraggi ambientali tramite campionamento di aria mediante l'utilizzo di impattori attivi (Microflow Aquaria), e AirCeck5000 (SKC) e tamponi sulle superfici.

Risultati e Discussioni

Le caratteristiche strutturali delle aziende monitorate sono riassunte in Tabella I.

Queste caratteristiche possono certamente incidere sulla presenza di rischi di natura chimica, fisica e biologica. In particolare, per la valutazione dell'esposizione professionale a rischio biologico sono state selezionate le aziende intensive.

Tabella I. caratteristiche strutturali delle aziende monitorate.
I risultati ottenuti mostrano un'elevata concentrazione di microrganismi aerodispersi e presenti sulle superfici di quasi tutte le aziende campionate.

		tipologia di ventilazione			tipo di mangime			distribuzione del mangime			approvvigionamento idrico		
tipologia aziendale	n	forzata	entrambe	naturale	biologico	non biologico	entrambi	manuale	automatico	entrambi	Acquedotto comunale	Pozzo/sorgente	misto
intensivo	10	4	3	3	0	8	2	6	1	3	4	4	2
%	50%	40%	30%	30%	0%	80%	20%	60%	10%	30%	40%	40%	20%
brado	10			10	4	5	1	0	0	10	5	3	2
%	50%			100%	40%	50%	10%			100%	50%	30%	20%

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Figura 1. I grafici mostrano la concentrazione per m^3 di aria e per 100 cm^2 di superfici analizzate. (a sinistra Batteri, a destra spore fungine).

Per quanto riguarda la qualità dell'aria e delle superfici degli ambienti che abbiamo campionato, vi è una concentrazione elevata di microrganismi, sia Gram negativi che positivi.

In particolare, per quanto riguarda l'aria, in tutte le aziende abbiamo una concentrazione che va da 10^6 a 10^9 CFU/m^3 di aria, per le superfici invece le concentrazioni sono più basse con un massimo di 10^4 CFU/100 cm^2 per i Gram positivi nell'azienda CS06. Analogamente per quanto riguarda la concentrazione di spore fungine sia nell'aria che nelle superfici, ci attestiamo su 10^4 CFU/m^3 per l'aria e per $8x10^4$ CFU/100cm^2 per le superfici come valore massimo.

Abbiamo poi condotto alcune identificazioni sulle colonie maggiormente, sia per quanto riguarda i Gram negativi che i Gram positivi.

Sicuramente la specie più rappresentata è quella degli Staphylococcus spp., il 42% nell'aria e il 52% nelle superfici, come era comunque prevedibile. Fra i Gram negativi la specie più rappresenta e E. coli, 16% nell'aria e 9% nelle superfici. Per quanto riguarda l'identificazione delle muffe, più della metà è rappresentato del genere Aspergillus spp., con Aspergillus niger in testa (16,7%), in accordo con quanto rilevato in studi precedenti [Kraemeret al., 2022].

Inoltre, la concentrazione di endotossine aerodisperse rilevate nelle diverse aziende suinicole, risulta maggiore di 90 EU/m^3, limite di esposizione proposto dal Dutch Expert Committee on Occupational Safety [DECOS, 2010], in 4 delle 10 aziende campionate.

Conclusioni

I dati di questo lavoro mostrano che i lavoratori degli allevamenti suini sono esposti a elevati livelli di microrganismi (funghi e batteri) e dei loro componenti (endotossine), indipendentemente dalle caratteristiche strutturali delle aziende; questo è dovuto ad una elevata concentrazione di polveri organiche aerodisperse che si generano per esempio dalle operazioni di pulizia dei ricoveri, ma anche dalla distribuzione dei mangimi. È necessario quindi un più attento monitoraggio delle fonti espositive, dei processi lavorativi, ma soprattutto una maggiore formazione e informazione ai lavoratori sui rischi associati a questo complesso settore lavorativo.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Bibiliografia

Health Council of the Netherlands. Endotoxins 2010. Health-based recommended occupational exposure limit. The Hague: Health Council of the Netherlands.

Kraemer JG, Hilty M, Oppliger A. 2022. Occupational Exposure to β-d-Glucans, Mould Allergens, Endotoxins and Cultivable Fungi in Pig Farms. Ann Work Expo Health. Oct 11;66(8):967-973.

G, Liu Z, Xi L, Ma W, Gao X. 2023. Characteristics of aerosols from swine farms: A review of the past two-decade progress. Environ Int. 2023 Aug;178:108074.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Corroboranti come alternativa ai prodotti di sintesi per la sicurezza dei lavoratori agricoli

Corroborants as an alternative to synthetic products

Keywords: Fitosanitari e Corroboranti, Esposizione professionale, Valutazione del rischio occupazionale

Eva Masciarelli[1], Laura Casorri[1], Marco Di Luigi[2], Diana Poli[2], Claudio Beni[3], Daniela Scutaru[3]

[1] *INAIL - Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti, Prodotti e Insediamenti Antropici (DIT).Roma.*

[2] *INAIL DiMEILA, Monte Porzio Catone (RM)*

[3] *CREA- Centro ricerca Ingegneria e Trasformazioni Agroalimentari, Monterotondo (Roma)*

Corresponding author: Marco Di Luigi, *m.diluigi@inail.it*

Introduzione

Negli ultimi anni l'uso intensivo dei prodotti fitosanitari di sintesi è stato progressivamente limitato per le possibili conseguenze sull'uomo, sull'ambiente e sulla biodiversità. Le politiche comunitarie promuovono infatti una riduzione del loro impiego e l'adozione di strategie di difesa alternative e sostenibili (agricoltura biologica e integrata). In tale contesto, l'utilizzo dei corroboranti rappresenta un supporto per la protezione delle colture, in quanto sostanze naturali in grado di potenziare le difese delle piante e aumentarne la resistenza agli stress biotici e abiotici [Arpaia e Turchi, 2015; Jamiołkowska, 2020].

I corroboranti non rientrano tra i prodotti fitosanitari e i fertilizzanti, ma hanno funzione di potenziamento delle difese naturali della pianta, sono costituiti da sostanze naturali ed hanno procedura semplificata di commercializzazione.

Obiettivo del lavoro è fornire una panoramica sui corroboranti quali strumenti alternativi o complementari ai prodotti di sintesi, con attenzione al quadro normativo nazionale e alle possibili ricadute sulla riduzione dell'esposizione chimica dei lavoratori agricoli.

Risultati e Discussione

I corroboranti non sono definiti o previsti da alcuna norma europea ma sono disciplinati a livello nazionale dalle norme riportate in tabella.

Tabella I. Normativa di riferimento dei corroboranti.

DPR 28 febbraio 2012, n. 55	Corroboranti: potenziatori delle difese delle piante, sostanze di origine naturale, diverse dai fertilizzanti, che migliorano la resistenza delle piante nei confronti degli organismi nocivi e proteggono le piante da danni non provocati da parassiti
DM 18 luglio 2018, n. 6793	Elenco delle tipologie di corroboranti autorizzati e linee guida per la presentazione del dossier di richiesta di approvazione di un nuovo corroborante
DM 30 maggio 2024, n. 0242742	Etichettatura dei corroboranti e alle procedure di autorizzazione per l'immissione in commercio. Istituisce due distinte categorie di prodotti corroboranti: per agricoltura biologica e biodinamica e per l'agricoltura convenzionale

La normativa italiana prevede limiti di impiego e modalità di applicazione dettagliate, in linea con i principi della difesa integrata e dell'agricoltura biologica.

Tale approccio è rilevante anche ai fini della prevenzione del rischio chimico occupazionale, favorendo strategie che possono ridurre l'uso di sostanze chimiche potenzialmente pericolose. L'elenco dei corroboranti autorizzati viene aggiornato periodicamente dal Ministero dell'agricoltura, della sovranità alimentare e delle foreste (MASAF).

Tra le principali tipologie di corroboranti attualmente autorizzate rientrano le sostanze riportate nella tabella II, caratterizzate da differenti origini, meccanismi d'azione e modalità di utilizzo.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Tabella II. Principali corroboranti: origine, meccanismo d'azione e modalità di utilizzo.

Corroborante	Origine	Meccanismo d'azione	Note pratiche
Propoli	Apicolo	Stimolazione delle difese naturali	Estratto da applicare in soluzione
Lecitina	Vegetale/soia	Migliora integrità cellulare e stress	Spesso combinata con fitofarmaci per migliorare adesione
Caolino	Minerale	Pellicola protettiva su foglie e frutti	Utilizzato contro insetti e scottature solari
Bicarbonato di sodio	Chimico naturale	Ambiente sfavorevole per alcuni patogeni	Contro funghi superficiali
Estratti vegetali (alghe, ortica)	Vegetale	Stimolazione difese e nutrienti	Applicazioni fogliari periodiche

I corroboranti migliorano le condizioni fisiologiche delle piante e regolano l'ambiente microbico, con un'azione prevalentemente indiretta nei confronti degli organismi nocivi. Il loro impiego, nell'ambito di strategie integrate di gestione delle colture, può contribuire a ridurre l'utilizzo di prodotti di sintesi, con potenziali benefici per la salute e la sicurezza degli operatori agricoli [Pereira, 2021].

I principali vantaggi legati al loro utilizzo sono:

- compatibilità con agricoltura biologica e integrata;
- miglioramento generale della vigoria della pianta;
- assenza di residui tossici sugli alimenti;
- maggior sicurezza per l'operatore agricolo legata alla minore esposizione a sostanze chimiche pericolose nelle diverse fasi di applicazione del prodotto.

La Figura 1 illustra l'effetto barriera di estratto di lavanda, utilizzato singolarmente o in combinazione con corroboranti minerali, rispetto al controllo.

Figura 1. Foglie di lattuga e cicoria trattate con solo estratto di lavanda (L), o con (L) a cui è stato aggiunto un corroborante [zeolite (Z), caolino (C) e bentonite (B), rispetto al controllo (H_2O)] per realizzare una barriera schermante.

Nonostante i vantaggi, i corroboranti presentano comunque dei limiti e delle criticità dovuti all'efficacia, dipendente dalla specie vegetale, dalla varietà e delle condizioni ambientali; alla mancanza di standardizzazione delle formulazioni. Infine, nella maggior parte dei casi non è possibile una totale sostituzione dei prodotti di sintesi.

Conclusioni

I corroboranti possono rappresentare un interessante strumento per la difesa delle colture, soprattutto nei sistemi di agricoltura sostenibile e biologica. La loro efficacia, anche se non è equivalente a quella dei prodotti di sintesi, può essere migliorata mediante l'uso combinato con pratiche di gestione integrata delle colture, di fertilizzazione equilibrata e con un monitoraggio continuo delle condizioni ambientali e fitosanitarie. In tale contesto, l'inserimento dei corroboranti nelle strategie integrate di gestione delle colture consente di perseguire anche obiettivi di prevenzione primaria, attraverso la riduzione dell'impiego di sostanze chimiche e dell'esposizione degli operatori agricoli.

Bibliografia

Arpaia S., Turchi R., 2015. Biostimolanti e corroboranti in agricoltura biologica: principi e applicazioni. Riv. Agron., 49(3), 45–58.

Jamiołkowska A., 2020. Natural compounds as elicitors of plant resistance against diseases and new biocontrol strategies. Agronomy, 10(2), 173.

Pereira R.V., Filgueiras C.C., Dória J., Peñaflor M.F.G.V., Willett D.S., 2021. The effects of biostimulants on induced plant defense. Front. Agron., 3, 630596.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Restrizioni UE sulle microplastiche e ricadute per la salute e sicurezza nei luoghi di lavoro

EU restrictions on microplastics and their implications for workplace health and safety

Keywords: Microplastiche, Compliance Regolatoria, Esposizione professionale, Valutazione del rischio occupazionale

Marco Di Luigi[1], Paola Castellano[1], Diana Poli[1], Eva Masciarelli[2], Laura Casorri[2], Andrea Militello[1]

[1] *INAIL Dipartimento di Medicina Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale (DiMEILA), Monte Porzio Catone (RM)*

[2] *INAIL – Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti, Prodotti e Insediamenti Antropici (DIT), Roma.*

Corresponding author: Marco Di Luigi, *m.diluigi@inail.it*

Introduzione

Le microplastiche sono al centro di un rafforzamento regolatorio europeo culminato nell'adozione del Regolamento (UE) 2023/2055, che introduce restrizioni sulle microplastiche intenzionalmente aggiunte ai prodotti. Tali disposizioni producono ricadute indirette ma rilevanti anche negli ambienti di lavoro poiché incidono sui processi produttivi, sulle formulazioni e sulle modalità di utilizzo in quanto potenziali sorgenti di esposizione professionale. In particolare, l'introduzione di obblighi informativi e di reporting sulle emissioni stimate rende necessario valutare le possibili interazioni tra *compliance* ambientale e tutela della salute e sicurezza dei lavoratori.

Lo scopo del lavoro è analizzare le ricadute del Regolamento (UE) 2023/2055 sulla tutela della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, valutando l'inquadramento delle microplastiche nell'ambito del rischio chimico e le implicazioni operative da intraprendere.

Materiali e Metodi

È stata condotta un'analisi integrata del contesto regolatorio e delle evidenze scientifiche disponibili in merito alla presenza e alla generazione di microplastiche nei luoghi di lavoro. Sono stati esaminati scenari produttivi caratterizzati dalla manipolazione di polveri polimeriche, microgranuli e additivi solidi, includendo fasi di produzione, trasformazione, riciclo e utilizzo industriale. È stata inoltre valutata la coerenza tra gli obblighi introdotti dal Regolamento (UE) 2023/2055 e i requisiti previsti dal D.Lgs. 81/08 e s.m.i..

Risultati e Discussione

Il Regolamento (UE) 2023/2055 modifica l'Allegato XVII del REACH introducendo una restrizione progressiva sulle microplastiche finalizzata alla riduzione del loro rilascio ambientale, in coerenza con il *Zero Pollution Action Plan* dell'Unione europea [Commission, 2021]. La restrizione si applica alle microplastiche intenzionalmente aggiunte, coinvolgendo numerosi settori produttivi (es. cosmetici, detergenti, fertilizzanti, applicazioni industriali e medicali, ecc.). A partire dal biennio 2025–2026, la normativa entra in una fase operativa caratterizzata da obblighi informativi e di reporting annuale a ECHA (a partire dal 31 maggio 2026) per produttori e utilizzatori industriali. Dal punto di vista scientifico e prevenzionistico, la restrizione rappresenta un cambio di paradigma, spostando l'attenzione dalla gestione dei rifiuti alla progettazione dei prodotti e introducendo il principio di responsabilità emissiva lungo l'intero ciclo di vita.

Sebbene il Regolamento (UE) 2023/2055 sia una normativa di prodotto, esso produce ricadute significative sulla normativa sociale per la tutela della salute e sicurezza dei lavoratori. La restrizione agisce infatti a monte dei processi produttivi, imponendo riformulazioni, sostituzioni di sostanze e modifiche operative che incidono direttamente sulle condizioni di esposizione dei lavoratori. Infatti, le microplastiche possono configurarsi come agenti chimici solidi, spesso in forma di polveri fini o microgranuli, potenzialmente persistenti nell'ambiente di lavoro, con rischio di potenziale esposizione principalmente per via inalatoria e, in alcuni contesti, cutanea. Pur in assenza di valori limite di esposizione specifici, la

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

presenza di additivi chimici e di possibili contaminanti associati colloca le microplastiche nell'ambito applicativo del rischio chimico [Shahsavaripour et al., 2023; Koelmans et al., 2022].

Conclusioni

L'integrazione delle valutazioni relative alle emissioni di microplastiche nei contesti aziendali e le difficoltà applicative nell'aggiornamento della valutazione dei rischi evidenziano la necessità di un approccio integrato, volto ad allineare la compliance ambientale con la tutela della salute e sicurezza dei lavoratori e a inquadrare le microplastiche come rischio emergente.

Bibliografia

European Commission, EU Action Plan: "Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil" (Zero Pollution Action Plan), COM(2021) 400 final, Brussels, 12 May 2021.

Koelmans AA, et al. Risk assessment of microplastic particles. *Nat Rev Mater*. 2022.

Shahsavaripour M, et al. Human occupational exposure to microplastics: a cross-sectional study in a plastic products manufacturing plant. *Sci Total Environ*. 2023.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Valutazione del rischio di un'attività di sollevamento "variabile" tramite frequenza cardiaca

Risk assessment of a "variable" lifting task through heart rate

Keywords: agriculture, musculoskeletal disorders, manual handling, low back pain, ergonomics

Alessio Silvetti[1], Francesco Draicchio[2], Elio Munafò[3], Adriano Papale[1]

[1] *INAIL, DiMEILA - Laboratorio di Ergonomia e Fisiologia, Monte Porzio Catone*
[2] *SIE, Società Italiana di Ergonomia, Roma*
[3] *ITAL – UIL, Roma*

Corresponding author: Alessio Silvetti, *al.silvetti@inail.it*

Introduzione

Il D.Lgs. 81/08 obbliga il datore di lavoro a valutare il rischio da movimentazione manuale dei carichi. L'Allegato XXXIII elenca come metodi preferenziali, "ove applicabili", quelli della serie ISO 11228. La norma 11228-1 adotta il metodo NIOSH e ulteriori approcci similari (VLI e CLI) per stimare il rischio in condizioni "variabili". L'applicazione dei nuovi approcci risulta in realtà complessa. Inoltre, il razionale dei moltiplicatori di VLI e CLI, è meno solido del protocollo originale [Gallagher, 2017].

La frequenza cardiaca (FC) è stata storicamente considerata, uno strumento utile per valutare l'impegno dei lavoratori [LeBlanc, 1956; ACGIH, 1971]. In passato i cardiofrequenzimetri erano costosi, ingombranti e imprecisi. Le moderne tecnologie indossabili monitorano la FC in maniera semplice, affidabile ed economica tanto da riproporne l'uso in ambito lavorativo [Sammito, 2024].

Scopo del lavoro è valutare il rischio nell'attività di "pallettizzazione", in cui il lavoratore effettua sollevamenti di carichi di vario peso con differenti geometrie, analizzandone la sua FC.

Materiali e Metodi

Per tutta la durata del task il lavoratore – un uomo di 48 anni – ha indossato una fascia cardiaca Zephyr Bioharness 3.0. La figura 1 mostra il lavoratore impegnato nell'attività.

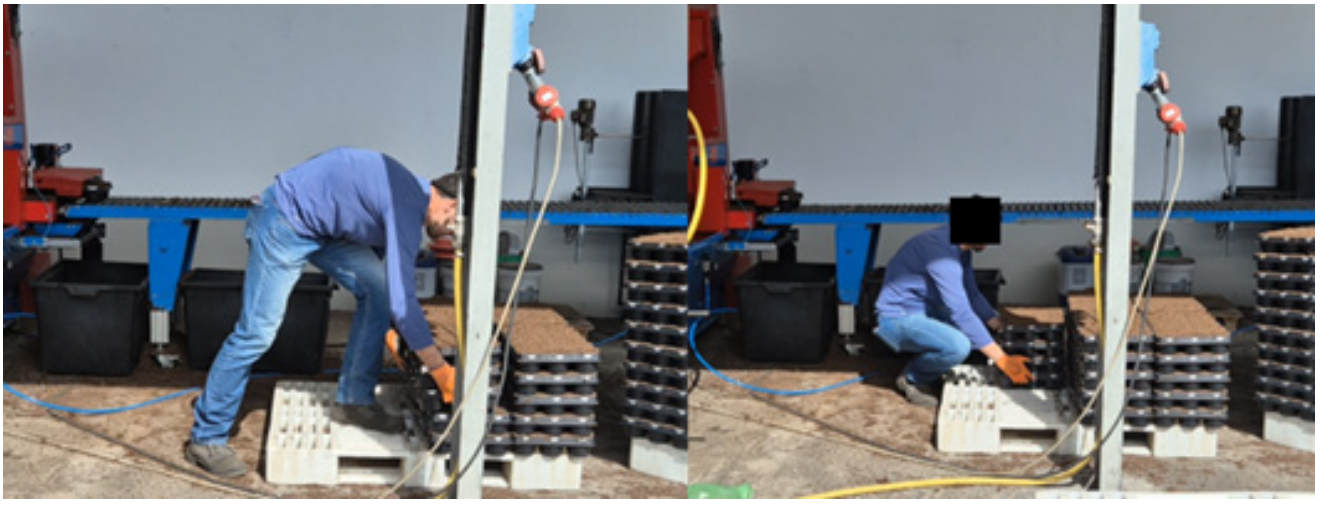


Figura 1. Il lavoratore durante la registrazione dell'attività investigata

Prima dell'inizio dell'attività la FC a riposo (FC_{riposo}) è stata monitorata e registrata per un periodo di 15 minuti in un ambiente confortevole e climatizzato. Per il calcolo della FC massima teorica del lavoratore (FC_{max}) è stata usata la formula di Fox (220-età).

La FC è stata analizzata con il metodo di Frimat [1988]

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

che prevede l'analisi di 5 parametri (Tabella I): 1) FC media dell'acquisizione (FC_{media}), 2) FC massima nell'acquisizione (FC_{picco}), 3) Costo Cardiaco Assoluto (CCA) ($FC_{media} - FC_{riposo}$), 4) Costo Cardiaco Relativo (CCR) (CCA/(FC_{max}-FC_{riposo}), e 5) accelerazione (ΔFC) (FC_{picco}-FC_{media}). Ogni parametro riceve un punteggio da 1 a 6; la somma fornisce il livello totale di esposizione (Tabella II).

Valori del Coefficiente di Frimat	Range dei parametri				
	CCA (bpm)	CCR (%)	FCpicco (bpm)	FCmedia (bpm)	ΔFC (bpm)
1	10-14	0.10-0.14	110-119	90-94	20-24
2	15-19	0.15-0.19	120-129	95-99	25-29
4	20-24	0.20-0.24	130-139	100-104	30-34
5	25-29	0.25-0.29	140-149	105-109	35-39
6	> 30	>0.30	>150	>110	>40

Tabella I. Range dei cinque parametri analizzati dall'indice di Frimat ed i corrispettivi coefficienti

Valori punteggio di Frimat	Classificazione
25	Estremamente duro
24	Molto duro
22	Duro
20	Stressante
18	Sopportabile
14	Leggero
12	Molto leggero
≤10	Lavoro minimo

Tabella II. Classificazione dell'indice di Frimat basata sulla somma dei 5 parametri della Tabella 1

Risultati e Discussione

La FC_{max} era 172 battiti al minuto (bpm), la FC_{riposo} era 65 bpm, la FC_{media} era 87 bpm e la FC_{picco} era 113 bpm. Sulla base di questi 4 dati della FC è possibile calcolare i 5 parametri dell'indice di Frimat ed assegnare i rispettivi punteggi come da Tabella I. Il CCA era di 22 bpm (4 punti), il CCR era del 21% (4 punti), il FC_{picco} era di 113 bpm (1 punto), l'accelerazione (ΔFC) era di 26 bpm (2 punti) e la FC_{media} di 87 bpm. Quest'ultima era inferiore al valore minimo di 90 bpm della Tabella 1 ed è stato assegnato il punteggio di 0. La somma dei punteggi dei 5 parametri dell'indice di Frimat era di 11. Secondo la classificazione della Tabella II l'attività è da considerarsi "molto leggera".

Il valore massimo di 113 bpm non è stato registrato nel sollevamento ma nella smossa del terriccio all'interno della tramoggia con un forcone, un'attività che il lavoratore eseguiva saltuariamente a seconda della necessità.

Conclusioni

Il task analizzato consisteva in una tipica attività di pallettizzazione valutabile tramite il VLI o il CLI utilizzati per sollevamenti di pesi simili a diverse geometrie. Questi metodi richiedono la misurazione manuale di più parametri, aumentando il rischio di errore e riducendo la precisione. L'analisi della FC ha permesso una valutazione oggettiva, semplice ed economica dell'impegno del lavoratore che, in questo caso, era minimo.

L'analisi della FC dei lavoratori nelle attività di sollevamento è prevista all'interno dell'allegato D.1 della ISO 11228-1 che cita "a seconda degli specifici compiti, l'analista può integrare l'analisi del sollevamento con ulteriori analisi..Questo può essere auspicabile quando posture o movimenti estremi sono usati nei compiti di sollevamento, o per stabilire le richieste metaboliche di tutti i compiti coinvolti". Gli aspetti metabolici in ambito occupazionale sono diversi. Tra questi la FC rappresenta il parametro che può essere monitorato in modo efficiente e senza interferire con la reale attività lavorative.

L'analisi della FC ha infine mostrato che il lavoratore era maggiormente impegnato in un'attività diversa dal sollevamento non valutabile con i metodi tradizionali dell'ergonomia.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Bibliografia

ACGIH. 1971 Ergonomics Guide to the assessment of metabolic and cardiac costs of physical work. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 32(8):560-4.

Frimat, P., et al. 1988. Utilisation d'une grille d'évaluation de l'astreinte cardiaque. Rev. Med. Trav., 15(4):159-60.

Gallagher, S., et al. 2017. Development and validation of an easy-to-use risk assessment tool for cumulative low back loading: The Lifting Fatigue Failure Tool (LiFFT). Appl. Ergon., 63: 142-150.

LeBlanc, J.A. 1957. Use of heart rate as an index of work output. J. Appl. Physiol., 10(2):275-80.

Sammito, S., et al. 2024. Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational health science. J. Occup. Med. Toxicol., 19(1):15.

Ringraziamenti

Questo studio è stato promosso e supportato dalla UILA.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Valutazione dell'inquinamento da gas anestetici nelle sale operatorie della ASST di Lecco in 15 anni di monitoraggio ambientale

Evaluation of pollution from anesthetic gases in surgery rooms of ASST Lecco in 15 years of environmental monitoring

KeyWords: Fluorinated Ethers, Nitrous Oxide, Photoacoustic IR Monitor, Gas Chromatography, Guide and Limit Values

Fabio Daniele Bonacina[1], Eleonora Valsecchi[1], Marco Leoni[1], Luca Piloni[1], Andrea Pirola[1,2], Camillo Zottola[1,2], Angelo Mariani[3], Salvatore Fabio Alongi[4], Davide Guzzon[4]

[1] *ASST Lecco SC Medicina del Lavoro*
[2] *Università degli studi di Milano – Scuola di Specializzazione in Medicina del Lavoro*
[3] *ASST Lecco Ufficio Tecnico*
[4] *ASST Lecco SC Anestesia e Rianimazione*

Corresponding author: Fabio Daniele Bonacina, *f.bonacina@asst-lecco.it*

Introduzione

L'attività chirurgica dell'azienda sanitaria si svolge nei presidi ospedalieri Lecco e Merate (LC), in cui si eseguono diverse specialità chirurgiche; le percentuali di interventi in anestesia generale variano dal 5% in oculistica al 100% in Chirurgia Generale, Ginecologia, Neurochirurgia e Cardiochirurgia (CCH).

La maggior parte delle anestesie generali è effettuata con miscela di aria e Fluoro-eteri, in primis *Sevoflurano (C4F7H3O)* e in minor parte, *Desflurano (C3F6H2O)*.

Quasi sempre in cardiochirurgia (CCH), e talvolta anche altrove, si pratica la TIVA (Total Intra Venous Anesthesia).

Il protossido di azoto (N_2O) da tempo non è più utilizzato per l'induzione dell'anestesia, ma è ugualmente misurato in quanto presente nelle tubature di erogazione e nella colonna di anestesia, oltre che disponibile per emergenze.

Materiali e Metodi

Entrambi gli aeriformi (N_2O e fluoro-eteri) sono misurati in tempo reale per mezzo di un monitor fotoacustico/IR del tipo *INNOVA 1512 Lumasense Technologies* in grado di fornire un risultato al minuto per ciascuna sostanza, oltre alle concentrazioni medie, massime e minime e alla deviazione standard.

Un software applicativo consente di elaborare grafici concentrazione/tempo dei due anestetici misurati.

In alternativa alla metodologia fotoacustica, nel caso di numeroso personale all'interno della sala operatoria e in presenza di ingombranti macchinari ausiliari, si ricorre al metodo gascromatografico, per mezzo di adsorbimento dei gas anestetici con campionatore passivo del tipo *Radiello* , desorbimento con solvente e analisi gascromatografica GC/FID.

La legislazione Lombarda, DGR n°6/47077 e s.m.i., linee guida su prevenzione e sicurezza nelle sale operatorie (1999), prevede:

- Valore limite di concentrazione ambientale media, ponderata su 8 ore di lavoro al giorno, pari a 0,500 ppm (parti per milione) per i Fluoro-eteri
- Valore Guida di 25 ppm e Valore Limite di 50 ppm, riferiti allo stesso periodo di tempo, per N_2O.

NIOSH e LG ISPSESL prevedono altresì Valore "Ceiling" di 2 ppm per i Fluoro-eteri.

Le misurazioni sono state condotte presso la postazione dell'anestesista, notoriamente quella più inquinata per la vicinanza del ventilatore polmonare; negli sporadici casi di superamento dei valori di riferimento abbiamo ripetuto le misurazioni qualche giorno e ottenuto risultati soddisfacenti.

Risultati e Discussione

Il presidio di Lecco

Nella tabella I che segue si riportano le concentrazioni medie dei due anestetici relative agli ultimi 3 quinquenni dal 2011 al 2025.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Tabella I: concentrazioni medie dei gas anestetici misurate negli ultimi 3 quinquenni.

QUINQUENNIO	FLUORO-ETERE (ppm)	N_2O (ppm)
2011-2015	0,075	0,671
2016-2020	0,092	0,470
2021-2025	0,077	2,04

Si evincono, per il fluoro-etere, valori medi sempre inferiori a 0,100 ppm (1/5 del valore limite previsto da Regione Lombardia); Anche le concentrazioni di N_2O rientrano ampiamente nei Limiti Regionali, ma mentre dal 2011 al 2020 sono sempre risultate inferiori a 1 ppm, con valori medi di 0,671 e 0,470 ppm nei primi due quinquenni, tra il 2021 e il 2025 si è verificato un sensibile aumento, con valore medio pari a 2,04 ppm. Questo è dovuto essenzialmente al contributo dell'inquinamento verificatosi nella sala operatoria di Urologia, dove nelle ultime due campagne di misure (2024 e 2025) sono state misurate concentrazioni prossime o superiori a 10 ppm, comunque inferiore ai valori guida e limite, ma inverosimili in situazione di non impiego diretto di N_2O.
Successivamente, in collaborazione con una ditta esterna abbiamo eseguito altre misurazioni di circa un'ora ciascuna, sia in situazioni reali che con simulazioni, in più punti in tutte le sale operatorie. In particolare, nella sala di urologia abbiamo riscontrato elevate immissioni istantanee di N_2O da valvole di erogazione da tempo in uso saltuario e non connesse con tubazioni flessibili al ventilatore polmonare. Questo può spiegare l'anomala dispersione di tale gas nell'ambiente. Abbiamo ovviamente segnalato il problema e la possibile causa all'Ufficio Tecnico dell'ASST.

Il presidio di Merate

Analogamente a quanto svolto a Lecco, anche per la succursale di Merate abbiamo raggruppato le concentrazioni medie dei gas anestetici in 3 quinquenni, come mostrato nella seguente tabella II.

Tabella II. Concentrazioni medie dei gas anestetici misurate negli ultimi 3 quinquenni.

QUINQUENNIO	FLUORO-ETERE (ppm)	N_2O (ppm)
2011-2015	0,084	1,48
2016-2020	0,077	1,50
2021-2025	0,085	2,86

Anche in questo caso si riscontrano concentrazioni medie di fluoro-etere, valutate su 15 anni di monitoraggio, solo nel peggior caso appena superiore a 0,100 ppm; le concentrazioni di N_2O sono pure ampiamente contenute nei valori guida e limite previsti dalla Legislazione Regionale, ma come per l'ospedale di Lecco quelle misurate nell'ultimo quinquennio si mostrano nettamente superiori a quelle del periodo 2011-2020.
Ultimamente, nel presidio di Merate concentrazioni anomale di N_2O sono state misurate nella sala di ortopedia, dove, tra l'altro si praticano per lo più anestesie spinali senza l'impego Fluoro- eteri e N_2O. Le dispersioni di N_2O si collocano comunque intorno a 5 ppm (1/10 del valore limite).
Eseguiremo le stesse ricerche di eventuali perdite, così come abbiamo fatto per le sale operatorie della sede centrale.

Conclusioni

Negli ultimi 15 anni, nelle sale operatorie dei due presidi ospedalieri, Lecco e Merate, sono state misurate concentrazioni ambientali medie di gas anestetici sempre ampiamente contenute nei valori di riferimento, previsti dalle normative vigenti, sia per esposizioni ponderate su 8 ore di lavoro al giorno, che per picchi di massima concentrazione durante le sedute operatorie. Si sono verificati pochissimi casi di superamento ed in
tali occasioni abbiamo ripetuto le misurazioni dopo qualche giorno ottenendo risultati conformi. Riguardo al fluoro-etere i valori delle concentrazioni medio ponderate si collocano quasi sempre sotto 0,100 ppm. Le dispersioni ambientali medie di N_2O, dal 2011 al 2020, sono risultate sempre inferiori o poco superiori a 1 ppm; nell'ultimo quinquennio invece abbiamo riscontrato dispersioni medie di N_2O anche superiori a 5 ppm; tuttavia abbiamo individuato la causa del significativo, ma co-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

munque contenuto, incremento delle esposizioni professionali. Abbiamo individuato la possibile causa dell'aumento delle concentrazioni ambientali e ripeteremo le misurazioni, anche in momenti diversi dalla cadenza annuale prevista dalla legislazione di Regione Lombardia, una volta eseguiti interventi correttivi.

Bibliografia

Campionamento a simmetria radiale adatto al desorbimento con solvente e termico, V. Cocheo, C. Boaretto, P. Sacco – AIHA Journal 1996

Gas e vapori anestetici. AAVV ICS Mugeri – Centro Ricerche Amientali

Identificazione dei principali fattori di inquinamento nelle sale operatorie. F. Bernabeo, F.D. Bonacina, G.Pisati, R.Massei – Atti Congresso AIIDI Ravenna 2011

Monitor fotoacustico multigas INNOVA 1512, A. Zotti, M.Zotti – AIRNOVA srl Limena (PD) – 2023

Relazioni annuali sulla valutazione del rischio da gas anestetici nella ASST di Lecco, F. Bernabeo, G. De Vito, E. Valsecchi, F.D. Bonacina – ASST Lecco 2010 – 2025

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Confronto tra le dinamiche costiere di Ostia Lido (Roma, Italia) e Chelem–Progreso (Yucatán, Messico)

Comparison of Coastal Dynamics between Ostia Lido (Rome, Italy) and Chelem–Progreso (Yucatán, Mexico)

Keywords: Anthropogenic impact, Coastal erosion, Coastal morphodynamics, Urban planning

Jorge Iván Euán Ávila[1], Lorenza Fiumi[2], Julia Fraga[3], Dario Gallo[4], Daniela Guglietta[4], Héctor Hernández Nuñez[1], Silvia Salas[1], Ciro González Zugarazo[5]

[1] *Department of Marine Resources, Cinvestav (Mérida, Yucatán, México)*
[2] *Istituto Ingegneria del Mare, CNR (Roma, Italia)*
[3] *Department of Human Ecology , Cinvestav (Mérida, Yucatán, México)*
[4] *Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, CNR (Roma, Italia)*
[5] *Collaboratore al progetto CNR/CINVESTAV*

Corresponding author: Lorenza Fiumi, mail: *lorenza.fiumi@cnr.it*

Introduzione

Questo contributo presenta i risultati preliminari di un progetto di ricerca congiunto tra il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e il CINVESTAV (Messico), finalizzato ad approfondire le dinamiche di trasformazione delle zone costiere in un'ottica di gestione sostenibile. Il lavoro, attualmente in corso, si colloca nell'ambito dell'innovazione tecnologica e modellistica per la valutazione dei rischi e degli impatti, adottando un approccio comparativo applicato a due contesti costieri molto differenti dal punto di vista ambientale e socioeconomico: Ostia Lido (Roma, Italia) e Chelem–Progreso (Yucatán, Messico), ma accomunati da forti pressioni antropiche simili e da rapide modificazioni della linea di costa. L'obiettivo della ricerca è individuare analogie e differenze nei processi che regolano l'evoluzione costiera, con particolare attenzione al ruolo delle opere rigide, dell'urbanizzazione non pianificata e dei deficit sedimentari, evidenziando i meccanismi che determinano vulnerabilità e instabilità morfologica e contribuendo alla definizione di strategie di gestione costiera più sostenibili.

Materiali e Metodi

L'approccio metodologico si basa sulla comparazione intesa come strumento sistematico di analisi tra differenti casi studio. Tale metodo consente di costruire un parallelo controllato tra contesti territoriali, ambientali e socioeconomici, con l'obiettivo di:

- descrivere similitudini e differenze tra i sistemi esaminati (comparazione descrittiva);
- interpretare le cause che determinano tali somiglianze o divergenze (comparazione esplicativa/causale);
- valutare esiti, efficacia e impatti di processi o politiche adottate (comparazione valutativa);
- favorire il trasferimento di conoscenze e l'elaborazione di indicazioni operative utili alla pianificazione (comparazione propositiva/programmatoria), in un'ottica di *lesson drawing* e di supporto alla definizione di strategie replicabili.

Il confronto tra Ostia e Chelem–Progreso permette di analizzare due contesti morfodinamici differenti, ma accomunati dalla presenza di opere costiere che modificano i flussi sedimentari naturali. La comprensione del ruolo di tali opere rigide nella configurazione e nell'evoluzione della morfodinamica costiera risulta essenziale per la gestione sostenibile dei litorali, soprattutto in aree caratterizzate da urbanizzazione intensa o da infrastrutture rilevanti.

L'analisi comparativa in corso è condotta mediante l'integrazione di fotografie aeree, immagini satellitari multitemporali e fonti scientifiche (vedi Bibliografia), per ricostruire l'evoluzione della linea di costa e identificare gli effetti delle trasformazioni antropiche sui processi sedimentari.

Aree di studio

Ostia Lido rappresenta uno dei tratti costieri più urbanizzati del Lazio, situato immediatamente a ridosso della foce del Tevere. Tra gli anni '70 e '90 l'area ha conosciuto una forte espansione edilizia, spesso non regola-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

mentata, accompagnata da pressione turistica crescente e ritardi nella pianificazione. Tali dinamiche hanno accelerato processi di erosione costiera e la perdita di habitat naturali. L'evoluzione morfodinamica del litorale è stata profondamente influenzata dalla presenza di opere rigide – moli, pennelli, barriere soffolte e infrastrutture balneari – che hanno alterato la deriva litoranea e ridotto la disponibilità sedimentaria. La combinazione tra opere costiere e diminuzione dell'apporto solido del Tevere ha generato un deficit sedimentario persistente, con effetti a lungo termine sulla stabilità della linea di riva [Iacobucci et 2025].

Il sistema costiero di Progreso localizzato nella parte nordoccidentale dello Yucatán, Messico, si è sviluppato attorno all'infrastruttura portuale principale, il molo costruito nel 1941 e progressivamente ampliato fino a oltre 4 miglia. Questa struttura, centrale nello sviluppo urbano ed economico della città, ha inciso in modo significativo sulle dinamiche costiere regionali. La spiaggia di Chelem, poco distante, mostra oggi dinamiche evolutive analoghe a quelle osservate a Ostia, sebbene con tempistiche più recenti: rapida crescita turistico-residenziale, presenza di *gated communities* e debole capacità di *enforcement normativo*. L'ampliamento del molo di Progreso negli ultimi decenni ha modificato la propagazione ondosa e i flussi sedimentari lungo circa 7 km di costa, contribuendo a un accentuato arretramento della linea di costa. Studi numerici consultati, basati sul modello LITDRIFT hanno evidenziato la formazione di gradienti sedimentari marcati e l'aumento dei processi erosivi nei tratti sottovento alla struttura [MartínezRivera,et al. 2020]

Fig. 1. A sinistra, tratto costiero di Ostia Lido (Roma), situato alla foce del fiume Tevere, con gli assetti litoranei multitemporali evidenziati in diversi colori (Fonte: ISPRA). A destra, la città di Progreso (Yucatán, Messico), dove il molo, oggi lungo oltre 4 miglia, rappresenta l'infrastruttura costiera dominante, con effetti sui flussi sedimentari ed erosione della costa.

Risultati e Discussione

L'analisi comparativa preliminare evidenzia come i due sistemi costieri, pur inseriti in contesti ambientali e climatici molto diversi e con tempistiche differenti, presentino dinamiche evolutive sorprendentemente analoghe. Nel caso di Ostia Lido, la successione di moli, pennelli e barriere ha modificato significativamente il trasporto solido litoraneo, determinando un'interruzione della deriva verso est e rendendo necessario un ricorso ricorrente a ripascimenti e nuove opere di difesa. La risposta morfodinamica osservata è caratterizzata da una doppia dinamica: erosione cronica in condizioni di onda ordinaria, associata al persistente deficit sedimentario ed erosione episodica intensa durante mareggiate da libeccio e scirocco, quando l'energia incidente supera la capacità protettiva delle opere esistenti [Iacobucci et al. 2025].

In modo analogo, a Chelem–Progreso la presenza e l'ampliamento progressivo del molo hanno esercitato un controllo marcato sulla propagazione ondosa e sulla deriva litoranea. La riduzione dell'altezza d'onda proveniente da NE e il cambiamento della direzione di incidenza hanno generato un forte gradiente di trasporto sedimentario: accumulo nei tratti sopravvento e severa erosione nei tratti sottovento, con arretramento della linea di riva e perdita del profilo stagionale della spiaggia. Gli studi numerici, di Martinez-Rivera et al. [2020], indicano tassi di erosione dell'ordine di 0,9–1 m/anno e un progressivo degrado delle infrastrutture costiere. In entrambi i casi

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

studio confermano come le opere rigide non coordinate con i processi naturali possano innescare instabilità su scala pluridecennale, determinando: alterazione della deriva litoranea; formazione di gradienti di trasporto sedimentario; ridotta capacità di recupero stagionale; erosione progressiva della spiaggia emersa; necessità continua di interventi di manutenzione e ripristino.

Conclusioni

Il confronto preliminare tra Ostia Lido e Chelem–Progreso evidenzia come l'urbanizzazione intensa e le opere rigide incidano in modo analogo sui processi idrodinamici e sedimentari, nonostante le differenze ambientali e socio-economiche dei due contesti. L'assenza di una pianificazione costiera integrata contribuisce a cicli di trasformazione non sostenibile, con effetti sulla stabilità morfologica, sulla resilienza ai cambiamenti climatici e sulle attività locali. I risultati preliminari mostrano che interventi rigidi non inseriti in un quadro gestionale sistemico possono amplificare l'erosione nelle aree sottovento: a Ostia attraverso un deficit sedimentario cronico, a Chelem–Progreso tramite l'alterazione della propagazione ondosa indotta dal molo portuale. Nel complesso, lo studio sottolinea la necessità di strategie di gestione costiera integrate, orientate al ripristino dei processi naturali, alla riduzione della dipendenza da opere rigide e all'adozione di interventi adattativi basati su solide evidenze scientifiche

Finanziamento: Pubblicazione realizzata nell'ambito dell'Accordo Bilaterale CNR/CINVESTAV (Messico): *Development of reproducible large-scale analysis techniques for the study of the coastal environment, using remote sensing and GIS data. A comparison of two case studies in Italy (Rome) and Mexico (Yucatan)*, biennio 2025-2026.

Bibliografia

Iacobucci, G., Piacentini, D., & Troiani, F. (2025). *Tracking Coastal Changes in the Central Eastern Margin of the Tyrrhenian Sea*. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 39, 101636. Elsevier.

MartínezRivera, W., OrdazHernández, A., & GaratachíaRamírez, J. C. (2020). Evolución de la línea de costa de la península de Yucatán entre 1980 y 2019: potencial fuente de riesgo socionatural. *Minería y Geología*, 36(4), 404–427.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Innovazione digitale, tecniche omiche, database aperti e modelli predittivi per una valutazione integrata del rischio tossicologico

Digital innovation, omics techniques, open databases and predictive models for an integrated toxicological risk assessment

Keywords: Big Data, Computational Technologies, Environmental Exposure, Public Heath, Occupational Heath

Giancarlo Burriesci[1], Carlo Grandi[1], Andrea Gordiani[1], Maria Concetta D'Ovidio[1], Pieranna Chiarella[1], Pasquale Capone[1]

[1] *Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale (DiMEILA), Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL), Monte Porzio Catone (Roma)*

Corresponding author: Giancarlo Burriesci, *g.burriesci@inail.it*

Introduzione

La trasformazione digitale sta ridefinendo profondamente la tossicologia contemporanea. La disponibilità di big data, alimentati senza soluzione di continuità da database open access, piattaforme multi-omiche, tecniche di screening ad alto rendimento e monitoraggi ambientali, sta infatti ampliando notevolmente le possibilità della tossicologia computazionale [Kim and Choi, 2025]. Le tecnologie computazionali avanzate, in particolare l'intelligenza artificiale (IA), permettono di analizzare questi dati, inclusi quelli clinici, migliorando la comprensione dei meccanismi d'azione delle sostanze, la costruzione di modelli predittivi e l'identificazione precoce degli outcome clinici, promuovendo in tal modo approcci sempre più personalizzati in tossicologia e medicina [Singh et al., 2023a]. Inoltre, le applicazioni mobili e i dispositivi indossabili consentono un monitoraggio continuo dell'esposizione a sostanze potenzialmente tossiche, rilevandone tipologia e livelli espositivi. Questi strumenti facilitano l'individuazione dei soggetti più vulnerabili e la raccolta di dati utili alla ricerca in tossicologia ambientale e di precisione [Singh et al., 2023b].

Materiali e Metodi

È stata condotta un'analisi della più recente letteratura sulle attuali e future applicazioni della tossicologia digitale, computazionale, ambientale e di precisione, con l'obiettivo di prevenire i rischi derivanti da esposizioni ambientali e occupazionali a sostanze potenzialmente dannose e di promuovere la salute della popolazione generale e dei lavoratori.

Risultati e Discussione

L'integrazione tra tecnologie digitali, database aperti e tecnologie computazionali consente oggi di ricostruire in maggior dettaglio l'intero percorso tossicologico, dalla sostanza all'effetto, supportando l'identificazione di nuovi biomarcatori di effetto precoce e di suscettibilità, compresi quelli epigenetici come i microRNA. Le tecniche omiche più promettenti (genomica, trascrittomica, proteomica, epigenomica, metabolomica) permettono di caratterizzare interazioni dinamiche a livello di geni, proteine e vie metaboliche, ampliando la comprensione dei meccanismi tossicocinetici e tossicodinamici. I big data, generati, alimentati e aggiornati da Agenzie e Istituti quali EUREACH, EPA ed EMA, richiedono di essere trattati con modelli predittivi per ottenere informazioni utili a ridurre i costi, migliorare le decisioni, ottimizzare la valutazione del rischio espositivo e limitare i test animali secondo i principi delle 3R. In ambito occupazionale, l'integrazione di dati espositivi, biologici e omici facilita l'identificazione precoce e la quantificazione di alterazioni dovute a esposizioni multiple e permette strategie preventive più efficaci [Kim and Choi, 2025]. La diffusione di soluzioni digitali innovative quali tablet, dispositivi mobili, sensori indossabili e applicazioni mirate contribuisce a migliorare qualità ed efficienza nella gestione della salute pubblica e occupazionale [Singh et al., 2023b].

Conclusioni

La digitalizzazione della tossicologia, sostenuta da database strutturati, IA e tecniche multiomiche, sta rivoluzionando la valutazione del rischio tossicologico sia nel settore pubblico sia in quello occupazionale (Figura 1). L'interoperabilità dei dati, la modellizzazione predittiva

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

e la possibilità di integrare livelli informativi multilayer rappresentano strumenti chiave per comprendere meglio i meccanismi molecolari della tossicità, caratterizzare in modo più accurato le relazioni dose-risposta, esplorare in modo più dettagliato gli effetti delle esposizioni multiple, identificare nuovi biomarcatori e supportare decisioni regolatorie più rapide ed etiche.

È prevedibile un ulteriore ampliamento dei database, una crescente integrazione multiomica e lo sviluppo di modelli IA sempre più performanti, in grado di potenziare la prevenzione e la tutela della salute umana.

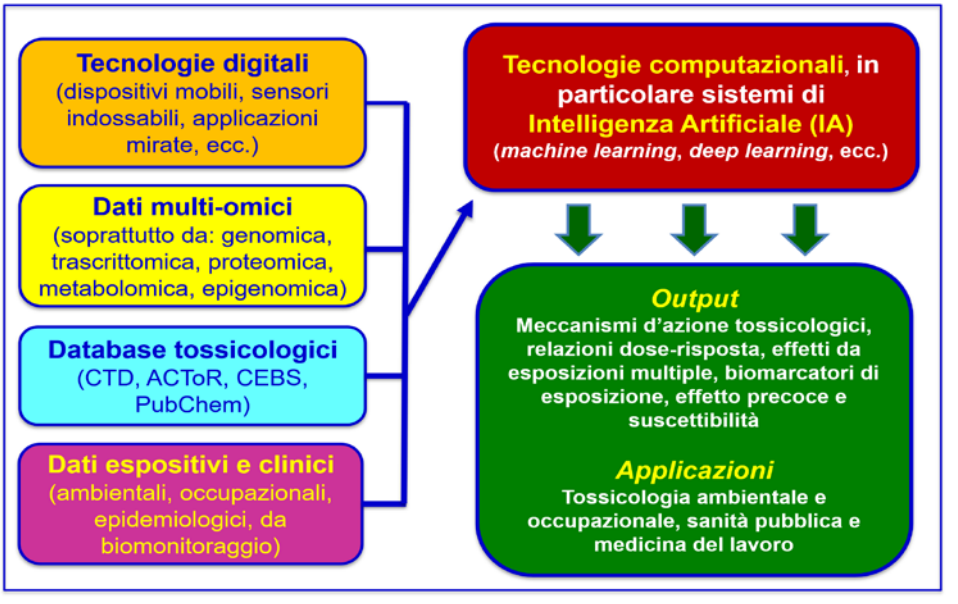


Figura 1. Schema semplificato relativo alla valutazione integrata del rischio tossicologico

Bibliografia

Kim, D., Choi J., 2025. Big data and AI: Potential and challenges for digital transformation in toxicology. Environ. Anal. Health. Toxicol., 40, e2025s07-0.

Singh, A.V., Chandrasekar, V., Paudel, N., Laux, P, Luch, A., Gemmati, D., Tisato, V., Prabhu, K.S., Uddin, S., Dakua, S.P., 2023a. Integrative toxicogenomics: advancing precision medicine and toxicology through artificial intelligence and OMICs technology. Biomed. Pharmacother., 163, 114784.

Singh, A.V., Bansod, G., Mahajan, M., Dietrich, P., Singh, S.P., Rav, K., Thissen, A., Bharde, A.M., Rothenstein, D., Kulkarni, S., Bill, J., 2023b. Digital transformation in toxicology: improving communication and efficiency in risk assessment. ACS Omega., 8, 21377-21390.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Studio multisito del PM_{10} nella piana di Venafro

Multisite study of PM_{10} in the Venafro plain

Keywords: PM_{10}, environmental, air quality assessment, characterization

Luigi Pierno[1], Valentina Stufara[1], Antonello Mastromonaco[1], Mauro Scacciavillani[2], Maria Grazia Cerroni[3], Roberta Capati[3], Michela Ciccone[3], Simone Iacaruso[3], Pasquale Rampa[3], Sergio Caccamo[3], Alberto Di Ludovico[4]

[1] *ARPA Molise, UOC Monitoraggio e Prevenzione Ambientale, Campobasso*
[2] *ARPA Molise, UOC Attività Amministrative, Campobasso*
[3] *ARPA Molise, UOC Servizi Laboratoristici, Campobasso*
[4] *ARPA Molise, UOC Controlli e Protezione Ambientale, Campobasso*

Corresponding author: Luigi Pierno, *luigi.pierno@arpamolise.it*

Introduzione

A Venafro si verificano da anni criticità legate ai superamenti del valore limite giornaliero del PM_{10}. Per approfondire le dinamiche emissive e la variabilità territoriale, è stato condotto un monitoraggio multisito finalizzato alla caratterizzazione chimica del particolato e all'identificazione delle principali sorgenti tramite Positive Matrix Factorization (PMF).

Materiali e Metodi

Il monitoraggio è stato svolto in tre siti rappresentativi dell'area, mediante campionamento giornaliero del PM_{10} e successiva analisi chimica delle principali specie inorganiche e carboniose. Il dataset multisito è stato elaborato tramite PMF, consentendo l'individuazione dei fattori emissivi e la valutazione delle differenze spaziali.

Risultati preliminari

L'analisi evidenzia una composizione del PM_{10} dominata da componenti secondarie e carboniose, con marcata stagionalità invernale. Il modello PMF ha individuato più sorgenti riconducibili a combustioni, traffico, contributi industriali, risospensione e processi secondari. Le differenze tra i siti suggeriscono la coesistenza di contributi locali e regionali, con variabilità legata sia al contesto emissivo sia alle condizioni meteorologiche. I risultati preliminari indicano che alcune sorgenti assumono un peso diverso nei tre siti, riflettendo specificità territoriali.

Conclusioni

La combinazione tra monitoraggio multisito e PMF si è dimostrata efficace nel descrivere la struttura emissiva della piana di Venafro e nel mettere in evidenza differenze locali. I risultati preliminari costituiscono la base per un'analisi più approfondita, attualmente in corso, finalizzata a una quantificazione dettagliata dei contributi emissivi e al supporto delle strategie di risanamento della qualità dell'aria.

Bibliografia

Colombi, C. (2023, 27–28 novembre). Introduzione alle tecniche di Source Apportionment. In Giornate di studio: La caratterizzazione chimica del particolato atmosferico (VI ed.). ARPA Lombardia, Bologna.

Scotto, F. (2023, 27–28 novembre). Identificazione delle sorgenti del particolato tramite Positive Matrix Factorization (PMF). In Giornate di studio: La caratterizzazione chimica del particolato atmosferico (VI ed.). Arpae Emilia-Romagna, Bologna.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Soluzioni tecnologiche per la prevenzione dei rischi e il benessere degli addetti ospedalieri

Technological solutions for risk prevention and healthcare workers' wellbeing

Keywords: hospital, healthcare, robot, automation, work organization

Daniela Sorrentino[1], Rosario Crisci[1], Pasquale Addonizio[1]

1 INAIL UOT CVR Direzione Regionale Campania

Corresponding author: Daniela Sorrentino, *d.sorrentino@inail.it*

Introduzione

Negli ultimi anni il settore sanitario ha vissuto un'accelerazione straordinaria nell'adozione di tecnologie avanzate, con un impatto diretto sull'organizzazione del lavoro, sulla sicurezza del personale e sulla qualità dell'assistenza (CORDIS_2024).

Gli impianti ospedalieri sono oggi al centro di una rivoluzione tecnologica che punta a migliorare l'efficienza operativa, ridurre i rischi lavorativi e sostenere la sostenibilità ambientale delle strutture. Questo lavoro esplora le innovazioni più recenti, mettendo in luce come esse stiano trasformando il panorama sanitario e contribuendo a un significativo miglioramento delle condizioni di lavoro degli addetti ospedalieri (Fusco, 2023).

Risultati e Discussione

Le tecnologie attualmente disponibili ed applicabili in ambito sanitario riguardano sostanzialmente l'automazione dei trasferimenti e della mobilizzazione del paziente che rappresentano una delle innovazioni più rilevanti per la riduzione del carico fisico degli operatori sanitari.

Questo può essere raggiunto mediante l'ausilio di specifici dispositivi.

1. *Sistemi robotizzati di trasferimento, quali:*
   - letti robotici autonomi (come MOVED): consentono la movimentazione del paziente senza la necessità di sollevamenti manuali;
   - robot di trasferimento quali ALTA Platform®: facilitano il passaggio letto-carrozzina o letto-barella in totale sicurezza;
   - letti trasformabili in carrozzine (es. Resyone Plus): riducono drasticamente le operazioni manuali e gli spostamenti complessi.

   Queste tecnologie diminuiscono in modo significativo il rischio di patologie muscoloscheletriche (MSK) negli operatori, uno dei principali motivi di infortunio nel settore sanitario, e migliorano la rapidità e l'efficacia dei trasferimenti (https://www.cluster-zukunft-der-pflege.de).
2. *Robotica di Sollevamento e Posizionamento.*
   - La robotica assistita rappresenta una risposta concreta alla necessità di sollevare e riposizionare pazienti non collaboranti o con ridotta mobilità.
3. *Robot per il sit-to-stand.*
   - Questi dispositivi consentono di aiutare il paziente a passare: dalla posizione seduta a quella eretta; dal letto alla sedia; dalla sedia al dispositivo di deambulazione. Ciò riduce drasticamente gli sforzi fisici degli operatori, in particolare nei reparti di geriatria, riabilitazione e lungodegenza, dove tali operazioni sono frequenti e ad alto rischio ergonomico.
4. *Tecnologie indossabili ed esoscheletri.*
   - Gli esoscheletri robotici rappresentano una delle soluzioni più innovative e promettenti per il defaticamento del personale. Ad esempio, gli esoscheletri per il supporto lombare forniscono sostegno durante piegamenti e sollevamenti, ridistribuiscono il carico fisico, diminuendo lo stress muscolare e consentono agli operatori di lavorare più a lungo e con minori rischi per la salute. Il loro impiego è particolarmente utile per il personale addetto alla movimentazione pazienti, alle logistiche interne e alle attività ripetitive.
5. *Robot per la pulizia e la sanificazione.*
   - L'automazione delle attività di igiene ospedaliera ha due vantaggi principali: riduce l'esposizione degli operatori a sostanze chimiche o contaminanti e consente di liberare tempo per attività a maggior valore assistenziale.
6. *Sistemi di sanificazione autonomi.*
   - Sono speciali robot che utilizzano radiazioni

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

UV-C per la disinfezione delle superfici, oppure sono dispositivi con nebulizzazione autonoma di agenti disinfettanti e macchine di pulizia robotizzate per pavimenti e aree comuni. Queste tecnologie garantiscono cicli di sanificazione continui e standardizzati, contribuendo alla prevenzione delle infezioni correlate all'assistenza (ICA).

7. *Sistemi automatizzati di gestione dei farmaci.*
   - La gestione farmacologica è un processo critico che richiede precisione e tempo. Le tecnologie moderne introducono sistemi altamente avanzati per automatizzare e controllare questo flusso che, diversamente, richiederebbe tempo e contemplerebbe margini di errore. Infatti, i principali vantaggi dell'uso di teli sistemi avanzati sono la riduzione degli errori di somministrazione; l'ottimizzazione del tempo del personale infermieristico; la tracciabilità completa del farmaco dalla dispensazione alla somministrazione; la maggiore sicurezza per il paziente. In tale caso, i sistemi automatizzati includono robot di distribuzione, armadi intelligenti e software di supporto alla terapia personalizzata.

Conclusioni

L'health robotics garantisce: più precisione, poiché i robot riducono il margine di errore, essenziale per gli interventi delicati; più efficienza, dato che, grazie all'automazione di alcune procedure, i robot liberano il personale sanitario per altri compiti; più sicurezza, cioè meno interventi invasivi, minori rischi di infezioni e tempi di guarigione più rapidi; costi contenuti, nel senso che, nel lungo termine, l'efficienza dei robot potrebbe condurre a una riduzione dei costi sanitari. Le nuove tecnologie stanno davvero alleggerendo il lavoro degli addetti ospedalieri in molti modi, non solo riducendo il loro carico fisico, ma anche migliorando l'efficienza e la sicurezza.

L'automazione e l'intelligenza artificiale stanno cambiando il volto degli ospedali, liberando tempo per le attività a maggiore valore umano, come il supporto psicologico e l'assistenza diretta al paziente.

Bibliografia e sitografia

Fusco A., 2023. Le innovazioni tecnologiche nelle aziende sanitarie pubbliche. Nuove frontiere nell'organizzazione dei modelli di servizio – Giappichelli editore – Torino

https://cordis.europa.eu/article/id/454782;

https://www.cluster-zukunft-der-pflege.de

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Metil silossani volatili nell'ambiente indoor

Volatile methyl siloxanes in the indoor environment

Keywords: Volatile methyl siloxanes, indoor air, PBT/vPvB

Anna Cenni[1], Manila Raffaelli[2], Sabrina Vermigli[2], Maria Cristina Aprea[2]

[1] *Chimico, già Laboratorio di Sanità Pubblica Azienda USL Toscana Sud Est*
[2] *Laboratorio di Sanità Pubblica Azienda USL Toscana Sud Est*

Corresponding author: Anna Cenni, *annacenni2@outlook.it*

Introduzione

Durante le analisi per la determinazione dei composti organici volatili (COV) nell'aria indoor si identificano frequentemente i metilsilossani. Questi composti volatili lineari e ciclici (lVMS e cVMS, rispettivamente) fanno parte del gruppo di composti organosilicei detti silossani: di origine antropica, sono ampiamente utilizzati in molti prodotti per la cura della persona, cosmetici, detergenti, ammorbidenti, detergenti a secco, medicinali, presidi medico chirurgici e applicazioni industriali (come elettronica, oli, resine e polimeri di silicio). Si tratta di molecole lineari o cicliche, con catene silicio-ossigeno e con le due valenze libere del silicio impegnate da due gruppi metilici. I metil silossani volatili ciclici sono identificati con "D" seguita dal numero di atomi di silicio del composto, mentre i metil silossani volatili lineari sono indicati con "L".

I termini generici come "ciclometicone" o "ciclosilossani" vengono utilizzati per le miscele di prodotti commerciali senza individuare le singole specie presenti e la composizione effettiva della miscela [Molinier et al. 2022].

Questi composti destano preoccupazione per l'ambiente e sono attualmente oggetto di valutazione per una regolamentazione dell'uso a causa delle loro volatilità, persistenza, tossicità per gli ambienti acquatici e tendenza al bioaccumulo. Molti lavori scientifici riguardano la loro presenza nell'aria indoor per gli ambienti di vita e di lavoro e in diversi viene fatta la stima della dose giornaliera per adulti e bambini.

Discussione

L'Unione Europea considera l'octametilciclotetrasilossano (D4), il decametilciclopentasilossano (D5) e il dodecametilcicloesasilossano (D6) come sostanze SVHC (Substances of Very High Concern, Sostanze Estremamente Preoccupanti) a causa delle proprietà di persistenza, bioaccumulo e tossiche (PBT/vPvB). D4, D5, D6, sono quindi ritenuti SVHC per via della loro appartenenza alla categoria vPvB (very Persistent, very Bioaccumulative) e per il D4 a PBT (Persistent, Bioaccumulable, Toxic). Più precisamente anche il D5 e D6 sono PBT se contengono D4 in quantità superiore allo 0.1%.

Il D4, unico composto con classificazione armonizzata, risulta anche reprotossico (Repr.2, Aquatic Chronic 1).

L'ECHA ha proposto che per queste sostanze vi sia un procedimento di autorizzazione ma allo stato attuale esistono solo restrizioni REACH all'impiego. Il Regolamento (UE) 2018/35 del 10 gennaio 2018, che modifica l'allegato XVII del regolamento (CE) n. 1907/2006, per quanto riguarda il D4 e D5, pone il limite dello 0.1% per il contenuto nei prodotti cosmetici che vengono eliminati con acqua, a salvaguardia dell'ambiente acquatico. Il Regolamento (UE) 2024/1328 del 16 maggio 2024, che modifica l'allegato XVII del regolamento (CE) n. 1907/2006, per quanto riguarda il D4, D5 e D6 allarga le restrizioni con il divieto di porre sul mercato queste sostanze come tali o componenti di altre sostanze o miscele che abbiano una concentrazione superiore allo 0,1% a partire dal 6 giugno 2026. Il limite dello 0.1% è per prodotti cosmetici che non vengono eliminati con acqua, farmaci e presidi medico chirurgici e altri prodotti professionali, a salvaguardia dell'ambiente acquatico e di quello atmosferico.

Vengono comunque poste deroghe che aumentano il tempo per l'applicazione del regolamento per specifici prodotti. Inoltre vengono individuati casi in cui il regolamento non si applica (esempio processi industriali e produttivi) o vengono elevati i limiti di concentrazione in prodotti specifici.

Inoltre la UE ha proposto le sostanze D4, D5 e D6 per l'inclusione nell'elenco dei POP della Convenzione di Stoccolma, destando preoccupazioni in campo indu-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

striale: il 98% dell'intero volume di queste sostanze sarebbe utilizzato come monomeri per la polimerizzazione e solo il 2% sarebbe destinato al consumatore e ai professionisti [Confindustria 2024] ma l'adesione alla convenzione potrebbe incidere sulle migliaia di applicazioni che necessitano dei polimeri di silicone.
La presenza di questi composti è maggiore nell'aria indoor rispetto all'outdoor, possono ritrovarsi allo stato di vapore ma possono essere anche adsorbiti sulla polvere adesa alle superfici degli ambienti indoor. In Danimarca è stato proposto un valore standard di qualità dell'aria di 0,01 mg/m³ per la somma D3, D4, D5, D6, HMDS (esametildisilossano) [The Danish Environmental Protection Agency 2014].
Le vie di ingresso nell'organismo sono quella inalatoria, digestiva e dermica.
La diffusione ubiquitaria è causa della presenza nel latte umano, nell'acqua di scarico, nei suoli, nei fanghi di depurazione, nei gas di discarica. I composti D3-D6 sono i principali responsabili dell'inquinamento atmosferico esterno da VMS, rappresentando il 75%-100% in diverse regioni. Al contrario, gli L3-L5 sono meno rilevati, con concentrazioni pari a un decimo di quelle dei D3-D6.
I lavori scientifici evidenziano che negli ambienti indoor di vita e di lavoro prevalgono i composti ciclici e fra di questi il decametilciclopentasilossano (D5). Uno studio condotto negli ambienti di vita e di lavoro in UK e in Italia [Pieri et al.2013] ha evidenziato concentrazioni indoor medie di L2-L5 e D3-D6 fino a 0,35 mg/m³ con esposizioni maggiori nell'ambiente domestico per l'Italia e per l'ambiente lavorativo per UK; le dosi respiratorie per tutti i siliconi volatili ricercati nello studio, calcolate per adulti e bambini, sono risultate comprese fra 1,26 mg/die (per i bambini italiani) a 3,19 mg/die (per bambini UK).
Grazie alla loro bassa tensione superficiale, inerzia, elevata stabilità termica e consistenza liscia, sono onnipresenti nei prodotti per la cura personale, nei prodotti per la pulizia dei pavimenti e del legno, ma soprattutto nei prodotti per capelli (HCP). Il D5 è spesso elencato per primo o secondo negli elenchi degli ingredienti di alcuni HCP. Durante la cura dei capelli si ha l'emissione di quantità dell'ordine dei mg/m³, nelle operazioni a caldo e di lisciatura in dipendenza del tipo di prodotto, della temperatura, della durata delle operazioni e della ventilazione dell'ambiente si sono misurati picchi di concentrazione di D5 vicini a 80 mg/m³ [Jiang et al., 2023].
Diversi studi, oltre che la presenza negli ambienti indoor, indagano sulle varie sorgenti di emissione e sul profilo delle sostanze emesse. Il silossano D5 è risultato essere la specie organosilicica più abbondante in tutte le campagne.
È stato riscontrato che i silossani D3 e D4 possono essere emessi da fonti diverse dai prodotti per la cura personale. I silossani lineari L4 e soprattutto L5 hanno mostrato evidenze di assorbimento reversibile sulle polveri incidendo fortemente sull'andamento temporale delle concentrazioni a seguito di eventi di rilascio episodici, nonostante abbiano pressioni di vapore simili rispettivamente ai silossani D5 e D6; la somma di tutte le specie ricercate cade in un ampio raggio di valori, 0,01-0,133 mg/m³ [Molinier et al. 2022], <0,001-0,023 mg/m³ [Meng et al., 2015]; la somma D4-D6 è la più importante quantitativamente ma sulle polveri si ritrovano essenzialmente i composti lineari.
Oltre che ai prodotti della cura della persona e pulizia un'altra sorgente domestica è rappresentata dall'uso di teglie da forno in silicone che con il riscaldamento e specie se nuove, danno luogo a una trasmigrazione nei cibi ed a una emissione in aria: in prossimità del forno durante la cottura si misurano fino a poco meno di 0,9 mg/m³ di D4-D16 [Zhu et al.2025].
Il valore guida RW I per l'aria indoor indicato in Germania da Umweltbundesamt [Umweltbundesamt 2025] per i monomeri D3-D6 è 0,4 mg/m³ mentre il valore RW II è 4 mg/m³. I valori sono health based: il valore I è il valore al di sotto del quale con le conoscenze attuali non si dovrebbero avere effetti avversi anche per esposizioni che riguardano l'intera vita: nell'intervallo di concentrazione compreso tra RW I e RW II, non si prevede un rischio diretto per la salute, tuttavia, è necessario considerare un'esposizione indesiderata e adottare misure per la sua riduzione. Il valore guida RW II (valore guida di pericolo) è un valore correlato agli effetti, basato sulle attuali conoscenze tossicologiche ed epidemiologiche della soglia di effetto di una sostanza. Rappresenta la concentrazione di un inquinante nell'aria interna alla quale è necessario intervenire immediatamente se viene raggiunta o superata.
Diversi studi stimano le dosi giornaliere attraverso i parametri di concentrazione in aria, nelle polveri, nei prodotti per la cura personale; in particolare per i bambini piccoli la presenza nella polvere domestica diventa di rilevante importanza nella stima della dose a causa della loro elevata frequenza di contatto con superfici polverose e per il trasferimento mano-bocca e oggetto-bocca. Le dosi giornaliere sono calcolate tenendo conto dei volumi di aria e di polveri inalate, delle polveri ingerite, dell'assorbimento cutaneo, con diverse formule di calcolo nei

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

vari lavori scientifici; negli stessi lavori viene indicato frequentemente come cRfD (chronic Reference Dose) il valore di 0,15 mg/kg peso/die [He et al., 2025], valore estrapolato da un NOAEL di 150 mg/kg peso/die basato sui risultati di studi di inalazione cronica [EU, SCCS 2010]. Scarse sono le informazioni di tossicità di altri VMS diversi da D4 e D5.

Conclusioni

Se consideriamo le limitazioni, messe in atto e previste, per la riduzione o il contenimento dell'inquinamento indoor e della contaminazione ambientale da parte dei metilsilossani volatili, dobbiamo osservare che sono relative peraltro ai soli D4, D5 e D6. Dato che la quantità presente nei prodotti utilizzati dai consumatori rappresenta comunque una piccola percentuale del volume prodotto di queste sostanze, viene spontaneo domandarsi se tali limitazioni possano essere veramente efficaci per ridurre l'impatto ambientale di queste sostanze, persistenti e bioaccumulabili.

Bibliografia

Molinier B, Arata, Katz E.F Lunderberg D. M., Liu Y., MisztalP.K, NazaroffW. W., Goldestein A. H., 2022. Volatile methyl siloxanes and other organosilicon compounds in residential air, Environ Sci Technol 56, 15427-15436.

Confindustria 2024: *https://public.confindustria.it/repository/2025/03/27015918/Position-Paper-Confindustria_Usi-dei-siliconi.pdf*

The Danish Environmental Protection Agency, 2014 Siloxanes (D3, D4, D5, D6, HMDS).

Pieri F., Katsoyiannis A, Martellini T., Hughes D., Jones K.C., Cincinelli A., 2013. Occurrence of linear and cyclic volatile methyl siloxanes in indoor airsamples (UK and Italy) and their isotopic characterization, Environment International 59, 363–371.

Jiang J., Ding X., Patra S.S., Cross J.N., Huang C., Kumar V., Price P., Reidy E.K., Tasoglou A., Huber H., Stevens P.S, Boor B.E, Jung N., 2023. Siloxane emissions and exposures during the use of hair care products in buildings. Environ Sci Technol, 57, 19999–20009.

Meng F., Wu H., 2015. Indoor Air pollution by methylsiloxane in household and automobile settings, Plos One | DOI:10.1371/journal.pone.0135509 August 17, 2015.

Zhu J., Wawrzynczak A., Niu J., Chan W. Y., Vivas M., Das D., Tourangeau., Zhang G., Cao X., Feng Y., 2025. Silicone bakeware as a source of human exposure to cyclic siloxanes via inhalation and baked food consumption. Journal of Hazardous Materials 497 139591.

Umweltbundesamt 2025 https://www.umweltbundesamt.de/en/gallery/guide-values-for-the-concentration-of-specific

He R., Fang K., Qian J., Duan S., Jiang F., Lu Y., Dong Z., Xu L., 2025. A Review of Contamination Status and Health Risk Assessment of volatile methylsiloxanes in environmental matrices, Environ. Health, 3, 837–853.

European Commission, Scientific Committee on Consumer Safety (SCCS). Opinion on Cyclomethicone Octamethylcyclotetrasiloxane (Cyclotetrasiloxane, D4) and Decamethylcyclopentasiloxane (Cyclopentasiloxane, D5) 2010.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

L'attività del Responsabile del Rischio Amianto in alcune strutture pubbliche della Toscana

The Asbestos Risk Manager role in some public buildings in Tuscany

Keywords: Asbestos Risk Management, Occupational Health and Safety, Asbestos-Containing Materials, Environmental Monitoring, Asbestos Surveillance Program

Chiara Breschi[1], **Luca Valori**[1]

[1] *Inail, Direzione regionale Toscana – Consulenza tecnica salute e sicurezza (CTSS)*

Corresponding author: Luca Valori, *l.valori@inail.it*

Introduzione

Secondo il d.m. 6/9/94, che disciplina i criteri per la gestione del rischio amianto, con obblighi di censimento, valutazione e bonifica dei materiali contenenti amianto (MCA), la presenza degli stessi in un edificio non comporta di per sé un pericolo per la salute degli occupanti. Se il materiale è in buone condizioni e non viene manomesso, è improbabile che esista un pericolo di rilascio di fibre. Se invece il materiale è danneggiato da interventi di manutenzione o da vandalismo, si può verificare un rilascio di fibre, con un rischio potenziale.

In ambiente di lavoro, il d.lgs. 81/08 e s.m.i. prevede la valutazione del rischio amianto per accertare la natura e il grado di esposizione dei lavoratori, e di dare priorità alla rimozione rispetto alle altre forme di bonifica/manutenzione. Il d.m. 6/9/94 prevede che nelle strutture industriali, residenziali e pubbliche il proprietario dell'immobile o il responsabile dell'attività nomini una figura incaricata del controllo e del coordinamento di tutte le attività manutentive che possono interessare i MCA; si tratta del Responsabile rischio amianto (RRA), che deve garantire il rispetto delle prescrizioni legislative, garantendo la sicurezza di lavoratori, residenti e frequentatori dell'edificio, coordinando le attività di monitoraggio ambientale, la formazione del personale e la gestione delle emergenze. La UNI/PDR 152.2-2023 definisce le competenze tecniche di RRA affinché possa svolgere efficacemente il proprio ruolo.

L'attività di RRA, che si esplica nella redazione del programma di controllo e manutenzione dei MCA, negli ambienti di lavoro è a supporto dell'RSPP, che recepisce nel DVR e nel DUVRI le informazioni riportate nel censimento dei MCA, comprensive del monitoraggio ambientale e dello stato di conservazione dei materiali. Ciò al fine di decidere gli interventi atti a mitigare l'eventuale esposizione dei lavoratori.

La Regione Toscana, con Deliberazione n. 64 del 29/07/2025, ha varato il nuovo Piano regionale di tutela dall'amianto, che prevede, oltre al completamento della mappatura dei MCA, la realizzazione di una banca dati dei MCA presenti negli edifici pubblici e privati.

Materiali e Metodi

I Professionisti CTSS della Toscana, acquisita la qualifica di RRA, ricoprono il ruolo sia di RSPP che di RRA da oltre 10 anni. In questa veste effettuano censimenti, valutazioni dello stato di degrado dei materiali e i monitoraggi ambientali con le strumentazioni in dotazione al proprio laboratorio, che partecipa al programma di qualificazione 2024-25 per i Laboratori che effettuano campionamento di amianto aerodisperso; i campioni prelevati vengono poi analizzati dal Laboratorio CTSS di Roma.

L'edilizia delle sedi Inail della Toscana risale per una buona parte agli anni '30 del Novecento o all'immediato dopoguerra, quando l'uso di MCA era molto frequente. In particolare, nelle sedi possono ancora essere presenti condutture e depositi dell'acqua e, a seguito delle ristrutturazioni dei decenni successivi, pavimentazioni in vinilamianto.

Risultati e Discussione

In Toscana 5 sedi Inail hanno un RRA nominato. Dai censimenti risulta presenza di MCA in condutture, per la quasi totalità confinate nelle mura (canne fumarie, pluviali, condotte dei cavi degli ascensori e tubi di impianti dismessi), in piastrelle viniliche dei pavimenti e nei cassoni dell'acqua. Il suddetto materiale si trova ancora in buono stato di manutenzione, salvo alcune porzioni che sono state bonificate. Il programma di monitoraggio prevede la valutazione annuale dello stato di conserva-

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

zione dei materiali; per una maggiore tutela della salute degli occupanti sono effettuati anche campionamenti ambientali, che non hanno mai evidenziato presenza di fibre aerodisperse.

Conclusioni

Il percorso iniziato in queste strutture ha la finalità di assicurare nel tempo la salubrità degli ambienti di lavoro, fermo restando l'obiettivo della rimozione totale dei MCA, come raccomandato anche dalla normativa europea.

Bibliografia

DECRETO MINISTERIALE 6 settembre 1994 Normative e metodologie tecniche di applicazione dell'art. 6, comma 3, e dell'art. 12, comma 2, della legge 27 marzo 1992, n. 257, relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto

UNI/PDR 152.2-2023 Materiali contenenti amianto - Parte 2: Requisiti di conoscenza, abilità, autonomia e responsabilità del Responsabile del rischio amianto

Deliberazione 29 luglio 2025, n. 64 Piano regionale di tutela dall'amianto (PRTA). Approvazione ai sensi della l.r. 51/2013 e della l.r. 65/2014. (Pubblicata sul B.U. n. 53 del 27.8.2025, parte prima)

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Valutazione dell'esposizione e degli effetti cito-genotossici e ossidativi precoci in addetti alla produzione di nitruro di boro

Evaluation of exposure and early cyto-genotoxic and oxidative effects in boron nitride production workers

Delia Cavallo[1], Raffaele Maiello[1], Anna Maria Fresegna[1], Aureliano Ciervo[1], Marco Gentile[1] Giorgia Di Gennaro[1], Fabio Boccuni[1], Riccardo Ferrante[1], Francesca Tombolini[1], Claudio Natale[2], Stefania Sabella[2], Cinzia Lucia Ursini[1]

[1] *Dipartimento di Medicina Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone (Roma)*
[2] *Istituto Italiano di Tecnologia, Genova*

Correspondign author: Raffaele Maiello, *r.maiello@inail.it*

Introduzione

La produzione e l'uso crescente di nitruro di boro (BN) in diverse applicazioni desta preoccupazioni sui potenziali rischi per la salute dei lavoratori addetti alla sua produzione e manipolazione. Scopo dello studio è stato testare biomarcatori sensibili e non invasivi di effetto genotossico-ossidativo precoce su diverse matrici per evidenziare effetti locali o sistemici in lavoratori di un impianto di produzione di BN in correlazione ad un'adeguata valutazione dell'esposizione.

Materiali e Metodi

L'esposizione ambientale e personale a BN nell'impianto produttivo è stata misurata su tre fasi operative: travaso e pesatura della polvere, esfoliazione/evaporazione del solvente in sistema chiuso e stoccaggio del prodotto finale utilizzando la metodologia multimetrica armonizzata OECD – ISO CEN [Boccuni et al., 2024], che valuta la concentrazione in numero (PNC), il diametro medio (D_{avg}) e l'area superficiale di deposizione nella frazione alveolare (LDSA) del micro-nano particolato aerodisperso integrata con l'analisi SEM-EDS del particolato raccolto su filtro. Lo studio di biomonitoraggio ha coinvolto 11 lavoratori (età 35±6 anni) addetti alla produzione con possibile esposizione a particelle di BN e 8 non addetti alla produzione usati come controlli, confrontabili per età (39±9 anni) ed abitudine al fumo. Per il biomonitoraggio è stato utilizzato il Buccal Micronucleus Cytome (BMCyt) assay su cellule esfoliate buccali per valutare gli effetti cito-genotossici a livello locale analizzando la frequenza di cellule con Micronuclei (MN), Nuclear Buds (NB), Cellule Cariolitiche (KL), Binucleate (BIN) e con Cromatina Condensata (CC) ed è stata calcolata la percentuale di soggetti positivi al MN (frequenza>cut off=1,5‰) [Ursini et al,. 2019]. Gli effetti a livello sistemico sono stati valutati in termini di danno diretto ed ossidativo al DNA utilizzando l'fpg comet assay su sangue che valuta la percentuale di cellule con DNA danneggiato (comete) e ne misura il grado di danno attraverso i parametri *% di DNA nella coda, lunghezza della coda e Tail moment* e valuta anche la percentuale di cellule con DNA estremamente frammentato (apoptotiche) [Cavallo et al., 2022].

Risultati e Discussione

Il monitoraggio dell'esposizione ha evidenziato emissioni significative durante la pesatura e la presenza diffusa di strutture aerodisperse >1–2 µm nell'area di produzione del BN e nelle zone adiacenti. Il BMCyt non ha evidenziato negli esposti effetti genotossici significativi, sia in termini di frequenze medie di cellule con MN e di percentuale di soggetti positivi al MN, che di frequenza di cellule con NB (indicative di amplificazione genica), né citotossicità in termini di BIN, KL e CC. L'fpg-comet assay ha invece evidenziato un danno diretto al DNA con incrementi significativi della % di comete (T test p=0,01), di tutti e tre i parametri *% di DNA nella coda, lunghezza della coda e Tail moment* (T test p=0,009, p=0,0005 e p=0,008 rispettivamente) e della % di apoptotiche (T test p=0,026) mentre non è stato evidenziato danno ossidativo al DNA.

Conclusioni

Lo studio ha messo in evidenza effetti genotossici, ma non ossidativi, sistemici e mancanza di effetti citotossici e genotossici significativi a livello locale delle prime vie aeree, dimostrando l'utilità degli end-point analizzati e delle diverse matrici per il biomonitoraggio di lavoratori potenzialmente esposti per via inalatoria a micro e nanomateriali. L'approccio integrato utilizzato potrebbe rappresentare un adeguato

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

modello di indagine per seguire nel tempo i lavoratori potenzialmente esposti, anche in relazione a cambiamenti delle entità espositive, fornendo risultati utili all'analisi del rischio, nell'ottica del miglioramento continuo dei livelli di salute e sicurezza. Ulteriori approfondimenti includeranno la verifica di eventuali contaminazioni anche in altre zone dell'impianto produttivo.

Bibliografia

Boccuni F, Tombolini F, Natale C, Bellagamba I, Sebastiani F, Ferrante R. Prevention-through-design approach to mitigate workers' exposure in the graphene production processes. Journal of Physics: Conference Series 2695, 2024, 012003. IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/2695/1/012003.

Cavallo D, Ursini CL, Fresegna AM, Ciervo A, Boccuni F, Ferrante R, Tombolini F, Maiello R, Chiarella P, Buresti G, Del Frate V, Poli D, Andreoli R, Di Cristo L, Sabella S, Iavicoli S. A follow-up study on workers involved in the graphene production process after the introduction of exposure mitigation measures: evaluation of genotoxic and oxidative effects, 2022. Nanotoxicology, 16 (6-8): 776-790.

Ursini CL, Omodeo Salè E, Fresegna AM, Ciervo A, Jemos C, Maiello R, Buresti G, Colosio C, Rubino FM, Mandić-Rajčević S, Chiarella P, Carbonari D, Delrio P, Maiolino P, Marchetti P, Boccia R, Iavicoli S, Cavallo D. Antineoplastic drug occupational exposure: a new integrated approach to evaluate exposure and early genotoxic and cytotoxic effects by no-invasive Buccal Micronucleus Cytome Assay biomarker, 2019. Toxicol Lett., 316:20-26.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Approccio integrato per lo screening e la valutazione dell'esposizione a sostanze CMR nella produzione di lubrificanti

Integrated Screening and Exposure Assessment Strategy for CMR Substances in Lubricant Production Processes

Keywords: occupational exposure, reprotoxic substances, exposure assessment, statistical analysis, risk screening

Marta Keller[1], Luca del Buono[1], Daniela Forloni[1], Karol Riva[1], Lisa Pelenghi[1]

[1] *Soluzioni Srl Società Benefit, Cermenate, Como*

Corresponding author: Marta Keller, *keller@soluzionisrl.com*

Introduzione

L'esposizione occupazionale a sostanze cancerogene, mutagene o tossiche per la riproduzione (CMR) rappresenta uno dei principali rischi per la salute nei contesti industriali [Del Vecchio et al., 2026]. La valutazione e il controllo di tali esposizioni sono fondamentali per prevenire effetti avversi a lungo termine sulla salute dei lavoratori e garantire il rispetto delle normative vigenti in materia di tutela della salute e sicurezza [Ohlander et al., 2020]. Il presente studio riguarda la valutazione della possibile esposizione a sostanze CMR, in uno stabilimento dedicato alla produzione e al confezionamento di oli lubrificanti.

Materiali e Metodi

La valutazione è stata condotta mediante un approccio integrato. In una prima fase è stata effettuata una valutazione preliminare del rischio utilizzando l'algoritmo ISPRA per l'identificazione delle sostanze CMR potenzialmente rilevanti nei processi produttivi. L'analisi ha considerato le caratteristiche di pericolo delle sostanze e delle miscele utilizzate, le quantità impiegate, le modalità operative e il potenziale di emissione nelle diverse fasi del ciclo produttivo. La valutazione ha incluso sia sostanze classificate come CMR certe sia sostanze sospette sulla base delle informazioni disponibili nelle schede di sicurezza. Sulla base dei risultati della valutazione preliminare sono stati individuati i gruppi di esposizione simile (SEG) e gli inquinanti prioritari da monitorare. La valutazione dell'esposizione è stata quindi condotta mediante campionamenti di esposizione personale, secondo i criteri previsti dalla norma tecnica UNI EN 689:2019, finalizzati alla determinazione delle concentrazioni delle sostanze individuate.

Risultati e Discussione

L'applicazione preliminare dell'algoritmo ha evidenziato una situazione di esposizione per gli addetti alle operazioni di blending e per gli addetti al carico e scarico delle autobotti, mentre per il personale di laboratorio è emersa una situazione di possibile esposizione (Tabella I). Successivamente è stata effettuata la valutazione dell'esposizione occupazionale mediante monitoraggi ambientali secondo quanto previsto dalla norma tecnica UNI EN 689:2019, applicando il test preliminare mediante tre campionamenti per ciascun SEG.

Sono stati individuati tre SEG: addetto al blending, addetto al carico e scarico delle autobotti e addetto al laboratorio. I campionamenti hanno riguardato composti organici volatili (VOC), fenolo e ammine, selezionati sulla base della valutazione preliminare.

I risultati hanno evidenziato, per tutti i gruppi di esposizione e per tutti gli inquinanti considerati, una situazione di conformità rispetto ai valori limite di esposizione occupazionale.

Durante la valutazione è emersa tuttavia la difficoltà di monitorare alcune sostanze classificate o sospette tossiche per la riproduzione, per le quali non sempre sono disponibili metodi analitici specifici o valori limite di riferimento. Nel caso in esame alcune mansioni risultavano potenzialmente esposte a dodecilfenolo ramificato, sostanza classificata come reprotossica. In assenza di metodi analitici specifici, la valutazione è stata condotta mediante il campionamento della frazione fenolica come indicatore della possibile presenza della sostanza. Questo evidenzia come gli strumenti di screening preliminare possano supportare l'identificazione delle sostanze potenzialmente critiche e orientare le successive attività di monitoraggio.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Conclusioni

L'approccio integrato basato su screening preliminare mediante algoritmo ISPRA e successiva valutazione dell'esposizione secondo UNI EN 689:2019 ha consentito di individuare le possibili criticità e verificare l'esposizione nei diversi gruppi di lavoratori. I monitoraggi hanno evidenziato una situazione complessivamente conforme ai valori limite di esposizione. Tuttavia, la valutazione di alcune sostanze reprotossiche rimane complessa per la limitata disponibilità di metodi analitici specifici.

Tabella I. Risultati principali emersi dell'applicazione dell'algoritmo ISPRA per l'addetto al blending, addetto laboratori, addetto carico e scarico autobotti

Mansioni	Esposizione secondo Lcalc
Addetto al blending	Esposto
Addetto laboratori	Potenzialmente esposto
Addetto carico e scarico autobotti	Esposto

Bibliografia

Del Vecchio R. L., et al. Exposure to Carcinogenic, Mutagenic, and Reprotoxic Chemical Agents in Research Laboratories and the Healthcare Sector: A Systematic Review. Hygiene 2026, 6, 13

Ohlander J., Kromhout H., van Tongeren M. Interventions to Reduce Exposures in the Workplace: A Systematic Review of Intervention Studies Over Six Decades, 1960–2019. Frontiers in Public Health. 2020, 8, 67.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Criticità dei pfas per la salute umana e l'ambiente e principali misure di gestione del rischio

Critical issues of pfas for human health and environment and main risk management measures

Elisabetta Barbassa[1]

[1] *INAIL, Direzione regionale Lombardia, CTSS, Milano*

Corresponding author: Elisabetta Barbassa, e.*barbassa@inail.it*

Introduzione

Le sostanze per- e polifluoroalchiliche (PFAS) sono una grande famiglia di sostanze chimiche sintetiche costituite da una catena di atomi di carbonio, unita ad atomi di fluoro mediante legami chimici estremamente stabili, che conferiscono a questi prodotti un'elevata inerzia chimica, repellenza all'olio e all'acqua, stabilità termica, tensioattività, resistenza ad acidi, basi e solventi. Le proprietà dei PFAS li rendono molto utili in una vasta gamma di settori: cartiere, tessile (trattamenti idrorepellenti e/o antimacchia), conciario, galvanica, dispositivi medici, packaging, industria meccanica (lubrificanti e refrigeranti), aerospazio, difesa etc. I PFAS possono essere presenti nelle schiume antincendio, in vernici, pesticidi, rivestimenti per contenitori per alimenti etc. Le fonti di rilascio dei PFAS includono la produzione e l'uso industriale, gli scarichi industriali e civili, l'uso di schiume antincendio, i fanghi di depurazione contaminati e i rifiuti. Scopo del presente lavoro è quello di prendere in esame le problematiche causate dai PFAS e le principali misure di gestione del rischio.

Il legame molto stabile tra carbonio e fluoro è responsabile della persistenza dei PFAS nelle matrici ambientali, in particolare nel biota, nel suolo e nelle acque superficiali e sotterranee, causando un impatto ambientale e sanitario rilevante a seguito dell'uso e smaltimento di prodotti che li contengono. Un'altra caratteristica di alcuni PFAS è la mobilità che, unita all'elevata persistenza, contribuisce alla loro diffusione nei comparti ambientali, anche a lunga distanza dal luogo di rilascio. Diversi PFAS possono bioaccumularsi nei tessuti animali, nelle piante e negli esseri umani e tra i possibili effetti sulla salute umana si citano malattie della tiroide, aumento dei livelli di colesterolo, effetti sulla riproduzione e sulla fertilità, immunotossicità, danni al fegato, cancro ai reni e ai testicoli, oltre ad effetti sul sistema endocrino. Nelle industrie che hanno prodotto o usato PFAS, i lavoratori sono stati esposti principalmente per via inalatoria, ma anche cutanea e si sono rilevati alti livelli di PFAS nel sangue. Per regolamentare e limitare l'uso di questi composti sono state intraprese numerose azioni a livello internazionale, tra cui si cita la Convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti (POPs), ratificata dall'Italia con legge n. 93 del 12 luglio 2022 e attuata, a livello europeo, con il regolamento (UE) 2019/1021. La "Strategia in materia di sostanze chimiche per la sostenibilità-Verso un ambiente privo di sostanze tossiche" dell'UE [COM(2020)667, 2020] ha previsto le seguenti azioni:

- la promozione di attività di ricerca e sviluppo per la ricerca di sostanze e tecnologie alternative;
- l'adozione di misure legislative per ridurre i rischi derivanti dall'uso dei PFAS, tra cui le restrizioni nell'ambito del Regolamento REACH;
- la messa a punto di metodologie per la bonifica dei siti contaminati da PFAS.

In ambito REACH sono entrate in vigore alcune restrizioni relative al loro uso, tra cui si citano quella introdotta dal regolamento UE 2021/1297 sui PFAS a catena lunga C9-C14, la restrizione del regolamento UE 2024/2462 sui PFAS a catena corta e la restrizione sui PFAS nelle schiume antincendio introdotta con il regolamento (UE) 2025/1988. Nel 2023 Danimarca, Germania, Paesi Bassi, Norvegia e Svezia hanno presentato all'ECHA una proposta di restrizione sui PFAS [ECHA 2023], che è in corso di valutazione da parte dei Comitati scientifici dell'ECHA; si prevede che la Commissione europea adotti il Regolamento per la restrizione in oggetto nel corso del 2027.

La principale misura di gestione del rischio consiste nella ricerca di prodotti alternativi ai PFAS e nell'implementare la sostituzione con composti più sicuri. La maggior parte

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

delle informazioni su possibili sostituti riguarda il settore tessile e le schiume antincendio; per altri usi, come la cromatura decorativa, non c'è più la necessità di utilizzo dei PFAS [Danish Ministry of the Environment, 2011].

Bibliografia

Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni, Strategia per la sostenibilità nel settore chimico, verso un ambiente privo di sostanze tossiche. COM(2020) 667 finale del 14/10/2020

ECHA, Annex XV Restriction Report – Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) 22/03/2023

Danish Ministry of the Environment, Environmental Protection Agency, Substitution of PFOS for use in non-decorative hard chrome plating, Environmental Project No. 1371, 2011

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Percezione del rischio da esposizione lavorativa ad agenti tossici per la riproduzione.

Risk perception of occupational exposure to reprotoxic agents

Keywords: Questionnaire, knowledge, risk management, occupational health, reproductive health

Loreta Tobia[1], Camilla Lombardo[1], Riccardo Mastrantonio[1], Andrea Panichi[1], Giada Mastrangeli[1], Elio Tolli[1], Leila Fabiani[1]

[1] *Dipartimento di Medicina clinica, sanità pubblica, scienze della vita e dell'ambiente, Università degli Studi dell'Aquila*

Corresponding author: Giada Mastrangeli, *giada.mastrangeli@graduate.univaq.it*

Introduzione

L'esposizione ad agenti tossici per la riproduzione rappresenta un problema di salute pubblica per i possibili effetti sulla fertilità e sullo sviluppo embrio-fetale. Essa avviene principalmente in ambito occupazionale, coinvolgendo diverse categorie professionali, tra cui operatori del settore industriale, metallurgico, chimico e sanitario. Le principali vie di esposizione comprendono l'inalazione di polveri e vapori, il contatto cutaneo e l'ingestione accidentale. Tra i metalli più noti per la loro azione reprotossica, il piombo inorganico è ampiamente utilizzato in ambito industriale ed è associato a effetti tossici diretti e indiretti sull'apparato riproduttivo [INAIL, 2024]. La prevenzione del rischio non dipende esclusivamente da misure tecniche e organizzative, ma anche dal livello di conoscenza e dalla percezione del rischio da parte dei lavoratori [Ricci et al., 2021].

Materiali e Metodi

È stato condotto uno studio osservazionale in un'azienda produttrice di batterie al piombo. È stato sviluppato un questionario autosomministrato articolato in tre costrutti: conoscenza, percezione del rischio e prevenzione/protezione. Il questionario è stato somministrato a 46 lavoratori (T0) e ripetuto dopo circa due mesi (T1, n=40). Gli scores sono stati costruiti mediante somma di items dicotomici. L'affidabilità interna è stata valutata tramite α di Cronbach e la stabilità temporale mediante correlazione di Spearman.

Risultati e Discussione

Il campione era costituito da lavoratori maschi, la maggior parte dei quali apparteneva alla fascia di età 30-39 anni e aveva conseguito un titolo di studio medio-superiore. Il livello di conoscenza sugli agenti tossici per la riproduzione è risultato eterogeneo e complessivamente non adeguato, con carenze nei contenuti applicativi quali il riconoscimento dei rischi e delle misure preventive. Al contrario, la percezione del rischio è risultata elevata, con una diffusa consapevolezza della possibile esposizione occupazionale. Anche l'orientamento verso le misure di prevenzione è risultato favorevole, sebbene con limitata capacità di identificare interventi specifici. Le analisi test–retest, condotte sui soggetti con entrambe le misurazioni disponibili, hanno evidenziato una sostanziale stabilità dei punteggi nel tempo. Questi risultati sono coerenti con l'evidenza che gli agenti tossici per la riproduzione agiscono attraverso molteplici meccanismi, inclusa l'interferenza endocrina e la tossicità diretta sulle gonadi [ISSN, 2001], rendendo fondamentale l'adozione di comportamenti preventivi adeguati.

Conclusioni

I risultati evidenziano un disallineamento tra percezione del rischio e conoscenze operative, suggerendo la necessità di interventi formativi mirati. Il questionario sviluppato rappresenta uno strumento potenzialmente utile per il monitoraggio delle competenze e per la valutazione dell'efficacia degli interventi di prevenzione nei contesti lavorativi esposti ad agenti tossici per la riproduzione, in linea con le recenti evoluzioni normative europee.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Bibliografia

Inail. Direttiva UE 2022/431 e novità in tema di esposizione professionale a sostanze reprotossiche e farmaci pericolosi. Roma: INAIL, 2024.

ISSN. Esposizione umana a sostanze chimiche con effetti endocrini e salute riproduttiva. Notiziario dell'istituto Superiore di Sanità. 2001, Vol. 14, 12.

Ricci F, Bravo G, Modenese A, Pasquale FD, Ferrari D, Gobba F. Risk Perception in the Construction Industry: Differences Between Italian and Migrant Workers Before and After a Targeted Training Intervention. NEW SOLUTIONS: A Journal of Environmental and Occupational Health Policy. 2021;31(1):65-71. doi:10.1177/1048291121998364

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Esposizione occupazionale alle emissioni diesel: revisione sistematica dei metodi di monitoraggio, metriche e gestione del rischio

Occupational exposure to diesel exhaust: a systematic review of monitoring methods, exposure metrics, and risk management

Keywords: Diesel particulate matter (DPM), Black carbon (BC), Exposure assessment, Real-time instruments, Elemental carbon (EC)

Eleonora Pagani[1], Nicolò Franzosi[2], Alessio Carminati[1], Carolina Zellino[1], Stefano Boscolo[1], Francesca Borghi[3], Giovanni De Vito[2], Andrea Cattaneo[1], Andrea Spinazzè[1], Domenico Maria Cavallo[1]

[1] *Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia, Università degli Studi dell'Insubria, Como*
[2] *Dipartimento di Medicina e Chirurgia, Università degli Studi dell'Insubria, Varese*
[3] *Unità di Medicina del Lavoro, Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Bologna*

Corresponding author: Eleonora Pagani, *epagani4@uninsubria.it*

Introduzione

Le emissioni dei gas di scarico dei motori diesel (diesel engine exhaust, DEE) sono classificate come cancerogene per l'uomo (Gruppo 1) dall'International Agency for Research on Cancer (IARC) e rappresentano una problematica rilevante in ambito occupazionale. Nel quadro normativo vigente, le emissioni di gas di scarico dei motori diesel sono infatti ricomprese tra i processi cancerogeni di cui all'Allegato XLII del D.Lgs. 81/08; per tali emissioni, l'Allegato XLIII prevede un valore limite di esposizione professionale pari a 0,05 mg/m^3, espresso come media ponderata su 8 ore e misurato sotto forma di carbonio elementare. Tali emissioni sono costituite in realtà una miscela complessa di gas (ad esempio NO_x e CO) e particolato; la frazione particolata, nota come diesel particulate matter (DPM), è composta principalmente da carbonio elementare (EC) e da una componente organica [Lee et al., 2015] La valutazione dell'esposizione si basa su diverse metriche surrogate, tra cui il carbonio elementare (EC), il carbonio organico (OC), il carbonio totale (TC) e il black carbon (BC)[Hedmer et al. 2017]. La misura può essere effettuata mediante diverse metodologie, che includono l'uso di strumenti a lettura diretta (ad esempio etalometri) e metodi analitici di laboratorio, come il metodo NIOSH 5040 per la determinazione dell'EC [Choi et al., 2021]. Considerando la variabilità di metodi disponibili per la valutazione dell'esposizione, è fondamentale comprendere il monitoraggio dell'esposizione nei luoghi di lavoro, così come lo sviluppo e l'implementazione di strategie efficaci per la gestione e la riduzione del rischio.

Materiali e Metodi

È stata condotta una revisione della letteratura utilizzando le principali banche dati scientifiche (Web of Science, PubMed e Scopus), mediante l'impiego di due stringhe di ricerca. L'obiettivo del lavoro è stato quello di fornire una panoramica il più possibile completa della letteratura relativa all'esposizione occupazionale alle emissioni diesel, con particolare attenzione ai metodi di monitoraggio e misura, alle metriche utilizzate, all'impiego di modelli (anche in studi retrospettivi) e alle strategie di gestione del rischio.

Risultati e Discussioni

Dalla ricerca sono emersi numerosi studi di monitoraggio condotti in diversi contesti occupazionali, con una particolare rilevanza negli ambienti sotterranei. Come atteso, tra le metriche più frequentemente monitorate rientrano il carbonio elementare (EC), il black carbon (BC) e il diesel particulate matter (DPM). Tuttavia, sono stati identificati anche studi che considerano metriche alternative per la valutazione delle emissioni diesel, quali il particle number concentration (PNC), il particolato atmosferico aerodisperso (PM) e gli idrocarburi policiclici aromatici (PAHs). I risultati mostrano un ampio utilizzo combinato di strumenti a lettura diretta (ad esempio etalometri e nefelometri) e tecniche di campionamento su filtro, con una marcata eterogeneità nelle metodologie

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

adottate. Tra i metodi analitici di laboratorio, il metodo NIOSH 5040 rappresenta il riferimento più diffuso per la determinazione del carbonio elementare.
Inoltre, una parte degli studi include approcci modellistici e analisi retrospettive, tra cui l'utilizzo di job-exposure matrices (JEM), a supporto della valutazione dell'esposizione anche sulla base di dati pregressi o informazioni indirette. Parallelamente, una quota rilevante degli studi inclusi affronta il tema della gestione del rischio, sia in modo diretto, attraverso la valutazione dell'efficacia delle misure di controllo, sia indirettamente. Le principali strategie identificate includono sistemi di ventilazione (naturale, meccanica o ausiliaria), l'impiego di filtri antiparticolato (DPF) sui veicoli diesel e, in misura minore, interventi quali il cambio di carburante, la manutenzione dei mezzi e l'utilizzo di dispositivi di protezione individuale oltre a sistemi specifici di abbattimento del particolato (ad esempio scrubber o utilizzo di acqua in fase di lavorazione).

Conclusioni

Nel complesso, la letteratura evidenzia un'ampia variabilità negli approcci alla valutazione dell'esposizione alle emissioni diesel, sia in termini di metriche che di metodologie adottate. I risultati sottolineano la complessità della valutazione dell'esposizione nei diversi contesti occupazionali e l'importanza di considerare in modo integrato monitoraggio, modellistica e strategie di gestione del rischio.

Bibliografia

Choi S., Park J.H., Kim W., Kim S.W., Lee K.H., Chung T., Park J., Ryu S.H., Shin J., Koh D.H., Park D.U., 2021. Black carbon exposure characteristics in diesel engine vehicle-related jobs. Aerosol and Air Quality Research, 21(9), 200675.

Hedmer M., Wierzbicka A., Li H., Albin M., Tinnerberg H., Broberg K., 2017. Diesel Exhaust Exposure Assessment Among Tunnel Construction Workers – correlations between nitrogen dioxide, respirable elemental carbon, and particle number. Annals of Work Exposures and Health, 61(5), 539–553.

Lee K.H., Jung H.J., Park D.U., Ryu S.H., Kim B., Ha K.C., Kim S., Yi G., Yoon C., 2015. Occupational exposure to diesel particulate matter in municipal household waste workers. PLoS ONE, 10(8), e0135229.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Campionamento e analisi di N,N-dimetilformammide aerodispersa in ambiente di lavoro

Sampling and analysis of airborne N,N-dimethylformamide at the workplace

Caterina Boaretto[1], Martina Toè[1], Elena Grignani[1]

[1] *ICS Maugeri, Centro Ricerche Ambientali*

Corresponding author: Caterina Boaretto, *caterina.boaretto@icsmaugeri.it*

Introduzione

La N,N-dimetilformammide (CAS n. 68-12-2) viene utilizzata principalmente come solvente nell'industria per la produzione di prodotti contenenti poliuretano, vernici, inchiostri, adesivi e nei processi chimici di sintesi.

La sua classificazione come reprotossico 1B (H360D tossico per la riproduzione) e le relative restrizioni europee entrate in vigore nel 2023 con la pubblicazione del Regolamento (UE) 2021/2030 che hanno modificato l'allegato XVII del REACH [1], rendono necessaria una maggiore vigilanza sull'esposizione dei lavoratori coinvolti nei cicli produttivi dove se ne fa uso.

Il D.Lgs. 81/08 nella sua versione corrente indica un valore limite di esposizione sull'intero turno di lavoro (TWA) pari a 15 mg/m^3 ed un valore limite per esposizione di breve durata (STEL) pari a 30 mg/m^3.

Con questo lavoro si propone un campionamento a diffusione con l'utilizzo di Radiello, un'analisi semplice, di facile applicazione, con adeguata sensibilità analitica che permette di misurare la presenza di N,N-dimetilformammide a livelli di concentrazione in aria di circa due ordini di grandezza inferiori ai valori di TWA in vigore. Il metodo risulta adeguato anche per campionamenti di breve durata.

Materiali e Metodi

Per il campionamento di N, N-dimetilformammide aerodispersa si utilizza il campionatore a simmetria radiale Radiello munito di cartuccia adsorbente in carbone attivo (RAD 130) e corpo diffusivo bianco (RAD 120).

La portata equivalente del composto, misurata presso il Centro Ricerche Ambientali di ICS Maugeri di Padova in camera di esposizione ad atmosfera dinamica controllata, è di 82,0 mL/min.

Il desorbimento della cartuccia si effettua con diclorometano, solvente che permette una resa di desorbimento dell'analita dal carbone attivo superiore al 92% e l'analisi viene effettuata mediante gascromatografo equipaggiato con colonna di media polarità e rivelatore a ionizzazione di fiamma.

Risultati

Il metodo è stato validato nell' intervallo da 1,5 a 35 µg assoluti, il limite inferiore di quantificazione è pari a 0,7 µg per campione, equivalenti a 0,02 mg/m^3 per un campionamento di otto ore.

Il LOQ è paragonabile a quello del metodo OSHA 66 [3] (LOQ 0,5 µg con rivelatore NPD) e circa cento volte inferiore a quello del metodo NIOSH 2004 [NIOSH 1994] pari a 50 µg (con rivelatore FID).

Conclusioni

Il metodo proposto risulta adeguato a misure di N,N-dimetilformammide in ambiente di lavoro finalizzate al confronto con i limiti di esposizione professionale sia di lungo che di breve periodo; il campionamento è semplice in quanto non richiede l'uso di pompe per l'aspirazione forzata dell'aria e l'analisi utilizza materiali e strumentazione di uso comune in un laboratorio.

Bibliografia

Regolamento (UE) 2021/2030 della Commissione del 19 novembre 2021 recante modifica dell'allegato XVII del regolamento (CE) n. 1907/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH) per quanto riguarda la N,N-dimetilformammide

OSHA Method no. 66, US Occupational Safety and Health Administration, OSHA Analytical Laboratory Salt Lake City, Utah, 1987

NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th Edition, 1994, US Dept of Health and Human

Services, Method number 2004, Issue 2.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Dall'omico al multi-omico: potenzialità degli approcci multipiattaforma nel monitoraggio biologico

From omics to multi-omics: potential of multiplatform approaches in biological monitoring

Keywords: data fusion, chemometrics, metabolomics

Michele De Rosa[1], Mariangela Spagnoli[2], Fabio Sciubba[1,3], Giovanna Tranfo[4], Federico Marini[1,5], Agnieszka Smolinska[6], Silvia Canepari[3]

[1] *NMR-based Metabolomics Laboratory, Sapienza Università di Roma*
[2] *Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene Ambientale e del Lavoro, INAIL*
[3] *Dipartimento di Biologia Ambientale, Sapienza Università di Roma*
[4] *Direttivo AIDII*
[5] *Dipartimento di Chimica, Sapienza Università di Roma*
[6] *Dipartimento di Farmacologia e Tossicologia, Università di Maastricht, Maastricht, Paesi Bassi*

Corresponding author: Michele De Rosa, *michele.derosa@uniroma1.it*

Introduzione

Negli ultimi anni le scienze omiche hanno profondamente trasformato l'approccio allo studio dei sistemi biologici, permettendo l'analisi simultanea di un elevato numero di biomolecole e offrendo una visione globale dei processi metabolici. In particolare, la metabolomica rappresenta uno strumento estremamente potente per il monitoraggio biologico, poiché consente di investigare i cambiamenti metabolici associati a condizioni fisiologiche, patologiche o a esposizioni ambientali e occupazionali. Tuttavia, la complessità dei sistemi biologici e l'elevata eterogeneità chimica dei metaboliti presenti nelle matrici biologiche rendono difficile ottenere una caratterizzazione completa mediante l'utilizzo di una singola piattaforma analitica. Tecniche come la risonanza magnetica nucleare (NMR) e la spettrometria di massa accoppiata a diverse tecniche cromatografiche (LC-MS e GC-MS) offrono infatti informazioni complementari, ma ciascuna presenta limiti specifici in termini di sensibilità, selettività e copertura del metaboloma. Per superare tali limitazioni, recentemente si è diffuso l'impiego di approcci multipiattaforma e strategie di integrazione dei dati, note come data fusion, che consentono di combinare informazioni provenienti da differenti tecniche analitiche e da diverse tipologie di dati biologici [Biancolillo et al. 2019; Blanchet and Smolinska 2016].

Materiali e Metodi

Dal punto di vista metodologico, le strategie di data fusion possono essere suddivise in tre principali categorie: low-level, mid-level e high-level, in base al livello di integrazione dei dati. Nel caso studio presentato in particolare, sono stati analizzati campioni urinari raccolti da lavoratori impiegati nel comparto della lavorazione dei metalli e da un gruppo di controllo, mediante due piattaforme complementari: GC-HRMS ed NMR. L'integrazione dei dati è avvenuta applicando il metodo SO-CovSel-LDA (Biancolillo et al. 2020), un algoritmo multiblocco di selezione di variabili che estende il metodo CovSel a dataset costituiti da più blocchi di dati. La validazione dei modelli è stata effettuata mediante repeated double cross-validation (rDCV), che ha permesso sia di stimare le prestazioni predittive sia di calcolare la frequenza di selezione delle variabili nei diversi cicli di validazione. Successivamente, sulle variabili maggiormente selezionate è stato costruito un modello SO-PLS-LDA per la classificazione dei campioni.

Risultati e Discussione

L'applicazione del metodo descritto ha consentito di selezionare sei variabili nel blocco GC-HRMS e dieci nel blocco NMR, identificate come le più informative per la discriminazione tra lavoratori e gruppo di controllo. Successivamente, il modello SO-PLS-LDA costruito, basato sulle variabili più frequentemente selezionate, ha mostrato ottime capacità discriminanti con valori di sensibilità pari a 91.6±1.8%, specificità pari a 90.2±2.1%, accuratezza pari a 90.9±1.4% e correct classification rate pari a 90.9±1.4%.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Il confronto con i modelli costruiti considerando separatamente i singoli blocchi di dati ha evidenziato prestazioni inferiori, confermando come l'integrazione delle informazioni provenienti da diverse piattaforme analitiche permetta di sfruttare in modo più efficiente la complementarità dei dati metabolomici. In particolare, l'approccio multiblocco consente di catturare segnali biologici che non emergerebbero dall'analisi di una singola tecnica, migliorando la capacità discriminante dei modelli e fornendo una rappresentazione più completa della risposta metabolica associata all'esposizione occupazionale.

Conclusioni

Nel complesso, gli approcci multi-omici e multipiattaforma rappresentano una prospettiva estremamente promettente per il monitoraggio biologico, poiché consentono di superare i limiti delle singole piattaforme analitiche e di migliorare la comprensione delle risposte biologiche a esposizioni ambientali e occupazionali.

Bibiografia

Biancolillo, Alessandra, Ricard Boqué, Marina Cocchi, and Federico Marini. 2019. 'Chapter 10 - Data Fusion Strategies in Food Analysis'. In Data Handling in Science and Technology, edited by Marina Cocchi, vol. 31. Data Fusion Methodology and Applications. Elsevier. *https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63984-4.00010-7*.

Biancolillo, Alessandra, Federico Marini, and Jean-Michel Roger. 2020. 'SO-CovSel: A Novel Method for Variable Selection in a Multiblock Framework'. Journal of Chemometrics 34 (2): e3120. *https://doi.org/10.1002/cem.3120*.

Blanchet, Lionel, and Agnieszka Smolinska. 2016. 'Data Fusion in Metabolomics and Proteomics for Biomarker Discovery'. Methods in Molecular Biology (Clifton, N.J.) 1362: 209–23. *https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3106-4_14*.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Validazione di un metodo GC-MS/MS per il monitoraggio del 2-fenil-2-propanolo urinario a basse dosi: applicazione a un campione di popolazione generale

Validation of a GC-MS/MS method for the monitoring of urinary 2-phenyl-2-propanol at low doses: application to a general population sample

Keywords: gas chromatography, triple quadrupole mass spectrometry, cumene, biomonitoring, 2-phenyl-2-propanol.

Matteo Balestra[1], Veruscka Leso[2], Salvatore Della Notte[2], Alessandro Volpe[1], Francesco Saverio Robustelli della Cuna[1], Ivo Iavicoli[3,4], Elena Grignani[1]

[1] *Centro Ricerche Ambientali, Istituti Clinici Scientifici Maugeri Spa Società Benefit, Pavia (PV)*
[2] *Dipartimento di Sanità Pubblica, Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli*
[3] *Sezione di Medicina del Lavoro, Dipartimento di Sicurezza e Bioetica, Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma.*
[4] *Fondazione Policlinico Universitario A. Gemelli, IRCCS, Roma*

Corresponding author: Matteo Balestra, *matteo.balestra@icsmaugeri.it*

Introduzione

Il cumene (isopropilbenzene) è un idrocarburo aromatico derivato dal benzene ed è considerato un inquinante ambientale diffuso, prodotto da emissioni legate alla sua produzione, lavorazione, trasporto e alla raffinazione del petrolio. Il 2-fenil-2-propanolo (2P2P) è il principale e più affidabile biomarcatore urinario dell'esposizione umana al cumene. Deriva dall'ossidazione metabolica del cumene, seguita da glucuronazione, e riflette la dose interna assorbita per via inalatoria o cutanea [Knecht, 2013]. La quantificazione del 2P2P nelle urine fornisce una misura diretta dell'esposizione recente al cumene ed è ampiamente impiegata nel monitoraggio dell'esposizione in ambito occupazionale [Knecht & Ulshöfer, 1996]. L'esposizione occupazionale al cumene è regolata da valori limite di esposizione occupazionali, misurati o calcolati rispetto ad un periodo di riferimento di otto ore, come media ponderata nel tempo, pari a: 10 ppm, stabiliti dalla Direttiva (UE) 2019/1831; 50 ppmstabiliti da OSHA e da NIOSH; 5 ppm stabiliti da ACGIH). In relazione al monitoraggio biologico, la Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, Fondazione Tedesca per la Ricerca) ha definito per il 2P2P un valore biologico di tolleranza (BAT) pari a 10 mg/g di creatinina urinari [Klotz & Knecht, 2021]. Tuttavia, mancano valori limite biologici o valori di riferimento (VdR) biologici basati sulla popolazione generale, non professionalmente esposta. La mancanza di tali valori limita la corretta interpretazione dei dati di monitoraggio biologico, la comparazione tra gruppi di lavoratori esposti e soggetti non esposti, nonchè la valutazione e la gestione del rischio in ambito occupazionale e di sanità pubblica. Questo aspetto, insieme alla necessità di quantificare concentrazioni estremamente basse con adeguata precisione e di superare i limiti dei metodi analitici disponibili in termini di sensibilità e complessità operativa, ha motivato il presente studio. È stato quindi sviluppato e validato, secondo le linee guida della Food and Drug Administration (FDA) statunitense, un metodo GC–MS/MS ad alta sensibilità.

Materiali e Metodi

L'idrolisi del glucuronide del 2P2P urinario è stata eseguita mediante l'utilizzo di b-glicosidasi da Helix pomatia, seguita da estrazione liquido/liquido con etile acetato. Un'aliquota di 1 ml è stata analizzata mediante GC-MS/MS. Le analisi sono state condotte utilizzando un gascromatografo (modello Agilent 7890 A) combinato con spettrometro di massa in modalità sorgente ionica a impatto elettronico (GC-EI-MS/MS) (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA). Per la separazione cromatografica è stata utilizzata una colonna capillare Rtx-1701 (14% cianopropilfenil/86% dimetilpolisilossano, 30 m × 0.25 mm ID, 1 µm df). Lo spettrometro di massa operava in multiple reaction monitoring (MRM).

Risultati e Discussione

L'impiego della rivelazione selettiva in modalità MRM ha consentito una significativa riduzione del rumore di fondo, con un conseguente incremento di sensibilità e

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

specificità. Il metodo ha mostrato linearità nell'intervallo 0.05–5 ng/mL (r^2 = 0.997). Il recupero del 2P2P è risultato compreso tra 99.56% e 102.16%, con un effetto matrice variabile da 1.9% a 8.85%. Il limite di quantificazione (LOQ) e il limite di rilevazione (LOD) sono risultati pari a 0.019 ng/mL e 0.015 ng/mL, rispettivamente. In conformità con le linee guida FDA, la precisione del metodo, espressa come coefficiente di variazione tra le sessioni analitiche (CV), è risultata compresa nel range 6.3%-11.17%, mentre l'accuratezza misurata su base inter-day è compresa tra 90.84 e 108.98%.

Conclusioni

Il metodo GC–MS/MS sviluppato e validato in questo studio supera le limitazioni delle procedure precedenti grazie a una sensibilità e specificità nettamente superiori, ottenute mediante rivelazione MRM, idrolisi enzimatica ed estrazione liquido-liquido semplificata. Il metodo analitico è stato progettato per migliorare significativamente la sensibilità rispetto alle tecniche disponibili in letteratura, come confermato dal valore di LOQ, che consente la quantificazione affidabile del 2P2P a basse concentrazioni, tipiche delle esposizioni ambientali e occupazionali. L'approccio proposto migliora la rilevabilità del metabolita nella parte inferiore della distribuzione e permette una più solida interpretazione dei dati biologici, anche attraverso il confronto tra soggetti professionalmente esposti e popolazione generale, risultando idoneo al monitoraggio a basse dosi e alla futura definizione di VdR in campioni di popolazione italiana. Nel complesso, il metodo fornisce una base analitica robusta per studi futuri su coorti più ampie, per l'esplorazione della variabilità metabolica interindividuale e per l'integrazione in programmi longitudinali di sorveglianza dell'esposizione, contribuendo al rafforzamento delle strategie di valutazione del rischio e di tutela della salute dei lavoratori.

Bibliografia

Klotz K, Knecht U. Isopropyl benzene (cumene)– Addendum for re-evaluation of the BAT value. Assessment Values in Biological Material– Translation of the German version from 2014. MAK Collect Occup Health Saf. 2021 Dec:Doc921. DOI: *https://doi.org/10.34865/* bb9882eoj21_1ad

Knecht, U. Occupational and Environmental Exposure to Cumene. In: Biological Monitoring for Chemical Exposure. Paris: Elsevier, 2013.

Knecht, U., & Ulshöfer, T., 1996. 2-Phenyl-2-Propanol as a Biomarker for Cumene Exposure. Int Arch Occup Environ Health, 68, 33–38.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

An investigation and a risk assessment simulation of inorganic fibers in facial cosmetics

Indagine analitica e simulazione di valutazione del rischio da fibre inorganiche in cosmetici facciali

Keywords: talc, asbestos, scanning electron microscopy, exposure assessment, inhalation risk

Francesca Graziosi[1], Silvia Contessi[1], Francesca Borghi[1], Roberta Bonfiglioli[1,2], Francesco Saverio Violante[1]

[1] *Department of Medical and Surgical Sciences, Alma Mater Studiorum University of Bologna, Bologna (Italy)*
[2] *Division of Occupational Medicine, IRCCS Azienda Ospedaliero-Universitaria di Bologna, Bologna (Italy)*

Corresponding author: Francesca Graziosi, *francesca.graziosi@unibo.it*

Introduction

Talc is a magnesium phyllosilicate widely used in cosmetic formulations. Due to possible geological co-occurrence, some talc deposits may be naturally contaminated with asbestos fibres, a group of minerals classified as Group 1 human carcinogens by IARC. Although asbestos contamination in talc-based cosmetics has been reported in the scientific literature, data on its actual prevalence in commercially available products and on the associated consumer risk remain fragmented. The aims of this study were therefore: (i) to determine the presence of asbestos fibres in a sample of commercial facial cosmetics by scanning electron microscopy; (ii) to develop an exposure simulation to estimate the potential risk associated with asbestos contamination in such products.

Materials and methods

A sample of twenty-four commercially available facial cosmetics, including eyebrow pencils, eyeshadows, foundations, bronzers and lip liners, was analysed by field-emission scanning electron microscopy coupled with energy-dispersive X-ray spectroscopy (FESEM-EDX). Each sample was prepared by dispersing the material in aqueous solution, followed by filtration on a polycarbonate membrane (0.4 µm) and chromium sputter-coating. For each filter, a total of 800 fields corresponding to an area of 2 mm^2 were examined, and asbestos fibre identification was carried out according to ISO 14966:2019.

To simulate potential consumer exposure, the amount of cosmetic used per application was experimentally determined by weighing products before and after use with an analytical balance (0.1 mg precision). Applications were performed in triplicate under two scenarios (light and thick layering), and the results were compared with values reported in previous exposure studies [Holton et al. 2022] [Ficheux et al. 2016]. Additionally, application duration was investigated through a questionnaire administered to 13 regular cosmetic users.

Results and discussion

Among the 24 cosmetic products analyzed, one lip liner contained a single elongated particle morphologically consistent with an asbestos fiber. SEM-EDX analysis identified the fiber as tremolite, with a length of 2.1 µm and a width of 310 nm. No asbestos fibers were detected in the remaining samples.

Experimental application tests showed that the quantity of cosmetic used by consumers varied widely depending on the product and the application scenario. Under light layering conditions, average amounts ranged from 1.7 mg (eyebrow pencil) to 306.9 mg (gel), while under thick layering they ranged from 4.3 mg (eyebrow pencil) to 488.7 mg (gel). These values were generally consistent with those reported in previous studies. The total application time for a full cosmetic routine was approximately 3 minutes for light layering and 6 minutes for thick layering, comparable with questionnaire data collected from 13 regular cosmetic users.

Based on the exposure simulation, assuming a hypothetical intermediate contamination level of 2,675 ff/mg, as derived from Stoiber and collaborators [Stoiber et al., 2020] to represent a conservative exposure scenario, the total number of asbestos fibres potentially deposited on the skin during a full cosmetic routine was estimated at approximately 1.1 million under light layering and 2.4 million under thick layering.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Conclusions

Asbestos contamination in commercial facial cosmetics is possible but sporadic, and even under high-contamination scenarios the health risk to the average consumer is extremely low. These findings carry direct relevance for occupational hygiene: workers in the beauty sector (e.g. professional make-up artists, beauticians and cosmetic production staff) may face cumulative exposures substantially higher than the general population due to greater frequency of use, longer application times and potentially inadequate workplace ventilation. Future research should address occupational exposure assessment in these work settings, with particular attention to confined environments such as film/television sets and beauty salons where limited air exchange may increase airborne concentrations. From a methodological standpoint, the results reinforce the need to replace optical microscopy with electron-based techniques (SEM-EDX) as the analytical standard for asbestos detection in cosmetic products, both for regulatory purposes and workplace risk management.

Bibliography

Ficheux, A. S., Chevillotte, G., Wesolek, N., Morisset, T., Dornic, N., Bernard, A., Bertho, A., Romanet, A., Leroy, L., Mercat, A. C., Creusot, T., Simon, E., & Roudot, A. C., 2016. Consumption of cosmetic products by the French population second part: Amount data. Food and Chemical Toxicology, 90, 130–141.

Holton, M., Ellis, J., Anderson, E., Poole, J., 2022. Characterization of asbestos exposures associated with the use of facial makeups. Risk Analysis, 42(10), 2129–2139.

Stoiber T., Fitzgerald S., Leiba N.S., 2020. Asbestos contamination in talc-based cosmetics: An invisible cancer risk. Environ. Health Insights, 14.

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Indice degli autori

A

Giulio **Abatangelo** *166*
Pasquale **Addonizio** *226*
Andrea **Agostini** *155*
Cinzia **Aimone** *15, 25*
Pietro **Alfano** *148*
Salvatore **Fabio Alongi** *217*
Ivano **Ammoscato** *144*
Roberta **Amorati** *153*
Simona **Amore** *89, 91*
Bianca Patrizia **Andreini** *155*
Roberta **Andreoli** *170*
Paola **Angelini** *151*
Anna **Angino** *148*
Maria Cristina **Aprea** *36, 139, 144, 146, 195, 228*
Renato **Ariano** *51*
Jorge Iván Euán **Ávila** *220*

B

Abubakar Ahman **Babangida** *191*
Cristiano **Baiocchi** *155*
Sandra **Baldacci** *146, 148*
Andrea **Baldassarre** *72*
Antonio **Baldassarre** *56*
Luca **Baldassarre** *72*
Marco **Baldini** *139*
Matteo **Balestra** *93, 246*
Arianna **Ballarin** *27, 134, 137*
Bruno **Banchi** *36*
Elisabetta **Barbassa** *237*
Giorgio **Favorido Barraza** *9, 128*
Chiara **Bartalucci** *56*
Carlo **Bartoli** *60*
Francesca **Bazzani** *146*
Lorenzo **Bazzi** *172*
Renzo **Becherelli** *36, 195*
Claudio **Beni** *210*
Bruno **Berman** *89, 91*
Marina **Rosato** *155*
Anna Rita **Bianchi** *89, 91*
Elia **Biganzoli** *158*
Elisa **Bini** *155*
Caterina **Boaretto** *243*
Fabio **Boccuni** *182, 233*
Andrea **Bogi** *60, 146, 195*
Valentina **Bollati** *158*
Daniela **Boltrini** *87*
Fabio **Daniele Bonacina** *217*
Michela **Bonafede** *64*
Simona **Bondioli** *185*
Roberta **Bonfiglioli** *189, 191, 248*
Marco **Boni** *137*
Luca **Boniardi** *126*
Francesca **Borghi** *81, 126, 141, 241, 248*
Stefano **Boscolo** *141, 158, 241*
Teresa **Botti** *43, 177*
Giovanna **Bregante** *137*
Chiara **Breschi** *185, 187, 231*
Lidia **Bressan** *153*
Debora **Brignani** *102, 104*
Gennaro **Bufalo** *67, 204*
Karen **Bufton** *5*
Giancarlo **Burriesci** *60, 202, 223*
Fatehia **Bushara Garma** *104*

C

Renato **Cabella** *19*
Sergio **Caccamo** *225*
Cassandra **Calugi** *195*
Massimo **Campagna** *110*
Laura **Campo** *126*
Silvia **Canepari** *244*
Silvia **Capanna** *197*
Roberta **Capati** *225*
Pasquale **Capone** *46, 51, 223*
Lidia **Caporossi** *179, 193, 197*
Domenico **Caputo** *182*
Marta **Carcano** *139*
Alessio **Carminati** *141, 158, 241*
Francesco **Carmusciano** *36*
Daniele **Carpanelli** *27*
Paolo **Carrer** *135*
Mariella **Carrieri** *119, 166*
Antonio **Carrus** *79*
Francesco **Casalinuovo** *207*
Silvia **Casalinuovo** *182*
Daniela **Caschera** *182*
Laura **Casorri** *210, 212*
Paola **Castellano** *87, 179, 212*
Chiara **Caterini** *85*
Andrea **Cattaneo** *81, 83, 137, 139, 141, 144, 158, 241*
Matteo **Cavalli** *10*
Veronica **Cavalli** *137*
Delia **Cavallo** *193, 233*
Domenico Maria **Cavallo** *81, 83, 126, 139, 141, 158, 241*
Maria Lucia **Cavallo** *102, 104*
Rocco Giuseppe **Cazzato** *72*
Lorenzo **Cena** *160*
Gloria **Cencia** *170*
Anna **Cenni** *228*
Luigi **Cerini** *43, 177*
Monica **Cerretani** *146*
Maria Grazia **Cerroni** *225*
Carmine **Cervo** *185*
Kerry **Cheung** *2*
Rosa **Chiantia** *108*
Pieranna **Chiarella** *223*
Giorgia **Chini** *70, 100, 102, 104*
Alessandra **Chiominto** *207*
Michela **Ciccone** *225*
Aureliano **Ciervo** *233*
Alice **Cimino** *9, 128*
Stefano **Colaluca** *110*
Giulia **Colella** *126*
Chiara **Collaveri** *155*
Moreno **Comelli** *60*
Claudia **Conca** *27*
Dario **Consonni** *126*
Flavia **Conte** *89*
Gloria **Conte** *93, 123, 168*
Silvia **Contessi** *248*
Luca **Convertini** *34*
Rosario **Crisci** *226*
Alfonso **Cristaudo** *185*

D

Marilena **D'Ambrosio** *79*
Caterina **D'Andria** *27*
Raffaele **d'Angelo** *67, 204*
Francesco **Daniele** *27, 137*
Francesco **Gavazzeni** *137*
Annalisa **D'Arco** *17*
Leonarda **De Benedictis** *79*
Francesco **Decataldo** *189, 191*
Gianluigi **de Gennaro** *144*
Luca **del Buono** *235*
Simona **Del Ferraro** *100*
Salvatore **Della Notte** *83, 246*

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Anna **De Maio** *89, 91*
Guglielmo **De Majo** *110*
Giuseppe **De Palma** *137, 139, 144*
Gianluca **D'Ermiliis** *195*
Mariangela **De Rosa** *89, 91*
Michele **De Rosa** *11, 244*
Miriam **De Sarlo** *187*
Gabriele **D'Ettorre** *72*
Giovanni **De Vito** *241*
Giorgia **Di Gennaro** *233*
Chiara **Di Giorgio** *135*
Laura **Dilsani Nanayakkarawasam Nagahawatta Arachchige** *128*
Alberto **Di Ludovico** *225*
Marco **Di Luigi** *210, 212*
Fiammetta **Dini** *155*
Nicola **Dipalma** *34*
Simona **Di Renzi** *193*
Federico **Di Rita** *46*
Andrea **Donati** *60*
Carlo **Dossi** *81, 83*
George **Dounias** *108*
Maria Concetta **D'Ovidio** *46, 51, 223*
Francesco **Draicchio** *214*

E

Daniel **Engelbrecht** *160*
Carmine **Esposito** *75, 200*

F

Leila **Fabiani** *239*
Martina **Falace** *89, 91*
Luca **Falciati** *102, 104*
Giacomo **Fanti** *126, 141, 158*
Giulia **Fanti** *146*
Daniel **Farcas** *160*
Alberto **Fedele** *72*
Riccardo **Ferrante** *182, 233*
Isabella **Ferrara** *98*
Maria Lorena **Fiorentino** *128, 168*
Lorenza **Fiumi** *29, 220*
Irene **Florio** *15*
Riccardo **Fontani** *146*
Daniela **Forloni** *235*
Grazia **Fortuna** *114*
Francesca **Fortunato** *130*
Stefano **Fortunato** *155*
Beatrice **Fraboni** *191*
Julia **Fraga** *220*
Nicolò **Franzosi** *241*
Anna Maria **Fresegna** *233*
Francesco **Frigerio** *9*
Riccardo **Fusi** *58*
Samuele **Fuso** *93, 123*
Silvia **Fustinoni** *126*

G

Diana **Gagliardi** *114*
Elisa **Galbiati** *137, 144*
Dario **Gallo** *220*
Luca **Gambacciani** *187*
Laurel **Gaston** *160*
Francesco **Gavazzeni** *27*
Marco **Gentile** *233*
Alessandra **Gentili** *11*
Elisa **Gerbino** *139*
Monica **Gherardi** *19, 32, 43, 85, 177*
Benedetta **Ghezzi** *170*
Roberta **Ghitti** *137*
Elisa **Giacomini** *197*
Donatella **Giacopetti** *85*
Francesco **Gianfagna** *72*
Claudia **Giliberti** *64*
Domenico **Gilioni** *187*
Gianandrea Maria **Gino** *22*
Angela **Gioffrè** *207*
Andrea **Gordiani** *43, 202, 223*
Carlo **Grandi** *223*
Francesca **Graziosi** *189, 191, 248*
Stella **Greco** *185*
Elena **Grignani** *9, 83, 93, 123, 128, 162, 168, 243, 246*
gruppo di lavoro Worklimate *2.0* *64*
Daniela **Guglietta** *220*
Katiuscia **Gulino** *146*
Davide **Guzzon** *217*

H

Ledjana **Hoxha** *64*

I

Simone **Iacaruso** *225*
Tonina Enza **Iaia** *36*
Ivo **Iavicoli** *83, 246*
Piera **Ielpo** *137, 139, 144*
Marzio **Invernizzi** *13*

K

Marta **Keller** *235*

L

Stefania **La Grutta** *148*
Andrea **Lancia** *46, 51*
Antonio **Lanzotti** *67*
Laura **Zaratin** *93*
Valentina **Lazzara** *148*
Elisa **Lazzeri** *146*
Marco **Leoni** *217*
Veruscka **Leso** *83, 246*
Gennaro **Lettieri** *89, 91*
Fabiola **Leuzzi** *85*
Claudia **Lionetti** *137, 139, 141*
Camilla **Lombardo** *239*
Fabiola **Longo** *172*
Nicola Francesco **Lopomo** *102, 104*
Piero **Lovreglio** *62, 79*
Ester **Luconi** *158*
Stefano **Lupi** *17*
Lorella **Luti** *195*
Sergio **Luzzi** *56, 58*

M

Chiara **Maccari** *170*
Tommaso **Maggipinto** *62*
Donatella **Magri** *46*
Raffaele **Maiello** *233*
Sara **Maio** *148*
Ilaria **Malerba** *85*
Velia **Malizia** *137, 139, 148*
Marina **Mameli** *185, 187*
Simone **Mameli** *119*
Tiziana **Mancini** *17*
Anna Maria **Marcelloni** *207*
Gabriella **Marena** *75, 200*
Angelo **Mariani** *217*
Carmela **Marinaro** *89, 91*
Federico **Marini** *244*
Andrea **Martinelli** *119, 166*
Agnese **Martini** *11*
Elisa **Martini** *72*
Nicolò **Martini** *112*
Eva **Masciarelli** *210, 212*
Stefano **Maso** *112*
Giada **Mastrangeli** *239*
Riccardo **Mastrantonio** *239*
Antonello **Mastromonaco** *225*
Eugenio **Mattei** *60*
Ivan **Mazzarelli** *98*
Michele **Mazzetti** *155*

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

Francesco **Mediati** *207*
Marco **Melosi** *87*
Andrea **Militello** *212*
Marco **Mirabile** *114*
Vincenzo **Molinaro** *100*
Valerio **Monaco** *87*
Luigi **Montano** *89, 91*
Ida **E.R. Montesanti** *207*
Giorgio **Mori** *175*
Rosanna **Mosetti** *17*
Martina **Mosso** *102, 104*
Paola **Mozzoni** *170*
Nicola **Mucci** *56*
Elio **Munafò** *214*
Giuseppe **Musumeci** *108*

N

Azzurra **Nardi** *106*
Claudio **Natale** *182, 233*
Francesco **Negro** *70, 102, 104*
Giorgio **Neri** *87*
Carlo **Novi** *204*
Elvira **Nucaro** *187*
Héctor Hernández **Nuñez** *220*

O

Enrico **Oddone** *162*
Luca **Olgiati** *126*
Matthew **Olota** *4*

P

Emilia **Paba** *207*
Enrico **Paci** *43, 95, 177, 179, 197*
Eleonora **Pagani** *141, 158, 241*
Luca **Pagliardini** *197*
Alessandro **Palestra** *134, 137, 139, 144, 148*
Andrea **Panichi** *239*
Adriano **Papale** *106, 110, 214*
Saverio **Pappagallo** *27*
Giovanna **Parisi** *62, 79*
Carmine **Parletta** *185*
Elisa **Partenzi** *193, 197*
Luigina **Patricola** *137*
Marco **Pattaro** *162, 168*
Marilia Silva **Paulo** *41*
Lisa **Pelenghi** *235*
Alessandra **Pellegrini** *85*
Armando **Pelliccioni** *51*
Alessandra **Pera** *89, 91*
Andrea **Perali** *17*
Roberta **Pernetti** *162*
Andrea **Perri** *148*
Roberta **Piccarreta** *41, 130, 175*
Francesco **Picciolo** *146*
Federica **Piccolo** *175*
Luigi **Pierno** *225*
Lucia **Pierro** *155*
Emma **Pietrafesa** *11*
Daniela **Pigini** *43, 46, 87, 95, 177, 179, 197*
Sebastiano **Pilati** *17*
Luca **Piloni** *217*
Silvana **Pinelli** *170*
Fabrizio **Pini** *187*
Noemi **Pintori** *104*
Alessandro **Piol** *102, 104*
Andrea **Pirola** *217*
Marina **Piscopo** *89, 91*
Giulia **Pizzella** *85*
Carla **Poli** *36, 195*
Diana **Poli** *170, 193, 210, 212*
Elisa **Polvara** *13*
Francesca **Posa** *175*
Veronica **Prina** *81*
Irene **Pugliesi** *187*
Paola **Pulella** *56*

Q

Franco **Quaglio** *162*
Simone **Quaranta** *182*

R

Manila **Raffaelli** *228*
Pasquale **Rampa** *225*
Alberto **Ranavolo** *70, 100, 102, 104*
Andrea **Ranzi** *151*
Lucia **Rapisarda** *108*
Riccardo **Ravallese** *62, 79*
Roberto **Ravallese** *62, 79*
Sandro **Recchia** *81, 83*
Giovanna **Renna** *146*
Jelena **Reste** *108*
Karol **Riva** *235*
Francesco Saverio **Robustelli della Cuna** *93, 123, 246*
Federico **Roggio** *108*
Elio **Romano** *108*
Francesca **Rossi** *170*
Angelo **Rostagnotto** *25*
Rocco **Ruggiero** *27*
Giuseppe **Ruospo** *62, 79*
Ernesto **Russo** *67, 204*
Maria Teresa **Russo** *85*
Simone **Russo** *114*

S

Stefania **Sabella** *233*
Paolo **Sacco** *5, 162*
Gabriele **Sacino** *62, 79*
Fabiola **Salamon** *119, 166*
Silvia **Salas** *220*
Roberta **Salvestroni** *146*
Pasquale **Samele** *207*
Lorenzo **Sanesi** *175*
Filippo **Sanjust** *43, 177*
Giulio **Santaniello** *89, 91*
Veronica **Saponara** *170*
Giuseppe **Sarno** *139, 144, 146, 148*
Alessandro **Sassi** *5*
Mauro **Scacciavillani** *225*
Emilia **Scalona** *102, 104*
Romina **Scarsellone** *64*
Valentina **Schino** *41, 130, 175*
Fabio **Sciubba** *244*
Daniela **Scutaru** *210*
Francesca **Sebastiani** *182*
Francesca **Sellaro** *162*
Paola **Senia** *108*
Roberto **Signorini** *155*
Alessio **Silvetti** *100, 106, 110, 214*
Patrizia **Silvi** *148*
Giovanna **Simone** *62, 79*
Selena **Sironi** *13*
Renata **Sisto** *43, 177*
Agnieszka **Smolinska** *244*
Daniela **Sorrentino** *226*
Cristina **Sottani** *123*
Mariangela **Spagnoli** *11, 244*
Andrea **Spinazzè** *13, 81, 83, 126, 139, 141, 158, 241*
Nicola **Stacchini** *60, 146, 195*
Ilaria **Stanisci** *146, 148*
Gianluca **Stocco** *172*
Michele **Stortini** *153*
Angela **Stufano** *41, 108, 130, 175*
Valentina **Stufara** *225*
Manlio **Sutera Sardo** *93*

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3

T

Andrea **Tarallo** *67*
Paola **Tassone** *114*
Marta **Tessarolo** *191*
Loreta **Tobia** *239*
Giulia **Tocchini** *137*
Veronica **Todeschini** *133*, *137*, *139*, *141*, *144*, *148*
Martina **Toè** *243*
Elio **Tolli** *239*
Paola **Tomao** *193*
Francesca **Tombolini** *182*, *233*
Stella **Tramuto** *187*
Giovanna **Tranfo** *32*, *85*, *100*, *121*, *244*
Antonio **Trevisi** *62*
Marco **Trifuoggi** *89*
Maria **Tutino** *139*

U

Lorenzo **Uda** *46*, *51*
Cinzia Lucia **Ursini** *233*

V

Giacomo **Valli** *70*, *102*, *104*
Luca **Valori** *185*, *187*, *231*
Eleonora **Valsecchi** *217*
Rudolf **van der Haar** *5*
Tiwana **Varrecchia** *70*, *100*, *102*, *104*
Francesca **Vella** *108*
Sabrina **Vermigli** *228*
Francesco Saverio **Violante** *189*, *191*, *248*
Daniela **Visaggio** *207*
Ermanno **Vitale** *108*
Sonia **Vitaliti** *27*, *133*, *134*, *137*, *139*, *141*, *144*, *148*
Cecilia **Vivarelli** *60*
Alessandro **Volpe** *93*, *246*

W

Tristan **Washington** *160*
Nancy **Wilk** *8*
André **Winkes** *40*

Z

Pietro **Zaffalon** *112*
Laura **Zaratin** *93*, *162*
Carolina **Zellino** *81*, *83*, *141*, *158*, *241*
Nicola **Zoppetti** *60*
Camillo **Zottola** *217*
Ciro González **Zugarazo** *220*
Francesco **Zuin** *119*

© The Italian Association of Industrial Hygienists - AIDII [2026]

e-ISSN 2464-8817 DOI: 10.36125/ijoehy.v17i3