

I VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE PROFESSIONALE, LA MISURAZIONE, LA VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE: STRATEGIE E METODI

Emma Incocciati

Contarp - Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione –
Direzione Generale – INAIL - Roma

GESTIONE DELLE SOSTANZE CHIMICHE E TUTELA DELLA SALUTE UMANA: LA STRATEGIA EUROPEA

Da circa 20 anni i quadri strategici dell'UE in materia di salute e sicurezza sul lavoro (SSL) svolgono un ruolo fondamentale nel modo in cui le Autorità nazionali e le parti sociali decidono dei propri obiettivi di miglioramento [1]. L'assetto legislativo europeo in materia di SSL, cui è affidata la protezione dei quasi 170 milioni di lavoratori nell'UE, sancisce obblighi applicabili a tutti i settori e professioni e ai datori di lavoro, pubblici e privati. Il suo sviluppo e aggiornamento è affidato all'Advisory Committee of Safety and Health at Work (ACSH), un organismo tripartito composto da rappresentanti dei governi nazionali, dei sindacati e delle organizzazioni dei datori di lavoro.

Il piano d'azione europeo dei diritti sociali, annunciato per il periodo 2021-2027, stabilisce le priorità e le azioni chiave necessarie per gli obiettivi di miglioramento da conseguire nei prossimi anni nel contesto del mondo post-pandemico segnato da transizioni verdi e digitali, da sfide economiche e demografiche e dal mutamento dello stesso concetto di *ambiente di lavoro* rispetto a quanto tradizionalmente inteso.

Già le priorità chiave del quadro strategico europeo delineato per gli anni 2014-2020, come la prevenzione delle malattie lavoro-correlate e l'attuazione della legislazione, erano state riprese in tutti i quadri nazionali. Alcuni dei principali risultati conseguiti a livello comunitario nell'ambito di tale quadro comprendono: (i) tre aggiornamenti della Direttiva sugli agenti cancerogeni e mutageni e una proposta per un quarto aggiornamento; (ii) aggiornamenti per la modernizzazione di quattro direttive, riguardanti, tra gli altri temi, i valori limite di esposizione.

Per ciò che riguarda più specificamente la gestione delle sostanze chimiche e di tutela della salute umana, la strategia europea si fonda su un quadro normativo completo e conservativo, supportato da una base di conoscenze

molto avanzata a livello globale [2]. Tale assetto normativo sta diventando sempre più un modello per gli standard di sicurezza in tutto il mondo comprendendo circa 40 strumenti legislativi tra cui il Regolamento (CE) n.1907/2006 sulla registrazione, valutazione, autorizzazione e restrizione delle sostanze chimiche (Regolamento REACH), il Regolamento (CE) n.1272/2008 sulla classificazione, l'etichettatura e l'imballaggio delle sostanze pericolose (Regolamento CLP) e, tra le tante, la legislazione che si occupa della sicurezza dei giocattoli, dei cosmetici, dei biocidi, dei prodotti fitosanitari, degli alimenti, degli agenti cancerogeni sul posto di lavoro e della protezione dell'ambiente. La definizione di un robusto quadro legislativo all'interno del quale le aziende potessero operare, ha fatto registrare l'innegabile successo della creazione di un mercato interno per le sostanze chimiche e della riduzione dei rischi per l'uomo e per l'ambiente provocati da sostanze pericolose, tra cui le sostanze cancerogene (si stima che 1 milione di nuovi casi di cancro siano stati evitati nell'UE negli ultimi 20 anni¹) e i metalli pesanti (inclusi mercurio, cadmio e arsenico¹).

Tuttavia, allo stato attuale, la stessa Commissione europea evidenzia che per individuare e diffondere l'uso di sostanze chimiche sostenibili che permettano le transizioni verdi e digitali progettate e per proteggere l'ambiente e la salute umana, in particolare quella dei gruppi più vulnerabili, l'attuale politica dell'UE sulle sostanze chimiche deve evolvere e rispondere più rapidamente ed efficacemente alle sfide del futuro. In quest'ottica, tra le azioni prioritarie individuate dalla Commissione vi sono le seguenti:

- 1) riformare i processi di autorizzazione e restrizione delineati dal REACH sulla base dei risultati ottenuti dall'attuazione pratica del Regolamento. A queste due procedure, la cui interazione è sancita dal REACH stesso, si richiede di essere attuate in modo più efficiente e più veloce. In particolare, occorre accelerare la valutazione della necessità di restrizioni sugli articoli importati che contengono sostanze soggette ad autorizzazione, al fine di garantire la parità di condizioni fra gli operatori economici all'interno e all'esterno dell'UE;
- 2) promuovere l'utilizzo e l'armonizzazione, tra i valutatori e i gestori del rischio, dei valori limite *health-based* (PNECs, DNELs, VLEP *health based*, ecc...). Si pone infatti la necessità di rafforzare la protezione dei

¹ COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT FITNESS CHECK of the most relevant chemicals legislation (excluding REACH), as well as related aspects of legislation applied to downstream industries Accompanying the document REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Findings of the Fitness Check of the most relevant chemicals legislation (excluding REACH) and identified challenges, gaps and weaknesses. SWD/2019/199 final/2.

lavoratori definendo ulteriori priorità in tema di esposizione professionale alle sostanze pericolose, anche attraverso l'identificazione delle sostanze per le quali la Commissione proporrà di fissare valori limite occupazionali seguendo il processo di consultazione stabilito nel campo della SSL. Così, ad esempio, in alcuni casi è stata già individuata la necessità di rafforzare la protezione dei lavoratori proponendo di abbassare gli attuali valori limite professionali (quali quelli per il piombo e l'amianto) o stabilendo un valore limite vincolante (come nel caso dei di-isocianati).

Per poter risultare attuabili ed efficaci, queste due direttrici d'azione in ambito comunitario comportano il ricorso alle misurazioni analitiche che, sia pur con le finalità diverse delineate all'interno degli ambiti di cui ai punti 1) e 2), costituiscono in ogni caso procedimenti complessi e articolati il cui ruolo è e appare sempre più rilevante negli intendimenti del Legislatore quali strumenti a supporto di importanti processi decisionali. Ai criteri di scelta dei procedimenti di misurazione da adottare, come pure alla loro validazione va dunque attribuita l'attenzione dovuta e necessaria a garantire l'affidabilità dei dati in output sulla base dei quali si formulano giudizi e si implementano le opportune misure di tipo preventivo e protettivo con gli oneri economici ad esse annessi.

In ambito nazionale, per ciò che riguarda l'applicazione dei regolamenti REACH e CLP, le indicazioni del Forum dell'ECHA confluiscono nei piani nazionali delle attività di controllo sui prodotti chimici (PNC), alla cui elaborazione partecipano Ministero della Salute e Gruppo Tecnico Interregionale REACH del Coordinamento Interregionale della Prevenzione, quale espressione tecnica della Commissione Salute della Conferenza delle Regioni e delle Province autonome. Le attività di campionamento ed analisi di sostanze, miscele e articoli sono condotte dalla rete di laboratori ufficiali di cui all'Accordo Stato-Regioni del 7 maggio 2015 (Rep. atti n. 88/CSR). Tra gli obiettivi dei controlli delineati dal Piano Nazionale delle Attività di Controllo sui Prodotti Chimici per il 2021 [3] vi sono le verifiche della conformità rispetto a:

- obblighi di notifica e comunicazione per sostanze SVHC contenute in articoli;
- obblighi di autorizzazione e di restrizione;
- correttezza della composizione delle miscele ai fini della conformità agli obblighi di classificazione, etichettatura e SDS delle miscele.

Per quel che riguarda, invece, la misurazione negli ambienti di lavoro dei livelli di aerodispersione di sostanze pericolose per le quali sia stato fissato un Valore Limite di Esposizione Professionale (VLEP), si tratta di un onere in

capo al Datore di Lavoro (DdL) ai sensi della normativa sociale. Nell'ambito del Capo I, Titolo IX del D.Lgs.81/08 e s.m.i. relativo alla Protezione da agenti chimici, le misurazioni degli agenti chimici vengono infatti introdotte quale compito per il DdL che abbia classificato il rischio come non irrilevante per la salute a meno che non si possa dimostrare, con altri mezzi, il conseguimento di adeguati livelli di protezione per la salute del lavoratore (art.225, comma 2). In tali casi, pur non esistendo un tassativo obbligo a ricorrervi nemmeno nelle situazioni al di sopra del rischio irrilevante per la salute, il DdL potrà effettuare la misurazione:

- per dimostrare il rispetto del VLEP;
- ogni volta che vengano modificate le condizioni (quantità, modalità d'uso, modifiche di tecnologie ed impianti ecc.) che possono far variare l'esposizione all'agente chimico;
- periodicamente per controllare l'esposizione dei lavoratori;
- per verificare l'efficacia delle misure di prevenzione e protezione specifiche messe in atto.

Nell'ambito del Capo II del D.Lgs.81/08 e s.m.i. relativo alla Protezione da agenti cancerogeni e mutageni, il DdL è chiamato obbligatoriamente a effettuare le misurazioni per verificare l'efficacia delle misure messe in atto ai fini del contenimento del rischio e per individuare precocemente le esposizioni anomale causate da un evento non prevedibile o da un incidente (art.237, comma c).

Se può risultare sufficientemente semplice, sulla base delle indicazioni normative, definire le circostanze in cui si renda necessario il ricorso alla misurazione di una o più sostanze pericolose negli ambienti di lavoro (e a ciò concorre anche l'Allegato A della Norma UNI EN 689 della quale si dirà nel seguito), non altrettanto diffusa è la sensibilità rispetto alla selezione e all'applicazione delle procedure di campionamento e analisi idonee al confronto coi VLEP individuati dal Legislatore, né la percezione dell'importanza della "qualità delle misure". La conoscenza delle norme tecniche dedicate alla misurazione degli agenti chimici negli ambienti di lavoro è richiesta non solo agli esecutori dei monitoraggi ambientali ma anche al committente degli stessi, che dovrebbe avere cognizione della tipologia e del livello di dettaglio delle informazioni che il laboratorio (esecutore della sola analisi o dell'insieme del campionamento e dell'analisi degli inquinanti chimici) è chiamato a fornire al proprio cliente a corredo dei risultati della misurazione.

Dei procedimenti di misurazione, delle relative caratteristiche e dei criteri da adottare per individuare quelli più idonei ai fini della valutazione del rischio da sostanze pericolose ai sensi del D.Lgs.81/08 si tratterà nel proseguo.

I VLEP RECEPITI DAL D.LGS.81/08 E S.M.I.

Nel D.Lgs.81/08 sono riportate le definizioni di Valore Limite di Esposizione Professionale (VLEP) nei seguenti termini:

- 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. L'elenco di tali valori è riportato nell'Allegato XXXVIII;
- limite della concentrazione media, ponderata in funzione del tempo, di un agente cancerogeno e/o mutageno nell'aria, rilevabile entro la zona di respirazione di un lavoratore, in relazione ad un determinato periodo di riferimento. L'elenco dei VLEP delle sostanze pericolose è riportato nell'Allegato XLIII mentre l'Allegato XLII contiene una serie di attività lavorative che comportano la presenza di sostanze o miscele cancerogene o mutagene o di processi industriali, con l'indicazione dei motivi per i quali sono impiegati agenti cancerogeni.

Il VLEP per le fibre di amianto aerodisperse è riportato nell'art.254.

Gli Occupational Exposure Limit Value (OELV) recepiti nella legislazione italiana sono quelli inizialmente proposti dallo Scientific Committee on Occupational Exposure Limits (SCOEL) e che, dopo un'apposita procedura, che prevede il coinvolgimento della Direzione Generale Lavoro, Affari Sociali e Inclusione della Commissione Europea, degli Stati Membri e dell'ACSH, vengono approvati dalla Commissione Europea e pubblicati in forma di Direttive europee.

Risulta ben noto il meccanismo secondo il quale la Commissione europea sottopone agli Stati membri, valori limite di esposizione a carattere solo indicativo (IOELV) per gli agenti chimici pericolosi e valori limite di esposizione a carattere vincolante (BOELV) per gli agenti chimici cancerogeni e/o mutageni. Ciò sottolinea la diversa pericolosità intrinseca degli agenti di cui trattasi (ossia la possibilità di definire o meno livelli di esposizione ai quali non corrispondono effetti negativi sulla salute) a ragione della quale si giustifica che nell'iter di recepimento, qualsiasi Stato membro possa, oltre ad acquisire tal quale, non solo abbassare, ma anche (a seguito di pronunciamento motivato) innalzare uno IOELV, mentre un BOELV può essere soltanto recepito come tale o abbassato.

Agenti chimici pericolosi

I VLEP per gli agenti chimici derivano dal recepimento degli OELV riportati in una serie di Direttive europee: 98/24/CE, 2000/39/CE, 2006/15/CE e 2009/161/UE.

Il Decreto del Ministro del Lavoro e delle Politiche Sociali e del Ministro della Salute del 18 maggio 2021, pubblicato il 16 giugno 2021, ha recepito la Direttiva 2019/1831/UE della Commissione, che definisce un quinto elenco di valori limite indicativi di esposizione professionale in attuazione della Direttiva 98/24/CE del Consiglio e che modifica la Direttiva 2000/39/CE della Commissione.

L'ultima Direttiva recepita ha introdotto limiti per i seguenti nuovi agenti:

- 4-Amminotoluene.
- Acetato di isobutile.
- Acetato di sec-butile.
- Acetato di n-butile.
- Alcool isoamilico.
- Anilina.
- Clorometano.
- Trimetilammina

e modificato il valore limite sulle 8 ore relativo al 2-Fenilpropano (cumene) il cui nome è stato aggiornato secondo la dizione IUPAC.

Il nuovo Allegato XXXVIII al D.Lgs.81/08 contiene ora i valori limite di esposizione professionale per un totale di 153 agenti chimici.

Agenti cancerogeni e mutageni

I VLEP per gli agenti cancerogeni contenuti nell'Allegato XLIII derivano dal recepimento della Direttiva 2004/37/CE mentre il VLEP per le fibre di amianto deriva dal recepimento della Direttiva 2009/148/CE.

Il Decreto Interministeriale dell'11 febbraio 2021 ha recepito due nuove direttive UE (che a loro volta modificano la Direttiva 2004/37/CE) su questa tematica, ovvero la Direttiva 2019/130 e la Direttiva 2019/983, che si aggiungono alla Direttiva 2017/2398 già precedentemente recepita. L'effetto delle ultime due direttive ha comportato l'aggiunta, in Allegato XLII, dei seguenti nuovi processi:

- lavori comportanti penetrazione cutanea degli oli minerali precedentemente usati nei motori a combustione interna per lubrificare e raffreddare le parti mobili all'interno del motore;
- lavori comportanti l'esposizione alle emissioni di gas di scarico dei motori diesel,

nonché l'aggiunta, in Allegato XLIII, dei seguenti 13 nuovi agenti:

- Tricloroetilene.

- 4,4' – Metilendianilina.
- Epicloridrina.
- Etilene dibromuro.
- Etilene dicloruro.
- Cadmio e suoi composti inorganici.
- Berillio e composti inorganici del berillio.
- Acido arsenico e i suoi sali e composti inorganici dell'arsenico.
- Formaldeide.
- 4,4'Metilene-bis (2 cloroanilina).
- Emissioni di gas di scarico dei motori diesel.
- Miscele di idrocarburi policiclici aromatici, in particolare quelle contenenti benzo[a]pirene, definite cancerogene ai sensi della Direttiva 2004/37.
- Oli minerali precedentemente usati nei motori a combustione interna per lubrificare e raffreddare le parti mobili all'interno del motore.

In alcuni casi, essendo stati riportati dei valori limite particolarmente restrittivi, sono state indicate anche delle misure transitorie, per permettere alle aziende di avere il tempo necessario per mettersi in regola.

Va ricordata infine l'eventualità che si debba far ricorso alla misurazione di una sostanza pericolosa per la quale non esiste un VLEP secondo il D.Lgs.81/08. In questo caso sono da considerare valide le indicazioni fornite dalla Commissione Consultiva Permanente per la Salute e Sicurezza sul Lavoro che, in via subordinata ai VLEP recepiti dalla nostra Legislazione, approva il confronto dei risultati della misurazioni con valori limite riportati nelle Direttive CE non ancora recepite e con i valori limite di soglia (Threshold Limit Values – TLVs) pubblicati dalla ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist), qualora il rispetto di questi sia previsto dai rispettivi contratti nazionali collettivi di lavoro [4].

LO SVILUPPO DEI METODI DI CAMPIONAMENTO ED ANALISI DI AGENTI CHIMICI IN AMBIENTE DI LAVORO E LA DEFINIZIONE DI UNA STRATEGIA DI MISURAZIONE

Lo sviluppo di metodi di campionamento e analisi degli agenti chimici aerodispersi nei luoghi di lavoro ha avuto un boom dopo la seconda guerra mondiale. I progressi nell'elettronica e nella miniaturizzazione hanno permesso la progettazione di dispositivi di campionamento portatili, tra cui le pompe di campionamento a flusso controllato, affidabili e robusti, che sono risultati essenziali per misurare le esposizioni in ambiente di lavoro. Allo stesso tempo, le tecniche di analisi sono migliorate in termini di limiti di quantificazione, precisione e selettività. I metodi di misurazione di particelle, gas e vapori hanno subito notevole sviluppo nel momento in cui si è tenuto in

debito conto l'effetto dei parametri che possono influenzare i risultati della misurazione, come le condizioni dell'aria, l'umidità e la presenza simultanea di più agenti chimici aerodispersi.

I processi di standardizzazione e di validazione di metodi di campionamento e di analisi, avviati da gruppi di lavoro a livello nazionale, a livello europeo nel CEN e a livello internazionale nell'ambito dell'ISO, ha favorito l'applicazione di una vasta gamma di tecniche e metodologie per valutare l'esposizione connessa all'uso di sostanze chimiche durante le attività lavorative. La redazione di norme tecniche, rispondenti ai principi di consensualità, democraticità, trasparenza e volontarietà, ha da sempre costituito nel campo dell'igiene occupazionale un importante riferimento introducendo metodiche standardizzate utili a delineare strategie, criteri e dispositivi per la misurazione delle esposizioni avente l'obiettivo primario della protezione dei lavoratori da danni irreversibili alla loro salute. Ciò ha condotto alla definizione dei VLEP, di tipo normativo o meno. Mentre per alcuni agenti di rischio come, ad esempio, le radiazioni ionizzanti, è risultato possibile misurare l'esposizione di ogni lavoratore per ogni giorno lavorato, nel caso degli agenti chimici questo approccio si è rivelato ben presto impraticabile principalmente per ragioni tecniche ed economiche. Se l'obiettivo della misurazione è garantire che l'esposizione dei lavoratori non superi il VLEP, è necessario stabilire una strategia di campionamento che definisca il numero e la durata delle misurazioni, il numero di lavoratori da monitorare, ecc. Il primo documento a descrivere questo approccio di campionamento fu pubblicato dal NIOSH alla fine degli anni '70 [5]. Esso sottolineava la necessità di effettuare misurazioni rappresentative dell'esposizione dei lavoratori, prelevando una serie di campioni durante l'intera durata del turno di lavoro da diversi operatori scelti a caso all'interno di un gruppo di esposizione simile (SEG). Evidenziava anche la necessità di progettare adeguatamente ogni indagine ambientale e di raccogliere, durante il relativo svolgimento, tutte le informazioni necessarie a interpretare i risultati delle misurazioni. A causa della variabilità dell'esposizione professionale, si arrivò alla conclusione che il rispetto dei VLEP dovesse essere stimato assumendo una distribuzione log-normale delle misure di esposizione.

Da allora, molti studi hanno indagato le fonti di variabilità dell'esposizione e i metodi per ottenere misurazioni affidabili e rappresentative dell'esposizione dei lavoratori appartenenti ad un SEG [6, 7]. Tale lavoro è stato la base per lo sviluppo di importanti ausili per l'attività degli igienisti industriali quali lo standard EN 689 del 1995, relativo alla definizione di una strategia di campionamento e la guida BOHS 2011 per la stesura dei rapporti sugli esiti delle indagini ambientali [8]. Partendo dall'assunto che una comunicazione efficace è essenziale nelle fasi di identificazione dei pericoli e di valutazione e controllo dei rischi per la salute sul posto di lavoro, la guida BOHS 2011 riguarda i criteri di stesura di rapporti scritti quale strumento chiave di

comunicazione delle informazioni di igiene occupazionale. La guida si propone come strumento d'ausilio per gli igienisti del lavoro a produrre report chiari ed efficaci ai fini del raggiungimento degli obiettivi di un'indagine ambientale. Il documento, applicabile a tutti i rapporti di igiene professionale, compresi quelli riguardanti la valutazione del rischio e il monitoraggio degli agenti chimici, si presentava quindi quale ausilio alla definizione di criteri di valutazione condivisi in base ai quali i rapporti di igiene del lavoro potessero essere agevolmente letti ed esaminati da manager e da autorità di regolamentazione, chiamate ad assumere le decisioni del caso ai fini del contenimento dei rischi.

LE NORME TECNICHE E I CRITERI DI SCELTA DEI PROCEDIMENTI DI MISURAZIONE

La Norma UNI EN 689 è richiamata, in un elenco dichiaratamente indicativo, nell'Allegato XLI del D.Lgs.81/08 tra le metodiche standardizzate della serie *Atmosfera in ambiente di lavoro*. Ad esse il Legislatore fa riferimento per l'effettuazione delle misurazioni citate agli art. 225, comma 2 e 237, comma c del D.Lgs.81/08 e s.m.i.. Lo standard tecnico fornisce indicazioni sulle strategie di misurazione degli agenti chimici aerodispersi con la finalità di dimostrare, in termini statistici ma con un alto livello di confidenza, il rispetto di un valore limite di esposizione professionale. Nel maggio del 2018 la norma è stata emessa dal CEN nella forma revisionata rispetto alla precedente versione del 1997, e successivamente è stata recepita in Italia dall'UNI.

I procedimenti di misurazione citati dal D.Lgs.81/08 cui il DdL è chiamato a fare ricorso devono avere alcuni specifici requisiti prestazionali, che sono quelli descritti da una seconda norma tecnica, la UNI EN 482², pure richiamata dall'Allegato XLI del D.Lgs.81/08 e oggetto, al pari della EN 689, di una recente revisione conclusasi a novembre del 2020.

Informazioni dettagliate sui contenuti dei due standard sono reperibili in una serie di relazioni presentate in occasione di edizioni precedenti di questo Convegno [9, 10, 11]. In questa sede si prendono in esame solo alcuni aspetti di rilievo delle due norme utili alla individuazione dei criteri di scelta dei procedimenti di misurazione.

Nella fase della caratterizzazione di base descritta al punto 5.1 della norma UNI EN 689, rientra l'identificazione e lo studio delle proprietà chimico, fisiche e tossicologiche delle sostanze presenti (materie prime, prodotti, intermedi, impurezze, sottoprodotti) e l'esame dei fattori connessi al luogo di lavoro, quali le attività svolte, l'organizzazione del lavoro e le misure di

² UNI EN 482: Esposizione nei luoghi di lavoro - Procedure per la determinazione della concentrazione degli agenti chimici - Requisiti prestazionali di base.

gestione dei rischi già adottate. La progettazione di un monitoraggio ambientale e la scelta dei procedimenti di misurazione da adottare origina dall'analisi attenta del ciclo produttivo aziendale. Il livello di concentrazione atteso dell'inquinante aerodisperso dipende in modo diretto dal processo produttivo in esame o da una sua specifica fase. Informazioni utili a orientare il monitoraggio possono essere desunte dalla letteratura scientifica di merito, dai risultati di precedenti campagne di misurazione, condotte internamente o esternamente all'azienda, dai risultati di calcoli basati su informazioni quantitative rilevanti, dai modelli di esposizione e dall'analisi delle esposizioni più critiche. Per fare un esempio relativo al comparto galvanico, il ciclo di lavoro, che è funzione del tipo di materiale da trattare e delle caratteristiche che deve avere il pezzo dopo il trattamento, presenta alcune differenze che si esplicano soprattutto nelle caratteristiche dei bagni di cromatura e degli impianti. Così, l'esposizione professionale da cromo esavalente nell'industria galvanica dipende, in modo marcato, dalla tipologia di tecnica impiegata per l'elettrodeposizione, che trova impiego sia per conferire ai pezzi caratteristiche estetiche particolari (cromatura decorativa), che per migliorarne le qualità fisiche e meccaniche (cromatura dura). In genere vengono impiegati due tipi di bagni nei quali il cromo si trova in soluzione come triossido di cromo in forma di cromo esavalente:

- bagno concentrato in cui il cromo è presente in concentrazione di circa 400 gr/l;
- bagno diluito in cui il cromo è presente in concentrazione di circa 250 gr/l.

In funzione del diverso bagno impiegato, ai fini dell'esposizione professionale, è possibile l'inalazione di aerosol contenenti diversi quantitativi di ione cromo esavalente con escursioni dei valori medi in genere piuttosto ampie e più elevate nelle immediate vicinanze delle vasche durante l'estrazione dei pezzi ed il controllo dello spessore dopo l'elettrodeposizione [12]. Ne consegue che il procedimento di misurazione da adottare dovrà essere in grado di determinare quantitativamente livelli di concentrazione più bassi nel caso dei bagni diluiti e più alti nei bagni concentrati.

Accanto alla conoscenza del ciclo produttivo e delle fasi di lavoro aziendali, l'assunto necessario a orientare la progettazione di un monitoraggio ambientale è il valore limite rispetto al quale andranno confrontate le misure di un certo agente chimico. Infatti è il VLEP a definire le modalità di campionamento ed analisi dell'agente inquinante e l'espressione del risultato finale ossia della misura.

Gli esempi che seguono rendono conto di tale affermazione.

Silice libera cristallina

Il VLEP recentemente fissato per la polvere di silice cristallina, pari a 0,1 mg/m³, misurato o calcolato in relazione a un periodo di riferimento di 8 ore, è riferito alla frazione respirabile dell'inquinante poiché tutte le evidenze scientifiche convergono nell'ascrivere la pericolosità della silice a tale frazione granulometrica. Pertanto, la procedura di misurazione da selezionare deve essere in grado di captare e quantificare un inquinante potenzialmente presente in un ambiente di lavoro in forma di particolato aerodisperso. A tale scopo, ai fini del campionamento di tipo personale, possono essere impiegati selettori granulometrici per polveri respirabili (impattori, cicloni o selettori con schiuma poliuretana) rispondenti alla *convezione respirabile* come definita dalla norma UNI EN 481³. Il particolato, depositato su membrana filtrante, dovrà essere analizzato rispetto al contenuto di silice cristallina (nelle forme α -quarzo e cristobalite) con tecniche di analisi diffrattometriche piuttosto che spettrometriche applicando un metodo tra quelli disponibili per dosare la silice con un limite di quantificazione (LoQ) compatibile con l'applicazione della UNI EN 689. La norma tecnica impone infatti, ai fini dell'applicazione del test statistico descritto alla sezione 5.5.2, che il procedimento di misurazione adottato sia in grado di quantificare, con sufficiente affidabilità, un livello di inquinante pari a 1/10 del LoQ.

Polveri di legno duro

Il D.Lgs.81/08 detta, per le polveri di legno duro un VLEP pari a 2 mg/m³. Tale valore limite, misurato o calcolato in relazione a un periodo di riferimento di 8 ore, è riferito alla frazione inalabile dell'inquinante con l'avvertenza che se quelle di legno duro sono mescolate con altre polveri di legno, il valore limite si applica a tutte le polveri presenti in miscela. Pertanto, la procedura di misurazione da impiegare deve essere in grado di captare e quantificare un inquinante potenzialmente presente in un ambiente di lavoro in forma di particolato aerodisperso. A tale scopo, ai fini del campionamento di tipo personale, possono essere impiegati selettori granulometrici per polveri inalabili (cono, IOM, button) rispondenti alla convezione inalabile come definita dalla norma UNI EN 481.

La determinazione analitica può essere di tipo gravimetrico per pesata differenziale, tramite l'impiego di bilancia di precisione, della membrana di captazione dell'inquinante.

³ Atmosfera nell'ambiente di lavoro – Definizione delle frazioni granulometriche per la misurazione delle particelle aerodisperse.

Cromo e relativi composti

Il D.Lgs.81/08 detta due differenti VLEP per:

- cromo metallico, composti di cromo inorganico (II) e composti di cromo inorganico (III) (non solubili): 0,5 mg/m³;
- composti di cromo VI, definiti cancerogeni ai sensi dell'art. 2, lettera a), punto i) della Direttiva 2004/37, (come cromo): 0,005 mg/m³.

Ne consegue che il procedimento di misurazione da adottare per la determinazione dei composti di tipo b) debba essere estremamente più "potente" di quello adottabile per determinazioni di composti di tipo a) o anche che ad esso deve risultare associato un LoQ estremamente più basso di quello richiesto per quantificare composti di tipo a).

Inoltre, il procedimento di misurazione del cromo esavalente deve prevedere la possibilità di speciare i composti solubili e quelli insolubili. Così, ad esempio il metodo NIOSH 7600⁴, basato sulla captazione dei composti del cromo su membrana filtrante, desorbimento con solvente e successiva determinazione del complesso cromo-difenilcarbazono per via spettrofotometrica UV-visibile, distingue due differenti alternative di preparazione del campione da sottoporre ad analisi in funzione dell'oggetto della misurazione (cromati solubili ed acido cromico piuttosto che cromati insolubili e cromo esavalente in presenza di ferro o altri agenti riducenti).

Manganese e relativi composti

Il D.Lgs.81/08 prescrive due differenti VLEP per manganese e composti inorganici del manganese (espresso come manganese): uno per la frazione inalabile pari a 0,21 mg/m³ e un secondo per quella respirabile pari a 0,05 mg/m³.

Le determinazioni analitiche si effettuano tipicamente con tecnica ICP-MS (spettrometria al plasma accoppiata induttivamente) dopo aver sottoposto ad attacco acido la membrana impiegata per la captazione dell'inquinante. Ciò che differenzia i due procedimenti di misurazione, quello per le particelle inalabili e quello per le particelle respirabili, è il selettore granulometrico da impiegare in fase di campionamento ossia l'adozione di una diversa convenzione tra quelle individuate dalla norma UNI EN 481.

M-xilene

Il D.Lgs.81/08 prescrive due differenti VLEP per il m-xilene: un livello di esposizione a lungo termine pari a 221 mg/m³ (misurato o calcolato in

⁴ NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fifth Edition. CHROMIUM, HEXAVALENT. 7600. Issue 3: 20 October 2015.

relazione ad un periodo di riferimento di 8 h, in termini di media ponderata) ed uno a breve termine (valore al di sopra del quale non si dovrebbe verificare l'esposizione, riferito normalmente ad un periodo di 15 minuti) corrispondente a 442 mg/m³.

Alcuni procedimenti di misurazione dell'esposizione personale a m-xilene comportano il campionamento attivo dell'inquinante per adsorbimento su fiale in carbone, la successiva estrazione per via chimica e l'analisi in gascromatografia con detector a ionizzazione di fiamma.

Ai fini del confronto con i due valori limite, i procedimenti si differenziano per la durata del campionamento, che può variare da alcune ore a pochi minuti (fino a 4 ore a 50 mL/min come prescritto dal metodo OSHA 1002⁵ per campioni a lungo termine a più di 5 minuti per raccogliere campioni di breve termine).

Il valore limite scelto definisce le modalità di espressione del risultato che deve essere non ambiguo.

A tal proposito si rammenta che gli OELV relativi ad un inquinante aerodisperso in forma di gas o vapore sono, di norma, fissati in termini di parti per milione in volume (ppm) di sostanza in aria e che la formula di conversione da ppm a mg/m³ prevede l'utilizzo del PM (Peso Molecolare) dell'analita:

$$TLV [mg/m^3] = [(TLV \text{ in ppm})(PM \text{ grammi})]/24,45.$$

Infine vi può essere il caso in cui un OELV sia espresso come elemento. Per il dosaggio del piombo cromato, ad esempio, la procedura di misurazione può essere scelta in modo tale che il relativo risultato possa essere confrontato con il TLV[®]-TWA come Pb (PA 207) = 0,05 mg/m³ piuttosto che con il TLV[®]-TWA come Cr (PA 52) = 0,012 mg/m³ (TLV[®]-TWA ACGIH del 2013) posta la sostanziale equivalenza dei due valori limite fissati dall'ACGIH essendo:

$$(0,05/207 \cdot 1000) \approx (0,012/52 \cdot 1000) \approx 0,23 \text{ micromoli/m}^3$$

Il procedimento di misurazione da adottare per la determinazione quantitativa di un inquinante chimico deve rispondere a criteri di affidabilità. Quest'ultima prende in considerazione i parametri caratteristici o di validazione del procedimento e si traduce in un alto livello di correttezza ed affidabilità del dato analitico prodotto dal laboratorio di prova.

Quest'ultimo può essere chiamato ad effettuare la sola analisi o anche il campionamento dell'inquinante, stadi, questi, normalmente distinti nel procedimento di misurazione ma strettamente interconnessi.

⁵ OSHA Sampling & Analytical Methods. Method No. 1002: XYLENES (o-, m-, p-isomers). ETHYLBENZENE.

Tra i requisiti di processo che un laboratorio deve garantire, secondo quanto prescritto dallo standard EN 17025⁶, una particolare rilevanza assumono la selezione, la verifica e la validazione dei metodi da adottare (UNI EN 17025, sezione 7.2). Il laboratorio è infatti chiamato all'obbligo di utilizzare procedure di misurazione appropriate e conformi alle esigenze del cliente, e raccomanda di scegliere prioritariamente quelli pubblicati in norme internazionali, nazionali e regionali, nonostante possano essere impiegati anche metodi sviluppati o modificati dal laboratorio. L'appropriatezza è il requisito richiamato anche per la selezione dei metodi per la valutazione dell'incertezza di misura. Lo stesso laboratorio deve poi verificare di essere in grado di eseguire correttamente i metodi prima di metterli in opera, assicurando di poter conseguire le prestazioni richieste ed è altresì tenuto a verificare i parametri di validazione dei metodi normalizzati (emessi da un Ente di normazione) e a validare i metodi non normalizzati, determinando in entrambi i casi il valore dei parametri di validazione che ne descrivono le caratteristiche prestazionali.

Una guida Eurachem dedicata alla convalida dei metodi di analisi per la relativa verifica dell'idoneità allo scopo [13] definisce in modo esaustivo tali caratteristiche prestazionali (Tabella 1).

Tabella 1: Parametri di validazione (o caratteristiche prestazionali) di un metodo di analisi [13]

Selettività	Capacità del metodo di determinare particolari analiti, in miscele o matrici, senza interferenze con altre componenti dal comportamento simile.
Intervallo di lavoro/ intervallo di linearità	Intervallo all'interno del quale il metodo fornisce risultati con un'incertezza accettabile. Il limite inferiore dell'intervallo di lavoro è dato dal limite di quantificazione LoQ.
Limite di rilevabilità (LoD)	Minima concentrazione di analita che può essere rilevata dal metodo con uno specifico livello di confidenza.

⁶ UNI CEI EN ISO/IEC 17025. Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura.

Segue Tabella 1

Limite di quantificazione (LoQ)	Minimo livello di un analita che può essere determinato dal metodo con un livello di prestazione accettabile.
Sensibilità	Variazione della risposta di uno strumento che corrisponde a una variazione della quantità misurata (ad esempio una concentrazione).
Robustezza	Capacità di una procedura analitica di non essere influenzata da piccole, ma deliberate, variazioni nei parametri del metodo.
Recupero	Quantità di analita presente o aggiunto all'aliquota da saggio che viene estratto e determinato.
Incertezza	Intervallo associato al risultato di una misurazione, che esprime il range di valori che possono essere ragionevolmente attribuiti alla quantità misurata.
Precisione	Grado di vicinanza tra i risultati delle misurazioni.
Ripetibilità	Grado di variabilità dei risultati tra misurazioni effettuate da un solo analista usando la stessa attrezzatura su una piccola scala temporale.
Riproducibilità	Grado di variabilità dei risultati tra differenti laboratori.
Esattezza	Grado di vicinanza della media di un numero infinito di risultati a un valore di riferimento.
Accuratezza	Grado di vicinanza di un singolo risultato a un valore di riferimento.

Alcuni dei parametri riportati in Tabella 1, ed in particolare l'intervallo di lavoro, il LoQ e l'incerteza, rivestono un ruolo determinante per la scelta del metodo analitico più appropriato ai fini della quantificazione dell'analita di interesse. Nel seguito si analizzano in maggior dettaglio.

- Intervallo di lavoro: il laboratorio che intenda applicare un metodo di analisi dovrà verificare se il livello di concentrazione, rispondente alle esigenze del committente sia compreso nell'intervallo di lavoro del metodo.
- LoQ: per i metodi quantitativi, l'estremo inferiore dell'intervallo di lavoro è il limite di quantificazione (LoQ), da non confondere con il limite di rivelabilità (LoD). Quest'ultimo è definibile in termini di valori del bianco aumentato di 3 volte il suo scarto tipo. In analogia con il LoD, il primo criterio di calcolo del LoQ è quello che lo definisce come il valore del bianco più 10 volte lo scarto tipo del bianco. La differenza sostanziale tra i due parametri risiede nel fatto che il LoQ è il valore oltre il quale è possibile definire una incertezza di misura.

Alle definizioni tradizionali di LoD e LoQ, si sono affiancati, in anni più recenti, i concetti di valore critico e di valore minimo rivelabile, introdotti dalla norma UNI ISO 11843-2 [14]. Sulla base delle seguenti ipotesi: a) la funzione di taratura è lineare, b) le misure del segnale analitico sono indipendenti e seguono una distribuzione normale descritta dall'incertezza (scarto) tipo dei residui e c) l'incertezza tipo dei residui è costante, la norma ISO permette di determinare la capacità di rivelazione di un certo metodo di misurazione determinandone alcuni parametri statistici.

L'importanza del LoQ è sottolineata in più punti della norma UNI EN 689. Se una o più misure dell'esposizione risultano inferiori a tale limite e il test statistico selezionato in applicazione ad un set di almeno 3 misure per SEG richiede l'uso di scarti tipo geometrici (GSD) e scarti tipo (SD) e/o medie geometriche (GM) o aritmetiche (AM), i valori minori del LoQ devono essere opportunamente trattati per non inficiare l'affidabilità del risultato finale conducendo ad un'errata decisione di conformità al VLEP. La stessa UNI EN 689 fornisce, all'Allegato H, una procedura statistica di tipo grafico per gestire le esposizioni inferiori al LoQ, che rappresentano livelli di esposizione esistenti ma non misurabili.

- Incertezza estesa di misura: l'entità di tale parametro va valutata, tenendo in debita considerazione tutti i contributi significativi, compresi quelli derivanti dal campionamento.

Essa può essere stimata secondo le indicazioni riportate nell'appendice B della norma UNI EN 482 che fa suo l'approccio metrologico della norma ISO/IEC Guide 98-3 [15]. Tale approccio definito di tipo *bottom-up* è estremamente rigoroso in quanto tiene in considerazione tutte le varie componenti individuali, casuali e non casuali, dell'incertezza associata tanto al campionamento quanto all'analisi. Nei casi in cui non sia possibile una

valutazione rigorosa dell'incertezza di misura, deve esserne comunque fornita una stima basata sulla conoscenza dei principi teorici o sull'esperienza pratica circa le prestazioni del metodo (sezione 7.6.3. della UNI CEI EN ISO/IEC 17025:2018).

In merito all'incertezza estesa di misura vanno sottolineati due importanti aspetti.

Il primo è che l'applicazione del percorso metodologico per valutarne l'entità rappresenta certamente un onere per un laboratorio di prova. Tuttavia, va detto che il relativo carico può essere sostenuto da personale di riconosciute capacità professionali di cui il laboratorio dovrebbe essere dotato (sezione 6.2 della UNI CEI EN ISO/IEC 17025:2018). A ciò si aggiunga che da alcuni anni le norme tecniche e le linee guida dedicate alle procedure di misurazione di agenti chimici negli ambienti di lavoro contengono sezioni dedicate alla individuazione e alla stima di tutte le componenti dell'incertezza estesa in ciò semplificando notevolmente il compito di chi è chiamato a stimarla. Le norme UNI EN ISO 22065⁷ e UNI ISO 24095⁸ ne sono solo due esempi.

Il secondo aspetto che è rilevante sottolineare è il contributo all'entità dell'incertezza estesa che deriva dalla fase di campionamento del procedimento di misurazione.

I principali approcci applicabili alla stima dell'incertezza del campionamento sono oggetto di una guida prodotta da Eurachem e revisionata in anni recenti [16]. I principi della guida sono applicabili in riferimento ad un'ampia gamma di materiali soggetti a misurazione analitica comprendente anche campioni aeriformi. Si distinguono:

- un approccio empirico che utilizza campionamenti e analisi ripetute, in varie condizioni, per quantificare gli effetti causati da fattori quali l'eterogeneità dell'analita nel campione e variazioni nell'applicazione di uno o più protocolli di campionamento;
- un approccio di modellazione che utilizza un modello predefinito in grado di identificare ciascuna delle componenti dell'incertezza, effettuando stime di ogni componente, e sommandole successivamente per ottenere una stima complessiva.

Secondo Eurachem le stime dell'incertezza estesa di misura vanno da pochi punti percentuali fino a più dell'80% rispetto al misurando. Il contributo del campionamento è occasionalmente piccolo ma è spesso dominante (può superare il 90% dell'incertezza di misura espressa come varianza). Ciò suggerisce che una proporzione maggiore del tempo e delle risorse destinate

⁷ UNI EN ISO 22065: Atmosfere nei luoghi di lavoro - Gas e vapori - Requisiti per la valutazione delle procedure di misurazione con campionatori a pompa.

⁸ UNI ISO 24095: Aria in ambienti di lavoro - Guida per la misurazione della silice libera cristallina.

alla messa a punto di un procedimento di misurazione dovrebbe essere rivolta al campionamento, piuttosto che alla fase analitica ai fini della riduzione del valore dell'incertezza complessiva associata ad una misura.

IL RUOLO DELL'APPRAISER

Da quanto sin qui detto è evidente il ruolo, fondamentale e delicato, assunto dal valutatore (*appraiser* nel testo inglese originario) chiamato dalla UNI EN 689 a "eseguire la parte della valutazione che si sta conducendo". Posto che ai sensi del D.Lgs.81/08, art.17, il responsabile ultimo della valutazione dei rischi è il DdL, il valutatore citato nella UNI EN 689 è il soggetto, qualificato per le attività descritte dalla norma tecnica (campionamento, analisi di laboratorio, valutazione statistica dei risultati) e per esse responsabile. Prescindendo dalla questione delle specifiche competenze richieste a tale soggetto, è evidente che la sua attività debba essere concertata sia con le figure della prevenzione (medico competente, responsabile e addetti al Servizio di Prevenzione e Protezione) che concorrono alla valutazione dei rischi ai sensi del D.Lgs.81/08 sia con i soggetti esterni all'azienda chiamati, se del caso, ad effettuare i campionamenti nell'ambito dei procedimenti di misurazione selezionati.

Tra i compiti assegnati al valutatore vi è la redazione del resoconto di cui al punto 6 della UNI EN 689. Nel resoconto è previsto che sia riportato il risultato del confronto con i VLEP per ogni agente chimico per cui sono state effettuate misurazioni e ciò presuppone, chiaramente, l'acquisizione dei dati di campionamento (comprensivi di eventuali annotazioni di quanto osservato nel luogo di lavoro nella fase in cui venivano effettuati) utili sia all'espressione del risultato finale della misurazione (livello di concentrazione dell'inquinante in mg/m³ o ppm) sia alla determinazione dell'incertezza di misura ad essa associata.

Altra fase della strategia delineata dalla 689 in cui il valutatore è chiamato ad assumere un ruolo fondamentale è, nel caso in cui sia stata appurata la necessità del ricorso alla misurazione di agenti chimici, la scelta di adottare il test preliminare (sezione 5.5.2 della norma) piuttosto che il test statistico (sezione 5.5.3 e Allegato F) per valutare il rispetto del limite di esposizione. Il test preliminare richiede da 3 a 5 misure dell'esposizione su lavoratori appartenenti ad uno stesso SEG mentre il test statistico può essere applicato nel caso si disponga di più di 5 misure. La scelta più idonea da adottare richiede una caratterizzazione di base approfondita e una corretta stima dei livelli di esposizione. Ipotizzare dei livelli di esposizione molto bassi che ammetterebbero, secondo la norma, il ricorso a solo 3 misure di esposizione per poter affermare il non superamento del VLEP e poi accorgersi, a posteriori, di essere in presenza di livelli di esposizione superiori a 0,2 volte il

VLEP, implicherebbe la necessità di condurre una ulteriore campagna di campionamento con un aggravio dei costi non preventivato. D'altro canto, anche il ricorso diretto a 6 misure, qualora non necessario, comporterebbe un immediato e ingiustificato maggior onere economico. Tale valutazione da parte dell'appraiser è necessaria comunque solo in previsione della prima campagna di misurazione poiché nelle campagne successive, sempre nel caso in cui nel ciclo produttivo e nel layout aziendale non siano intervenute modificazioni tali da richiedere una nuova caratterizzazione di base, la norma prevede che i dati provenienti dai monitoraggi ambientali, verificata l'appartenenza al medesimo SEG, possano confluire nell'iniziale set di misure per cui risulteranno sufficienti solo tre nuove misurazioni per la valutazione della conformità con il VLEP.

Infine, va citata una ulteriore criticità della norma per la quale sarebbe auspicabile una interpretazione univoca più che quella soggettiva del singolo valutatore. Si tratta della grandezza da assumere quale riferimento per individuare il *livello di esposizione* cui fa riferimento, in più punti, il Titolo IX del D.Lgs.81/08. Partendo dall'assunto della norma EN 689 secondo cui una distribuzione log-normale si adatta meglio ai risultati delle misurazioni delle esposizioni (cosa che l'analisi statistica dei dati dimostra essere vera) il parametro statistico chiave per la descrizione del *livello di esposizione* professionale risulterebbe essere la media geometrica dei valori di concentrazione con associata deviazione standard geometrica. La conoscenza di questi parametri permette, infatti, tracciando carte di probabilità logaritmica, una rapida stima della probabilità di esposizione in tutta la gamma di concentrazioni dell'inquinante a cui il lavoratore può essere esposto, così come la verifica del rispetto del valore limite associato all'agente chimico.

BIBLIOGRAFIA

- [1] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. EU strategic framework on health and safety at work 2021-2027 Occupational safety and health in a changing world of work. Brussels, 28.6.2021 COM(2021) 323 final, 2021.
- [2] EUROPEAN COMMISSION. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. Chemicals strategy for sustainability towards a toxic-free environment. Brussels, 14.10.2020. COM (2020) 667 final, 2020.

- [3] MINISTERO DELLA SALUTE. Piano Nazionale delle Attività di Controllo sui Prodotti Chimici Anno 2021, 15 marzo 2021.
- [4] COMMISSIONE CONSULTIVA PERMANENTE PER LA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO. Criteri e strumenti per la valutazione e la gestione del rischio chimico negli ambienti di lavoro ai sensi del D. Lgs. n. 81/2008 e s.m.i. (Titolo IX, Capo I “Protezione da Agenti Chimici” e Capo II “Protezione da Agenti Cancerogeni e Mutageni”), alla luce delle ricadute del Regolamento (CE) n. 1907/2006 (Registration Evaluation Authorisation Restriction of Chemicals - REACH), del Regolamento (CE) n. 1272/2008 (Classification Labelling Packaging - CLP) e del Regolamento (UE) n. 453/2010 (recante modifiche all’Allegato II del Regolamento CE 1907/2006 e concernente le disposizioni sulle schede di dati di sicurezza), 2012.
- [5] LEIDEL N.A. ET AL., Occupational exposure sampling strategy manual. U.S. Department of Health, Education, and Welfare. Public Health Service. Center for Disease Control. National Institute for Occupational Safety and Health. January 1977.
- [6] RAPPAPORT S.M., Assessment of long-term exposures to toxic substances in air. *Ann. Occup. Hyg.* 1991; 35(1): 61–121, 1991.
- [7] KROMHOUT H. ET AL., A comprehensive evaluation of within- and between-worker components of occupational exposure to chemical agents. *Ann. occup. Hyg.*, VoL 37. No. 3. pp 253-270, 1993.
- [8] HIRST, A., MORGAN, L., SEMPLE, S., Clear and concise report writing: guidance for occupational hygienists. British Occupational Hygiene Society. Issue 1.0 December 2011.
- [9] BARRA M. I., La valutazione dell'esposizione alle sostanze chimiche nei luoghi di lavoro: la nuova Norma EN 689:2018, in GOVONI C., GARGARO G., RICCI R., Atti del Convegno REACH 2018: Sostanze pericolose. L’Identificazione delle sostanze nell’ambito della Registrazione, Autorizzazione, Restrizione e gestione del rischio da agenti chimici pericolosi, cancerogeni, mutageni nei luoghi di lavoro. Bologna, 18 ottobre 2018.
- [10] BARRA M. I., Norma UNI EN 689:2018: impatto sulle strategie di campionamento e sulla valutazione di esposizione agli agenti chimici pericolosi, cancerogeni, mutageni, in GOVONI C., GARGARO G., RICCI R., Atti del Convegno REACH-OSH 2019: Valutazione dell’esposizione. Bologna, 16 ottobre 2019.
- [11] APREA M. C. ET AL., La necessaria gestione in qualità del laboratorio di igiene industriale e tossicologia occupazionale ambientale alla luce della

norma UNI CEI EN ISO/IEC 17025:2018, in GOVONI C., GARGARO G., RICCI R., Atti del Convegno REACH-OSH 2019: Valutazione dell'esposizione. Bologna, 16 ottobre 2019.

- [12] REGIONE LOMBARDIA-SANITÀ. Vademecum per il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori nelle attività di galvanica. Aggiornamento dicembre 2010.
- [13] EURACHEM. The Fitness for Purpose of Analytical Methods. A Laboratory guide to method validation and related topics. Second Edition, 2014.
- [14] UNI ISO 11843-2. Capacità di rivelazione. Parte 2: metodologia nel caso di taratura lineare. Edizione 2009.
- [15] ISO/IEC GUIDE 98-3:2008. Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995).
- [16] EURACHEM/CITAC GUIDE. Measurement uncertainty arising from sampling A guide to methods and approaches. Produced jointly with Eurolab, Nordtest, and RSC Analytical Methods Committee. Second Edition 2019.