

## **CRITERI E METODOLOGIE PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO CHIMICO**

G. Gino

## Aspetti metodologici e normativi per l'analisi dei Rischi Chimici Occupazionali

Consiglio Direttivo AIDII, Studio Sirt Milano

**RIASSUNTO.** Per una corretta identificazione di 'tutti' i rischi per la salute e sicurezza derivanti dall'impiego lavorativo di sostanze chimiche, gli aspetti metodologici sono di fondamentale e prioritaria importanza.

A fronte di normative italiane ed europee sempre più estese e puntuali, come il DLgs 81/2008 e il nuovo sistema Reach-CLS, l'Igienista industriale deve integrarsi sinergicamente con le diverse professionalità OHS afferenti.

L'analisi del processo produttivo ed organizzativo correlata alle mansioni è il fondamento per l'identificazione dei pericoli e dei conseguenti rischi, pre-condizione per l'adozione di idonee misure precauzionali e protettive.

Gli strumenti che si devono adottare in modo integrato sono diversificati e caso-specifici: le procedure di analisi di rischio, le modellazioni anche indicizzate, i monitoraggi ambientali e statistici, con la ormai ampia fruibilità della letteratura e database anche on-line.

Nei casi limite occorre anche coniugare il principio di cautela con quello di ragionevolezza, e, sempre, è indispensabile un'elevata professionalità nell'approccio.

**Parole chiave:** rischio chimico, DLgs 81/2008, metodologie OHS.

**ABSTRACT. WORKPLACE CHEMICAL HAZARD EVALUATION: METHODOLOGICAL AND REGULATORY ASPECTS.** *In workplace health and safety chemical hazard identification methodological aspects are of fundamental importance.*

*Italian and EC regulations, extensively growing, as the Legislative Decree 81/2008 and the incoming Reach-CLS, are facing an 'upgraded' industrial hygienist synergistically integrated with other OHS professionals.*

*The production-process and organizational-tasks analysis are the basis for hazards evaluation and pre-condition for an appropriate adoption of preventive measures.*

*The tool that should be taken are case specific and diversified: risk analysis, modeling, index methods, environmental and exposure assessment monitoring, PHA and HRA, extensive literature and online data-bases.*

*In borderline cases it is also mandatory an assessment forwarding both the precautionary and reasonableness principles, but always, an highly professional approach is essential.*

### Introduzione

Negli ultimi anni, per effetto di numerosi fattori concomitanti, l'attenzione dei 'professionisti OHS', Organi di Controllo inclusi, sembra essersi concentrata sugli aspetti gestionali (formativi e organizzativi inclusi), quali fattori di salute e sicurezza. L'introduzione, anche formalizzata, di nuovi e potenti strumenti di prevenzione e protezione non può tuttavia far arretrare, neanche in ipotesi, la preminenza degli aspetti valutativi e di analisi di rischio. L'individuazione esaustiva e corretta dei pericoli e, conseguentemente, dei rischi e danni potenziali, è presupposto imprescindibile e 'sottostante' a qualunque modello di gestione per la minimizzazione degli stessi. Con un giro di parole: la *valutazione* dell'affidabilità dei *processi di valutazione* non può essere che conseguente all'affidabilità della *valutazione dei rischi nei processi*. Per l'igienista occupazionale la metodologia di approccio nell'individuazione dei rischi derivanti dall'impiego di 'agenti', è sempre stata di grande importanza, ben prima che il DLgs 626/94 e poi il DLgs 81/2008 focalizzassero l'attenzione sull'impiego delle sostanze 'chimiche' (1, 2). L'impegno, correttamente imposto dal Legislatore europeo, di valutare **tutti** i rischi per la salute e la sicurezza rende anzi più confacente il riferimento ad una pluralità di 'metodologie'. Un ricerca così ampia può essere sviluppata solo coniugando efficacia ed efficienza in una materia che, a fronte di una a volte non banale complessità, richiede necessariamente di pervenire a conclusioni operative concrete. La criticità del passaggio non può essere sottovalutata perché ne possono conseguire scelte e responsabilità penalmente rilevanti (e a volte anche civili), ma anche, e ancora prima, etiche e sociali. L'evoluzione professionale dell'igienista classico è sempre più fortemente orientata a coniugare le esposizioni in ambiente di lavoro, con le condizioni di vita e l'ambiente. Non a caso il regolamento Reach sulle sostanze pericolose immesse in commercio affronta oggi il nuovo orizzonte dell'**esposizione globale**, prendendo in considerazione **tutti** i luoghi di vita e di lavoro per l'intero l'arco di vita e oltre, con le generazioni future, nonché l'effetto dei rilasci nell'ambiente, articolato nelle sue diverse matrici, con la verifica della dinamica temporale anche di lungo periodo. Dai seicenteschi studi di Bernardo Ra-

mazzini siamo giunti alla ricerca dei confini fra *lavorazioni* dove la chimica è utilizzata (ma, al di fuori dell'industria di processo, a volte sottovalutata), e la *non-esposizione* dei lavoratori e delle lavoratrici, oppure cerchiamo di individuare *l'esposizione potenziale*, con gli *scenari* di esposizione della popolazione in generale, e di valutare le *interazioni* e le *combinazioni* fra le diverse esposizioni concorrenti fra agenti di natura chimica e fisica diversa, con forme di lavoro sempre meno strutturate nel tempo e nello spazio (1, 2). **Per questo un approccio metodologicamente corretto per la valutazione dei rischi chimici non può prescindere dall'analisi dei processi produttivi ed organizzativi, esaminando le mansioni da incrociare con tutte le caratteristiche chimico-fisico-tossicologiche delle sostanze, inseriti nel contesto sitospecifico.**

### Processi e Metodologie di Valutazione

È quasi inevitabile che a fronte di questa realtà complessa non si sia consolidato un unico insieme condiviso di metodologie 'corrette' ed anzi è con ogni ragionevolezza inutile, e forse sbagliato, ipotizzare che vi sia un percorso standard che possa fungere da pietra di paragone. I metodi di indagine devono risultare consoni agli obiettivi inizialmente pre-fissati ed in grado di conseguire i risultati affidabili con le risorse **adeguate alle necessità della situazione da verificare** messe a disposizione e non, come spesso accade, vice versa (3, 4). In altre parole occorre ragionare per risultati, utilizzando l'igiene industriale moderna integrata (o contaminata) dalle molte discipline afferenti, quali la chimica analitica, l'epidemiologia, la statistica, i metodi di analisi di rischio, la sistematizzazione gestionale, il feed back della sorveglianza sanitaria, anch'essa ripensata rispetto alle origini ma anche dotata delle nuove potenzialità dell'evoluzione tecnico-scientifica e culturale. Il tutto deve anche confrontarsi con i riferimenti normativi italiani ed europei in continua, a tratti irruenta, evoluzione, senza dimenticare che: **la valutazione dei rischi chimici e l'igiene occupazionale nascono come risposta alla realtà concreta dello sviluppo tecnologico ed ai modi di produzione e di vita.** In quanto tali **non derivano da uno o più articoli di legge** ed evolvono nel tempo secondo il progresso scientifico in un contesto di sensibilità anche culturale. Le metodologie dell'igiene occupazionale devono fornire le risposte, robuste, longeve, globali e paragonabili su scala mondiale, senza per questo dimenticare le richieste normative pro-tempore e pro-loco, ma anche cercando di prevenirle, ove queste fossero insufficienti, e di stimolarle, innovando, aiutando la ricerca e il progresso sostenibile; come ad esempio nei casi, non isolati, delle nano-tecnologie, dei microinquinanti ad alta tossicità e persistenza, della sintesi di nuove molecole per usi farmaceutici, ... (5).

### Tra due Principi: Precauzione e Ragionevolezza

Per ogni situazione, e non sono poche, dove la risposta certa non c'è (o meglio *ancora non c'è*) e in cui i dati scientifici non consentono una quantificazione del rischio con sufficiente certezza, è necessario declinare i metodi classici con lo spesso citato principio di precauzione<sup>1</sup> o di cautela (6). Il ricorso al principio si iscrive nel quadro generale dell'analisi del rischio (che comprende, oltre alla valutazione del rischio, la gestione e la comunicazione del rischio) e più particolarmente nel segmento della gestione del rischio che, al termine del processo di valutazione, **richiede scelte e l'assunzione di decisioni** che porteranno a due soli esiti: **Agire** (adottare misure preventive e/o integrative) / **Non agire** (usuali buone prassi). La risposta dipende da una decisione *politica*, che è funzione del livello di rischio considerato come **accettabile dagli attori che devono assumere il rischio individuato**. Questo principio, spesso impropriamente citato a supporto di interpretazioni negative 'estreme', non dev'essere disgiunto dall'associato 'principio di ragionevolezza'<sup>2</sup>. La scelta non può una decisione arbitraria e isolata da parte di un valutatore tanto *esperto* quanto *terzo e/o lontano*; è necessario un confronto condiviso e trasparente con tutti gli attori direttamente o indirettamente coinvolti.

**Sui criteri di accettazione del rischio, e non solo per l'igiene industriale, in Italia da sempre il dibattito appare insufficiente**, viziato troppo spesso dalla scarsa competenza e dall'assenza di un serio confronto.

La facile affermazione "il rischio non deve esistere" nasconde spesso il comportamento "allora è meglio non vederlo". Oppure si confonde il concetto di *moderato*, prima, ed ora, ancor più, di *irrilevante*, con '*accettabile*', mentre sembra quasi un tabù valutare e gestire rischi *non irrilevanti* ma proprio per questo '**adeguatamente controllati**'.

### Lo sviluppo della valutazione

Analizzare **tutti** i rischi derivanti da agenti chimici pericolosi per la **sicurezza** e la **salute** al fine di **eliminarli o ridurli al minimo** richiede l'esautiva conoscenza dei pericoli e di avvalersi di **ogni** metodo atto allo scopo, a partire da un set di informazioni minime, esplicitate dall'articolo dell'81, che consentano di controllare le premesse, i dati disponibili e la loro consistenza.

**La valutazione** (intesa come processo completo fino alla programmazione di tutti gli interventi precauzionali e di emergenza) **è da sviluppare in tre fasi successive** (tabella I):

- I) **PREVENTIVA** [art. 223 c. 6 TU/81]
- II) **A REGIME**, con verifica dell'efficacia delle misure adottate e dei livelli di esposizione [art. 223 c. 1 e 225 c. 2 TU/81]
- III) **PERIODICA**, con i risultati della sorveglianza sanitaria intrapresa e i dati aggiornati [art. 223 c. 7 TU/81].

<sup>1</sup> Agenda 21 Principle 15.

<sup>2</sup> Ad esempio, con applicazione alle NIR, Risoluzione UE 05/05/1994 e 10/03/1999.

Tabella I. Fasi di Valutazione

Elemento	I Preventiva	II Regime	III Periodica
Proprietà generali	Sì	Sì	Sì
Info Sicurezza e Salute e MSDS	Sì	Sì	Aggiornamenti
Esposizione (livello - tipo - durata)	Sì	Conferma	Revisione
Circostanze e quantità	Sì	Conferma	Revisione
Valori limite di esposizione / <b>biologici o definizione di target / riferimenti interni</b>	Sì	Monitoraggio e Analisi	Aggiornamenti
Effetti misure preventive e protettive	Sì previsionali	Risultati o Collaudo	Verifica periodica Benchmarking
Sorveglianza sanitaria Indicazioni MCa	No / Sì + Piano sanitario	Piano sanitario e Idoneità	Idem + Risultati collettivi

Nei tre distinti momenti si hanno crescenti gradi di conoscenza sul processo e sulle mansioni:

1. in via **preventiva** non tutti i dettagli possono essere definiti o noti;
2. a **regime** potranno rendersi necessari interventi di 'adattamento' o 'correzione';
3. nelle **revisioni** periodiche occorrerà concentrarsi sullo stato dell'impianto, sulle micro-modifiche o adattamenti, sui cambi di fornitore e di standard normativo-regolamentari, sulla differenze nell'operatività effettiva, ...

### Dal Processo ai Rischi

Partire dall'analisi del processo significa esaminarlo **dall'ingresso dei chimici 'ai limiti di batteria'** dell'attività fino **al rilascio del prodotto e dei sottoprodotti all'esterno di questi limiti** (intera azienda/ singola lavorazione), tenendo conto delle mansioni e dei task svolti per ogni sotto-fase.

**Questo studio è preliminare in ordine di tempo ma centrale rispetto alla valutazione dei rischi:** solo con una corretta impostazione potranno essere individuati ed efficacemente utilizzati gli strumenti per le valutazioni, siano essi costituiti da **metodi di analisi di rischio**, da **strategie di monitoraggio e campionamento**, da **programmi di accertamenti e controlli biologici o con screening e gerarchizzazioni da metodi indicizzati**.

Questo insieme integrato rende possibile l'esauriva valutazione del ciclo o processo "*ivi compresa la manutenzione e la pulizia, per le quali è prevedibile la possibilità di notevole esposizione o che, per altri motivi, possono provocare effetti nocivi per la salute e la sicurezza, ...*" richiesta, oltre che dalla buona prassi igienico-occupazionale, dall'articolo 223 del DLgs 81/2008.

### Rischi per la sicurezza e la salute

La partizione dei rischi, introdotta anche nel Testo Unico, fra "**sicurezza**" e "**salute**" ha punti di confine non univoci e variabili in funzione della definizione che si adotta.

Adottando le indicazioni del Reach, ascriviamo ai rischi per la sicurezza, o anche "rischi derivanti dalle proprietà chimico-fisiche delle sostanze", **l'infiammabilità, l'esplosività e le proprietà comburenti e ossidanti**, che possono originare reazioni esotermiche e/o irritanti per la pelle, gli occhi e le vie respiratorie distruggendo il materiale biologico con cui entrano in contatto. Oltre alle più consolidate, in un assessment di sicurezza chimica può rendersi necessario tenere in conto anche diverse altre caratteristiche chimico-fisiche e, comunque, ancora non avremmo individuato **tutti** i rischi ma solo quelli derivanti dalle caratteristiche intrinseche.

La **temperatura**, alta (ustione) o bassa (criogenici), la **concentrazione** in aria (es. per la respirabilità), sono parametri altrettanto importanti che debbono essere tenuti in debito conto unitamente ai rischi di **incompatibilità e instabilità**, di interazioni con l'esterno (effetto domino) o, al contrario, derivanti dall'intorno. Sempre in attinenza ai rischi per la sicurezza si ricordano i filoni normativi concorrenti:

4. la prevenzione incendi per infiammabili, combustibili e comburenti (governata dal corpo normativo specifico e dal DM 10/03/98),
5. la valutazione delle atmosfere esplosive, c.d. AtEx (Titolo XI/81), che si ricorda **non copre tutte le esplosioni ma solo un sottoinsieme delle stesse** (1).

Queste analisi e relative evidenze documentali altro non sono che finestre che si affacciano sullo stesso teatro. Di frequente invece che verificate insieme (anche perché utilizzano linguaggi, tempi, strumenti e professionalità diverse) rimangono approcci stand-alone con ipotesi, sostanze e quantitativi diversi, come pure le cautele assunte, perdendo opportunità di sinergie e razionalizzazione.

### Strumenti per l'individuazione dei rischi

Fra le tecniche di analisi, consolidatesi inizialmente in diversi settori, che possono essere utilmente impiegate nell'individuazione dei rischi chimici, si annoverano (7-13):

- l'analisi storica
- le liste di controllo, check list
- il metodo *cosa succede se*, what if
- l'analisi di operabilità, HAZ-OP

- l'analisi delle barriere di protezione (LOPA) (14)
- l'analisi dei modi guasto del sistema, FMEA
- l'albero dei guasti o degli eventi, fault tree / event tree
- l'analisi degli errori umani, HRA (15)
- i metodi indicizzati<sup>3</sup>

cui si affiancano gli strumenti di verifica a posteriori, quali:

- il monitoraggio ambientale (2)
- il monitoraggio biologico per la salute, e
- la quantificazione e la modellazione (preventiva) degli eventi
- la registrazione e l'analisi dei quasi incidenti e degli incidenti per la sicurezza.

La disamina dei molti argomenti che sarebbe di interesse sviluppare e degli ancora più nutriti spunti di approfondimento necessari, esula dai limiti della relazione, ma in letteratura, ivi inclusa la rivista dell'AIDII, molti aspetti sono ben delineati. Sempre di rilievo è anche la composizione del **team** di valutazione che deve, secondo le dimensioni del progetto di valutazione, comprendere esperti di **valutazione** ed esperti dell'**attività**.

---

### Analisi storica

Fra i metodi di analisi preliminare dei rischi (PHA) pare opportuno soffermare l'attenzione sull'analisi storica o di letteratura che è uno strumento poco o parzialmente utilizzato nelle valutazioni di rischio 'convenzionale'. Affrontare una verifica partendo da quello che è già noto o rappresenta lo stato dell'arte sull'argomento, guida l'attenzione sulle criticità, aiuta a diminuire eventuali omissioni o consente di assumere programmi di miglioramento più efficaci, concentrando fin da subito le risorse (sempre limitate) dove servono.

---

### Analisi del worst-case

**L'individuazione ed analisi del peggior caso ragionevolmente possibile** a stretto rigore non è un metodo di valutazione ma un short-cut che consente di stabilire l'ordine di grandezza di un incidente possibile o escluderne la pericolosità. Che una bombola perda il suo contenuto, che si rompa il tubo di collegamento o che l'operatore dimentichi aperto il rubinetto è un'ipotesi non certo remota o irragionevole (e per di più identificabile anche con l'analisi storica).

Un semplice calcolo consente di verificare se il rilascio dell'intero contenuto (Pressione di carica \* Volume bombola) in un ambiente confinato è in grado di determinare un pericolo in funzione del volume del locale e del gas (tossico o infiammabile) o della diminuzione del tenore di ossigeno indotta (per gli asfissianti semplici quali l'azoto).

---

### Conseguenze Esterne

L'individuazione degli effetti sulle matrici ambientali non fa parte degli adempimenti richiesti dal Testo Unico ma non per questo è sempre possibile 'saltare il capitolo', se per esterno si intendono gli effetti al '**perimetro**' del **processo** (per esempio da una linea in un reparto verificare gli effetti sulle linee di produzione adiacenti).

Un'analisi realmente esaustiva di tutti i rischi comprende le avversità esterne, potenziali 'fattori di moltiplicazione' dei rischi.

*Allagamento /eventi meteo*

*Temperatura ambientale anormalmente alta o bassa*

*Fulminazione / Incendio/esplosione esterni*

*Terremoti / Frane / Smottamenti*

*Quote relative (es. gas e vapori pesanti)*

*Impatto catastrofico / Attività pericolose adiacenti (effetto domino).*

---

### Conclusioni

La previsione normativa di valutare tutti i rischi per i lavoratori derivanti dall'impiego di agenti chimici, impone un lavoro rigoroso ed in grado di utilizzare in modo efficace e efficiente un mix di strumenti, per giungere a risultati che garantiscano le migliori condizioni di 'controllo'.

L'impegno di risorse quali-quantitativamente inadeguate o la ricerca di scorciatoie può determinare non solo una non conformità alle previsioni normative ma gravi carenze per la sicurezza e la salute dei lavoratori. Una buona valutazione del rischio è più conveniente ed al contempo efficace dell'installazione di misure precauzionali generiche, 'a buon senso' (o casuali) che possono rivelarsi inefficaci e/o costose.

Per contro dall'utilizzo appropriato delle diverse tecniche di valutazione possono emergere interessanti sinergie e seri programmi di miglioramento delle condizioni di lavoro valorizzando sinergicamente le risorse utilizzate.

---

### Bibliografia

- 1) Gino G. Gli strumenti dell'igiene industriale e di valutazione dei rischi chimici per la sicurezza nell'analisi dei rischi da atmosfere esplosive. Dlgs 81/2008 e le normative AtEx. AIDII Atti 16° Convegno Le Giornate di Corvara 24-26 marzo 2010, Milano, 207-213.
- 2) Gino G. Gestione integrata dei rischi da agenti chimici nelle aziende "Seveso". Atti Congresso Nazionale AIDII 16-17 novembre 2006, Firenze, 99-104.
- 3) AIDII. Strategia di controllo dei fattori di rischio chimici negli ambienti di lavoro. Milano, 1990.
- 4) BOHS. Testing compliance with Occupational Exposure Limits, draft. Derby, UK 2009.

---

<sup>3</sup> Quali il famoso capostipite Dow's - AICHE (7), i metodi indicizzati di valutazione preliminare dei rischi inglesi e tedeschi con correlazione a standard crescenti di misure di prevenzione e protezione, oltre ai già noti italiani Movarisc e di gerarchizzazione dell'INRS francese.

- 5) Gino G, Sesana G. Titolo IX/81 e Reach Sostanze pericolose il ruolo delle associazioni scientifiche. RisCh V Convention nazionale dei responsabili dell'igiene e sicurezza in ambiente di lavoro, Modena, Ottobre 2008.
- 6) Comunicazione 02.02.2000. Il principio di precauzione. Commissione UE, Non pubblicata G.U.U.E. (e documenti collegati fra cui la risoluzione del Consiglio del 04.12.2000).
- 7) AICHE Dow's Chemical exposure index e fire & explosion index hazard classification guide, USA.
- 8) HSE, COSHH Essentials Control health risks from chemicals, UK.
- 9) BAUA Federal Institute for Occupational Safety and Health, Easy-to-use Workplace Control Scheme for hazardous substances, DE.
- 10) Rota R, Nano G. Introduzione alla affidabilità e sicurezza nell'industria di processo. Milano, Pitagora 2007.
- 11) Rota R, Nano G. La valutazione dei rischi per la sicurezza da agenti chimici. Giornale degli Igienisti Industriali, vol. 32 n° 4, ottobre 2007.
- 12) AIChE, Guidelines for Hazard Evaluations Procedures, CCPS, New York, USA, 1992.
- 13) Lee FP. Loss prevention in process: hazard identification, assessment and control. Butterworth-Heinemann, 2005.
- 14) AIChE. Layer of protection analysis. Simplified Process Risk Assessment. NY USA, CCPS AIChE, 2001.
- 15) Reason J. L'errore Umano. Bologna, Il Mulino, 1994.

**Richiesta estratti:** *G. Gino - Consiglio Direttivo AIDII, Studio Sirt, Milano, Italy - E-mail: gino@sirt.it*

D. Cottica, E. Grignani

## Valutazione dell'esposizione ad agenti chimici: algoritmi e misurazioni, vantaggi e criticità

Centro Ricerche Ambientali, Fondazione Salvatore Maugeri, IRCCS, Pavia-Padova

**RIASSUNTO.** La valutazione dell'esposizione ad agenti chimici può comportare approcci metodologici diversi che vanno dalla semplice "valutazione preliminare" su base documentale per passare, attraverso l'uso di "algoritmi" e "misure di screening", alla effettuazione di "misure strumentali degli agenti chimici aerodispersi"; particolare risalto in questi ultimi anni è stato posto alla misura, o meglio la stima, dell'esposizione per via cutanea.

Le problematiche emerse durante l'applicazione delle metodiche proposte hanno evidenziato come i contenuti, necessariamente comuni, di una legge possano e debbano essere "interpretati ed applicati" *ad hoc* per le varie realtà produttive attraverso interventi adeguati alle dimensioni dell'azienda sia in termini tecnico-gestionali che economici. Il lavoro, attraverso l'analisi dei punti critici riscontrati in questi anni, propone spunti di riflessione per la miglior gestione del processo di valutazione dell'esposizione professionale ad agenti chimici: dalla valutazione preliminare alle misure strumentali.

**Parole chiave:** valutazione dell'esposizione, agenti chimici, ambiente di lavoro.

**ABSTRACT.** EXPOSURE ASSESSMENT TO CHEMICAL AGENTS: ALGORITHMS AND MEASUREMENTS; ADVANTAGE AND CRITICAL STATE. *The exposure assessment to chemical agents may be worked out by "preliminary evaluation" on documentary examination to "instrumental measurements" through "algorithms application" or "screening measurements"; in the last years the need of dermal exposure assessment has increased. The application of the procedures has highlighted the need to distinguish between small and great plants, production processes, etc. and to "interpret" the rules. The paper, through the critical examination of the difficulties observed in these years of application of the risk assessment procedures, suggests some reflections upon the best management of the process of exposure assessment to chemical agents: from the preliminary evaluation to the instrumental measurements.*

### Introduzione

La valutazione dell'esposizione ad agenti chimici può comportare approcci metodologici diversi per l'impegno di risorse umane, economiche, tecnologiche, ma anche e non da ultimo, per la sensibilità culturale alle problematiche della prevenzione; per quanto riguarda gli agenti chimici è stata da sempre concepita come "la misura degli agenti chimici aerodispersi"; la misura, o in questo caso meglio dire la stima, dell'esposizione per via cutanea ha aggiunto ulteriori difficoltà al processo di valutazione.

Di fatto, sia da parte imprenditoriale che degli organi di controllo, si è sviluppata un'azione sinergica per definire modalità e processi di valutazione dell'esposizione adeguati alle realtà/risorse aziendali: dalla "valutazione di tipo preliminare" su base documentale all'uso di "algoritmi", alla "misurazione degli agenti chimici che possono presentare un rischio per la salute con metodiche standardizzate, con particolare riferimento ai valori limite d'esposizione professionale e per periodi rappresentativi dell'esposizione in termini spazio temporali".

Le problematiche emerse hanno evidenziato come i contenuti, necessariamente comuni, di una legge possano e debbano essere "interpretati ed applicati" *ad hoc* per le varie realtà produttive attraverso interventi adeguati alle dimensioni dell'azienda sia in termini tecnico-gestionali che economici: il processo di valutazione preliminare su base documentale, un ulteriore approfondimento mediante "algoritmi" che attribuiscono valori numerici a singoli parametri che caratterizzano gli agenti chimici in esame; da ultima la misura della concentrazione degli agenti chimici a conferma della valutazione preliminare o con algoritmi applicando i contenuti delle Norme UNI-EN 482/98 e 689/97.

La multidisciplinarietà e la competenza delle figure della prevenzione si sono rivelate, come logico supporre, la base o, in alcuni casi, l'anello debole, nell'applicazione dei metodi di valutazione dei rischi chimici proposti/utilizzati.

### Analisi di rischio

La procedura di valutazione dei rischi è stata messa a punto dalla Food and Drug Administration negli anni '50

e rielaborata in termini “ambientali” dalla Environmental Protection Agency; successivamente la National Academy of Science nel 1983, riporta la definizione ancora oggi più accettata di risk assessment (“*the characterization of the potential adverse effects of human exposure to environmental hazards*” - caratterizzazione dei potenziali effetti avversi per l’esposizione umana a rischi ambientali), nelle quattro articolazioni:

1. *hazard identification*: identificazione degli agenti di rischio per valutare se gli stessi possano essere causa di danno per la salute;
2. *dose-response assessment*: definizione della dose-risposta per valutare la relazione tra la quantità o concentrazione dell’agente e la risposta biologica dell’organismo;
3. *exposure assessment*: valutazione dell’esposizione definita in modo qualitativo o quantitativo (con misure in questo secondo caso di monitoraggio ambientale e biologico);
4. *risk characterization*: caratterizzazione del rischio per valutare quale è la probabilità e la gravità di eventuali danni per la salute dei soggetti esposti.

Le prime due fasi si basano sull’acquisizione di conoscenze scientifiche di carattere generale, sia sperimentali che epidemiologiche, sulla tossicità degli agenti di rischio oggetto della valutazione; in queste fasi non si può escludere la necessità, soprattutto nella messa a punto o verifica degli indicatori, di indagini sul campo che possano comportare monitoraggi ambientali e biologici. Le fasi successive sono invece più operative, specie la terza nella quale, identificati i soggetti interessati alla valutazione, se ne stima il grado di esposizione.

La fase preliminare consente di definire la presenza o meno di potenziali agenti di rischio e di formulare una serie di ipotesi su:

**Agenti di rischio presenti** - per la formulazione di ipotesi sugli agenti di rischio in relazione alla natura del processo, devono essere considerate le materie prime, gli intermedi di lavorazione, i prodotti finali, gli ausiliari di lavorazione; in relazione al processo devono essere inoltre formulate ipotesi sulla formazione di composti secondari non desiderati. Per ogni prodotto devono essere conosciute composizione chimica, caratteristiche fisico-chimiche e tossicologiche; la definizione delle caratteristiche tossicologiche deriva dalla scheda di sicurezza integrata dalla letteratura scientifica e dalla competenza del medico del lavoro.

**Fonti di generazione-emissione** - il processo deve essere scomposto nelle singole operazioni: per ognuna devono essere conosciuti i principali parametri e modalità operative; per ogni composto identificato vanno valutati i parametri chimico-fisici nelle condizioni operative.

**Modalità di propagazione dei fattori di rischio in ambiente** - per formulare ipotesi sulla propagazione degli inquinanti vanno valutate le caratteristiche chimico-fisiche dei diversi composti nelle condizioni ambientali, la geometria e volumetria dell’ambiente, le caratteristiche strutturali che favoriscono l’allontanamento o il ristagno dell’inquinante e quelle che possono favorire l’interferenza o la sovrapposizione di inquinanti derivanti da diverse fonti, considerando l’influenza che gli impianti tecnici ausiliari (aspi-

razioni, ventilazioni, condizionamento, ecc.) possono avere sulla distribuzione degli inquinanti; le modalità di stoccaggio e trasporto dei materiali all’interno dell’azienda.

**Modalità di contatto-esposizione con gli agenti di rischio** - considerare, per le varie mansioni, le possibili vie di assorbimento: inalatoria, digestiva, cutanea, stimando il contributo relativo di ciascuna di esse (possibile presenza in aria, modalità di manipolazione, uso dei D.P.I. e le abitudini igieniche, alimentari e comportamentali dei lavoratori).

**Entità dell’esposizione** - rivestono particolare rilevanza la stima delle concentrazioni inalate, le modalità di contatto in genere, il tempo di esposizione ed il tipo di attività svolta (fatica fisica lieve, moderata, ecc.), i dati di monitoraggio biologico e della sorveglianza sanitaria.

Sia che l’esito dell’analisi preliminare presenti o meno margini di incertezza, ad essa deve seguire un sopralluogo nei reparti produttivi per un riscontro diretto ed una verifica delle informazioni.

Una buona analisi deve essere quindi comprensiva dello studio di impianto, di processo e di mansione condotta da un gruppo di esperti in cui siano presenti tutte le competenze tecniche, igienistico-industriali e mediche che adottano una metodologia in grado di individuare gli agenti di rischio e valutarne la pericolosità in relazione a tutte le vie di penetrazione.

La completezza, riproducibilità, comprensibilità, soggettività, di una valutazione sono strettamente correlati all’esperienza dei valutatori; quest’ultimo è un “parametro” determinante perché consente d’inserire nella giusta dimensione una situazione relativamente più o meno significativa per entità e possibilità d’accadimento.

---

## Uso degli algoritmi

I limiti dei risultati insiti nei processi di valutazione preliminare dei rischi chimici lasciano un elevato margine di discrezionalità ai valutatori mentre sarebbe molto utile adottare “modelli” che portassero a valutazioni riproducibili ed il più possibile oggettive, sganciate dai “limiti individuali” dei professionisti che vi concorrono. A questo scopo diversi attori della prevenzione hanno messo a punto e proposto metodi basati su “algoritmi” che utilizzano “indici numerici” attribuiti ai parametri/variabili che concorrono a stimare il più possibile “oggettivamente” l’entità del rischio. In campo igienistico industriale i più utilizzati considerano parametri tossicologici, di sicurezza, incendio, esplosione, caratteristiche chimico-fisiche, sistemi di prevenzione, ecc... Per meglio comprendere la rilevanza della professionalità dei “valutatori” si consideri la soggettività in termini di: individuazione degli specifici parametri che concorrono alla determinazione del rischio; definizione del “peso” (influenza) dei fattori di rischio individuati nei confronti dell’entità del rischio; scelta della relazione matematica che lega i parametri fra di loro (fattori additivi, moltiplicativi, esponenziali); definizione della scala dei valori dell’indice in relazione al rischio (basso; molto basso; medio, medio alto) ed i seguenti esempi di attribuzione di indici numerici ad alcuni parametri insiti negli algoritmi di più comune utilizzo:



**Tabella I. Parametro "stato fisico"**

Stato fisico	Punteggi
Solido compatto	1
Liquido a bassa volatilità (tensione di vapore)	2
Liquido ad alta e media volatilità o polveri fini	3
Gas o vapore	4

**Tabella II. Parametro "quantità"**

Quantità in uso su base giornaliera (kg)	Punteggi
0,1	1
0,1 - 1	2
1 - 10	3
10 - 100	4
> 100	5

**Tabella III. Parametro "tossicità della sostanza"**

Tossicità della sostanza	Punteggi
Irritanti	1
Corrosive	2
Nocive/sensibilizzanti	3
Tossiche o molto tossiche	4
Cancerogene	5

**Tabella IV. Parametro "modalità d'esposizione"**

Modalità d'esposizione e utilizzo della sostanza	Punteggi
Ciclo chiuso, prive d'esposizione	1
Sistemi aperti ma presidiati (aspiraz. localizzate, ventilazione)	2
Sistemi aperti (assenza aspiraz. localizzate o ventilazione; eseguiti in ambiente aperto)	3
Sistemi aperti (assenza aspiraz. localizzate o ventilazione; eseguiti in locali chiusi)	4

**Tabella V. Parametro "Frequenza/durata dell'esposizione"**

Frequenza/durata	Giorni/settimana	% Turno di lavoro	Punteggi
Occasionalmente	< 1 volta/settimana	< 10	1
Frequentemente	> 1 volta/settimana, < tutti i giorni	10 - 25	2
Abitualmente	Tutti i giorni < 1/2 turno	25 - 50	3
Sempre	Tutti i giorni > 1/2 turno	50 - 100	4

Il prodotto dei singoli parametri in funzione dell'algoritmo adottato, porta ad un sintetico "indicatore di rischio" associato ad eventuali azioni correttive:

**Tabella VI. "Indicatori di rischio"**

Indicatori di rischio/Classi di Rischio	Azioni Correttive
1 - 10: Trascurabile	Non necessarie
11 - 25: Basso	Opportune a medio termine
26 - 50: Medio	Opportune a breve termine
51 - 75: Alto	Necessarie a medio termine
76 - 100: Molto alto	Urgenti

Pur considerando l'ampia soggettività riscontrabile in un percorso valutativo quale quello proposto da questa metodica, se applicata dopo un processo di formazione specifica degli operatori addetti, sarebbe ideale per la valutazione del rischio chimico da attribuire ad un comparto produttivo di tipo soprattutto artigianale.

### Misura degli agenti chimici aerodispersi

Nel caso in cui la legislazione, il processo di valutazione o le caratteristiche tossicologiche (cancerogeni, altamente tossici, ecc.) richieda l'effettuazione di misure della concentrazione delle sostanze aerodisperse, queste debbono essere eseguite mediante due approcci fondamentali, diversi fra loro per le risorse coinvolte ed i costi di realizzazione: misure di *screening* o di approfondimento. In entrambe i casi le misure devono essere eseguite rispettando i parametri riportati nelle norme UNI-EN allegata al D.Lgs. 81/08.

La prima norma di rilevanza è la *UNI-EN 482/98: "Atmosfera nell'ambiente di lavoro - Requisiti generali per le prestazioni dei procedimenti di misurazione degli agenti chimici"* che definisce i requisiti generali di *performance* delle procedure per la misura degli agenti chimici negli ambienti di lavoro fissando, in particolare, quella che è stata definita "l'incertezza globale" (IG) di una misura e, in funzione degli scopi che la misura si prefigge, una specifica dei requisiti di *performance* che essa deve garantire. Sulla base di questa norma è possibile scegliere le modalità di misura (strumenti) in funzione dello scopo. Per misure di *screening* non è necessario ricorrere a metodi indiretti (campionamento ed analisi in laboratorio) particolarmente laboriosi, sofisticati e costosi ma potranno trovare ampia applicazione strumenti a lettura diretta di facile impiego e maneggevolezza in grado di fornire un numero rilevante di misure in tempo reale, consentendo così d'individuare eventuali necessità d'approfondimento della misura degli agenti chimici; la scelta dello strumento è vincolata alla selettività che è in grado di garantire nell'ambito delle misure.

Un'altra norma fondamentale è la *UNI-EN 689/97: "Atmosfera nell'ambiente di lavoro - Requisiti generali per le prestazioni dei procedimenti di misurazione degli agenti chimici"* in cui vengono indicati i processi decisionali e le metodologie utili per misurare le concentrazioni degli agenti chimici aerodispersi, confrontare l'esposizione inalatoria degli operatori con i valori limite, consentire la confrontabilità dei dati nel tempo, definire la periodicità delle misure; in essa è riportata una sequenza logica applicativa con l'obiettivo di ottenere una misura attendibile dell'esposizione professionale di un gruppo omogeneo.

Le procedure di misura prevedono l'utilizzo quanto più possibile di sistemi che consentano il prelievo in zona respiratoria quindi prevalentemente di campionatori personali. Le Norme UNI-EN indicate dalla legislazione con-

La prima norma di rilevanza è la *UNI-EN 482/98: "Atmosfera nell'ambiente di lavoro - Requisiti generali per le prestazioni dei procedimenti di misurazione degli agenti chimici"* che definisce i requisiti generali di *performance* delle procedure per la misura degli agenti chimici negli ambienti di lavoro fissando, in particolare, quella che è stata definita "l'incertezza globale" (IG) di una misura e, in funzione degli scopi che la misura si prefigge, una specifica dei requisiti di *performance* che essa deve garantire. Sulla base di questa norma è possibile scegliere le modalità di misura (strumenti) in funzione dello scopo. Per misure di *screening* non è necessario ricorrere a metodi indiretti (campionamento ed analisi in laboratorio) particolarmente laboriosi, sofisticati e costosi ma potranno trovare ampia applicazione strumenti a lettura diretta di facile impiego e maneggevolezza in grado di fornire un numero rilevante di misure in tempo reale, consentendo così d'individuare eventuali necessità d'approfondimento della misura degli agenti chimici; la scelta dello strumento è vincolata alla selettività che è in grado di garantire nell'ambito delle misure.

sentono l'utilizzo di sistemi di campionamento ad aspirazione forzata (mediante pompe aspiranti) o per diffusione (passivi). Altre metodiche ufficiali utilizzabili sono quelle validate da NIOSH, OSHA, HSE, DFG. Nel caso sia necessario utilizzare nuove metodiche deve essere fornita un'adeguata documentazione che ne dimostri la "performance"; nei metodi deve essere specificato, soprattutto per agenti chimici cancerogeni e/o mutageni, il Limite di Rivelabilità (LOD - *Limit of Detection*) ed il Limite di Quantificazione (LDQ - *Limit of Quantitation*).

### Esposizione per via cutanea

Le modalità attraverso le quali può verificarsi un'esposizione per via cutanea sono l'immersione, il contatto superficiale e la deposizione. Quando si conosca l'indicatore biologico, la sua misura è il miglior modo di valutare l'esposizione complessiva, tuttavia è altrettanto utile misurare la potenziale esposizione per via cutanea in quanto, pur non essendo disponibili attualmente valori limite di esposizione cutanea, le stesse potranno fornire indicazioni utili per l'adozione delle misure di prevenzione procedurali, impiantistiche o individuali.

Non esistendo metodiche ufficiali per la misura diretta degli agenti chimici ai fini della valutazione dell'esposizione per via cutanea, l'igienista industriale deve scegliere il metodo più idoneo fra quelli riportati in letteratura: *Pads; Lavaggio cutaneo; Wipe tests; Indumenti.*

### Conclusioni

Per valutare l'esposizione professionale ad agenti chimici ai sensi del D.Lgs. 81/08 s.m.i. sono ad oggi disponibili "percorsi" che non contemplano la realizzazione di misure strumentali ed altri che sono basati su valutazioni statistiche dei livelli d'esposizione e quindi necessariamente su un numero significativo di valori di concentrazione delle sostanze aerodisperse o depositate sulla cute. Questi percorsi prevedono tutti, comunque, nella fase iniziale l'impegno di risorse umane dalla cui professionalità e scelte che ne derivano, dipende il giudizio sull'esposi-

zione professionale dei lavoratori e le azioni di prevenzione che ne conseguono. È quindi in questa fase iniziale del percorso di valutazione dei rischi che vanno investiti tempo e professionalità adeguate a superare le criticità sopra evidenziate.

### Bibliografia

- 1) Occupational Safety and Health Administration. Job hazard analysis. OSHA 3071; Revised; 2002.
- 2) National Academy of Science. Risk Assessment in the Federal Government: managing the process. National Academy of Science, National Academy Press, Washington, D.C. 1983, pp. 17-31.
- 3) Binetti R, Cappelletti F, Graziani R, Ludovisi G, Sampaolo A. Metodo indicizzato per l'analisi e la valutazione del rischio di determinate attività industriali. Fogli d'informazione ISPEL, 1989.
- 4) Associazione Ambiente e Lavoro, Dossier Ambiente. Chemical Exposure Operating Evaluation (CHEOPE). N° 58, 2° trimestre 2002.
- 5) Institut National de Recherche et de Sécurité. Bilan des méthodes d'analyse a priori des risques. Chaiers des Notes Documentaires, INRS, N° 138, 1990.
- 6) Govoni C, Monterastelli G, Spagnoli G. Gruppo di Lavoro "Agenti Chimici, Cancerogeni e Mutageni" Assessorato alla Sanità - Regione Emilia Romagna, Albonetti A, Arcari C, Bosi A, Di Stefano S, Ferdenzi P, Ferrari M, Ganzi A, Govoni C, Marchesini B, Migliorini M, Passera G, Veneri L. La valutazione e la giustificazione del rischio. Il concetto di rischio moderato. Prevenzione e Protezione da agenti chimici pericolosi, Atti del Convegno Nazionale RisCh'2002, 79-110, Modena, 27 settembre 2002.
- 7) Cottica D. Le norme UNI allegata al D.Lgs n. 25/2002: il campionamento in igiene industriale. G Ig Ind 2003; 28: 16-25.
- 8) Apostoli P, Facco P. Gli indicatori biologici di esposizione nella valutazione del rischio. Atti del 19° Congresso nazionale della Associazione Italiana degli Igienisti Industriali, Napoli, 6-8 giugno 2001, pp. 2-9.
- 9) Associazione Italiana degli Igienisti Industriali, Guide operative di igiene industriale. Strategie di controllo dei fattori di rischio chimici negli ambienti di lavoro. II edizione 1998, AIDII, Milano, 1998.
- 10) USEPA/ACS. Performance-based measurement systems (PBMS). Evaluation of a approaches to improve the quality and cost-effectiveness of environmental monitoring. Final report for USEPA/ACS cooperative agreement CX-825780-01-0. ACS, Washington D.C., maggio 2000.  
(Internet: [www.acs.org/government/publications/index.html](http://www.acs.org/government/publications/index.html)).
- 11) Environmental Protection Agency. Pesticide Assessment Guidelines Subdivision U. Applicator Exposure Monitoring. EPA 540/9-87-127 Washington DC: Office of pesticide programs, 1987.
- 12) Du Bois D, Du Bois E. A formula to estimate the approximate surface if height and weight are known. Clinical calorimetry, tenth paper. Arch Intern Med 1916; 17: 863-871.

**Richiesta estratti:** Danilo Cottica - Centro Ricerche Ambientali Fondazione S. Maugeri, Via Svizzera 16, 35127 Padova, Italy.

M.C. Aprea

## Esposizione e assorbimento cutaneo

Laboratorio di Sanità Pubblica Area Vasta Toscana Sud-Est, Azienda USL 7 di Siena, Regione Toscana, Strada del Ruffolo, Siena

**RIASSUNTO.** La valutazione dell'esposizione dermica, che può avvenire in differenti modi in dipendenza della tipologia di sostanza e dello scenario di esposizione, è inquadrata dalle norme CEN/TR 15278:2006 e CEN/TS 15279:2006. I metodi diretti di misura (intercettazione, rimozione, misure in loco) hanno il vantaggio rispetto ai metodi indiretti (misure biologiche, tecniche di rimozione dalle superfici) di differenziare la via cutanea dalle altre vie di esposizione (inalatoria e digestiva), di identificare la zona cutanea a più alta esposizione e di misurare il livello di protezione offerto da indumenti e DPI. In aggiunta, diversi modelli possono fornire stime di esposizione utilizzabili come approcci preliminari alla valutazione. In questo contributo si descrivono le modalità di contaminazione cutanea per poi discutere sulle tecniche di misura e sui fattori che influenzano l'assorbimento con lo scopo finale di valutare e gestire il rischio derivante da questa via di esposizione per molti anni trascurata.

**ABSTRACT.** *DERMAL EXPOSURE AND ABSORPTION. Dermal exposure assessment explores the dynamic interaction between environmental contaminants and the skin. The measure of skin exposure can be made using direct methods (interception techniques, removal techniques from skin, in situ detection) or indirect methods (biological monitoring, removal techniques from surfaces). The selection of the appropriate sampling method will depend on a range of factors (the sampling objectives, the compartment or transport process of interest, the nature of the agent and the analytical methods to be used) and should be part of a coherent and documented sampling strategy. In this work we describe the processes leading to exposure, in relation to the presence of clothing or protective garments, discuss on factors that influence skin penetration (both the physiologic characteristics of the skin and the physico-chemical nature of the compound that comes into contact with the skin) with the purpose to assess and manage the risk of skin exposure.*

**Key words:** skin exposure evaluation, biological monitoring, factors influencing skin penetration.

### Introduzione

Schneider (1) descrive le modalità di esposizione dermica prendendo in considerazione sei compartimenti, otto processi di trasporto di massa e due barriere. Le tecniche di valutazione sono inquadrare dalle norme CEN/TR 15278:2006 (2) e CEN/TS 15279:2006 (3).

Per la valutazione del rischio, sebbene siano stati fatti tentativi per la definizione di health-based DOELs (Dermal Occupational Exposure Limits) (4), si esegue di solito la comparazione tra le dosi assorbite e le dosi accettabili definite a partire dai NOAELs (no-observed-adverse-effect level) comunemente estrapolati da esperimenti su animali.

Obiettivo di questo contributo è quello di discutere sui principi su cui si basano le tecniche di misura e sui fattori che influenzano l'assorbimento con lo scopo finale di valutare il rischio derivante da questa via di esposizione per molti anni trascurata.

### I metodi di misura

Le misure biologiche, che fanno parte dei metodi indiretti, sono in grado di fornire una misura integrata della dose assorbita per via dermica, inalatoria e digestiva se si conoscono metabolismo e tossicocinetica della sostanza, preferibilmente sull'uomo (5). Tra gli svantaggi possiamo individuare interferenze o reattività incrociate, azioni invasive per il prelievo del sangue, necessità di metodi analitici specifici e sensibili e di modalità adeguate per interpretare i risultati (valori limite biologici, valori di riferimento, dati di pre-esposizione). In casi di elevata velocità di rimozione, risospensione o evaporazione, il monitoraggio biologico, eventualmente dopo protezione della via respiratoria, è la tecnica elettiva di misura.

Altri metodi indiretti quali le tecniche di rimozione dalle superfici, misurano la massa totale di sostanza presente oppure la quota disponibile per il trasferimento alla cute. L'OSHA ha pubblicato linee guida per la valutazione dei metodi di campionamento superficiale (6) alcuni dei quali sono stati pubblicati dal NIOSH per piombo ed ele-

menti. Il campionamento può essere eseguito per lavaggio, aspirazione e strofinamento manuale o meccanico con tamponi bagnati (wipe test). I metodi di campionamento devono avere un'efficienza del 100% per valutare l'intera massa di contaminante sullo strato superficiale. Per misurare il trasferimento alla cute o agli strati esterni degli indumenti, la misura può essere eseguita sulla popolazione esposta (7) e la quantità trasferita dipende dal tipo di superficie, dal contaminante e dalle forze esercitate durante il contatto.

I metodi diretti hanno il vantaggio, rispetto al monitoraggio biologico, di differenziare la cutanea dalle altre vie di assorbimento, di identificare la zona a più alta esposizione, di misurare il livello di protezione dei DPI e di utilizzare campionamenti non invasivi. Tra gli svantaggi la stabilità dell'agente chimico sul substrato di raccolta e l'interferenza dei campionamenti con l'attività lavorativa. I principi su cui si basa la misura possono essere l'intercettazione (uso di surrogati cutanei), la rimozione o la lettura diretta (metodi in loco).

L'intercettazione del trasporto di massa del contaminante è eseguita utilizzando un mezzo di raccolta, posizionato sulla cute o sugli indumenti, successivamente analizzato per dosare il contaminante. Tali tecniche non tengono conto dell'ampia variabilità inter- e intra-individuale della cute (secca, umida, coperta da peli o capelli, liscia, ruvida, callosa) e l'aderenza del contaminante al surrogato non è la stessa che sulla cute. L'intercettazione non è adeguata per sostanze con retrodiffusione significativa. Due tipi di approccio sono possibili (8): pads (patches) che coprono una piccola parte dell'area cutanea da campionare e indumenti che coprono intere regioni o addirittura tutto il corpo (Whole Body Garment Samplers). Specifici metodi tramite patches sono stati pubblicati dal NIOSH per erbicidi clorurati e organoazotati e per captan e thiophanate-methyl.

Alcuni parametri (materiale, supporto, tecnica costruttiva) devono essere oculatamente scelti per i pads; la loro dimensione deve essere esatta e nota in quanto il risultato è espresso per unità di superficie e l'esposizione calcolata estrapolando i livelli di contaminazione del pad all'intera area cutanea rappresentata. Il materiale è scelto in base all'efficienza di campionamento e recupero basandosi sulle sue proprietà di rugosità, porosità e capacità di assorbimento: si usano materiali porosi per aerosol solidi, assorbenti per aerosol liquidi e adsorbenti per vapori. L'alfacellulosa è stata particolarmente impiegata per liquidi scarsamente volatili, la garza chirurgica o il tessuto non tessuto per polveri secche e materiali granulari, la tela di carbone attivo per sostanze volatili (9), la fibra di vetro, il cotone, la schiuma poliuretanic, il polipropilene in altre situazioni. Il pad è collocato su un supporto impermeabile (plastica o alluminio) per aumentare la robustezza, consentire l'apposizione, evitare la diffusione della sostanza alla cute. La manipolazione deve essere eseguita con cura per evitare contaminazioni o perdite di sostanza. Il tempo di esposizione può corrispondere al turno di lavoro o a periodi più brevi se si sospetta un superamento della capacità massima del substrato. I pads possono essere collocati a contatto con la pelle e/o sopra agli indumenti se-

condo gli obiettivi della misura (dose potenziale, dose reale, grado di protezione assicurato dai DPI). Le posizioni cutanee e il loro numero dipendono dal pattern di esposizione e dal protocollo seguito (10, 11).

La rappresentatività dei pads dipende dalla distribuzione del contaminante sulla zona cutanea: in caso di distribuzione uniforme forniscono dati rappresentativi, in caso contrario si può avere sovrastima o sottostima della dose. Tale approssimazione può essere superata usando indumenti (cotone, misto cotone/poliestere, Tyvek), che coprono intere superfici cutanee (guanti, calzini, magliette, tute), possono essere indossati per tutto il turno o sostituiti a vari intervalli di tempo ed essere analizzati in toto o dopo sezionamento.

Le tecniche di rimozione misurano la quota di sostanza che può essere asportata dalla cute al momento del campionamento. Il principio è quello di applicare una forza esterna che eguagli o superi la forza di adesione del contaminante alla cute: azione meccanica, trascinamento idrodinamico e azione chimica bagnante. La rimozione può avvenire tramite lavaggio, strofinamento (wiping) o asportazione a strappo con un nastro adesivo (adhesive tape strip samples) che viene attaccato e staccato più volte in zone cutanee prestabilite ottenendo una asportazione dello strato corneo. In genere tali tecniche sottostimano l'esposizione: la sostanza è continuamente assorbita, evapora o sublima e non viene asportata completamente.

I prelievi con adesivo presentano il punto critico dalla capacità di rimozione correlata con il tipo di adesivo, con la zona cutanea e con le caratteristiche della sostanza. Mostrano applicazioni particolari nel caso di metalli (12), derivati petroliferi (13) e isocianati (14).

La tecnica di "wiping" utilizza una forza esterna manuale applicata tramite un mezzo di raccolta umettato (combinazione di forze meccaniche e di dissoluzione). In pratica prevede l'impiego di tamponi (garza, cotone, spugne) imbevuti in acqua, acqua saponata, alcool, soluzioni di vari solventi (acetone, isopropanolo, etc.), con i quali si strofina manualmente una parte definita di cute. Per ridurre la variabilità dei risultati è necessario standardizzare le modalità di prelievo (superficie, esecutore, numero di passaggi, pressione esercitata). Con tale tecnica non possono essere esclusi effetti irritativi specialmente quando lo strofinamento viene eseguito più volte per incrementare l'efficienza di rimozione.

Per il lavaggio si possono identificare due metodi di base. Il primo prevede la rimozione per combinazione di forze meccaniche e di dissoluzione generate da agitazione delle mani in un liquido (bag method). Nel secondo caso il contatto della pelle con il liquido provoca la rimozione per una combinazione del trascinamento idrodinamico e della dissoluzione (pouring method). Il lavaggio, applicabile sostanzialmente alle mani ai polsi e all'avambraccio, è molto utilizzato per sostanze scarsamente assorbite per via cutanea. La massa recuperata nel liquido di lavaggio è indicativa dell'esposizione durante il turno di lavoro se le mani sono state decontaminate prima dell'attività lavorativa. Specifici metodi di campionamento tramite lavaggio delle mani sono stati pubblicati dal NIOSH per erbicidi clorurati e organoazotati e per captan e thiophanate-methyl.

Con i metodi in loco (metodi a lettura diretta) viene misurata la quantità di sostanza o di un tracciante (fluorescente, colorato o con un vantaggioso assorbimento nell'infrarosso) aggiunto in concentrazione nota alla sorgente per visualizzare la dispersione dell'inquinante nell'ambiente di lavoro o sulla cute durante la normale attività lavorativa (15). Il tracciante dovrebbe essere scelto in base alla sua adeguatezza come contaminante cutaneo e ambientale e come surrogato per il progetto dello studio. Per la misura si possono impiegare sonde luminose, video immagine (sorgenti luminose nel vicino UV o nel visibile) o la spettroscopia infrarossa a trasformata di Fourier. La tecnica è costosa ma l'utilizzo a fini qualitativi è utile per la formazione degli operatori e per identificare le posizioni più idonee per il posizionamento dei pads (16).

---

### Fattori che influenzano l'assorbimento cutaneo

L'assorbimento cutaneo dipende dalle caratteristiche fisiologiche della pelle (sito di esposizione, sesso, età, condizioni cutanee, idratazione, vasodilatazione, temperatura, occlusione), dalla natura chimico-fisica del composto (coefficiente di ripartizione, polarità, struttura chimica, volatilità, concentrazione) e da fattori legati all'esposizione (mansione, durata dell'esposizione, uso di indumenti e DPI, condizioni di igiene personale) (17).

Alcuni autori (18) hanno dimostrato che l'assorbimento di pesticidi sulla cute umana è dipendente dal sito di applicazione anche in relazione con lo spessore dello strato corneo e con il numero di follicoli presenti. Differenze di permeabilità possono essere collegate al sesso: studi su animali dimostrano una tossicità sesso-collegata per diverse sostanze (19). Riguardo all'età i bambini hanno mostrato uno strato corneo completamente funzionale per le proprietà barriera, mentre la tossicità di composti lipofili può essere ridotta negli anziani dalla diminuita quantità cutanea di lipidi (20).

Per la maggior parte dei composti, la penetrazione cutanea è limitata dalla diffusione attraverso lo strato corneo, tuttavia se l'epidermide non è intatta a causa di malattia (psoriasi, eczema, dermatiti, eruzioni) o danneggiamento fisico-meccanico (tagli, ferite, abrasioni, bruciature solari) si può riscontrare un rischio particolare di assorbimento. La permeabilità cutanea è inversamente proporzionale allo spessore dello strato corneo a sua volta influenzato dall'idratazione: esiste un incrementato rischio di assorbimento in scenari quali il bagno, la doccia e le attività natatorie nei quali la pelle è ben idratata rispetto a situazioni nelle quali la pelle è secca. L'incremento di umidità e/o temperatura di un ambiente di lavoro può agire sull'idratazione cutanea e di conseguenza sull'assorbimento: un recente lavoro (21) dimostra che l'assorbimento di omethoate, valutato tramite l'escrezione giornaliera di alchilfosfati, aumenta con l'incremento dell'umidità ambientale. Analogamente un incremento di temperatura associato ad un incremento di umidità può aumentare la permeazione di imidacloprid attraverso gli indumenti protettivi (22).

Le sostanze che meglio penetrano la barriera cutanea sono quelle solubili sia nei lipidi che in acqua. La costante

di ripartizione ottanolo/acqua (Ko/w) sembra essere un buon predittore dell'assorbimento nel senso che all'aumentare della lipofilità si osserva un incremento della permeabilità. Gli acidi e le basi deboli nella loro forma non dissociata sono maggiormente assorbiti: lo stato di ionizzazione è dipendente dal pH e l'incremento di penetrazione può essere associato anche alla distruzione della barriera cutanea causata dalle condizioni aggressive del mezzo. Le molecole di grandi dimensioni sono scarsamente assorbite anche a causa della scarsa solubilità nei grassi ma un solvente liposolubile può incrementare l'assorbimento. La volatilità può causare la perdita della sostanza dalla superficie cutanea: gli indumenti e il bendaggio occlusivo possono ridurre l'evaporazione e quindi incrementare l'assorbimento. L'assorbimento cutaneo aumenta con la quantità di sostanza presente per unità di superficie quando è regolato dalla legge di Fick, ossia nel caso in cui il contaminante non danneggi la superficie cutanea.

---

### Conclusioni

La cute è un organo complesso attraverso il quale alcuni composti sono assorbiti in misura maggiore di altri. Il monitoraggio biologico è una tecnica importante ma i metodi non sono sempre disponibili, pertanto l'implementazione di tecniche dirette e la conoscenza dei fattori che possono influenzare la velocità di assorbimento è importante per definire il contributo che questa via fornisce all'esposizione totale.

---

### Bibliografia

- 1) Schneider T, Vermeulen R, Brouwer DH, Cherrie JW, Kromhout H, Fogh CL. Conceptual model for assessment of dermal exposure. *Occup Environ Med* 1999; 56: 765-773.
- 2) CEN/TR 15278:2006: Workplace exposure-strategy for the evaluation of dermal exposure.
- 3) CEN/TS 15279:2006: Workplace exposure-measurement of dermal exposure-Principles and methods.
- 4) Brouwer DH, Hoogendoorn L, Bos PMJ, Boogaard PJ, van Hemmen JJ. Proposal for the assessment of quantitative dermal exposure limits in occupational environments: part 2. Feasibility study for application in an exposure scenario for MDA by two different dermal exposure sampling methods. *Occup Environ Med* 1998; 55: 805-811.
- 5) Wollen B.H. Biological monitoring for pesticide absorption. *Ann Occup Hyg* 1993; 37: 525-540.
- 6) OSHA. Evaluation guidelines for surface sampling methods. <http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/surfacesampling/surfacesampling.html>.
- 7) Krieger R, Blewett C, Edmiston S, Fong H, Gibbons D, Meinders D, O'Connell L, Ross J, Schneider F, Spencer J, Thongsinthusak T. Gauging pesticide exposure of handlers (mixer/loaders/applicators) and harvesters in California agriculture. *Med Lav* 1990; 81: 474-479.
- 8) Soutar A, Semple S, Aitken RJ, Robertson A. Use of Patches and Whole Body Sampling for the Assessment of Dermal Exposure. *Ann Occup Hyg* 2000; 44 (7): 511-518.
- 9) van Wendel de Joode B, Tielemans E, Vermeulen R, Wegh H, Kromhout H. Dermal exposure assessment to benzene and toluene using charcoal cloth pads. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2005; 15 (1): 47-50.
- 10) EPA Pesticide Assessment Guidelines Subdivision U, Applicator Exposure Monitoring. EPA 540/9-87-127. Washington DC, Office of pesticide programs (1987).

- 11) WHO. Field surveys of exposure to pesticides: standard protocol. Pesticide development and safe use unit, division of vector biology and control. *Toxicol Lett* 1986; 33: 223-235.
- 12) Cullander C, Grant PG, Bench G. Development of a low-metal adhesive tape to detect and localize metals in or on the stratum corneum at parts per million levels. *Skin Pharmacol Appl Skin Physiol* 2001; 14 (S1): 46-51.
- 13) Mattorano DA, Kupper LL, Nylander-French LA. Estimating dermal exposure to jet fuel (naphthalene) using adhesive tape strip samples. *Ann Occup Hyg* 2004; 48 (2): 139-146.
- 14) Fent KW, Jayaraj K, Gold A, Ball LM, Nylander-French LA. Tape-strip sampling for measuring dermal exposure to 1,6-hexamethylene diisocyanate. *Scand J Work Environ Health* 2006; 32 (3): 225-240.
- 15) Cherrie JW, Brouwer DH, Roff M, Vermeulen R, Kromhout H. Use of qualitative and quantitative fluorescence techniques to assess dermal exposure. *Ann Occup Hyg* 2000; 44 (7): 519-522.
- 16) Fenske RA. Non uniform dermal deposition patterns during occupational exposure to pesticides. *Arch. Environ Contam Toxicol* 1990; 19: 333-337.
- 17) Semple S. Dermal exposure to chemicals in the workplace: just how important is skin absorption? *Occup Environ Med* 2004; 61: 376-382.
- 18) Poet TS, McDougal JN. Skin absorption and human risk assessment. *Chemico-Biological Interactions* 2002; 140:19-34.
- 19) Bronaugh R L, Stewart RF, Congdon ER. Differences in permeability of rat skin related to sex and body site. *J Sot Cosmet Chem* 1983; 34: 127-135.
- 20) Atherton DJ, Rook A. The newborn. In: Rook A, Wilkinson DS, Ebling FJ, Champion RH, Burton JL eds. *Textbook of dermatology*. 4th ed. New York, NY: BlackWell Scientific Press; pp. 229 (1986).
- 21) Aprea C, Centi L, Santini S, Lunghini L, Banchi B, Sciarra G. Exposure to omethoate during stapling of ornamental plants in intensive cultivation tunnels: influence of environmental conditions on absorption of the pesticide. *Arch Environ Contam Toxicol* 2005; 49 (4): 577-588.
- 22) Aprea C, Lunghini L, Banchi B, Peruzzi A, Centi L, Coppi L, Bogi M, Marianelli E, Fantacci M, Catalano P, Benvenuti A, Miligi L, Sciarra G. Evaluation of inhaled and cutaneous doses of imidacloprid during stapling ornamental plants in tunnels or greenhouses. *J Exp Sci Environ Epidemiol* 2009; 9 (6): 555-569.

**Richiesta estratti:** *Maria Cristina Aprea - Laboratorio di Sanità Pubblica Area Vasta Toscana Sud Est, Azienda USL 7, Strada del Ruffolo, 53100 Siena, Italy - Phone +39 0577 536664, Fax +39 0577 536754, E-mail: c.aprea@usl7.toscana.it*

G. Nano

## Modelli per la valutazione delle esposizioni

Dipartimento di Chimica Materiali e Ingegneria Chimica, Politecnico di Milano

**RIASSUNTO.** La quantificazione delle esposizioni ha una grande importanza al fine di definire la correlazione con gli effetti osservati. In questi ultimi anni molti studi hanno elaborato metodologie per avere stime sempre più accurate e precise. Particolare rilievo hanno avuto le strategie per minimizzare gli errori e per supportare le decisioni collegate al risultato delle misure. In particolare nel campo epidemiologico sono stati sviluppati modelli matematici per la stima delle esposizioni pregresse.

**ABSTRACT.** *CHEMICAL RISK ASSESSMENT. Determination of the effect an agent has on health requires that the dose of the agent to a person be defined as accurately as possible. The correct estimation of exposure for occupational studies has received increasing attention in recent years and, as a result, a body of methodological literature has begun to take form. The importance of 'analysis and control of errors in exposure assessment, and integration with decision-making processes, is emphasized. This paper reviews the issues in the methodology of exposure assessment, particularly methods for quantitative retrospective assessment studies. The advantages of the use of validated statistical models are discussed.*

### Introduzione

La determinazione degli effetti che un agente di rischio ha sulla salute richiede un'accurata ricostruzione dell'esposizione.

Per una corretta quantificazione dell'esposizione, sia attuale sia passata, si devono tenere in conto alcuni punti centrali: l'identità della sostanza, le modalità di esposizione, la concentrazione presente e il tempo di esposizione.

La presenza di una sostanza in ambiente di lavoro e la sua concentrazione può essere descritta sinteticamente attraverso un bilancio di materia: infatti la sua presenza in termini di quantità assoluta si ricava da un semplice bilancio.

### Accumulo = Ingresso - Uscita

Se consideriamo un generico ambiente (figura 1) dove sono presenti una o più sorgenti di inquinamento (S) con una portata di generazione (G), nel quale viene introdotta una portata d'aria di ricambio (Q) ed estratta una pari quantità di aria contaminata dall'inquinante in concentrazione C, introducendo alcune semplificazioni la condizione precedente si traduce nella seguente equazione:

$$\frac{d(VC)}{dt} = \sum G - \sum Q C$$

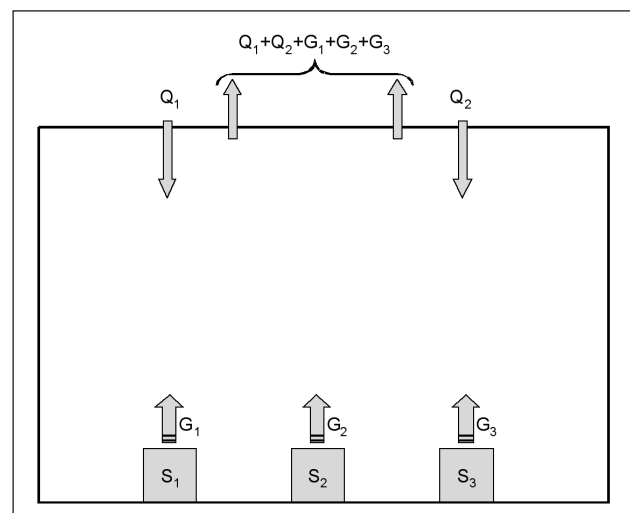


Figura 1. Schematizzazione di un ambiente di lavoro

La cui soluzione in condizione stazionaria (non ci sono variazioni significative) e nell'ipotesi di perfetta miscelazione (l'inquinante è distribuito uniformemente nell'ambiente) la concentrazione è data da:

$$C = \frac{\sum G}{\sum Q}$$

La stima della portata di generazione presenta alcune difficoltà che possono essere superate conoscendo i meccanismi con cui tali sostanze vengono rilasciate in ambiente. Se prendiamo ad esempio l'evaporazione da una vasca o da un recipiente aperto è sufficiente conoscere: la sostanza contenuta, la temperatura e la superficie libera evaporante; la portata (G) può essere stimata da:

$$G = A \cdot K \cdot \frac{M}{RT} \cdot P^\circ$$

Dove:

- A = Superficie libera evaporante
- K = Coefficiente di trasporto
- M = Massa molecolare della sostanza
- R = Costante universale dei gas
- T = Temperatura assoluta
- P° = Tensione di vapore della sostanza

Poiché le portate di ventilazione sono facilmente misurabili, si può affermare che, a meno di alcune semplificazioni, la concentrazione media di una sostanza in un ambiente di lavoro può essere stimata.

### Variabilità delle esposizioni

Come è noto in un ambiente di lavoro la concentrazione non è uniforme e non è costante nel tempo; il problema della non omogeneità della concentrazione può essere affrontato in vari modi tra cui quello di introdurre un coefficiente moltiplicativo *k* (facilmente reperibile in letteratura), che da conto dei fenomeni di non perfetta miscelazione.

$$\bar{C} = \frac{\sum G}{\sum Q} K$$

Questo modo di procedere tuttavia non è soddisfacente e viene in genere utilizzato per stimare la concentrazione in un ambiente confinato al fine di programmare le misure per la determinazione delle esposizioni. Tale modello, infatti, non da conto della variabilità temporale; per ogni singolo lavoratore l'esposizione dipenderà dai periodi di permanenza in un determinato luogo e dalla concentrazione che l'inquinante assume in quel determinato momento.

Per semplificare la trattazione, non disponendo di tutti i valori di concentrazione, si può scrivere un modello semplificato che divida l'esposizione in esposizione diretta (in prossimità della sorgente) e indiretta (derivante da sorgenti lontane)

Con questa assunzione, per il singolo (*j*) lavoratore, possiamo scrivere il modello che ci dà una stima della concentrazione media a cui è esposto:

$$\bar{C}_j = \frac{\sum_j (C_{vs,j} \cdot t_{vs,j} + C_{ls,j} \cdot t_{ls,j})}{\sum_i (t_{vs,j} + t_{ls,j})}$$

Dove:

- C<sub>vs</sub> = Concentrazioni in prossimità delle sorgenti nelle diverse fasi
- C<sub>ls</sub> = Concentrazioni nelle zone lontane dalla sorgente
- t = Tempo di effettiva esposizione ad una determinata concentrazione

Se consideriamo tutti i lavoratori presenti in un determinato ambiente possiamo scrivere per il generico lavoratore (*j*) nel generico giorno (*i*):

$$C_{ij} = \mu \pm \beta_j \pm \varepsilon_{ij}$$

Dove:

- C<sub>ij</sub> = Esposizione del lavoratore *j* il giorno *i*
- μ = Valore medio del gruppo
- β<sub>j</sub> = Deviazione dell'esposizione media del lavoratore *j* dalla media di gruppo
- ε<sub>ij</sub> = Deviazione dall'esposizione media del lavoratore *j* il giorno *i*

Questa formulazione da conto sia della variabilità spazio temporale dell'esposizione dei singoli lavoratori, sia delle diverse esposizioni tra lavoratore e lavoratore.

Per minimizzare la differenza tra il valore medio del gruppo e il valore medio del singolo lavoratore è necessario minimizzare il valore di β<sub>j</sub> utilizzando un'accurata analisi di impianto, di processo e di mansione per identificare un gruppo a profilo di esposizione equivalente la cui esposizione media diviene quindi, a meno di una incertezza predeterminata, rappresentativa di tutti i lavoratori del gruppo.

Bisogna anche tener conto che le misure di una sostanza in un ambiente di lavoro sono sempre affette da errori; che possono essere genericamente distinti in errori sistematici e errori casuali; la relazione tra concentrazione vera (C<sub>v</sub>) e concentrazione osservata (C<sub>o</sub>) può essere scritta nel seguente modo

$$C_v = C_o \pm \alpha \pm \gamma$$

L'effetto dei due errori è schematizzato in figura 2.

Si noti come l'errore sistematico abbia solo un effetto di traslazione sui dati (la pendenza rimane costante) mentre l'errore casuale determina una distorsione del dato (la pendenza varia).

Effettuando campionamenti di tipo casuale su un numero sufficiente di lavoratori, precedentemente distribuiti in gruppi a profilo di esposizione equivalente, è possibile stimare la variabilità giorno dopo giorno delle esposizioni rappresentative del gruppo e minimizzare gli effetti sopra descritti. In letteratura sono disponibili diversi metodi statistici per la definizione della numerosità campionaria e per la scelta dei campioni.



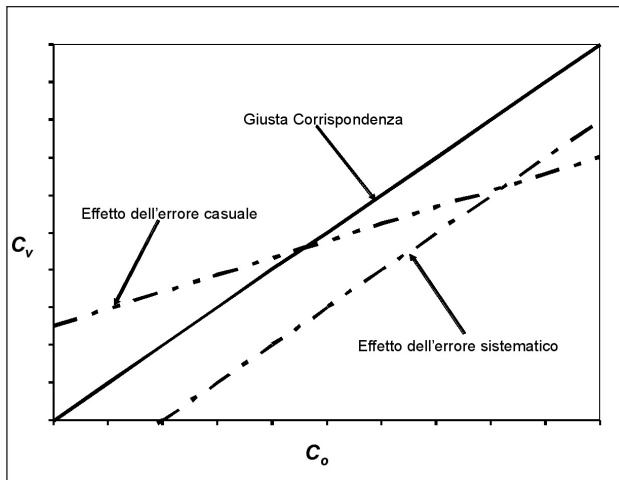


Figura 2. Effetti del tipo di errore sulla misura

### La ricostruzione delle esposizioni

Utilizzando tecniche di scelta dei campioni e tecniche statistiche di elaborazione dei dati ottenuti si possono determinare con una ragionevole certezza le esposizioni in atto e la previsione degli andamenti futuri a parità di condizioni; ad esempio è possibile utilizzare il test t di student per l'analisi dei dati attuali e l'OTL test per la previsione degli andamenti futuri.

Diverso è il discorso relativo alle esposizioni pregresse la cui ricostruzione riveste una grande rilevanza per gli studi epidemiologici.

Per la loro ricostruzione si possono distinguere due diversi casi:

1. la produzione non è più in atto;
2. la produzione è ancora in atto ma sono stati modificati alcuni parametri.

Nel primo caso è possibile solo effettuare una stima, più o meno cautelativa, degli intervalli nei quali potevano ricadere le esposizioni. Bisognerà comunque ricostruire le singole mansioni ed i relativi tempi di esposizione; un modello classico è quello utilizzato dalla CONTARP per ricostruire le passate esposizioni ad amianto.

Nel secondo caso la stima delle esposizioni pregresse può essere più precisa; infatti la concentrazione in un ambiente di lavoro si può descrivere come dipendente da una serie di coefficienti adimensionali indipendenti tra loro; i più importanti sono legati: alla quantità di inquinante generato, all'efficienza con cui l'inquinante viene allontanato dall'ambiente e alle modalità con cui questo inquinante viene a contatto con il lavoratore.

Il termine di generazione è legato alla produzione, il secondo termine all'efficienza degli impianti di aspirazione/ventilazione e il terzo termine dipende dalle condizioni di processo dalla tipologia di impianto e dalle modalità operative. Poiché, come detto, i tre termini sono indipendenti, l'effetto globale si ottiene moltiplicando tra di loro i relativi coefficienti. Se, ad esempio, si aumenta il termine di generazione (aumento della produzione) senza che gli altri parametri si modifichino; la concentrazione aumenta proporzionalmente.

Con questo modello, definito un set di misure, effettuate in un determinato anno, la concentrazione nello stesso luogo in anni in cui i parametri erano differenti è data da:

$$C_{past} = C_0 \cdot \prod_j \mu_{j,past}$$

Dove:

$C_{past}$  = concentrazione stimata relativa ad un periodo precedente

$C_0$  = concentrazione nota relativa ad un determinato periodo

$\mu_{j,past}$  = score del jesimo parametro relativo al periodo di stima

Condizione fondamentale per poter applicare un modello di questo tipo è disporre di un set di misure effettuate in modo da minimizzare i problemi derivanti dalla rappresentatività del gruppo, dalle differenze inter gruppo e dagli errori di misura. Solo in questo modo si può stimare, con sufficiente affidabilità, l'esposizione attuale ( $C_0$ ).

Dalla ricostruzione storica delle modifiche intervenute si attribuiscono i valori ai coefficienti adimensionali secondo lo schema riportato in tabella I. Per poter applicare questo semplice modello è indispensabile che ogni parametro individuato venga studiato approfonditamente per determinare la scala di punteggi da assegnare.

Un quarto parametro molto importante è l'uso dei mezzi di protezione individuale che in via cautelare non viene, in genere, preso in considerazione.

A volte, per gli anni pregressi, sono disponibili misurazioni ambientali di cui non si conoscono le modalità di indagine e che sono, quasi sempre, state fatte con campionamenti ambientali; è del tutto evidente che tali campionamenti non sono in grado di ricostruire l'esposizione nello stesso modo con cui si può ricostruire utilizzando i metodi che abbiamo visto. Tuttavia tali misure possono essere dei buoni stimatori dell'ordine di grandezza e come tali possono essere utilizzati, a posteriori, per verificare le stime del modello utilizzato.

Tabella I. Parametri per la valutazione dell'esposizione pregressa

Periodo	Parametri			
	Produzione	Tecnologia	Ventilazione	$\prod_j \mu_j$
Anno 0	1	1	1	1
Anno -1	$\mu_{1,-1}$	$\mu_{2,-1}$	$\mu_{3,-1}$	$(\mu_{1,-1}) \cdot (\mu_{2,-1}) \cdot (\mu_{3,-1})$
Anno -x	$\mu_{1,-x}$	$\mu_{2,-x}$	$\mu_{3,-x}$	$(\mu_{1,-x}) \cdot (\mu_{2,-x}) \cdot (\mu_{3,-x})$

## Applicazione del Metodo

Il metodo sopra descritto è stato applicato in due differenti stabilimenti caratterizzati solo dalla presenza del medesimo inquinante, ma che hanno produzioni, impianti, processi e condizioni operative completamente diversi.

La procedura è stata quella di assegnare i coefficienti dei tre parametri senza conoscere le misure relative agli anni precedenti, da questi parametri e dalle concentrazioni misurate per l'anno 0 sono stati ricostruiti gli andamenti espositivi. I dati storici disponibili sono stati successivamente posizionati sui grafici per verificare l'attendibilità delle simulazioni.

I risultati delle stime (linea continua), effettuate retrospettivamente per 20 anni, per due reparti delle due diverse aziende, sono confrontati con i dati disponibili (pallini) in figura 3.

Per i dati storici non sono note le modalità né la strategia di campionamento; si può comunque dire che non sono stati ottenuti con una metodologia accurata come quella utilizzata per l'anno 0. Ciò nonostante le stime (ottenute in modo indipendente) e i valori misurati sono sempre dello stesso ordine di grandezza e l'andamento della stima riproduce l'andamento dei valori misurati.

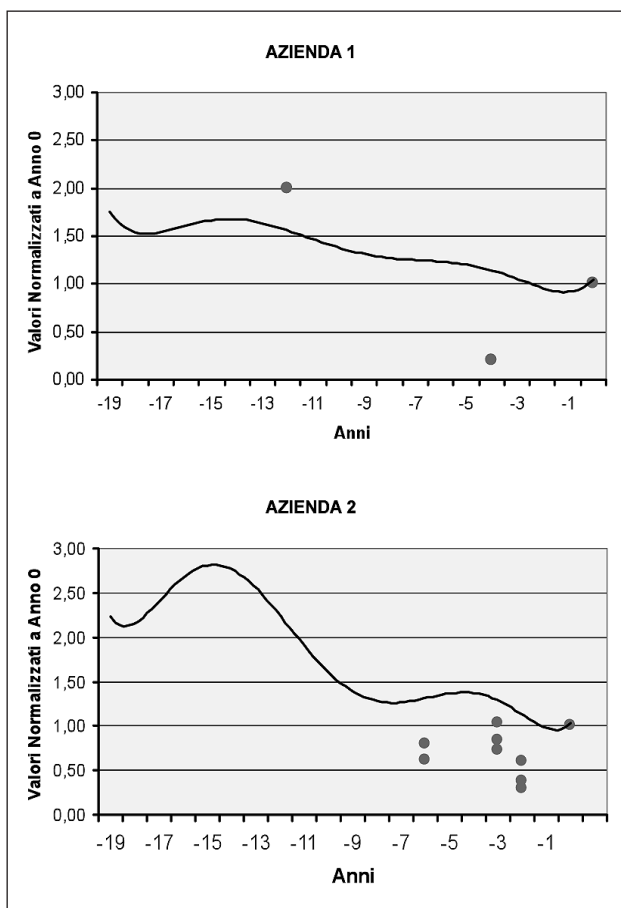


Figura 3. Confronto tra valori stimati e misurati in due diverse aziende

## Conclusioni

L'esposizione per via inalatoria viene stimata a partire dalla concentrazione ambientale degli inquinanti e dalle modalità operative; la concentrazione dipende da parametri chimico fisici che possono essere descritti così come le modalità operative.

Tenendo conto dei parametri che possono determinare errori nella quantificazione delle esposizioni, si può definire una strategia per la programmazione delle misure e per il loro trattamento che consenta di ottenere dati affidabili.

I risultati così ottenuti, possono essere utilizzati sia per la determinazione delle esposizioni attuali e future, sia, accoppiati ad opportuni modelli, per la stima delle esposizioni pregresse.

## Bibliografia

- 1) Kromhout H, Oostendorp Y, Heederik D, *et al.* Agreement between qualitative exposure estimates and quantitative exposure measurements. *Am J Ind Med* 1987; 12: 551-562.
- 2) Krantz S, Cherie JW, Schneider T, Ohberg I, Kamstrup O. Modelling of Past exposure to MMMF in the European rock/slag wool industry. *Arbete Och Hals*, ISBN 91-7045-102-8 1991.
- 3) Burdorf A. Shifting concepts in assessment of occupational exposures. *Ann Occup Hyg* 1993; 37: 447-50.
- 4) Seixas NS, Checkoway H. Exposure assessment in industry specific retrospective occupational epidemiology studies. *Occupational and Environmental Medicine* 1995; 52: 625-633.
- 5) Plato N, PhD, Gustavsson P, Krantz S. Assessment of Past Exposure to Man-Made Vitreous Fibers in the Swedish Prefabricated House Industry. *Am J Ind Med* 1997; 32: 349-354.
- 6) van Tongeren M J A, Barker R D, Gardiner K, Harris J M, Venables K M, Harrington J M, Newman Taylor AJ. Retrospective exposure assessment for a cohort study into respiratory effects of acid anhydrides. *Occup Environ Med* 1998; 55: 692-696.
- 7) Rappaport SM, Weaver M, Taylor D, *et al.* Application of mixed models to assess exposures monitored by construction workers during hot processes. *Ann Occup Hyg* 1999; 43: 457-69.
- 8) Cherie JW, Schneider T. Validation of a New Method for Structured Subjective Assessment of Past Concentrations. *Ann Occup Hyg* 1999; 43: No. 4.
- 9) Cherie JW. The Effect of Room Size and General Ventilation on the Relationship Between Near and Far-Field Concentrations. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 1999; 14: 539-546.
- 10) Peretz C, Goren A, Smid T, *et al.* Application of mixed-effects models for exposure assessments. *Ann Occup Hyg* 2002; 46: 69-77.
- 11) Burdorf A, Van Tongeren M. Variability in Workplace Exposures and the Design of Efficient Measurement and Control Strategies. *Ann Occup Hyg* 2003; 47 (2): 95-99.
- 12) Nano G. Strategie di Campionamento per garantire la rappresentatività delle misure per la valutazione del rischio: dal dato di gruppo al dato individuale. *Giornale degli Igienisti Industriali* 2005; 30 (3): 149-152.
- 13) Santantonio P, Nano G, Rutigliano L, Casciani M. Rischio chimico: rassegna critica ed analisi comparativa delle metodologie di valutazione dell'esposizione. *Atti 24° Congresso Nazionale A.I.D.I.I.* 2006, 90-95.
- 14) Nano G. La ricostruzione delle esposizioni. *Atti del 27° Congresso Nazionale A.I.D.I.I.* Verona 2009, 70-76.
- 15) He Y, Liang Y, Fu H. Application of Bayesian Methods to Exposure Assessment of Area Concentrations at a Rubber Factory. *Int J Environ. Res Public Health* 2009; 6: 622-634:

G. Sciarra<sup>1</sup>, M.C. Aprea<sup>1</sup>, D. Cardelli<sup>2</sup>, S. Giglioli<sup>2</sup>, S. Luni<sup>2</sup>, C. Nanni<sup>2</sup>, M. Ridoni<sup>2</sup>, L. Lucietto<sup>3</sup>, A. Giomarelli<sup>4</sup>, M. Fantacci<sup>5</sup>, E. Marianelli<sup>5</sup>

## Il documento di valutazione del rischio chimico: esperienze nelle piccole imprese

<sup>1</sup> Laboratorio di Sanità Pubblica Area Vasta Toscana Sud Est, Azienda USL 7 di Siena

<sup>2</sup> U.F. PISLL Zona Val di Chiana, Azienda USL 7 di Siena

<sup>3</sup> U.F. PISLL Zona 1, Azienda USL 9 di Grosseto

<sup>4</sup> U.F. PISLL Zona 2, Azienda USL 9 di Grosseto

<sup>5</sup> U.F. PISLL Zona 4, Azienda USL 9 di Grosseto

**RIASSUNTO.** Sono state esaminate 60 valutazioni di rischio chimico provenienti da aziende di 19 comuni delle province di Siena e Grosseto. L'esame delle valutazioni è stato condotto inizialmente verificando la coerenza interna dei documenti, successivamente quanto emerso è stato analizzato congiuntamente con il personale che aveva effettuato il sopralluogo. Nonostante che in 12 aziende sia stata dichiarata la presenza di cancerogeni solamente in 5 sono state effettuate misure di monitoraggio dell'esposizione, le altre hanno utilizzato modelli o altre tecniche. Complessivamente è emerso che solo 8 valutazioni su 60 (13,3%) erano state redatte correttamente.

**ABSTRACT.** *THE DOCUMENT OF CHEMICAL RISK ASSESSMENT: EXPERIENCES IN SMALL COMPANIES.* Were examined 60 documents of chemical risk assessment of companies from 19 municipalities in the provinces of Siena and Grosseto. The review of evaluations was conducted initially by checking the internal coherence of the documents. What emerged was subsequently analyzed together with the staff who performed the inspection. Although in 12 companies has been declared the presence of carcinogens, in only 5 the evaluation of exposure have been done using measures, others have used models or other techniques. Overall assessment showed that only 8 out of 60 (13.3%) were wrote correctly.

**Key words:** chemical risk assessment.

### Introduzione

Il D.Lgs 25/2002 (1), successivamente recepito integralmente dal D.Lgs 81/2008 (2), ha per la prima volta in Italia introdotto l'obbligo per il datore di lavoro di redigere un documento di valutazione del rischio chimico da allegare al documento di valutazione del rischio di cui agli articoli 17 comma 1 lettera a) e 28 del D.Lgs 81/2008 (2). Generalmente il datore di lavoro per la redazione di detto documento si avvale di un consulente esterno che nella grande maggioranza dei casi è un igienista industriale spesso anche iscritto all'AIDIL.

Dopo sette anni dall'entrata in vigore di questo obbligo di legge, in occasione del 27° Congresso AIDIL, che prevede una apposita sessione sulla "Gestione e prevenzione del rischio chimico", ci è sembrato interessante effettuare una indagine conoscitiva su come vengono redatti i documenti di valutazione dei rischi chimici. Conseguentemente, in collaborazione con alcune Unità Funzionali di Prevenzione Igiene e Sicurezza nei Luoghi di Lavoro (U.F. PISLL), sono state raccolte ed esaminate un certo numero di valutazioni del rischio chimico provenienti dalle aziende di alcune zone delle province di Siena e Grosseto. La presente relazione illustra i risultati di questa indagine.

### Materiali e metodi

Visto il tessuto produttivo presente nelle province di Siena e Grosseto, l'indagine ha riguardato solo piccole aziende.

I documenti di valutazione del rischio chimico sono stati raccolti dalle U.F. PISLL durante la normale attività di sorveglianza nell'anno 2008 prima dell'entrata in vigore del D.Lgs 81/2008.

L'esame delle valutazioni è stato condotto in un primo momento in cieco ovvero senza conoscere le aziende, procedendo quindi ad una sorta di esame della coerenza interna dei documenti. In un secondo momento il risultato del primo esame è stato analizzato con il personale che aveva effettuato il sopralluogo allo scopo di verificare se la descrizione del ciclo produttivo, i pericoli individuati ecc. corrispondevano a quanto rilevato durante i sopralluoghi.

**Tabella I. Tipologie produttive delle aziende indagate**

Tipologia produttiva	N. Aziende	%
Agricoltura/produzione di vino	12	20.0
Calzature	1	1.7
Stoccaggio e distribuzione gas	1	1.7
Grafica/serigrafia	1	1.7
Lavorazione della gomma	1	1.7
Lavorazione del sughero	1	1.7
Legno e altro	1	1.7
Legno/Falegnameria	20	33.3
Metalmeccanica	4	6.7
Metalmeccanica e legno	1	1.7
Facchinaggio e manutenzione aree verdi	1	1.7
Parrucchiere/estetica	3	5.0
Produzione calcestruzzi	1	1.7
Imprese di pulizia	1	1.7
Lavorazione traversine ferroviarie dismesse	2	3.3
Terrecotte	1	1.7
Tipografia	4	6.7
Trattamento acque reflue	2	3.3
Trattamento rifiuti	2	3.3

Per schematizzare al massimo i risultati dell'indagine si è deciso di raggruppare le valutazioni in quattro categorie di seguito riportate:

- *Valutazioni completamente insufficienti o sbagliate*: valutazioni che per omissioni di rischi palesemente presenti in azienda, per gravi mancanze rispetto alla normativa ecc. risultavano inaccettabili.
- *Valutazioni moderatamente insufficienti*: valutazioni che pur coerenti nella forma presentavano lacune o considerazioni sbagliate.
- *Valutazioni sufficienti*: valutazioni che seppure in presenza di qualche imperfezione o errore nel complesso sono risultate sufficienti al primo (esame in cieco) ed al secondo esame (esame di verifica condotto insieme al personale che aveva effettuato il sopralluogo).
- *Valutazioni pienamente sufficienti*: valutazioni corrette sotto ogni punto di vista.

## Risultati

Complessivamente sono state raccolte 60 valutazioni di rischio chimico provenienti da aziende di 19 comuni delle province di Siena e Grosseto. La tabella I riporta le tipologie produttive presenti nelle aziende indagate.

La tabella II riporta il numero di addetti rilevato dalle valutazioni di rischio.

La maggioranza delle valutazioni è stata condotta da un valutatore esterno anche se alcune sono state redatte dal datore di lavoro (vedasi tabella III).

La valutazione del rischio chimico non è stata quasi mai condotta tramite misure, nella grandissima maggioranza dei casi sono stati utilizzati algoritmi o modelli di cui spesso non si dichiarava la provenienza né se ne spiegava il significato o la tipologia di calcolo sottesa al modello. La tabella IV riporta schematicamente la metodologia utilizzata dal valutatore per effettuare la valutazione.

Osservando la tabella IV se ne può dedurre che solo 5 (8,3%) aziende hanno effettuato misure di monitoraggio ambientale (solo campionamenti personali in 4 aziende e campionamenti personali e di area in una sola azienda).

Indipendentemente dalla metodologia utilizzata in 34 valutazioni (56,7%) la descrizione del ciclo produttivo in rapporto al rischio chimico presente o era assente o del tutto insufficiente.

Partendo dal presupposto che, come previsto dall'art. 237 comma 1 lettera d) del D.Lgs 81/2008 (2), in caso di presenza di cancerogeni occorre effettuare misure di esposizione, nelle aziende dove erano presenti cancerogeni abbiamo verificato se le misure erano state fatte. Inoltre, analizzando il ciclo produttivo e la tipologia di lavorazione, ci siamo resi conto che in alcune aziende dove non veniva dichiarata la presenza di agenti cancerogeni era invece altamente probabile che questi fossero presenti, conseguentemente nella tabella V abbiamo riportato le aziende dove la presenza di cancerogeni era dichiarata, quelle dove era certa ma non dichiarata, quelle dove era altamente probabile e le aziende dove erano state effettuate misurazioni conformemente al D.Lgs 81/2008 (2). Nella tabella VI si riporta la tipologia delle aziende dove erano presenti agenti cancerogeni.

Infine nella tabella VII abbiamo riportato la classificazione complessiva delle valutazioni di rischio classificandole come descritto in materiali e metodi.

**Tabella II. Numero di addetti riportato nelle valutazioni di rischio**

	N.
Valutazioni in cui non è riportato il numero di addetti esposti a rischio	16
N. di addetti rilevato dalle valutazioni che lo riportano	2 - 27
N. medio di addetti rilevato dalle valutazioni che lo riportano	7,32

**Tabella III. Tipologia di valutatore che ha redatto la valutazione**

Tipologia di valutatore	N.
Valutazioni redatte dal datore di lavoro	10
Autore non dichiarato anche se trattasi palesemente di un consulente	5
Consulenti che hanno redatto una valutazione	19
Consulenti che hanno redatto 2 valutazioni	4
Consulenti che hanno redatto 3 valutazioni	3
Consulenti che hanno redatto 4 valutazioni	1
Consulenti che hanno redatto 5 valutazioni	1

**Tabella IV. Metodologie utilizzate per la valutazione di rischio**

Metodologia	N.	%	Metodologia	N.	%
Nessuna/metodo descrittivo	9	15.0	Modello USL Piacenza	7	11.7
Modelli non dichiarati e non conosciuti dagli esaminatori	9	15.0	Non dichiarata, si riporta solo il risultato della valutazione	2	3.3
Criterio OMS (?)	1	1.7	MovaRisch (4) e misure	3	5.0
Inforsk (3)	2	3.3	MovaRisch (4)	18	30.0
Inforisch e misure	1	1.7	Procedura gestionale per incendi	1	1.7
Matrici di rischio	4	6.7	Schede descrittive	1	1.7
Solo misure	1	1.7	Software Buffetti	1	1.7

**Tabella V. Aziende con presenza di cancerogeni**

Presenza di cancerogeni	N.	N. Aziende con misure di cancerogeni	N. Aziende con misure di cancerogeni eseguite correttamente
Presenza dichiarata di cancerogeni	12	5	1
Presenza certa di cancerogeni ma non dichiarata	4	0	-
Presenza di cancerogeni altamente probabile	17	0	-

**Tabella VI. Tipologia produttiva delle aziende con presenza di cancerogeni**

Presenza di cancerogeni	Tipologia produttiva
Presenza dichiarata di cancerogeni (12)	8 Falegnamerie - 1 Trasformazione traversine ferroviarie dismesse - 1 Sbullonatura traversine ferroviarie dismesse - 1 Trattamento acque - 1 Trattamento rifiuti
Presenza certa di cancerogeni ma non dichiarata (4)	1 Trattamento rifiuti - 1 Parquet - 1 Trasformazione copertoni usati - 1 Trattamento acque
Presenza di cancerogeni altamente probabile (17)	11 Falegnamerie - 4 Metalmeccaniche - 1 Produzione calcestruzzi - 1 Produzione terrecotte

**Tabella VII. Classificazione delle valutazioni di rischio chimico**

Classificazione	N. Aziende	%
Valutazioni completamente insufficienti o sbagliate	41	68.3
Valutazioni moderatamente insufficienti	11	18.3
Valutazioni sufficienti	6	10.0
Valutazioni pienamente sufficienti	2	3.3

**Gravi asserzioni emerse dalla lettura delle valutazioni di rischio chimico**

Volendo stigmatizzare la gravità di alcune asserzioni contenute nelle valutazioni di rischio chimico, nonché la poca professionalità di alcuni consulenti che le hanno redatte, si riportano di seguito alcune delle più gravi affermazioni.

- **Falegnameria** - Il valutatore dichiara la lavorazione di legno duro ma non effettua misurazioni poiché le ritiene superflue perché le polveri sono "poche".
- **Metalmeccanica** - Nell'elenco di sostanze utilizzate il valutatore riporta 21 prodotti con frasi di rischio R45, non effettua misure e dichiara che il rischio è moderato. Da un successivo sopralluogo è però emerso che

21 prodotti R45 non venivano utilizzati e mai erano stati utilizzati in azienda, la loro presenza nella dichiarazione era dovuta ad un "copia e incolla" effettuato dal valutatore. La cosa più grave era però che il datore di lavoro non se ne era accorto.

- **Parrucchiera** - Le schede tecniche dei prodotti utilizzati erano del 1997.
- **Trattamento acque** - Il valutatore non riporta un elenco completo delle sostanze chimiche presenti né valuta il rischio chimico del laboratorio di analisi poiché i reattivi utilizzati sono troppi e quindi risulta impossibile valutare il rischio che ne deriva.
- **Trattamento rifiuti tossici** - Il valutatore ammette la presenza di numerosi cancerogeni ma dice che essendo il contatto solo potenziale non si possono effettuare misure e quindi consiglia a medico competente di effettuare il monitoraggio biologico per i cancerogeni dotati di BEI.
- **Trasformazione traversine ferroviarie dismesse** - Il valutatore ammette l'esposizione ad IPA ed effettua misure di esposizione personale, confronta però (secondo il valutatore "conformemente a quanto indicato dall'AIDII") la somma delle concentrazioni di IPA riscontrate in analisi con il Valore Limite di 0,2 mg/m<sup>3</sup> relativo al "catrame e pece di carbone - prodotti volatili", che è relativo agli estraibili in benzene di cui gli IPA sono solo una frazione.

---

## Conclusioni

Dall'esame delle 60 valutazioni di rischio chimico, di cui solo 8 appaiono condotte in maniera sufficiente, emerge come principale considerazione una situazione desolante ed una preparazione professionale dei valutatori scarsa o inesistente, evidenziata da affermazioni che spesso risultano ridicole anche per un neofita dell'Igiene Industriale.

L'uso smodato di modelli e algoritmi, quasi sempre utilizzati male, denuncia una mancanza di serietà da chi si fa pagare per condurre una valutazione e la cosa è tanto più grave se si considera il fatto che i datori di lavoro di piccole aziende sono spesso incapaci di valutare quanto scritto dal consulente.

In ultimo quanto emerso deve suonare come un campanello di allarme per gli enti di controllo chiamati a far osservare il dettame della legge. Se dovessimo generalizzare, come probabilmente è possibile, quanto emerso da questa indagine potremmo tranquillamente sostenere che nella grande maggioranza dei casi il D.Lgs 25/2002 (1), integralmente ripreso dal D.Lgs 81/2008 (2), non ha la-

sciato traccia alcuna nell'ambito della prevenzione se non a livello di inutile consumo di carta.

Non vorremmo che dopo tanto giusto parlare di infortuni sul lavoro, ci si dimenticasse di chi ogni giorno viene intossicato in fabbrica e che magari contrae anche un cancro senza che gli venga nemmeno riconosciuto.

---

## Bibliografia

- 1) Decreto Legislativo 2 febbraio 2002 n. 25, Attuazione della direttiva 98/24/CE sulla protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori contro i rischi derivanti da agenti chimici durante il lavoro, G. U. n. 57 del 8 marzo 2002 - Supplemento Ordinario n. 40 (Rettifica G.U. n. 83 del 9 aprile 2002)
- 2) 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, G. U. n. 101 del 30 aprile 2008 - Supplemento Ordinario n. 108
- 3) InfoRISK, Modello di valutazione del rischio chimico, Regione Piemonte, [http://www.regione.piemonte.it/sanita/sicuri/agenti\\_chimici/software.htm](http://www.regione.piemonte.it/sanita/sicuri/agenti_chimici/software.htm)
- 4) MovaRisch, Modello di valutazione del rischio da agenti chimici pericolosi per la salute ad uso delle piccole e medie imprese, Regioni Emilia Romagna, Lombardia, Toscana, [http://www.regione.piemonte.it/sanita/sicuri/agenti\\_chimici/software.htm](http://www.regione.piemonte.it/sanita/sicuri/agenti_chimici/software.htm)