

# LA STIMA DELL'ESPOSIZIONE OCCUPAZIONALE AD AGENTI CHIMICI: DESCRIZIONE DI MODELLI UTILIZZATI IN AMBITO EUROPEO

E. BARBASSA\*, M.R. FIZZANO\*\*

## SOMMARIO

1. Premessa. - 2. Il modello ECETOC TRA versione 3.1. - 3. Il modello MEASE 1.02.01 (1 aprile 2010). - 4. Il modello STOFFENMANAGER versione 5.1. - 5. Conclusioni.

## Premessa

Per la stima dell'esposizione dei lavoratori ad una sostanza e del relativo rischio chimico, si utilizzano in genere preferenzialmente:

- dati sperimentali rappresentativi dell'esposizione alla sostanza, se disponibili;
- dati di monitoraggio pertinenti, relativi a sostanze con uso e modalità d'esposizione analoghe o proprietà simili;
- idonei modelli di calcolo, in assenza di dati sperimentali affidabili.

Il processo di stima dell'esposizione nei luoghi di lavoro dovrebbe basarsi su misure sperimentali, ma, in pratica, la disponibilità di dati reali d'esposizione è limitata e quindi, nella maggior parte dei casi, si deve ricorrere all'uso di modelli di calcolo.

L'Agenzia europea delle sostanze chimiche (ECHA), nella Guida alle disposizioni in materia di informazione e alla valutazione della sicurezza chimica - Parte D, distingue tra modelli di Livello 1 in grado di offrire una semplicità d'uso, ma intrinsecamente conservativi in quanto tendono a sovrastimare l'esposizione, e pertanto adatti ad essere utilizzati come modelli per uno screening iniziale (modelli di Livello 1 o Tier 1), e modelli più complessi di Livello 2 (Tier 2), che richiedono un maggior numero di dati di input e che forniscono stime d'esposizione più accurate e più aderenti ai dati sperimentali.

\* Inail - Direzione Regionale Lombardia - Consulenza Tecnica Rischi e Prevenzione.

\*\* Inail - Direzione Generale - Consulenza Tecnica Rischi e Prevenzione

Nel caso delle piccole e medie imprese (PMI), che si distinguono per un'elevata variabilità delle mansioni lavorative degli addetti, della frequenza e durata di esposizione alle sostanze, e delle modalità d'uso degli agenti chimici, gli algoritmi o i modelli possono rappresentare un valido ed utile strumento di stima del rischio chimico.

I modelli di calcolo di Livello 1 possono anche essere usati nelle grandi aziende come strumenti di *screening* iniziale, propedeutici ad indagini sperimentali, in quanto permettono di distinguere, in modo semplice e veloce, le situazioni a basso rischio da quelle che necessitano di ulteriori approfondimenti mediante l'effettuazione di misurazioni sperimentali. Un confronto tra i vantaggi e gli svantaggi dell'uso di modelli e dell'uso di misure è riportato in Tabella 1.

Tabella 1

*Vantaggi e svantaggi dell'uso di misure e modelli* [PAGLIAI, FERDENZI, 2014].

Misurazioni	
Pro	Contro
Rispecchiano la situazione reale	Richiedono tempo e risorse
Forniscono esposizioni precise	Non sempre esistono metodiche ufficiali
Tengono in considerazione dettagli specifici	Spesso non sono corredate da informazioni necessarie per il confronto con altre
Modelli di livello 1	
Pro	Contro
Facilmente reperibili (scaricabili) e utilizzabili	Spesso molto conservativi
Applicabili in molte situazioni	Non applicabili in situazioni specifiche
Veloci	Incertezza dei risultati a causa di interpretazioni soggettive
Economici	Non sono in grado di distinguere tra situazioni simili

È importante sottolineare che i modelli devono, sempre, essere utilizzati da personale adeguatamente formato, in grado di scegliere i parametri che determinano il rischio assegnando ad essi il giusto peso, sulla base di una conoscenza approfondita dei cicli lavorativi in esame.

Di seguito vengono descritti la struttura ed il campo di applicazione di alcuni algoritmi usati in ambito europeo per la stima dell'esposizione occupazionale, quali i modelli di Livello 1 ECETOC TRA versione 3.1 e MEASE versione 1.02.01 ed il modello Stoffenmanager versione 5.1, che è intermedio tra il livello 1 e 2, mettendone in evidenza sia pregi che limiti di utilizzo.

### Il modello ECETOC TRA versione 3.1

L'ultima versione del modello ECETOC TRA, la 3.1, rivista dall'ECETOC a giugno 2014, è disponibile sia come modello integrato che calcola l'esposizione dei lavoratori, dei consumatori e dell'ambiente che come versione a sé stante aggiornata per la stima dell'esposizione dei consumatori.

Rispetto alla precedente versione 3.0, uscita ad aprile 2012, ECETOC ha modificato la parte del modello che calcola l'esposizione dei consumatori, includendo anche la capacità di tener conto di utilizzi poco frequenti dei prodotti di consumo. In questo lavoro verrà descritta solo la struttura della parte del modello ECETOC TRA che consente di stimare l'esposizione dei lavoratori ad agenti chimici.

ECETOC TRA *WorkerTool*, dove TRA sta per *Targeted Risk Assessment*, è un modello di Livello 1 che consente di stimare l'esposizione occupazionale sia inalatoria che cutanea.

Uno schema generale della struttura del modello per la parte di stima dell'esposizione professionale è riportato nella seguente figura 1:

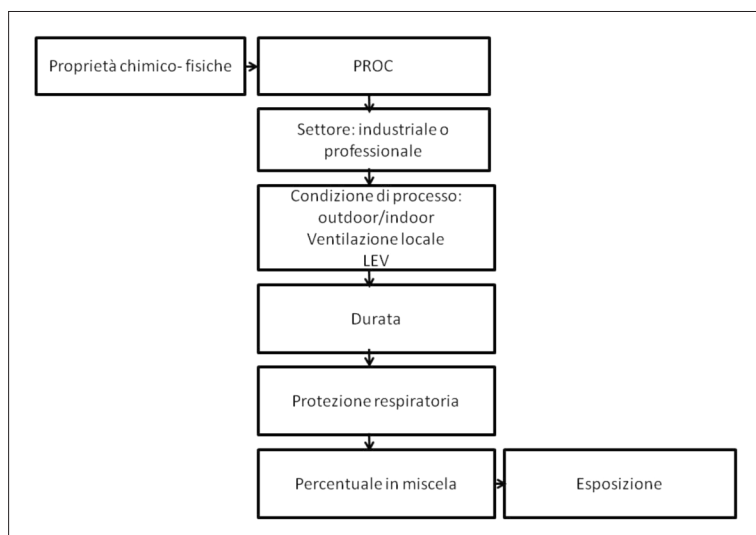


Fig. 1: Flusso logico del modello ECETOC TRA (tratto da [PAGLIAI, FERDENZI, 2014]).

Per quanto concerne il campo di applicazione del modello, si precisa che ECETOC TRA *WorkerTool* non è applicabile per la stima dell'esposizione a gas, nebbie di aerosol, fumi, solidi sospesi o disciolti in liquidi e per valutare l'esposizione alla frazione respirabile aerodispersa delle polveri inquinanti negli ambienti di

lavoro. Può essere, invece, applicabile alla valutazione della frazione inalabile (UNI EN 481:1994). Allo stesso modo il modello non è in grado di predire l'esposizione a materiale fibroso aerodisperso.

Il modello, per caratterizzare l'esposizione per inalazione sul luogo di lavoro, impiega i seguenti tre tipi di determinanti:

- la tendenza della sostanza a diventare volatile (*fugacità*) che, per i liquidi, è espressa dalla loro tensione di vapore e, per i solidi, dalla loro polverosità;
- le modalità di utilizzo della sostanza (*pattern d'uso*), che nel modello è descritto dalle categorie di processo (PROC);
- gli strumenti di controllo dell'esposizione (*pattern di controllo*), come la possibilità di diversi gradi di ventilazione generale, la presenza di un impianto di aspirazione localizzato (LEV - Local Exhaust Ventilation) o l'uso di DPI.

Il modello distingue innanzitutto tra *attività industriali* ed *attività professionali* e fa riferimento al *sistema dei descrittori degli usi* previsto dalla valutazione della sicurezza chimica (CSA) del REACH, in particolare alle *25 categorie di processo* (PROC), che descrivono gli scenari d'esposizione lavorativi identificati e che sono riportati nella seguente Tabella 2:

Tabella 2

*Categorie di processo (PROC) - modello ECETOC TRA WorkerTool.*

PROC N.	CATEGORIE DI PROCESSO
1	Uso in processo chiuso, con nessuna probabilità d'esposizione
2	Uso in processo continuo chiuso, con esposizione controllata occasionale
3	Uso in processo a batch chiuso (sintesi o formulazione)
4	Uso in processo a batch e altro (sintesi), dove si origina opportunità d'esposizione
5	Impasti o miscele in processi a batch (multistadio e/o contatto significativo)
6	Operazioni di calandratura
7	Spraying industriale
8a	Trasferimento di chemicals da/a recipienti/grossi contenitori presso servizi non dedicati
8b	Trasferimento di chemicals da/a recipienti/grossi contenitori presso servizi dedicati
9	Trasferimento di chemicals in piccoli contenitori (linea di riempimento dedicata)
10	Applicazione a rullo o con pennello
11	Spraying non industriale
12	Uso di agenti schiumogeni per produzione di schiume
13	Trattamento di articoli mediante immersione e sversamento
14	Produzione di miscele o articoli mediante compressione, estrusione e pellettizzazione
15	Uso di reagenti da laboratorio in laboratori di piccola scala
16	Uso di materiali come combustibile, probabile esposizione limitata a prodotti incombusti
17	Lubrificazione in condizioni di alta energia e in processi parzialmente aperti
18	Ingrassaggio in condizioni di alta energia
19	Miscelamenti manuali con contatto intimo (solo disponibile con PPE)
20	Fluidi di trasferimento calore e pressione (sistemi chiusi) in uso dispersivo
21	Manipolazione a bassa energia di sostanze legate in materiali e/o articoli
22a	Operazioni potenzialmente chiuse con minerali ad elevate temperature – pt<mp – bassa fugacità
22b	Operazioni potenzialmente chiuse con minerali ad elevate temperature – pt≈mp – media fugacità
22c	Operazioni potenzialmente chiuse con minerali ad elevate temperature – pt>mp – alta fugacità
23a	Processo aperto e trasferimento di minerali ad elevate temperature - pt<mp – bassa fugacità
23b	Processo aperto e trasferimento di minerali ad elevate temperature – pt≈mp – media fugacità
23c	Processo aperto e trasferimento di minerali ad elevate temperature – pt>mp – alta fugacità
24a	Lavorazione ad alta energia (meccanica) di sostanze legate in materiali e/o articoli - pt<mp – bassa fugacità
24b	Lavorazione ad alta energia (meccanica) di sostanze legate in materiali e/o articoli - pt≈mp – media fugacità
24c	Lavorazione ad alta energia (meccanica) di sostanze legate in materiali e/o articoli - pt>mp – alta fugacità
25a	Operazioni di lavoro a temperature elevate con metalli - pt<mp – bassa fugacità
25b	Operazioni di lavoro a temperature elevate con metalli - pt≈mp – media fugacità
25c	Operazioni di lavoro a temperature elevate con metalli - pt>mp – alta fugacità

Come parametri iniziali, il modello richiede alcuni dati specifici relativi alla sostanza (n. di CAS, peso molecolare (PM), valori limite OEL o DNEL), la tensione di vapore nel caso di un liquido o la polverosità nel caso di un solido (tre opzioni: bassa, media, alta), la scelta tra attività indoors (al chiuso) o outdoors (all'aperto), la selezione della categoria d'uso: industriale o professionale, e l'individuazione della categoria di processo (PROC) più idonea.

Allo scopo di modulare la stima dell'esposizione, ECETOC TRA *WorkerTool* consente inoltre l'applicazione dei seguenti 5 fattori modificatori d'esposizione:

- **Ventilazione:** il modello distingue tra attività *indoors*, dove prevede la scelta tra la presenza o meno di diversi gradi di "ventilazione generale" e/o del LEV, e attività *outdoors*, in cui non sono presenti. ECETOC TRA, per tener conto dell'effetto di diluizione degli inquinanti negli ambienti aperti, calcola per le attività *outdoors* un'esposizione all'inquinante pari al 70% dell'esposizione prevista per le attività *indoors*.

Nelle attività *indoors*, per quanto concerne i diversi gradi di "ventilazione generale", il modello prevede la scelta tra diverse possibilità riportate in Tabella 3:

Tabella 3

*Gradi di ventilazione indoors - modello ECETOC TRA WorkerTool.*

<b>Tipo di ventilazione indoors</b>	<b>Corrispondenza</b>
Ventilazione generale di base	Ventilazione naturale <i>Generalmente pari a 1-3 ricambi d'aria/ora.</i>
Buona ventilazione generale	Buona ventilazione naturale (apertura intenzionale di porte o finestre) in assenza di impianti meccanici di ventilazione. <i>Generalmente pari a 3-5 ricambi d'aria/ora.</i>
Ventilazione generale rinforzata	Presenza di impianti meccanici di ventilazione non localizzati. <i>Almeno 5-10 ricambi d'aria/ora.</i>

Nel caso in cui le attività indoors sono svolte in presenza di un impianto di aspirazione localizzato LEV, il modello prevede le seguenti possibilità, risultanti dalla combinazione delle precedenti:

- Ventilazione generale di base + LEV
- Buona ventilazione generale + LEV
- Ventilazione generale rinforzata + LEV (con esclusione delle attività professionali).

- **Durata dell'attività:** sono previsti 4 diversi intervalli di tempo: > 4 ore; 1-4 ore; 15 min.-1 ora; <15 min., per i quali le esposizioni sono calcolate applicando fattori correttivi (F) pari rispettivamente a 1; 0,6; 0,2; e 0,1;
- **Protezione respiratoria:** distingue tra il possibile utilizzo di un dispositivo DPI, (due opzioni: F = 0,1 e F = 0,05), e l'assenza di un DPI (F = 1).
- **Protezione cutanea:** distingue tra 4 opzioni: nessun DPI, uso di guanti con fattore di protezione APF = 5 (F = 0,2), uso di guanti con fattore di protezione APF = 10 (F = 0,1) ed uso di guanti con fattore di protezione APF = 20 (F = 0,05), solo per utilizzatori industriali
- **Uso in miscela:** è previsto l'uso della sostanza tal quale (F = 1) o in miscela alle seguenti concentrazioni: C > 25% (F = 1); C = 5-25% (F = 0,6); C = 1-5% (F = 0,2) e C <1% (F = 0,1).

Il modello nella versione 3.1 ha, tra le sue funzionalità, anche la stima dell'esposizione cutanea alla sostanza e distingue tra attività di tipo industriale e professionale, con la capacità di tener conto dei fattori di modificazione dell'esposizione, incluso l'uso dei guanti. La versione 3.1 del modello ECETOC TRA permette all'utilizzatore di scegliere se applicare o meno il LEV.

Il modello consente di riferire le stime ai DNEL cutanei, sviluppati dal registrante nell'ambito della registrazione delle sostanze REACH e di calcolare conseguentemente un RCR<sup>1</sup>-cutaneo.

La versione 3.1 del modello ECETOC TRA comprende la possibilità di fare riferimento anche a valori di inalazione a breve termine (STEL) e d'esposizione locale cutanea a lungo termine ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) e permette di calcolare i seguenti dati di output:

- esposizioni inalatorie di lungo termine (ppm e  $\text{mg}/\text{m}^3$ );
- esposizioni cutanee di lungo termine ( $\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{die}$ );
- esposizioni inalatorie di breve termine ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );
- esposizioni cutanee locali ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ).

Il modello ECETOC TRA *Worker Tool* versione 3.1 è un modello di Livello 1 facile da utilizzare in quanto richiede pochi dati di input ed è in genere piuttosto conservativo.

Il modello non tiene conto della quantità di sostanza usata, né della frequenza d'uso e le categorie di processo (PROC) non riescono a coprire tutte le possibili situazioni espositive.

1 RCR: *Rapporto di Caratterizzazione del Rischio*.

## Il modello MEASE 1.02.01 (1 aprile 2010)

Il modello di livello 1 MEASE (Metals' Estimation and Assessment of Substance Exposure) è stato sviluppato dall'EBRC- Consulting GmbH di Hannover in modo specifico per la stima dell'esposizione occupazionale, sia inalatoria che cutanea, ai metalli ed alle sostanze inorganiche, in quanto il modello ECETOC TRA presenta dei limiti nel calcolo dell'esposizione a tali sostanze.

La versione 1.02.01 del modello MEASE, aggiornata ad aprile 2010, può essere scaricata gratuitamente dai seguenti siti web: <http://www.ebrc.de/mease.html> e <http://www.reach-metals.eu/>.

Per la stima dell'esposizione inalatoria, il modello prende in considerazione 3 classi di fugacità: bassa, media, alta, che sono definite sulla base della forma fisica, del punto di fusione del metallo, della temperatura di processo, della tensione di vapore e del PROC scelto.

Il modello MEASE adotta l'approccio basato sulle categorie di processo (PROC) del modello ECETOC TRA e considera in particolare i PROCs 21 - 27; per tali PROC le stime di esposizione iniziale ricavate con il modello sono basate su dati sperimentali forniti dall'industria dei metalli (Eurometaux).

Il modello richiede come dati iniziali il peso molecolare della sostanza, il punto di fusione, la tensione di vapore e la percentuale in miscela (incluse le leghe) e consente la scelta tra alcune condizioni operative (categorie di processo o PROC, temperatura del processo, scala dell'operazione, durata dell'esposizione) e diverse misure di gestione dei rischi (sistemi chiusi, segregazione del lavoratore, ventilazione generale, LEV, tecniche di abbattimento dell'inquinante).

Per la stima dell'esposizione cutanea, MEASE adotta il sistema delle bande di esposizione previsto dal modello EASE (Estimation and Assessment of Substance Exposure) e le stime di esposizione sono generate dal modello sulla base dei dati sperimentali raccolti per diversi metalli.

Il modello MEASE differisce quindi da ECETOC TRA *Worker Tool* in alcune assunzioni di base e parametri di default e risulta in genere meno conservativo e più specifico.

Non sono disponibili adeguati studi di validazione del modello MEASE.

## Il modello STOFFENMANAGER versione 5.1

Il modello Stoffenmanager è stato sviluppato in Olanda inizialmente per le piccole e medie imprese con l'intento di facilitare il controllo del rischio chimico e l'individuazione delle priorità tra gli interventi di prevenzione e protezione da mettere in atto.

Il modello è intermedio tra il livello 1 e 2, è *web-based*, ossia utilizzabile tramite internet (dopo registrazione con username e password) al sito web:



<https://www.stoffenmanager.nl> ed attualmente è fruibile in inglese, olandese, finlandese e tedesco; l'ultima versione, la 5.1, è disponibile in una versione base, gratuita, e in una versione a pagamento, con maggiori funzionalità che, ad esempio, consente di far interagire il modello con altri database.

Il modello è suddiviso nei seguenti 2 moduli [STOFFENMANAGER, 2014]:

1. un modulo *Control banding* che aiuta l'utilizzatore ad attribuire priorità ai rischi per la salute dei lavoratori derivanti da sostanze pericolose ed è uno strumento di screening per determinare gli interventi da attuare. In questo senso, a partire dalle informazioni iniziali, il modello fornisce una stima delle fasce di rischio. Una volta stimato il rischio, possono essere prese in considerazione le misure da attuare e quindi si può stimare di nuovo il rischio.
2. un modulo *Quantitative exposure*; il modello è validato per la stima dell'esposizione inalatoria a vapori e polveri inalabili e restituisce un risultato espresso in mg/m<sup>3</sup>. Si possono ottenere due valori stimati: uno, il caso peggiore, basato sul 90° percentile della distribuzione di esposizione e un altro basato su un percentile a scelta (50° o 70°). Il valore ottenuto può essere confrontato con un valore limite.

Per quanto riguarda il campo di applicazione, Stoffenmanager può essere utilizzato per stimare l'esposizione inalatoria quantitativa a polveri inalabili, vapori ed aerosol di liquidi anche a bassa volatilità; è sconsigliato per la stima quantitativa nel caso di inalazione di fibre, gas o sostanze rilasciate nell'aria come risultato di tecniche di lavorazione a caldo, ad esempio la saldatura o brasatura.

Il modello non è adatto per la caratterizzazione del rischio di esposizione cutanea a prodotti contenenti sostanze etichettate come (molto) tossiche e corrosive in quanto riconosce queste sostanze dal numero CAS ed avvisa l'utilizzatore.

Per la stima dell'esposizione inalatoria, il modello si basa su un approccio sorgente-recettore già sviluppato da Cherrie e Schneider [CHERRIE JW, SCHNEIDER T., 1999], il cui algoritmo è stato opportunamente modificato per renderlo utilizzabile dalle PMI, spesso carenti di personale esperto in igiene occupazionale; i parametri considerati sono i processi, le misure di controllo locali, la ventilazione generale, le caratteristiche dei prodotti [MARQUART *et al.*, 2008].

Per il calcolo dell'esposizione inalatoria, il modello individua le seguenti tre sorgenti:

- near-field (nf), zona entro 1m dalla testa del lavoratore;
- far-field (ff), comprendente il resto della stanza in cui opera il lavoratore;
- diffusiva (ds), che rappresenta la concentrazione di fondo dell'inquinante.

L'esposizione totale personale è la somma dei livelli di esposizione dovuti alle

sorgenti individuate (near-field, far-field, diffusiva) corretta da un fattore ( $\mu$ ) che rappresenta le misure di prevenzione e protezione applicate.

$$Ct = (Cnf + Cff + Cds) * \mu$$

Il parametro fondamentale che il modello prende in considerazione è l'emissione intrinseca della sostanza, proprietà legata alla pressione di vapore per i liquidi e alla polverosità per i solidi.

Per la parte inalatoria è stato validato con oltre 1000 misure di esposizione: i risultati mostrano una buona stima dell'esposizione, sufficientemente conservativa, anche se talora va adattato allo scenario [SCHINKEL *et al.*, 2010].

In seguito a questa validazione, l'Ispettorato del Lavoro olandese ha accettato le stime di esposizione ottenute con il modello come un'alternativa all'effettuazione di misurazioni da parte delle PMI.

Per la stima dell'esposizione cutanea il modello si riferisce a RISKOFDERM [GOEDE *et al.*, 2003], modello basato su un gran numero di misure di esposizione in reali contesti lavorativi; Stoffenmanager contempla circa 700 misure di esposizione cutanea.

Il modello richiede l'inserimento di molti parametri, ma è abbastanza semplice da usare, anche se per alcune scelte è necessaria una formazione specifica da parte dell'utilizzatore.

Per utilizzare il modello Stoffenmanager, si parte dai dati sulla sostanza contenuti nella scheda dati di sicurezza (SDS): il modulo *Control Banding* di stima del rischio finalizzata a definire la scala delle priorità degli interventi prevede l'inserimento di frasi R o indicazioni di pericolo H in base al CLP; nei casi in cui queste frasi non esistono (ad es. farmaci) va effettuato un processo di attribuzione di una frase R o H. I dati di base da inserire sono suddivisi in tre campi, riportati in tabella 4:

Tabella 4

*Principali dati di input per il modello Stoffenmanager.*

1. Informazioni generali	2. Valutazione del rischio	3. Istruzioni di lavoro e registrazione delle sostanze pericolose
nome del prodotto	informazioni di salute e sicurezza: (frasi R, S, H e P tratti da SDS*).	categorie di pericolo (tratti da SDS*);
data di pubblicazione della SDS*	composizione del prodotto (n. CAS e concentrazione tratti dalla SDS*	DPI e impianti di ventilazione (tratti da SDS*);
nome del fornitore		
stato fisico del prodotto		

\*SDS: Scheda dati di sicurezza

Uno schema generale della struttura del modello per il modulo *Control Banding* è riportato in figura 2.

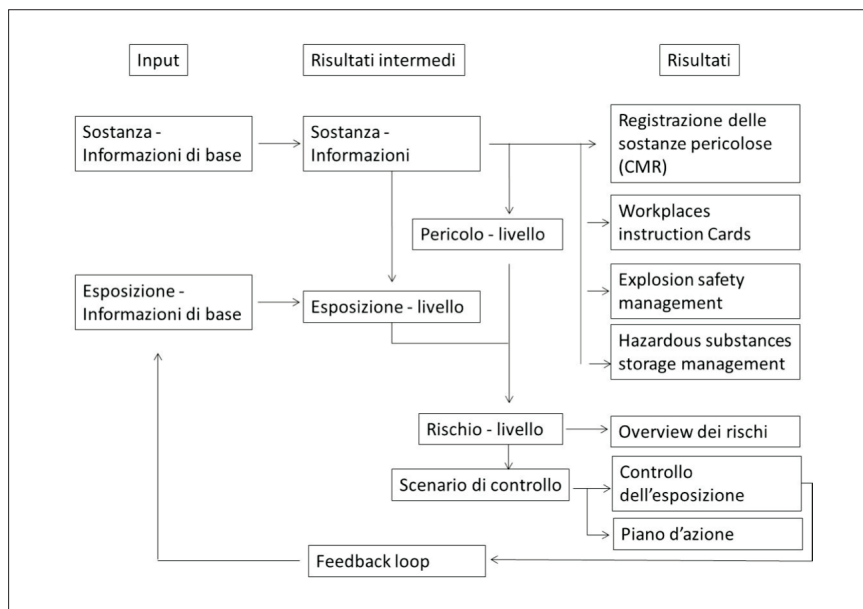


Fig. 2: Schema della struttura del modello Stoffenmanager (tratto da [MARQUART et al., 2008])

Il risultato della valutazione del rischio nel modulo delle fasce di controllo è l'assegnazione di:

- *Una fascia di pericolo per la sostanza.* Tale assegnazione è basata sulle frasi di rischio o indicazioni di pericolo inserite nel modello e analizzate dallo stesso seguendo lo schema del COSHH. Le categorie sono 5 (A, B, C, D, E): le sostanze ritenute più pericolose sono classificate in categoria E, le meno pericolose in categoria A.
- *Una fascia di esposizione,* stimata dal modello in base alla quantità di sostanza rilasciata, al tipo di operazione (durata e frequenza) e alla distanza dalla sorgente. Le classi previste sono 4: la classe 1 rappresenta l'esposizione più bassa, la 4 quella più alta.
- *Un punteggio che indica il rischio per la salute,* stimato dalla combinazione tra la fascia di pericolo e fascia di esposizione. La stima può essere riferita a 3 fasce: quella a rischio più elevata è la I (caratterizzata nel modello dal colore rosso), quella a rischio minore è la III (caratterizzata dal colore verde).

Assegnati i punteggi e la fascia di stima del rischio, il modello aiuta l'utilizzatore a scegliere le misure per ridurre o controllare il rischio, attraverso la funzione *Control Scenario*: con questa funzione vengono presentate una serie di possibili misure di prevenzione e protezione, raggruppate e ordinate secondo una sequenza denominata STOP-principle<sup>2</sup> (Tabella 5): sostituzione, misure tecniche di controllo sulla sorgente, nelle immediate vicinanze della sorgente, nello spazio di misura (ambiente di lavoro), modifiche al modo di lavorare (es. cabine), misure di protezione individuale dei lavoratori. Alla scelta di una misura è associabile un ricalcolo del pericolo e dell'esposizione, quindi una nuova valutazione del rischio.

Tabella 5

*Misure di prevenzione e protezione suggerite dalla funzione Control Scenario del modello Stoffenmanager (tratto da [MARQUART et al., 2008]).*

Misure di controllo			
1. alla sorgente	2. sull'area nelle strette vicinanze della sorgente	3. su un'area più ampia rispetto a quella del lavoratore	4. del lavoratore
Eliminazione del prodotto pericoloso dall'operazione lavorativa	Provvedere ad un pieno contenimento della sorgente	Ventilazione naturale	Uso di cabine
Eliminazione dall'operazione lavorativa dal processo	Installazione di una ventilazione locale sulla sorgente di emissione	Installazione di un sistema di ventilazione meccanica Utilizzo di cabine a spruzzo	Uso di DPI
Modifica della forma fisica del prodotto	Inserimento di una combinazione ventilazione locale-pieno contenimento		
Modifica delle modalità operative (es. sostituzione di una manipolazione frequente con un sistema chiuso)	Limitazione della emissione del prodotto (es. umidificare la polvere)		
Sostituzione di un prodotto pericoloso con un altro a diversa composizione meno pericoloso			
Automazione del processo			
Cambiamento dell'ordine delle operazioni (es. aggiunta di polvere al liquido e non viceversa)			

2 STOP: *Substitution, Technical measures, Operational measures, Personal protection*).

Per quanto riguarda le modalità d'utilizzo dei prodotti, Stoffenmanager prende in considerazione 7 categorie di trattamento per la manipolazione dei liquidi e 6 categorie di trattamento per la manipolazione dei solidi.

Le misure di prevenzione e di protezione che agiscono sulla riduzione della trasmissione dell'inquinante dalla sorgente al lavoratore sono, nel modello, rappresentate da diversi fattori, ciascuno dei quali pesa, tramite un punteggio, sull'esposizione finale.

La riduzione della trasmissione dell'inquinante dalla sorgente al lavoratore è distinta in 2 fattori: misure di controllo locale (contenimento della sorgente, ventilazione locale delle emissioni ecc.) e la ventilazione generale; nell'algorithm sono presenti distinte equazioni a seconda se il campo d'azione è il *near-field* o il *far-field*. Il modello applica anche punteggi per la riduzione della ventilazione generale in funzione del volume della stanza.

La stima dell'esposizione totale nell'algorithm è corretta anche da un fattore che rappresenta le misure di protezione applicate; la protezione si attua segregando il lavoratore, situato ad es. in una cabina o in alternativa tramite l'uso di DPI.

Va sottolineato, infine, che il modello utilizza un fattore correttivo anche per il controllo dell'emissione di fondo (costituita ad es. da perdite da macchinari, stracci sporchi non rimossi, sversamenti non puliti, ecc.), rappresentata da un parametro che rispecchia ispezioni, manutenzioni e pulizie effettuate in modo regolare o in modo non regolare (quotidianamente o meno).

Stoffenmanager, rispetto ai modelli di Livello 1, presenta una struttura più complessa, ma consente di ottenere stime di esposizione che, pur essendo in genere sufficientemente conservative, sono più vicine ai dati sperimentali.

Infatti il modello è stato prima calibrato e poi validato sulla base di molte misure indipendenti eseguite nelle stesse condizioni valutate; il processo di validazione è ripetuto periodicamente e permette un sempre maggiore affinamento delle previsioni fornite dal modello.

## Conclusioni

I modelli di calcolo per la stima dell'esposizione occupazionale devono essere sia di semplice utilizzo che in grado di fornire stime di esposizione sufficientemente conservative, ma realistiche.

Dall'entrata in vigore del regolamento REACH sono stati sviluppati molti algoritmi per la stima dell'esposizione ad agenti chimici: in particolare l'utilizzo del modello ECETOC TRA è stato raccomandato dall'ECHA per la valutazione del rischio in ambito REACH in quanto si basa sulle categorie di processo o PROC previste dal REACH.

I modelli di calcolo ECETOC TRA, MEASE e Stoffenmanager sopra descritti possono essere utilizzati come strumenti di *screening* iniziale per la valutazione

del rischio chimico occupazionale, in quanto permettono di distinguere le situazioni a basso rischio da quelle che necessitano di ulteriori approfondimenti mediante l'effettuazione di misurazioni.

In generale l'uso di modelli è veloce, economico e non presenta particolari restrizioni; tuttavia i risultati sono talora troppo conservativi, non tengono in considerazione aspetti peculiari che potrebbero essere evidenziati da misure sperimentali in campo e devono sempre essere interpretati da persone competenti in materia.

Uno dei principali punti deboli dei modelli è in genere il non essere stati validati a sufficienza.

In particolare non è ipotizzabile la sostituzione delle misure di agenti chimici effettuate sul campo con previsioni modellistiche nel caso in cui la valutazione del rischio abbia evidenziato un rischio chimico "non irrilevante per la salute" o nel caso dei cancerogeni.

Parallelamente, tuttavia, è auspicabile un processo di validazione dei modelli attualmente disponibili attraverso campagne di misurazione che ne mettano in evidenza limiti ed opportunità di utilizzo.

Infine si sottolinea che, anche per i modelli più semplici di Livello 1, c'è la necessità di formare e migliorare l'addestramento degli utilizzatori in quanto questi strumenti, abbastanza facili da utilizzare, richiedono comunque una specifica preparazione per quanto concerne la scelta dei parametri di input più idonei e la capacità di interpretare correttamente i risultati ottenuti.

## RIASSUNTO

La stima dell'esposizione nei luoghi di lavoro dovrebbe basarsi su misure sperimentali, ma, in pratica, la disponibilità di dati reali d'esposizione è limitata e quindi, nella maggior parte dei casi, si deve ricorrere all'uso di modelli di calcolo.

Dall'entrata in vigore del Regolamento REACH sono stati sviluppati molti algoritmi per la stima dell'esposizione ad agenti chimici: in particolare l'utilizzo del modello ECETOC TRA è stato raccomandato dall'ECHA per la valutazione del rischio in ambito REACH, in quanto si basa sulle categorie di processo o PROC previste dal regolamento REACH.

Nel presente lavoro vengono descritti la struttura ed il campo di applicazione di tre algoritmi usati in ambito europeo per la stima dell'esposizione a sostanze chimiche: ECETOC TRA versione 3.1, MEASE 1.02.01, Stoffenmanager versione 5.1. Di ciascuno di essi vengono messi in evidenza pregi e limiti di utilizzo.

## SUMMARY

The occupational exposure estimation should be based mainly on the experimen-

tal measures. Actually, the availability of representative exposure experimental data is limited, so, in most cases, we have to use predictive models.

Since adoption of REACH, many tools are developed to assess chemical risk: in particular, ECHA suggests using ECETOC TRA to assess chemical REACH exposure because it is based on REACH process category.

In the present work the authors describe the structure and the application field of three european models to assess chemical risk: ECETOC TRA version 3.1, MEASE version 1.02.01, Stoffenmanager version 5.1. The main strengths and weaknesses in their use are exposed.

## BIBLIOGRAFIA

PAGLIAI P., FERDENZI P.: *I principali modelli previsionali per la stima dell'esposizione e la costruzione degli scenari di esposizione*, Atti del convegno nazionale RISCH, Modena, 18 settembre 2014.

STOFFENMANAGER: versione 5.1: <https://stoffenmanager.nl/>, 2014.

CHERRIE J.W., SCHNEIDER T.: *Validation of a new method for structured subjective assessment of past concentrations*, Ann. Occup. Hyg., 43, 235-45, 1999.

MARQUART H., HEUSSEN H., LE FEBER M., NOY D., TIELEMANS E., SCHINKEL J. WEST J. VAN DER SCHAAR D.: *'Stoffenmanager', a web-based control banding tool using an exposure process model.*, Ann. Occup. Hyg.; 52 (6), 429, 2008.

SCHINKEL J., FRANSMAN W., HEUSSEN H., KROMHOUT H., MARQUART H., TIELEMANS E.: *Cross-validation and refinement of the Stoffenmanager as a first tier exposure assessment tool for REACH*, Occup. Environ. Med., 67, 125, 2010.

GOEDE H., TIJSSEN S., SCHIPPER H., WARREN N., OPPL R., KALBERLAH F., VAN HEMMEN J.: *Classification of dermal exposure modifiers and assignment of values for a risk assessment toolkit.* Ann Occup. Hyg., 47(8): 609-18, 2003.