



MATTEO GUIDOTTI  
CNR-ISTITUTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE MOLECOLARI, MILANO  
ACCADEMIA DELLE SCIENZE DELL'ISTITUTO DI BOLOGNA  
M.GUIDOTTI@ISTM.CNR.IT

# NON CI SONO MOLECOLE MALVAGIE: CONOSCENZA E DIVULGAZIONE PER CONTRASTARE LA “CATTIVA” CHIMICA

*Composti chimici pericolosi, inquinanti, esplosivi e armi chimiche sono prodotti della chimica che hanno sempre generato un senso di vulnerabilità e di impotenza nell'opinione pubblica dei non esperti. Solamente iniziative mirate di formazione, educazione e sensibilizzazione sono in grado di ridurre la paura irrazionale e di accrescere la preparazione della popolazione e dei professionisti che si trovino a fronteggiare emergenze legate al rilascio accidentale o criminale di sostanze chimiche tossiche.*

## Introduzione

“Non ci sono molecole cattive, solo uomini malvagi” è una celebre frase di Roald Hoffmann [1], premio Nobel per la Chimica nel 1981, che ha dedicato, e sta tuttora dedicando, gran parte della sua attività di scienziato a mettere in luce e chiarire le complesse relazioni tra chimica e scelte etiche del ricercatore. Una tale citazione può riassumere in modo efficace l'eterno dilemma che ciascun chimico si trova ad affrontare quando si confronta con alcune affermazioni, spesso azzardate o dettate da scarsa conoscenza scientifica di base, frutto di una visione collettiva erronea di chimica “cattiva” contrapposta ad una generica scienza “buona”.

Più volte, infatti, anche la comunità dei chimici e la Società Chimica Italiana stessa hanno dovuto combattere contro una visione falsata della chimica, intesa come unica colpevole e responsabile di tutti i problemi che affliggono il mondo moderno in termini di inquinamento, insalubrità del cibo, esposizione a sostanze pericolose, mancanza di genuinità e così via, seguendo la lunga serie di luoghi comuni, ben incul-

cati nell'opinione pubblica, che tutti conosciamo [2]. In effetti, la produzione, l'impiego, il trasporto o lo smaltimento di composti chimici pericolosi, di esplosivi, di materiali industriali altamente inquinanti o di sostanze cancerogene sono i classici esempi di situazioni potenzialmente a rischio che possono generare sospetti, paure e diffondere tra l'ampio pubblico dei non esperti una sensazione di vulnerabilità e di impotenza.

Vi è però un caso specifico in cui la chimica è “intenzionalmente cattiva” e in cui la finalità di nuocere all'uomo è del tutto deliberata e voluta: la progettazione, lo sviluppo e la produzione di armi di distruzione di massa e, più nello specifico, di armi chimiche.

## Armi chimiche e Grande Guerra

Già ai tempi dall'antichità classica i giuristi romani avevano condannato l'uso in guerra di armi non convenzionali con le parole: *armis bella non venenis geri* [3]. Essi facevano riferimento, in particolare, al diffuso uso di sostanze velenose, solitamente estratte

L'articolo è basato sulla relazione presentata durante il XXVI Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana di Paestum (SA) (10-14 settembre 2017) in occasione del conferimento a Matteo Guidotti della Medaglia d'Oro “D. Marotta”.



Fig. 1 - Langemark-Poelkapelle, a nord di Ieper/Ypres (Belgio). Fotografia aerea del 22 aprile 1915. In quell'occasione l'esercito tedesco rilasciò 168 t di cloro gassoso da 5730 bombole contro gli avversari francesi, canadesi e britannici

dal mondo vegetale, per avvelenare i pozzi d'acqua potabile durante gli assedi delle città. Eppure solo un secolo fa, con lo scoppio della Prima Guerra Mondiale, si può dire che la scienza e la tecnologia abbiano avuto un ruolo determinante nello sviluppo della macchina bellica. Oltre allo spaventoso numero di morti e di feriti e l'impressionante ampiezza delle aree d'Europa devastate dalle operazioni militari, la Grande Guerra ha registrato infatti un vasto numero di innovazioni tecnologiche portate direttamente sul campo di battaglia: si pensi all'uso su larga scala, mai visto in precedenza per scopi militari, di automezzi, dirigibili, aeroplani, sottomarini, fotoelettriche o esplosivi sempre più potenti [4].

In questa gara tesa al vantaggio tecnologico, la chimica ha avuto un ruolo importantissimo: la disponibilità, potenziata rispetto ai decenni precedenti, di ammoniaca, sintetizzata a partire dall'azoto atmosferico con il processo Haber-Bosch, di nitrati, ottenuti per ossidazione dell'ammoniaca stessa con il processo di Ostwald e di acetone, prodotto per fermentazione dei carboidrati in presenza di *Clostridium acetobutylicum* secondo il processo ABE (acetone-butanolo-etanolo) di Weizmann [5], ha consentito la produzione di esplosivi via via più devastanti, grazie a processi sintetici messi tutti a punto proprio in quegli anni. Per produrre la cordite, ad esempio, un esplosivo infume a base di nitroglicerina, nitrocellulosa e oli minerali, ampiamente usato per le cariche di lancio nelle armi da fuoco portatili e le artiglierie navali, vi era necessità di enormi volumi di acetone. Quest'ultimo era impiegato come sol-

vente per poter estrarre la sostanza esplosiva in fili da inserire all'interno delle munizioni e, nel solo Regno Unito, per ottenere 2000 t settimanali di cordite, erano necessarie più di 440 t di acetone [6]. Allo stesso modo, l'impiego bellico di dirigibili e di apparati volanti "più leggeri dell'aria" ha dato un impulso notevolissimo alla produzione di idrogeno gassoso, prima, e, negli ultimi anni di guerra, all'estrazione di elio, soprattutto negli Stati Uniti, dai campi metaniferi del Texas, che potevano contenerne dall'1 al 2% in volume.

La Prima Guerra Mondiale è però da tutti ricordata per i primi casi di utilizzo di grandi quantità di aggressivi chimici per scopi bellici. Se infatti fu il rilascio di cloro gassoso, a Ieper/Ypres, in Belgio, sul fronte franco-tedesco, nell'aprile del 1915, a segnare l'inizio dell'impiego di sostanze chimiche tossiche per finalità belliche [7] (Fig. 1), va sottolineato che proprio due anni dopo, sempre a Ieper, i tedeschi impiegarono per la prima volta il 2,2'-dicloroetilsol-

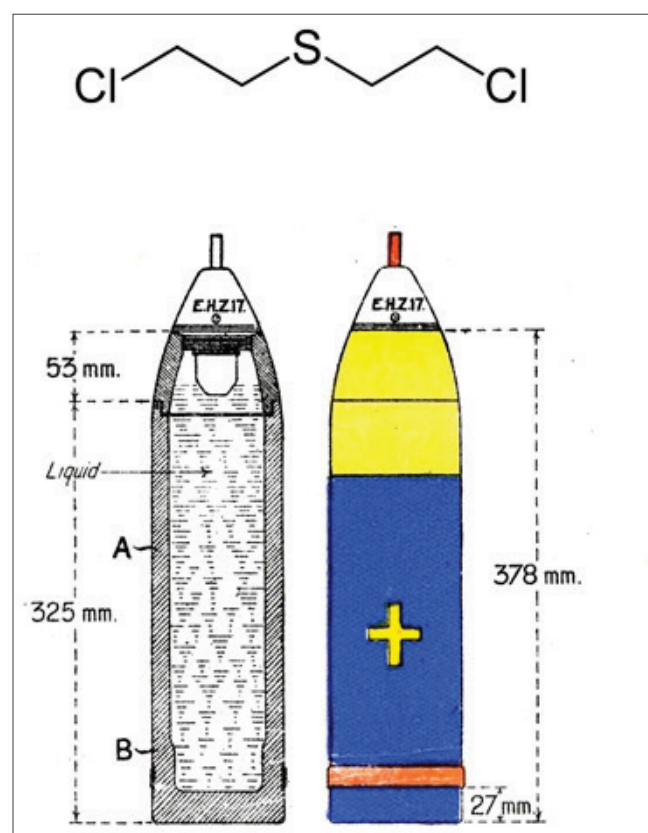


Fig. 2 - 2,2'-dicloroetilsolfuro, aggressivo chimico noto anche come iprite o "mostarda solforata" (in alto); schema dell'epoca di un proiettile di artiglieria tedesco caricato con iprite (in basso)



Fig. 3 - Firma della Convenzione internazionale per la Proibizione delle Armi Chimiche (CWC) a Parigi nel gennaio 1993

furo, composto meglio noto come iprite o *mostarda solforata* (Fig. 2), che presenta un'estrema tossicità per le mucose e per l'epidermide e che era stato selezionato e sintetizzato espressamente come aggressivo letale.

In effetti, mentre il cloro molecolare trovava, e trova ancora, applicazione in un amplissimo numero di applicazioni pacifiche (nella potabilizzazione dell'acqua, nella produzione di candeggianti, di disinfettanti o di pigmenti coloranti), l'iprite non era stata preparata su larga scala con altri scopi se non quello di arrecare danno all'umanità [8]. Si può dunque per questo motivo considerare il 1917, ancor più che il 1915, come la data simbolo dell'inizio dell'impiego, per scopi puramente offensivi, di sostanze chimiche altamente tossiche appositamente studiate per essere impiegate come armi.

### L'uso duale della chimica

È necessario a questo punto ricordare la definizione corretta di aggressivo chimico. La CWC, Chemical Weapons Convention, convenzione attualmente in vigore, firmata da 192 nazioni (su 196) nel mondo (Fig. 3), che bandisce la produzione, lo sviluppo e l'impiego di sostanze tossiche per fini bellici, definisce armi chimiche "tutte quelle sostanze che, tramite la loro azione chimica sui processi vitali, possono causare morte, incapacità permanente o temporanea agli esseri umani o agli animali" [9]. Ciò comprende ogni tipo di sostanza chimica, indipendentemente dalla sua origine, provenienza,

metodo di produzione o dal suo inserimento in munizioni o sistemi d'arma.

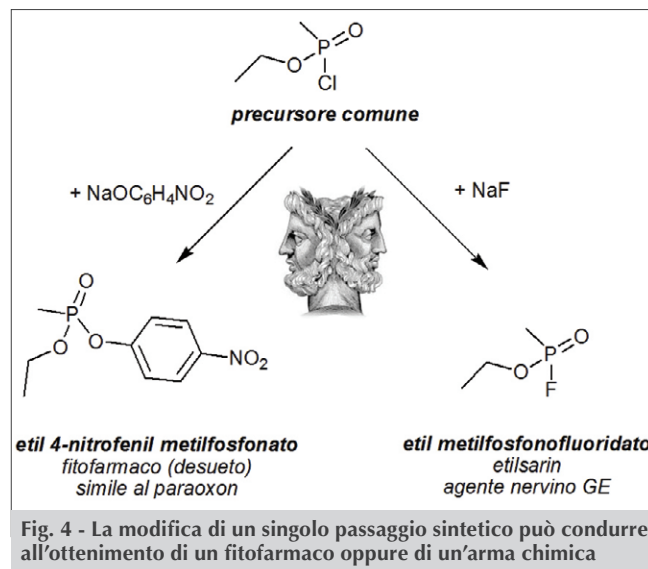
L'attenzione viene dunque posta non sulla natura della sostanza, ma sull'effetto tossico che può avere sui viventi e, seguendo questa definizione, è lecito chiedersi se qualsiasi composto chimico che presenti una spiccata tossicità intrinseca debba essere considerato una possibile arma chimica.

Tale domanda è alla base del concetto di *uso duale* della chimica, cioè del fatto che per ogni molecola, naturale o sintetizzata dall'uomo, vi possa essere un impiego per scopi pacifici oppure per finalità belliche o criminali, contro altri esseri umani.

Un esempio paradigmatico di questa dualità, intrinsecamente presente in pressoché ogni composto chimico di uso quotidiano, è il nitrato d'ammonio: un valido ed economico fertilizzante per l'agricoltura (sintetizzato proprio grazie al processo Haber-Bosch, menzionato sopra), ma, allo stesso tempo, un potente esplosivo, il cui uso incauto può portare a gravi incidenti industriali [10] o che, addirittura, può essere utilizzato per produrre rudimentali, ma efficaci, bombe per fini terroristici [11].

Allo stesso modo, minime modifiche nel processo industriale di sintesi di un fitofarmaco organofosfonico possono facilmente portare ad ottenere un aggressivo nervino, con attività anticolinesterasica e una spiccata tossicità per l'uomo, al posto di un insetticida di impiego agricolo (Fig. 4).

Appare evidente dunque come ogni passo avanti nel



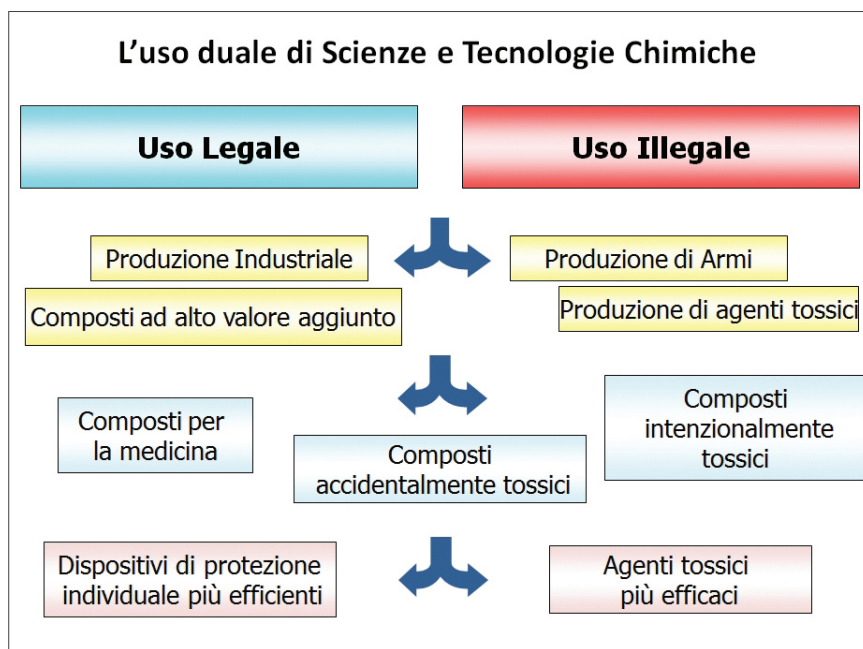


Fig. 5 - Anche le scienze e le tecnologie chimiche, come tutte le altre discipline, possono vedere un uso duplice: per finalità pacifiche o per scopi criminali

campo della sintesi chimica o della manifattura di nuove sostanze possa portare alla messa a punto di altrettanto nuove potenziali minacce e, nel campo delle armi di distruzione di massa, di nuovi agenti tossici o di nuovi sistemi che possano risultare invisibili agli strumenti di rivelazione o superare in modo efficace i dispositivi di protezione individuale che la tecnica mette a disposizione (Fig. 5).

Una tale sensazione generalizzata di minaccia crescente si era fatta strada nell'opinione pubblica soprattutto a partire dagli anni della Guerra Fredda, in cui le due grandi superpotenze mondiali (USA e URSS) si fronteggiavano allestendo arsenali forniti di armi, anche di armi chimiche, sempre più numerose e potenti. Fu proprio in quegli anni, tra il 1950 e il 1980, che furono sviluppati e preparati nuovi aggressivi, come l'agente nervino VX, uno dei composti organofosforici di sintesi più tossici mai messi a punto [12], o sistemi d'arma innovativi, come le armi chimiche binarie, così chiamate perché costituite da due precursori che erano mantenuti separati e che risultavano scarsamente tossici nell'ordigno tal quale, prima dell'uso, ma che, una volta mescolati subito prima del momento dell'impiego, davano origine all'agente letale.

La minaccia percepita però sembrò ridursi note-

volmente con i fatti del 1989 legati alla caduta del blocco sovietico; lo spettro dell'impiego di armi di distruzione di massa appariva più lontano, visto che i conflitti degli anni Novanta, comunque drammatici, come nella ex-Jugoslavia, in Ruanda o in Medio Oriente, continuano a essere combattuti con armi del tutto convenzionali. Ma a partire dal 2001, dopo l'attentato alle Torri Gemelle di New York, la minaccia percepita di potenziale impiego di armi di distruzione di massa è tornata attuale, ma non per finalità belliche, ma bensì per scopi terroristici. Proprio di armi chimiche si è tornati a parlare infatti nel corso del 2017, a causa dell'uso di cloro gassoso e di sarin, nel bombardamento aereo su po-

polazione civile in Siria, il 4 aprile scorso [13], o dell'agente nervino VX, impiegato per assassinare Kim Jong Nam, fratellastro del capo di stato nordcoreano, a Kuala Lumpur, in Malesia, il 13 febbraio [14]. Questo crescente timore, dovuto all'instabile situazione sociopolitica internazionale, è stato, poi, affiancato anche dai sempre presenti rischi di incidenti su vasta scala dovuti al rilascio accidentale di materiali altamente pericolosi (si pensi, ad esempio, alla dispersione di radionuclidi nell'ambiente in seguito all'incidente di Fukushima del 2011 o al tragico incendio seguito al deragliamento a Viareggio nel 2009 del convoglio ferroviario che trasportava GPL).

### Minaccia, rischio e paura

È dunque necessario, in questo campo, distinguere in modo chiaro tra minaccia percepita e pericolo effettivo, tra sensazioni dell'ampio pubblico e conoscenza della minaccia, tra paura e rischio.

Una scarsa conoscenza della minaccia reale può infatti portare a considerazioni distorte, luoghi comuni erronei e falsi miti che possono persino influenzare negativamente l'operato di chi si occupa della prevenzione, della protezione e della difesa da rischi connessi con le armi non convenzionali.



Fig. 6 - Corsi di formazione per operatori del soccorso e dell'emergenza nei Paesi del Sud Est Asiatico organizzati dal Centro di Eccellenza per il rischio Chimico, Biologico, Radiologico e Nucleare dell'Unione Europea [17]

È opinione diffusa, ad esempio, che le armi chimiche siano uno strumento estremamente letale ed efficace. Studi specifici hanno però mostrato come in realtà la mortalità in battaglia dovuta ad aggressivi chimici si sia attestata dal 3 al 7% durante la Prima Guerra Mondiale e sia stata del 4% circa, nel conflitto tra Iran e Iraq degli anni Ottanta, valori da paragonare a un 30% medio di letalità dovuto all'impiego di armi da fuoco leggere o al 20% del fuoco di artiglieria [15]. A parità di carica e di raggio di azione, un proiettile di artiglieria caricato con esplosivo convenzionale è risultato infatti essere fino a sette volte più efficace, in termini di danni arrecati, rispetto ad una carica con agenti tossici chimici [16]. Va però anche detto che l'impiego di armi chimiche in un conflitto porta con sé grandi problemi logistici, per la presenza di vaste aree di terreno contaminate e quindi inaccessibili, complicazioni sanitarie, dovute all'elevato numero di persone colpite o anche solo potenzialmente intossicate, e, soprattutto, un impatto psicologico sulla popolazione e sulla stampa tutt'altro che trascurabile.

In un siffatto scenario, solo una conoscenza migliore e più approfondita può ridurre il senso di paura e di impotenza e solo iniziative di sensibilizzazione e formazione indirizzate ad un'ampia gamma di destinatari possono migliorare la preparazione e la resilienza della popolazione nell'affrontare situazioni di emergenza dovute a rilasci accidentali o criminali di sostanze chimiche tossiche.

In particolare, per i professionisti dell'emergenza e del soccorso, come vigili del fuoco, forze dell'ordine, sanitari, protezione civile e forze armate, che sono spesso chiamati ad essere presenti per primi sul luogo di un incidente o di un attentato, avere un'idea precisa delle caratteristiche chimico-fisiche delle principali classi di composti chimici potenzialmente pericolosi che possano essere presenti in un sito industriale o che possono venire impiegati per scopi illeciti, è un utilissimo punto di partenza per la scelta dei sistemi di protezione personale più adeguati, dei trattamenti sanitari d'urgenza da adottare, degli strumenti di rivelazione più affidabili, dei

metodi di decontaminazione immediata di persone e di cose più efficace (e che non dia luogo a reazioni secondarie indesiderate) e, come spesso capita nelle situazioni di vera emergenza, delle azioni da non dover assolutamente fare, per evitare ulteriori danni ai soccorritori e alle eventuali vittime (Fig. 6).

Per questo tipo di professionisti, e in questi casi, avere a disposizione strumentazione ed equipaggiamento protettivo all'avanguardia è senza dubbio importante e può talvolta aiutare a salvare vite umane, ma solo una conoscenza non superficiale dei materiali potenzialmente pericolosi e una formazione accompagnata da un'intensa attività pratica può portare a lavorare con ampi margini di sicurezza e di successo. I programmi di educazione, sensibilizzazione o formazione nelle scuole, negli atenei e presso le istituzioni pubbliche, sul rischio chimico, sull'etica del lavoro dello scienziato, sugli errori del passato e sulle contromisure a nostra disposizione per prevenire, annullare o, almeno, ridurre gli effetti nocivi dell'uso improprio della scienza su sono dunque un ottimo strumento per fugare paure infondate, smentire falsi miti e, in generale, aiutare il vasto pubblico a conoscere meglio la "buona" chimica e i suoi principi.

## BIBLIOGRAFIA E NOTE

- [1] L. Cardellini, *Chem. Internat.*, 2007, **29**, 4.
- [2] A titolo di esempio, molti lettori ricorderanno la campagna pubblicitaria 2010 dei salumi Fiorucci, in cui si propagandava una mortadella "100%



- naturale” con “zero chimica”. Contro affermazioni scorrette e fuorvianti come queste la Società Chimica Italiana si è sempre mossa con fermezza e con iniziative di divulgazione bilanciata.
- [3] *Le guerre devono essere combattute con le armi, non con i veleni*. Frase attribuita a Valerio Massimo, giurista vissuto a cavallo tra il I sec. a.C e I sec. d.C. e citato da Hugo Grotius, giurista olandese del XVII sec. in *De Jure Belli ac Pacis*, 3, IV/XV, Amsterdam: Apud Ioannem Blaev, 1646, 462.
- [4] In realtà alcuni di questi dispositivi erano già stati utilizzati in precedenza per finalità belliche (ad es., alcuni sommergibili sperimentali nella guerra di Secessione Americana o gli automezzi pesanti, da parte italiana, nella Guerra di Libia del 1911-12), ma in nessun caso in modo così sistematico e organizzato come nel periodo 1914-1918.
- [5] F. Trifirò, *La Chimica e l'Industria*, 2015, 97(2), 15; M. Sauer, *FEMS Microbiol. Lett.*, 2016, 363(13), fnw134, DOI: [10.1093/femsle/fnw134](https://doi.org/10.1093/femsle/fnw134)
- [6] L.C. Cooley, *Ind. Eng. Chem.*, 1937, 29(12), 1399, DOI: [10.1021/ie50336a020](https://doi.org/10.1021/ie50336a020)
- [7] Fritz Haber, premio Nobel per la Chimica nel 1918, era stato personalmente presente alle operazioni di preparazione dell'attacco con cloro gassoso nel corso della seconda battaglia di Ypres (22 aprile - 25 maggio 1915).
- [8] L'iprite era stata scoperta nel 1820 in Francia, ma l'elevata tossicità della sostanza ne aveva impedito qualsiasi uso per scopo pacifico. Nel 1913 Clarke e Fischer (premio Nobel in Chimica 1902) ne misero a punto a Berlino una sintesi talmente efficace che, durante le ricerche, la rottura di un flacone costrinse Clarke a due mesi di ospedale. Le autorità militari tedesche, venute a conoscenza dell'accaduto, diedero in seguito avvio alla produzione industriale dell'organosolfuro per un impiego esclusivamente bellico.
- [9] Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons (OPCW), *Convention on the Prohibition of the Development, Production, Stockpiling and Use of Chemical Weapons and on their Destruction*, Article II. Paris, 1993.
- [10] Texas City, Tolosa e Tianjin sono tre località in cui si sono verificati tre gravi incidenti, avvenuti rispettivamente nel 1947, 2001 e 2015, che hanno visto devastanti esplosioni dovute alla presenza di nitrato d'ammonio.
- [11] Il 12 ottobre 2009 un libico di nome Mohamed Game tentò di portare a termine un attentato terroristico a Milano presso una caserma dell'Esercito con un ordigno esplosivo artigianale contenente circa 5 kg di nitrato di ammonio. La bomba esplose solo in parte, ferendo gravemente lo stesso attentatore e solo lievemente due militari.
- [12] Agente VX. O-etil-S-[2-(diisopropilammino)etil] metilfosfonotiolato, aggressivo nervino della famiglia degli anticolinesterasici; è da 20 a 100 volte più letale del ben noto agente nervino sarin, S.W. Wiener, R.S. Hoffman, *J. Intensive Care Med.*, 2004, 19(1), 22.
- [13] <https://www.opcw.org/news/article/opcw-fact-finding-mission-confirms-use-of-chemical-weapons-in-khan-shaykhun-on-4-april-2017/>
- [14] <http://www.straitstimes.com/asia/se-asia/kim-jong-nams-personal-items-with-traces-of-vx-nerve-agent-sent-back-to-north-korea>
- [15] C. Bismuth, S.W. Borron, F.J. Baud, P. Barriot, *Toxicol. Lett.*, 2004, 149, 11.
- [16] R.A. Greenfield, B.R. Brown, J.B. Hutchins *et al.*, *Am. J. Med. Sci.*, 2002, 323(6), 326.
- [17] Enhancement of CBRN capacities of South-East Asia in addressing CBRN risk mitigation concerning CBRN first response, biosafety and biosecurity awareness raising and legal framework, <http://www.cbrn-coe46.eu>

### There Are No Evil Molecules: Knowledge and Awareness Raising for the Mitigation of “Bad” Chemistry

Hazardous industrial chemicals, pollutants, explosives and chemical weapons are well known examples generating fear and increasing the general feeling of vulnerability in non-expert population, in the past as well as at present. Only a better knowledge of chemical sciences and technologies can minimise fear and only adequate awareness-raising actions can enhance people's preparedness and resilience against chemical disasters and threats.