



# Armi chimiche

## Quando la scienza e la tecnologia diventano nemiche dell'uomo

di Matteo Guidotti

Spesso pregiudizi affrettati e cattiva informazione portano l'opinione pubblica a pensare che la chimica apporti più danni che vantaggi all'umanità. C'è un caso però in cui il fine di nuocere all'uomo e all'ambiente è del tutto deliberato ed intenzionale: l'impiego di aggressivi chimici. Il presente articolo, lungi dall'essere una trattazione esauriente, vuole passare in rapida rassegna gli aggressivi d'impiego bellico maggiormente noti, con qualche nota più prettamente tecnica riguardo alla loro produzione, all'impiego e alle loro caratteristiche chimico-fisiche.

**L**e notizie di cronaca internazionale hanno negli ultimi mesi riportato alla ribalta la questione di un potenziale utilizzo delle cosiddette "armi chimiche", sia in operazioni belliche, sia in attentati terroristici. La crescente attenzione con cui gli organi di stampa se ne sono occupati, seppur talvolta in modo confuso, dimostra che ancora all'inizio del XXI secolo gli aggressivi chimici rappresentano una minaccia, anche psicologica, tutt'altro che trascurabile. È opportuno quindi, prima di descrivere le singole sostanze, ricordare le circostanze storiche e politiche che hanno portato allo sviluppo e all'impiego di questa categoria di armi di distruzione di massa.

### Sviluppo storico

Sebbene l'uso in campo di battaglia di sostanze nocive o irritanti per l'uomo fosse noto già dall'antichità, il triste primato dell'impiego sistematico delle armi chimiche come elemento determinante le sorti di uno scontro spetta alla Prima Guerra Mondiale. L'elevato numero di vittime causate da questi nuovi mezzi d'offesa portò a stilare, nel 1925, il Protocollo di Ginevra, che fu firmato da 149 Stati ed in cui la comunità internazionale prendeva coscienza dell'efficacia distruttiva offerta dalle nuove armi. Si delineavano così le *armi chimiche* come quelle sostanze gassose, liquide o solide, che possono essere impiegate per il loro effetto tossico diretto sull'uomo, sugli animali e sulle piante [1]. Diverse nazioni (tra cui gli Stati Uniti), pur firmando il Protocollo, si arrogarono la facoltà di utilizzare l'arsenale chimico in risposta ad un'offensiva con aggressivi chimici. Altri Stati firmatari contravvennero poi ai patti impiegando queste armi in azioni di guerra (come per esempio, negli anni Trenta, l'Italia in Etiopia o il Giappone in Manciuria). Non ci fu invece alcun caso di impiego deliberato di armi chimiche durante la Seconda Guerra Mondiale, benché enormi fossero le riserve accumulate dai paesi belligeranti. Tale situa-

M. Guidotti, CNR-Istituto di Scienze e Tecnologie Molecolari - Milano. [mguidotti@istm.cnr.it](mailto:mguidotti@istm.cnr.it). Conferenza addestrativa presentata presso il I Reparto del Corpo Militare del Sovrano Militare Ordine di Malta.

zione di "statica deterrenza" durò fino agli anni del conflitto Iran-Iraq (1982-1987), in cui fu attestato un uso esteso di aggressivi chimici. In seguito a questa recrudescenza della minaccia, nel gennaio 1993, fu firmata a Parigi da 111 Stati la Convenzione sulle Armi Chimiche (Chemical Weapons Convention). In questa si trova la definizione più aggiornata di *arma chimica* tuttora in vigore: "... qualsiasi sostanza che, tramite i suoi effetti sui processi vitali, può causare morte, incapacità temporanea o permanente a uomini e animali..." [2]. La Convenzione, in modo più ampio rispetto al Protocollo di Ginevra, tenta di definire una lista delle sostanze proibite e bandisce lo sviluppo, la produzione, l'ammasso, il trasferimento e l'uso di armi chimiche in tutti gli Stati che vi hanno aderito. Essa non proibisce invece lo sviluppo di sostanze tossiche che abbiano un'applicazione pacifica nel campo industriale, agricolo, medico o farmaceutico. In pratica, il diritto internazionale ha voluto rispondere, ad ogni impiego o minaccia d'impiego di aggressivi chimici, con l'applicazione di norme più severe per il controllo e la messa al bando di questi composti.

### Luoghi comuni

Vi sono però nell'opinione pubblica alcuni luoghi comuni, spesso alimentati da mezzi d'informazione approssimativi, che dovrebbero essere sfatati riguardo agli aggressivi chimici. Ad esempio, spesso ci si riferisce all'impiego bellico di queste sostanze con i termini di "gas tossici" o di "gas da guerra". Queste espressioni derivano dai tempi della Prima Guerra Mondiale, in cui erano stati impiegati aggressivi gassosi o liquidi bassobollenti, come il cloro o il fosgene. In realtà, le armi chimiche moderne non sono quasi mai allo stato di gas, ma sono preferenzialmente liquidi ad alto punto di ebollizione o solidi. È anzi frequente che nella formulazione di aggressivi troppo volatili vengano aggiunti degli additivi addensanti che ne aumentino la permanenza e l'efficacia offensiva.



È inoltre opinione comune che la ricerca bellica abbia portato negli ultimi anni alla messa a punto di aggressivi chimici sempre più pericolosi e subdoli. In realtà, negli ultimi quarant'anni, l'innovazione nel campo delle armi chimiche è stata pressoché nulla rispetto ad altri settori della ricerca militare, visto che gran parte delle sostanze attualmente note sono state sviluppate tra il 1930 ed il 1960 [3]. Inoltre, sebbene centinaia di migliaia di sostanze tossiche siano state studiate per il loro potenziale uso bellico, soltanto una sessantina di queste sono state effettivamente prese in considerazione, prodotte ed accumulate in quantità ragguardevoli negli arsenali delle potenze militari mondiali [4, 5]. D'altra parte, grande impulso ha avuto e sta ancora avendo lo studio di tecniche di difesa, di rilevazione e di smaltimento degli aggressivi, grazie anche alle sempre più stringenti norme internazionali sulla distruzione e bonifica degli arsenali chimici [6, 7]. Un discorso a parte dev'essere invece fatto per le tossine di origine biologica, cioè quelle sostanze altamente tossiche prodotte da organismi viventi, che possono anch'esse essere utilizzate per scopi bellici: i progressi conseguiti negli ultimi vent'anni dall'ingegneria genetica e dalle biotecnologie mettono a disposizione una varietà di tossine impensabile fino a pochi decenni fa e ne consentono la produzione in quantità di gran lunga maggiori rispetto al passato [8]. Questi aggressivi di origine biologica, che sono regolamentati e controllati da un trattato a sé stante, la Convenzione sulle Armi Biologiche e sulle Tossine del 1972, non saranno trattati in questo breve articolo.

## Vantaggi e svantaggi

L'impiego di armi chimiche presenta una serie di peculiarità che, a seconda delle situazioni e dei punti di vista, possono tradursi in vantaggi o svantaggi. Gli aggressivi chimici:

- sono prodotti con tecnologie più semplici, economiche e di facile accessibilità rispetto ad altre armi di distruzione di massa;
  - richiedono grandi quantità di precursori per creare un arsenale efficace;
  - causano danni agli organismi viventi, ma non alle strutture e ai materiali;
  - hanno un impatto psicologico rilevante sulla popolazione colpita;
  - sono resi ampiamente inefficienti dalle moderne metodologie difensive;
  - sono molto sensibili ai fattori ambientali durante l'utilizzo (umidità, temperatura ecc.);
  - impongono l'uso di misure difensive anche all'attaccante, che ne possono ridurre l'efficienza tattica;
  - presentano il loro fattore critico nella metodologia di immagazzinamento e nella costruzione di adeguati mezzi di dispersione.
- Da questi elementi si può desumere che, al giorno d'oggi, grazie all'elevato addestramento del personale impegnato in azioni belliche, gli eventuali vantaggi che si potrebbero trarre da un impiego di queste sostanze in campo di battaglia sono inferiori agli svantaggi cui si andrebbe incontro. D'altra parte, un attacco terroristico che dovesse far uso di queste armi, anche in quantità modeste, contro un obiettivo civile inerme o impreparato potrebbe portare a danni ingenti, in termini di vittime, e ad una notevole pressione psicologica sulla popolazione. Questo è quanto accaduto, ad esempio, nel 1995 con l'attacco terroristico in una stazione della metropolitana di Tokyo da parte di un gruppo di fanatici criminali: alcune buste perforate contenenti l'aggressivo nervino Sarin bastarono ad uccidere 12 persone e ad intossicare 500.

## Classificazione degli aggressivi

Per passare in rassegna le tipologie di aggressivi, si seguirà la classificazione più comune, che li ordina in funzione degli

effetti fisiopatologici che causano sull'uomo [1]. Anzitutto si distinguono due principali categorie: gli aggressivi *letali* e gli aggressivi *incapacitanti*. Una sostanza è detta incapacitante qualora meno di 1/100 della dose letale possa causare alla psiche o al fisico di una persona disturbi tali da renderla incapace di agire nel pieno delle sue facoltà. Ovviamente, la demarcazione tra aggressivo letale ed incapacitante non è assoluta, ma si basa su valutazioni statistiche di tipo tossicologico. Gli aggressivi chimici letali si distinguono ulteriormente in:

- neurotossici o nervini
- vescicanti
- sistemici
- soffocanti.

Tra gli aggressivi incapacitanti si annoverano invece gli agenti:

- psicomimetici
- lacrimogeni
- starnutatori-vomitativi.

Le caratteristiche chimico-fisiche degli aggressivi più noti sono riassunte nella Tabella a lato.

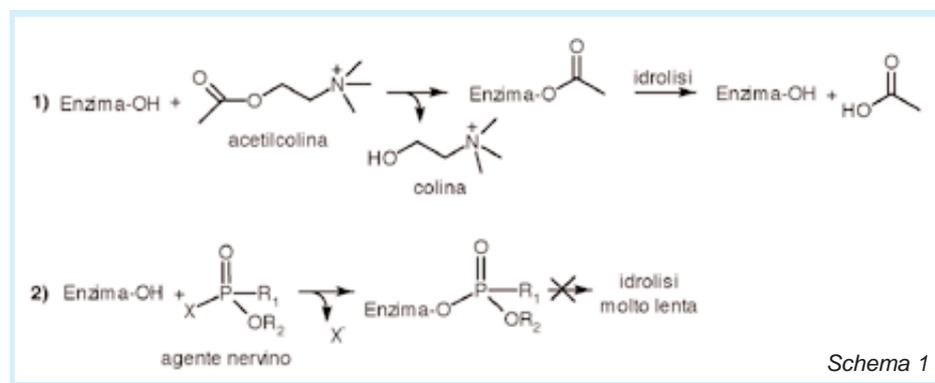
### Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche di alcuni aggressivi chimici [da Rif. 1, 9, 10]

1	Sarin	VX	Cianuro di idrogeno	Fosgene	Cloropicrina	Iprite
2	nervino	nervino	sistemico	asfissiante	asfissiante	vescicante
3	-56	-39	-14	-118	-69	14
4	147	298	26	8	112	228
5	1,6·10 <sup>4</sup>	3	8,7·10 <sup>5</sup>	6,4·10 <sup>6</sup>	1,7·10 <sup>5</sup>	625
6	00	1÷5 %	00	idrolizza	0,2%	0,1%
7	5	0,5	2.000	1.600	60	100
8	70÷100	50	1.000÷2.000	5.000	8.000	1.000÷1.500
9	1.700	6	7.000	-	-	7.000
1	Lewisite	LSD	BZ	Adamsite	CS	
2	vescicante	psicomimetico	psicomimetico	starnutat.-vomitat.	lacrimogeno	
3	-13	198	240	195	72	
4	190	-	-	410 (dec.)	310	
5	4,5·10 <sup>3</sup>	trascurabile	trascurabile	2,9·10 <sup>-2</sup>	0,35	
6	scarsa	elevata	elevata	0,6%	0,05%	
7	300	-	100÷200	20÷25	5÷10	
8	1.200	-	2·10 <sup>5</sup>	1,5·10 <sup>4</sup> ÷3,0·10 <sup>4</sup>	2,5·10 <sup>4</sup> ÷1,0·10 <sup>5</sup>	
9	2.500	-	-	-	-	

Legenda: (1) nome comune; (2) classe; (3) p.f. (°C); (4) p.e. (°C); (5) volatilità a 20 °C (mg m<sup>-3</sup>); (6) solubilità in H<sub>2</sub>O a 20 °C; (7) IC<sub>50</sub>: esposizione media ai vapori incapacitante (mg min. m<sup>-3</sup>); (8) LC<sub>50</sub>: esposizione media ai vapori letale (mg min. m<sup>-3</sup>); (9) LD<sub>50</sub>: dose letale per assorbimento cutaneo (mg per individuo).

## Aggressivi neurotossici

Questi aggressivi, detti comunemente “nervini”, hanno svolto un ruolo pressoché dominante negli arsenali chimici dalla Seconda Guerra Mondiale ad oggi. Sono composti organofosforati ed, in particolare, sono esteri alchilici di derivati dell'acido cianofosforico (per esempio Tabun) o dell'acido metilfosfonico (per esempio Sarin, Soman). Esplicano la loro azione tossica inibendo l'enzima acetilcolinesterasi, che ha il ruolo di moderare la trasmissione degli impulsi nervosi, e causando un accumulo di acetilcolina nelle giunzioni neuronali. In condizioni normali l'enzima, idrolizzando rapidamente l'acetilcolina mediatrice del segnale nervoso, permette di ricondurre il ricettore sulla cellula bersaglio del messaggio alla condizione di riposo (Schema 1, 1). In presenza dell'agente nervino invece l'enzima viene inattivato ed il ricettore neuronale rimane “bloccato” dall'esubero di acetilcolina che non riesce ad essere idrolizzata (Schema 1, 2). Si ha quindi il malfunzionamento globale della sequenza di impulsi nervosi, sia nel sistema nervoso centrale, che in quello periferico. Dal punto di vista molecolare, il centro reattivo dell'aggressivo è l'atomo di fosforo, che è soggetto all'attacco di qualsiasi nucleofilo, compreso il gruppo -OH della serina presente nel sito attivo dell'acetilcolinesterasi. Così facendo, l'enzima viene inibito in modo irreversibile. Negli organismi colpiti l'avvelenamento è rapidissimo e sopravvivono difficoltà nel respiro e nella vista, nausea, vertigini, tremori e convulsioni; la morte giunge in breve tempo per paralisi della respirazione. Tali aggressivi sono particolarmente insidiosi perché vengono assorbiti non solo per inalazione, ma anche attraverso la pelle e le mucose.

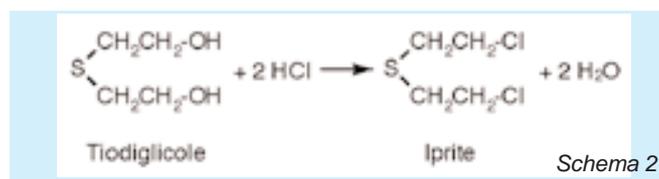


È da notare inoltre che composti di organofosforo analoghi vengono anche impiegati nella manifattura degli insetticidi e degli antiparassitari: in questi però il gruppo P=O è in genere rimpiazzato da P=S e al fosforo sono legati gruppi funzionali meno reattivi rispetto a -F o -CN. La notevole somiglianza di questi aggressivi con composti di ampio impiego industriale spiega come sia possibile, anche per piccole bande terroristiche, trovare con facilità sul mercato internazionale i precursori utili alla sintesi di queste temibili armi.

## Aggressivi vescicanti

Già noti dagli anni Venti dell'Ottocento, gli agenti chimici vescicanti sono stati impiegati per la prima volta per scopi bellici nell'ultimo periodo della Prima Guerra Mondiale. In questa circostanza sono stati ribattezzati con il nome di “agenti mostarda” a causa dell'odore pungente, simile a quello della senape, che pre-

sentano soprattutto quando sono impuri o miscelati con altri aggressivi. Dal punto di vista chimico, si tratta di cloroalchilidriverivati di zolfo (per esempio Iprite: bis-(2-cloroetil)solfuro) o di azoto (per esempio Azotoiprite: tris-(2-cloroetil)ammina), la cui azione più manifesta e caratteristica è quella di produrre sulla cute e sulle mucose vescicazioni molto estese e profonde. La tossicità di queste sostanze dipende dalla loro grande tendenza a legarsi covalentemente con qualsiasi nucleofilo, come l'azoto delle basi costituenti gli acidi nucleici o i gruppi -SH di proteine ed enzimi. Poiché inoltre ciascuna molecola contiene più centri reattivi (in corrispondenza dei gruppi uscenti -Cl), si ha anche la formazione di ponti intra- o intermolecolari, che possono compromettere irreversibilmente il funzionamento biochimico di molti processi nei tessuti viventi. Questi composti presentano un'azione insidiosa, in quanto, generalmente, non si avverte alcun sintomo allarmante subito dopo l'esposizione; le manifestazioni più preoccupanti insorgono invece dopo circa 4-5 ore dall'avvenuta contaminazione, con arrossamento e dolore intenso delle parti colpite, seguiti da edema e necrosi dei tessuti. Di gran lunga più pericolose sono le lesioni a carico degli occhi e dell'apparato respiratorio.



Numerose sono le vie sintetiche che portano all'ottenimento di aggressivi vescicanti e nessuna di queste richiede tecnologie sofisticate, né precursori inusuali. Nella fattispecie, l'iprite può essere facilmente ottenuta per clorurazione del tiodiglicole (Schema 2), un solfuro organico usato ampiamente nella manifattura di inchiostri per penne a sfera, di plastiche, di lubrificanti e nelle soluzioni di sviluppo fotografico [3]. È per queste ragioni che gli “agenti mostarda” sono tra gli aggressivi che più frequentemente sono prescelti dalle nazioni che intendono contravvenire ai trattati internazionali e costruire un arsenale chimico.

## Aggressivi sistemici

A questa famiglia appartengono alcune sostanze la cui tossicità e pericolosità è nota da lungo tempo, come il cianuro di idrogeno (HCN) ed il monossido di carbonio (CO). Questi aggressivi possono agire per ingestione, per assorbimento cutaneo o per inalazione; quest'ultima via è quella che ha la maggior probabilità di verificarsi in operazioni belliche. Trattandosi di molecole molto semplici, di bassa massa molecolare e di elevata affinità verso i metalli di transizione (in particolare il ferro), una volta giunte nel flusso sanguigno, inibiscono gli enzimi contenenti metalli, impediscono il trasporto di ossigeno e ne bloccano l'utilizzo a livello cellulare. Nella fattispecie, la tossicità dei cianuri è in gran parte imputabile alla loro capacità di inibire l'enzima citocromo ossidasi che è responsabile dei processi di respirazione aerobica nella cellula; se il sito attivo contenente ferro è bloccato, l'acido lattico si accumula e la cellula muore per anossia. Nei

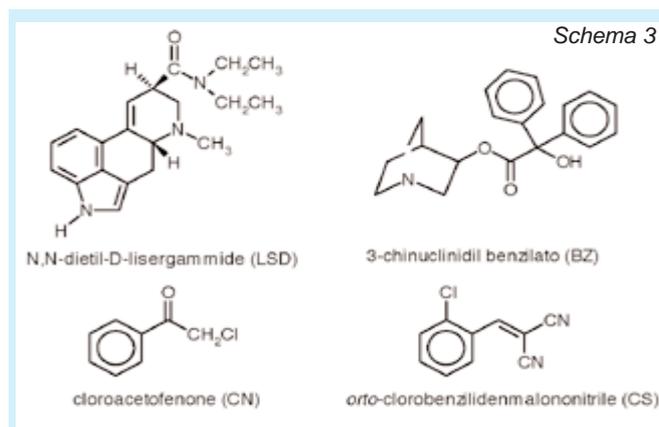
casi gravi d'intossicazione, il soggetto viene colto da mal di testa improvviso, vertigini e perdita di coscienza, cui seguono convulsioni e coma. La morte può sopraggiungere in pochi minuti. Sebbene questi aggressivi siano molto tossici, il loro impiego in guerra è molto limitato ed aleatorio a causa della loro elevata volatilità (in questi casi specifici si può quindi a ragione parlare di "gas tossici"). Sono invece molto pericolosi nel caso di locali chiusi e sprovvisti di un'efficiente ventilazione (caverne, fortificazioni o mezzi corazzati). Uno degli usi più tristemente noti infatti del cianuro di idrogeno durante la Seconda Guerra Mondiale è stato nelle camere a gas naziste, sotto il nome di Zyklon B.

## Aggressivi soffocanti

Cloro ( $\text{Cl}_2$ ) e fosgene ( $\text{COCl}_2$ ) sono stati tra i primi aggressivi chimici ad essere impiegati in azioni belliche durante la Prima Guerra Mondiale. Sebbene l'efficacia tattica fosse scarsa ed i metodi di dispersione degli agenti tossici fossero primitivi, l'impiego di queste nuove armi contro truppe non preparate ed indifese inflisse gravi danni, ma soprattutto seminò il panico della "morte invisibile" tra i combattenti nelle trincee. Gli agenti soffocanti agiscono essenzialmente per effetto dei vapori inalati provocando, nei casi più gravi, in un primo tempo, irritazioni delle prime vie respiratorie e, successivamente, dopo un periodo d'incubazione di 4-5 ore, un travaso massivo di plasma sanguigno negli alveoli polmonari con conseguente morte per asfissia. Dal punto di vista chimico, queste sostanze esplicano l'azione irritante reagendo con le mucose delle vie respiratorie; in particolare, il fosgene ed i suoi derivati, idrolizzandosi a contatto con l'umidità delle mucose, producono una serie di sottoprodotti altamente irritanti che sono l'effettiva causa dei sintomi sopra descritti. Molti di questi potenziali aggressivi, per quanto siano diventati obsoleti grazie alle aumentate capacità difensive, sono praticamente alla portata di tutti, visto che sono anche materie prime di diffusissimo uso industriale. Possono perciò ancora rappresentare una minaccia nei teatri di guerra dei paesi in via di sviluppo, dove la tecnologia bellica della protezione personale è spesso scadente e dove vi può essere una larga disponibilità di intermedi forniti dalle industrie chimiche locali.

## Aggressivi psicomimetici

Durante il periodo della "guerra fredda" della seconda metà del secolo XX, la ricerca bellica di entrambi gli schieramenti ha profuso notevoli risorse nello sviluppo delle cosiddette *armi non letali*. A questo scopo stati presi in esame anche numerosi composti chimici in grado di procurare uno stato di disturbo psicofisico temporaneo, che rendesse il combattente incapace di difendersi. Negli anni Cinquanta furono studiati in particolare gli esteri dell'acido glicolico. Le sostanze psicoattive più note di questa categoria sono però la N,N-dietil-D-lisergamide (meglio nota come LSD) ed il 3-chinuclidinil benzilato (BZ) (Schema 3). Il meccanismo d'azione di questi aggressivi si basa sull'alterazione della trasmissione degli impulsi nervosi delle percezioni sensoriali che dalla periferia giungono al sistema nervoso centrale. Tale alterazione, che può essere ad effetto deprimente (come nel caso del BZ) o eccitante (come con l'LSD), non consente il coordinamento e la cernita delle informazioni che giungono ai centri nervosi e delle relative risposte psichiche e motorie che da questi si dipartono. La varietà e la diversità di questi aggressivi è però talmente vasta che è arduo descriverne in modo generico il funzionamento. È da notare come molti dei principi attivi esaminati dalla ricer-



ca bellica fossero in realtà già stati considerati attentamente dalla ricerca farmaceutica. Alcuni di questi infatti hanno anche un uso farmacologico pacifico e legittimo. Esiste quindi il rischio che potenziali nuove armi incapacitanti possano essere perfezionate nei prossimi anni dall'industria farmaceutica di quei paesi che non hanno sottoscritto le clausole di messa al bando di ogni forma di ricerca applicata allo sviluppo di armamenti chimici.

## Agenti irritanti

Già nelle cronache antiche e medioevali si ha testimonianza dell'uso di fumi irritanti, ottenuti dalla combustione di miscele di pece, zolfo ed altre sostanze, per forzare la capitolazione di città assediate o per infondere il malcontento nelle truppe avversarie. Solamente dopo la Seconda Guerra Mondiale però questa classe di aggressivi non letali è stata studiata in modo sistematico. Sono considerati irritanti gli aggressivi lacrimogeni e gli aggressivi starnutatori-vomitativi, perché agiscono prevalentemente sulle mucose degli occhi, del naso e della gola. In particolare, i lacrimogeni producono immediatamente una forte lacrimazione ed una moderata irritazione della pelle, soprattutto nei punti in cui si verifica sudorazione. Una particolarità di questi agenti è quella di presentare un divario molto netto ed elevato tra la soglia di sensibilità fisiologica (la concentrazione minima per cui si ha una risposta di irritazione da parte dell'organismo) e dose letale media (la quantità di aggressivo in grado di provocare il decesso del 50% degli individui esposti). Inoltre gli effetti irritanti scompaiono abbastanza rapidamente (15-30 min.) e senza conseguenze al cessare dell'esposizione. Per questi motivi, queste sostanze trovano largo impiego anche per esigenze di ordine pubblico. Tra i lacrimogeni più diffusi tra le forze di polizia di tutto il mondo figurano: il cloroacetofenone (CN) e l'orto-clorobenzilidenmalononitrile (CS) (Schema 3). Gli starnutatori-vomitativi producono invece irritazioni alle mucose del naso, della faringe e della trachea, tali da provocare l'insorgenza di disturbi funzionali, fra cui starnutazione, nausea e vomito, accompagnati da cefalee e odontalgie intensissime. È da sottolineare comunque che l'uso di agenti incapacitanti è proibito dalla Convenzione sulle Armi Chimiche solo in azioni di guerra che si svolgono tra due o più Stati; l'impiego di queste sostanze per uso interno ad uno stato sovrano, come nelle azioni di controllo dell'ordine pubblico, non rientra invece nelle restrizioni dei trattati internazionali. Per questo stesso motivo, il fatto che i reparti speciali russi abbiano adoperato sostanze incapacitanti nebulizzate nel recente attacco contro la banda di terroristi ceceni nel teatro di Mosca non è stato considerato una violazione alle convenzioni internazionali.

### Conclusioni

Si può affermare che, sebbene il possibile impiego di armi chimiche abbia sempre un alto impatto psicologico sull'opinione pubblica, la minaccia effettiva, almeno in campo bellico, sta lentamente diminuendo negli ultimi decenni. Tale tendenza è confermata dal fatto che l'evoluzione tecnologica di questi aggressivi sia stata negli ultimi quarant'anni molto più modesta di quella di altri armamenti (nucleare o biologico, ad esempio). Inoltre un adeguato livello di addestramento e protezione dei combattenti, almeno negli eserciti più avanzati, riduce sempre più l'efficacia dell'utilizzo di agenti chimici in uno scenario di guerra. È infatti probabile che simili considerazioni abbiano portato l'Iraq, che pure aveva fatto ampio e sconsiderato uso di queste armi sia nel conflitto Iran-Iraq, sia contro le popolazioni curde, ad evitarne l'impiego contro gli eserciti occidentali nella recente Guerra del Golfo. È invece auspicabile che vi sia un controllo attento, sia internazionale, sia interno ai singoli Stati, perché queste armi non diventino, per piccoli gruppi di persone senza scrupoli, un mezzo micidiale e subdolo in azioni terroristiche o di sabotaggio. Restano poi tutt'altro che risolte le questioni legate allo sviluppo di tecnologie valide per lo smaltimento e la bonifica degli enormi arsenali chimici accumulati in quasi tutti i paesi industrializzati dalla Seconda Guer-

---

**Ringraziamenti:** L'autore ringrazia Rinaldo Psaro per il materiale bibliografico fornito.

ra Mondiale ad oggi. In questi ambiti, così come in quelli connessi con lo sviluppo di nuove tecniche e metodologie per la rilevazione e per la difesa, la ricerca chimica è lo strumento unico ed insostituibile per riparare ai danni reali o potenziali che un uso efferato e scriteriato della scienza ha causato.

### Bibliografia

- [1] Stato Maggiore dell'Esercito, Ufficio NBC, n. 6210, *Aggressivi Chimici*, Roma, 1980.
- [2] Swedish National Defense Research Establishment, A FOA Briefing Book on Chemical Weapons, Stockholm, 1992.
- [3] U.S. Congress, Office of Technology Assessment, *Technologies Underlying Weapons of Mass Destruction*, US Government Printing Office, Washington, 1993.
- [4] M.S. Meselson, *Sci. Amer.*, 1970, **222**(5), 15.
- [5] U.S. Dept. of Defense, *The Militarily Critical Technologies List*, Washington, Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition and Technology, 1998.
- [6] Y.C. Yang *et al.*, *Chem. Rev.*, 1992, **92**, 1729.
- [7] J.F. Bunnett, *Pure Appl. Chem.*, 1995, **67**(5), 841.
- [8] Public health response to biological and chemical weapons: WHO guidance, WHO, 2001.
- [9] NATO Handbook on the Medical Aspects of NBC Defensive Operations, AmedP-6(B), NATO, 1996.
- [10] T.C. Marrs *et al.*, *Chemical Warfare Agents: Toxicology and Treatment*, John Wiley, Chichester, 1996.