

Armi chimiche: il lato oscuro della scienza

Dalla Grande Guerra a oggi la minaccia di un impiego di armi chimiche è tutt'altro che scomparsa. Vi è però un notevole impegno della comunità internazionale affinché la chimica non sia più utilizzata per scopi bellici, illeciti o terroristici.

Nel 1915 i campi di battaglia della Prima guerra mondiale videro per la prima volta l'uso di grandi quantità di gas tossici per uso bellico, tanto che molti descrivono la Grande Guerra come la prima "guerra chimica".

Ma cosa sono esattamente le armi chimiche?

Per "arma chimica" si intende qualsiasi sostanza o ordigno che, tramite i suoi effetti tossici sui processi vitali, può causare morte, incapacità permanente o temporanea a uomini e animali. Durante la Prima guerra mondiale queste armi furono utilizzate per la prima volta su ampia scala, in dotazione ad alcuni reparti speciali su ambo i fronti; gli aggressivi chimici impiegati all'epoca erano principalmente il cloro, il fosgene e l'iprite.

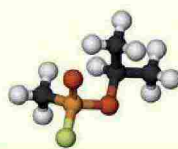
Il primo massiccio rilascio di cloro (circa 168 tonnellate), avvenuto il 22 aprile 1915 a Ypres, in Belgio, da parte delle truppe tedesche, portò nel giro di dieci minuti alla morte di più di 5000 soldati. Il cloro gassoso causa gravissimi danni a polmoni e occhi, portando rapidamente all'asfissia le persone colpite. Inoltre, essendo più pesante dell'aria, questo gas si raccoglieva all'interno delle trincee, costringendo i soldati a uscire allo scoperto e diventando facile bersaglio per il fuoco nemico.

Il fosgene, gas incolore estremamente tossico, utilizzato anch'esso come aggressivo asfissiante, ha causato il maggior numero di vittime nel corso della Grande Guerra: circa l'85% delle 100 000 morti attribuite all'uso di armi chimiche.

Matteo Guidotti e
Massimo C. Ranghieri,
CNR Istituto SCITEC
e OPAC

Infine, l'iprite, *bis*-(2-cloroetil) solfuro, nota anche come "agente mostarda" a causa del suo caratteristico odore pungente, venne usata come aggressivo vescicante per la prima volta nel 1917, sempre a Ypres (da cui il nome

dell'aggressivo). Questa sostanza, quando viene in contatto con l'epidermide, causa gravissimi danni ai tessuti e porta alla formazione di dolorose vesciche difficili da curare.



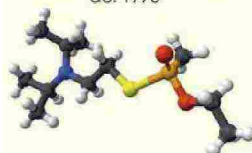
SARIN
agente nervino

attentato nella
metropolitana di Tokyo
del 1995



IPRITE
agente vescicante

impiegato per la prima
volta a Ypres, in Belgio,
nel 1917



VX
agente nervino

omicidio
di Kim Jong-nam
a Kuala Lumpur nel 2017



FOSGENE
agente soffocante

impiegato ampiamente
sui campi di battaglia della
Grande Guerra 1914-1918

Gli agenti tossici più comuni.

L'orrore suscitato nell'opinione pubblica mondiale dall'impiego di armi chimiche durante la Grande Guerra portò alla firma, nel 1925, del Protocollo di Ginevra, che proibiva l'utilizzo di gas asfissianti e armi tossiche sui campi di battaglia.

Va però detto che, al giorno d'oggi, un impiego in guerra di questi aggressivi porterebbe a danni molto più contenuti rispetto ad allora, poiché combattenti e operatori sul campo ormai dispongono di mezzi di difesa e protezione adeguati che consentono di ridurre drasticamente il rischio di entrare in contatto con questi agenti. In uno scenario di guerra tradizionale, il vantaggio tattico risultante dall'eventuale impiego di aggressivi chimici risulterebbe inferiore o, al massimo, paragonabile a quello ottenibile con ordigni convenzionali esplosivi [1].

Ben diverso invece è il caso in cui un'arma chimica venga utilizzata per colpire obiettivi civili non protetti. I danni potrebbero essere ingenti in termini di vittime e di contaminazione ambientale, soprattutto in aree urbane popolate, e la sensazione di "impotenza" nei confronti di queste armi potrebbe generare nell'opinione pubblica un impatto psicologico molto rilevante.

Non solo guerra: terrorismo e sabotaggio

Il primo caso di uso di aggressivi chimici per fini terroristici si è avuto con l'attentato nella metropolitana di Tokyo del 20 marzo 1995, quando in quattro treni, nell'ora di punta, venne sparso da alcuni adepti della setta Aum Shinrikyō l'agente nervino sarin. L'attacco causò 13 morti e oltre 6000 intossicati, che in poche ore portarono alla paralisi il sistema dei soccorsi, intasando e contaminando gli ospedali cittadini.

Armi chimiche sono state anche impiegate per perpetrare omicidi a fini politici. Nel febbraio 2017, ad esempio, Kim Jong-nam, fratellastro del leader della Corea del Nord, è morto venti minuti dopo un'aggressione all'aeroporto di



Nelle azioni di guerra i militari dispongono di mezzi di protezione adeguati, ma l'uso di armi chimiche contro la popolazione oggi causerebbe danni molto più letali.

Kuala Lumpur, in seguito a una paralisi causata dall'aggressivo nervino VX. Questo è uno dei composti più tossici mai sintetizzati, in grado di portare alla morte rapidamente una persona bloccando il normale funzionamento dei segnali nervosi.

Un altro caso è avvenuto nel 2018, quando l'ex agente segreto Sergej Skripal' e la figlia sono stati trovati privi di sensi in un giardino pubblico di Salisbury, nel Regno Unito. Le circostanze hanno fatto sospettare un avvelenamento deliberato con un agente nervino molto potente, appartenente alla cosiddetta famiglia dei *novichok* [2], di cui sono state rinvenute tracce in un bar vicino e in un ristorante. Skripal' e la figlia sono sopravvissuti all'attentato seppur dopo lunghe sofferenze.

Le convenzioni internazionali

La Convenzione sulla Proibizione delle Armi Chimiche di Parigi (*Chemical Weapons Convention, CWC*), firmata nel 1993 e in vigore dal 1997, proibisce «qualsiasi attività rivolta a sviluppo, produ-

**In guerra
il vantaggio
tattico risultante
dall'impiego
di aggressivi
chimici
porterebbe
oggi a danni
più contenuti
che in passato.**

zione, acquisizione, detenzione, conservazione, trasferimento e uso di armi chimiche e dei materiali ad esse collegati» [3]. Si prefigge lo scopo di avere una società libera dalle minacce di aggressivi chimici e in cui la chimica sia rivolta alla pace, al progresso e alla prosperità del genere umano.

Sebbene vi fossero già trattati e convenzioni internazionali che fin dal 1899 cercavano di proibire l'impiego di sostanze tossiche in guerra, solo con la CWC si è riusciti a controllare e vietare tutta la "filiera produttiva": lo studio di nuovi aggressivi, lo sviluppo di sistemi d'arma, la produzione di agenti tossici, il commercio di armi chimiche e dei loro precursori, l'immagazzinamento e la detenzione di arsenali chimici e l'impiego di tali ordigni per scopi militari o in operazioni di polizia. La Convenzione di Parigi prevede, inoltre, l'eliminazione e la distruzione in sicurezza di tutte le armi chimiche ancora esistenti sul territorio degli Stati membri.

Con la ratifica della Convenzione di Parigi fu istituita anche l'Organizzazione per la Proibizione delle Armi Chimiche (OPAC), per attuare quanto previsto nella convenzione stessa, garantirne il rispetto e fornire protezione agli Stati vittime di aggressioni o minacce perpetrate con armi chimiche.

La sua struttura è caratterizzata da organi di rappresentanza delle nazioni afferenti, da commissioni di natura tecnico-scientifica e da un apparato di verifica. L'OPAC può infatti effettuare

Attualmente 193 Stati del mondo hanno ratificato la Convenzione sulle Armi Chimiche e il 99% degli arsenali dichiarati a livello globale sono stati distrutti.

ispezioni e accertamenti per monitorare il rispetto degli obblighi della Convenzione in ciascuno Stato membro. Vi sono ispezioni periodiche per controllare che il processo di catalogazione e distruzione di armi chimiche ancora presenti negli arsenali militari o come residuati belli-



Ispettori e specialisti OPAC durante il prelievo di un campione sospetto in un'esercitazione, nel marzo 2017.

ci proceda correttamente e vi sono ispezioni su richiesta, nel caso in cui vi siano sospetti fondati riguardo ad attività illecite di uno Stato membro.

Attualmente 193 Stati del mondo hanno ratificato la Convenzione sulle Armi Chimiche, il 98% della popolazione del pianeta beneficia della protezione della Convenzione e il 99% degli arsenali di armi chimiche dichiarati a livello globale sono stati distrutti. Grazie a questi importanti traguardi, l'OPAC è stata insignita del premio Nobel per la Pace nel 2013.

Ad oggi solo tre Stati non hanno firmato la Convenzione: Egitto, Corea del Nord e Sudan del Sud. Israele è uno Stato firmatario, ma non ha ancora ratificato la Convenzione. Inoltre la Siria, che è stata una delle ultime nazioni ad aderire alla CWC, vi ha preso parte in conseguenza a un accordo adottato con la risoluzione 2118 del Consiglio di Sicurezza dell'ONU del 27 settembre 2013, per distruggere le armi chimiche circolanti nel Paese, che erano state impiegate anche per attacchi sulla popolazione civile.

A livello italiano, per prevenire e controllare che non vi sia la proliferazione di sostanze illecite sul territorio nazionale, presso il Ministero degli Affari Esteri, esiste l'Ufficio dell'Autorità Nazionale per la Proibizione delle Armi Chimiche, che si impegna a garantire il rispetto di quanto stipulato nella Convenzione di Parigi.

A livello operativo, invece, è il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, grazie alle competenze dei nuclei NBCR (Nucleare, Biologico, Chimico

e Radiologico), l'organo preposto all'intervento e alla sorveglianza su tutto il territorio nazionale di quelle situazioni in cui vi sia la presenza di sostanze tossiche in grado di provocare gravi danni a persone, animali o infrastrutture. Il personale dei nuclei NBCR viene perciò impiegato quando esiste un fondato pericolo o l'evidenza di rilascio o contaminazione di materiali pericolosi di natura

La minaccia di produzione, traffico e impiego illegale di armi chimiche sarà sempre presente, soprattutto per azioni di terrorismo o di sabotaggio.

chimica, biologica o radioattiva a seguito di eventi naturali, incidenti industriali o attacchi deliberati per scopi criminali. Gli esperti dei Vigili del Fuoco possiedono, a tal fine, mezzi e strumenti per la rilevazione e l'identificazione delle sostanze pericolose, dispositivi di protezione individuale per operare in

sicurezza e apparati specifici per la decontaminazione degli operatori e delle eventuali vittime.

Periodicamente vengono inoltre svolte sessioni di addestramento e operazioni congiunte in collaborazione con altri enti dello Stato, come i reparti specialistici delle Forze Armate e delle Forze dell'Ordine, per garantire, in occasione di

grandi manifestazioni (ad esempio, le Olimpiadi Invernali del 2006 a Torino o Expo 2015 a Milano) e di eventi sensibili, una sorveglianza e una sicurezza costante, affinché i rischi di un impiego di sostanze tossiche per finalità terroristiche e gli effetti nefasti sulla popolazione siano ridotti al minimo.

Una "guerra chimica" nel XXI secolo?

Dal punto di vista strategico, già dall'epoca della Seconda guerra mondiale, le armi chimiche hanno trovato il loro ruolo come deterrente, più che come arma risolutiva in un conflitto su larga scala. Fino a quando però vi sono armi che possono essere sintetizzate in un laboratorio clandestino, su piccola scala, o aree del mondo in cui governi senza scrupoli sono in grado di assoldare scienziati privi di spirito etico, la minaccia di produzione, traffico e impiego illegale di armi chimiche sarà sempre presente, soprattutto per azioni di terrorismo o di sabotaggio rivolte contro la popolazione indifesa.

Ci sono poi delle sostanze potenzialmente pericolose, ma non strettamente vietate dalle convenzioni internazionali.

Pensiamo ad esempio alle bombe al fosforo, di cui periodicamente giunge notizia d'impiego nelle zone di guerra del Medio Oriente e dell'Europa orientale. Il fosforo bianco è una forma particolarmente reattiva di questo elemento chimico: è piroforico, quindi reagisce spontaneamente con l'ossigeno atmosferico, producendo una luce intensissima, liberando grandi quantità di calore e trasformandosi in una polvere bianca molto fine. Queste caratteristiche fanno sì che sia utilizzato nella fabbricazione di ordigni usati per rischiarare il campo di battaglia di notte, come i razzi illuminanti, per produrre cortine fumogene utili a mascherare i movimenti delle truppe o



Impiego di munizioni al fosforo bianco durante la Seconda guerra mondiale per ottenere cortine fumogene.

come componente nei proiettili incendiari. Il fosforo bianco è però anche altamente tossico e, durante la combustione, può carbonizzare e distruggere qualsiasi tessuto organico con cui venga a contatto. Quando questi sistemi vengono impiegati in presenza di persone, i danni che possono arrecare al corpo umano sono devastanti, soprattutto in termini di ustioni e di lesioni dovute alle altissime temperature, molto più che per l'effetto tossico diretto del fosforo sull'organismo.

Per questo motivo gli ordigni al fosforo non sono classificati come armi chimiche in quanto tali. Ne è invece proibito, come per altre armi, anche incendiarie, l'impiego diretto contro la popolazione civile o contro truppe avversarie in prossimità di aree densamente popolate. Sono dunque proprio questi utilizzi non convenzionali a essere vietati e perseguiti dalle norme internazionali.

Le sostanze proibite dalla Convenzione

Gli agenti chimici che la Convenzione proibisce si suddividono principalmente in funzione degli effetti tossici e fisiopatologici che provocano su un organismo vivente. Si possono annoverare: gli *agenti nervini o anticolinesterasici*, di composizione simile ai composti organofosforici presenti in molti antiparassitari, in grado di confondere la regolare trasmissione dei segnali nervosi e di portare

Molti composti chimici possono avere un "uso duplice" perché possono essere utilizzate non solo per scopi civili e pacifici, ma anche per scopi militari.

in pochi secondi al blocco delle funzioni vitali; gli *agenti vescicanti*, capaci di provocare profonde lesioni e vesciche sulla cute e nei tratti del sistema respiratorio; gli *agenti soffocanti*, che causano il rapido travaso di liquidi nelle vie aeree, impedendo la respirazione polmonare; gli *agenti sistemici*, che inibiscono il trasporto dell'ossigeno sia nel sangue, sia a livello cellulare, impedendo la respirazione nei tessuti; gli *agenti psicotomimetici* e gli *agenti attivi sul sistema nervoso centrale*, del tutto analoghi ai farmaci psicoattivi, alle sostanze stupefacenti o ad alcune

tipologie di anestetici, che, anche se non hanno effetti letali diretti sull'organismo colpito, ne perturbano completamente le facoltà intellettive e decisionali, rendendolo di fatto impossibilitato a difendersi. Anche gli *agenti irritanti*, in grado di indurre tosse e lacrimazione, sono considerati armi chimiche qualora vengano impiegati in combattimento; l'uso di tali composti invece è consentito per il mantenimento dell'ordine pubblico all'interno di uno Stato sovrano, come avviene per i cosiddetti "gas lacrimogeni" impiegati dalle forze di polizia in caso di sommosse e disordini.

Oltre a queste sostanze utilizzabili come armi tal quali, la Convenzione proibisce o regola la produzione e il commercio di composti chimici precursori, che possono essere l'ingrediente fondamentale per sintetizzare aggressivi chimici vietati.

È importante sottolineare che la CWC non proibisce le sostanze chimiche altamente tossiche nella loro totalità, bensì vieta l'uso di sostanze tossiche per scopi bellici o criminali. È normale dunque che vi siano sostanze che, per quanto tossiche, trovano un'applicazione pacifica e che spesso sono difficilmente sostituibili con altri principi attivi meno pericolosi. Un qualsiasi ritrovato dell'ingegno umano può avere un "uso duplice" (*dual use*) quando può essere utilizzato non solo per scopi civili e del tutto pacifici, ma anche per scopi militari; ciò accade pure per molti composti chimici.

Il cloro è un classico esempio di molecola a uso duplice: questo gas, che negli ultimi 150 anni ha salvato milioni di vite rendendo le acque delle città potabili e sicure, è stato impiegato non solo durante la Grande Guerra, ma anche nella recente guerra civile in Siria come agente asfissiante.

D'altra parte, visto che «è la dose che fa il veleno», come diceva già nel XVI secolo Paracelso, sono innumerevoli gli esempi di composti che, usati con le dovute precauzioni e sotto stretto controllo tecnico e normativo, trovano impiego come farmaci, additivi per prodotti industriali o reagenti per l'industria chimica per finalità del tutto pacifiche. La ricerca sta facendo grandi sforzi per eliminare e sostituire tutti questi prodotti nocivi dai processi produttivi, secondo le linee guida della chimica verde e sostenibile, ma sono ancora svariati gli esempi in cui è tutt'altro che facile rim-



Gruppo di lavoro temporaneo su sicurezza, sostenibilità ed etica nell'industria chimica dell'Organizzazione per la Proibizione delle Armi Chimiche (OPAC).

piazzare questi ingredienti con alternative sicure per la salute umana e per l'ambiente.

Purtroppo, così come nel mondo delle sostanze stupefacenti vi è sempre il rischio che qualche nuova droga sfugga ai controlli perché non ancora recensita dalle leggi internazionali, anche nel campo delle armi chimiche vi è la possibilità che qualche composto tossico prima ignoto venga impiegato per scopi illeciti. Per ridurre questi rischi, all'interno dell'OPAC, il Direttore generale e il Consiglio esecutivo si avvalgono, per questioni di natura prettamente tecnica e scientifica, dell'aiuto del Consiglio Consultivo Scientifico composto da 25 esperti provenienti da Paesi membri della Convenzione. Il Consiglio monitora costantemente

«Non ci sono molecole cattive, ci sono solo esseri umani malvagi».

lo stato dell'arte nel campo delle scienze e le tecnologie chimiche a livello internazionale per segnalare il rischio di un uso improprio, illecito o non etico di molecole, processi o materiali, propone l'inserimento di eventuali nuove sostanze tossiche in occasione delle periodiche revisioni della Convenzione e fornisce consulenza ai tecnici OPAC nelle loro missioni di controllo e verifica. Proprio questa revisione periodica della Convenzione, che avviene ogni cinque anni, è uno dei punti di forza del trattato, rendendo la CWC uno

strumento sempre aggiornato alle nuove sfide che le minacce a livello globale impongono.

Insomma, verrebbe da chiedersi, esistono davvero molecole da mettere per sempre al bando e da dimenticare? Come disse Roald Hoffmann, premio Nobel per la Chimica del 1981: «Non ci sono molecole cattive, ci sono solo esseri umani malvagi».

La diffusione di armi non letali, ispirate dai continui sviluppi della ricerca biomedica; la costante scoperta di nuovi materiali e apparati per

la dispersione nell'ambiente di sostanze intenzionalmente tossiche; lo sfruttamento delle nuove tecnologie (come i microreattori in flusso o le nanotecnologie) per la produzione clandestina, su piccola scala, di sostanze pericolose; o ancora lo sfruttamento dei sistemi di intelligenza artificiale per l'ingegnerizzazione di nuovi composti estremamente tossici non ancora controllati dalla legislazione: sono solo alcune delle sfide che la comunità internazionale dei chimici e gli esperti OPAC dovranno affrontare per evitare che la chimica venga ancora una volta impiegata contro il genere umano.

Riferimenti bibliografici

- [1] M. GUIDOTTI, F. TRIFIRÒ, "Chemical risk and chemical warfare agents: science and technology against humankind", *Toxicological & Environmental Chemistry*, 98, 9, 2016, pp. 1018-1025.
- [2] S. COSTANZI, G.D. KOBLENTZ, "Strengthening controls on Novichoks: a family-based approach to covering A-series agents and precursors under the chemical-weapons non-proliferation regime", *The Nonproliferation Review*, 2022.
- [3] *Chemical Weapons Convention*, disponibile online qui: <https://www.opcw.org/chemical-weapons-convention>