

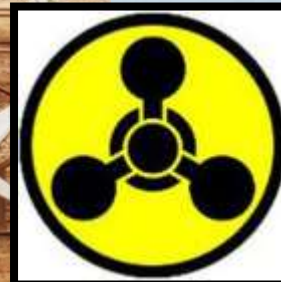
Le armi chimiche: un problema risolto?

Matteo Guidotti

*Istituto di Scienze e Tecnologie Chimiche
"Giulio Natta", Milano, Italia*

*SAB, Organizzazione per la Proibizione delle
Armi Chimiche, L'Aja, Paesi Bassi*

matteo.guidotti@scitec.cnr.it



Consiglio Nazionale
delle Ricerche



OPCW



ACCADEMIA DELLE SCIENZE
DELL'ISTITUTO DI BOLOGNA



ACCADEMIA dei
FISIOCITICI 1691

La "dualità" della Scienza

Nella storia dell'umanità ogni nuova scoperta scientifica è accompagnata dal rischio di un impiego "duplice" (*dual use*) per scopi pacifici o per fini bellici



1866



...già dall'antichità...

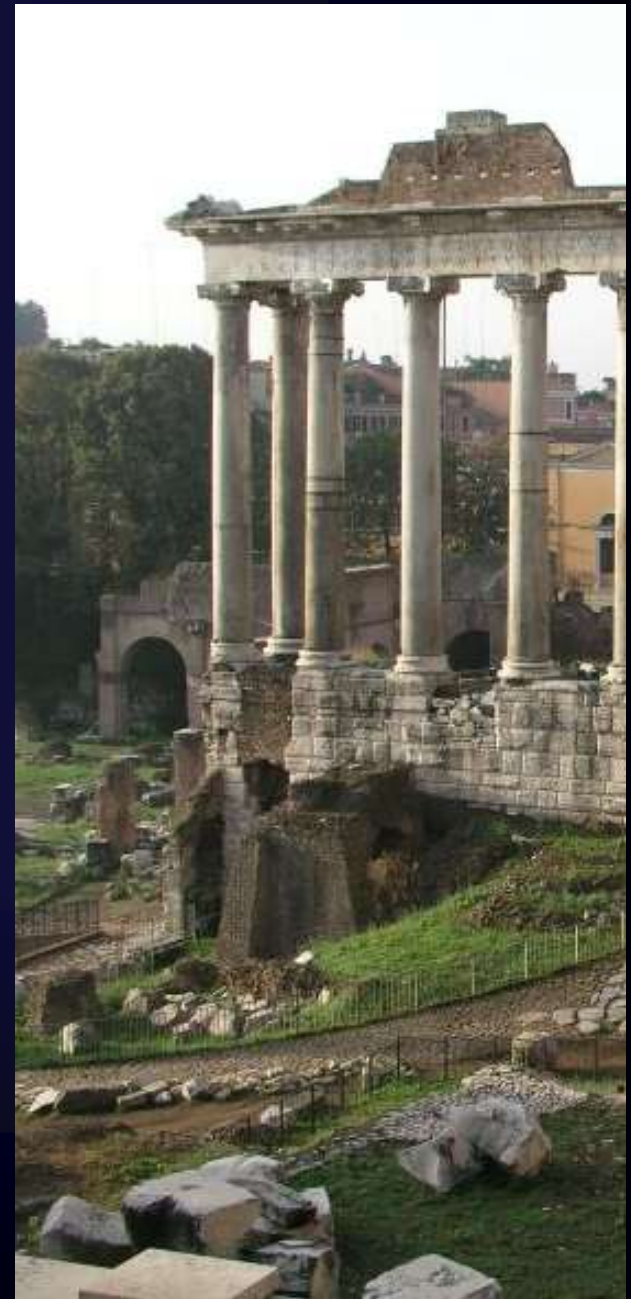
**ARMIS BELLA
NON VENENIS
GERI**

*La guerra deve essere combattuta
con le armi, non con i veleni*

Condanna da parte di giuristi Romani
dell'avvelenamento dei pozzi d'acqua

H. Grotius in riferimento a V. Maximus

De Jure Belli ac Pacis, lib. III



Definizione "Arma Chimica"

Nazioni Unite (1969)

*"...sostanze gassose, liquide o solide, che possono essere impiegate per il loro **effetto tossico diretto** sull'uomo, gli animali e le piante..."*

Convenzione sulle Armi Chimiche (1993)

*"... qualsiasi sostanza che, tramite i suoi effetti sui processi vitali, può causare **morte, incapacità temporanea o permanente** a uomini e animali..."*

ma deve essere una sostanza altamente tossica stabile, facile da disperdere e da produrre



Definizione "Arma Chimica"

Il **fosforo bianco**, l'**uranio impoverito**, alcuni **fumogeni** e, al limite, anche il **piombo** dei proiettili sono sostanze chimiche **tossiche**, ma **non** sono considerate dal diritto internazionale **armi chimiche**



Tossine (sostanze velenose prodotte da organismi viventi o per sintesi) sono classificate **Aggressivi Chimici**, ma sono regolate da una **Convenzione a parte** (**Tossine e Aggressivi Biologici**, 1972)



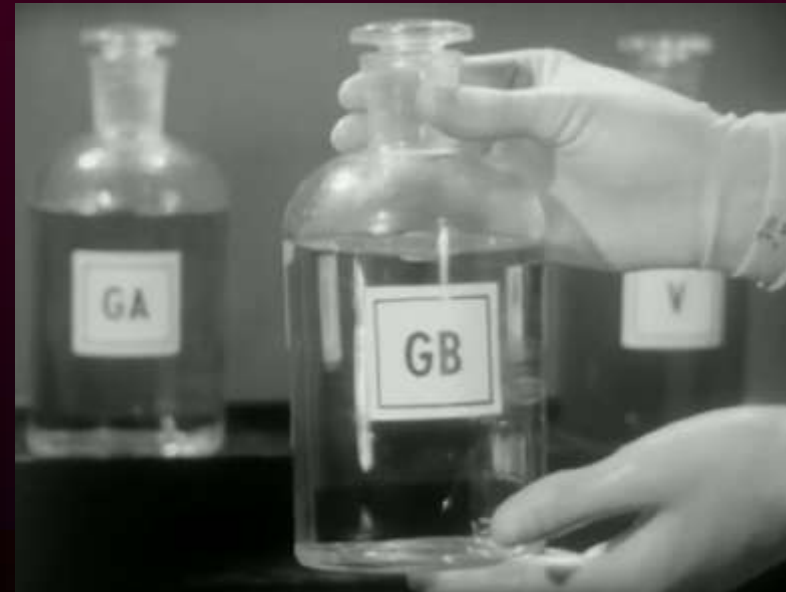
Alcuni "luoghi comuni" da sfatare

***I "gas tossici"
non sono quasi mai GAS !***

Nella I GM **cloro e fosgene**
⇒ **gas** a temperatura e pressione ambiente

Gli aggressivi chimici moderni sono
normalmente **liquidi o solidi**

⇒ **agenti persistenti**



Le Armi Chimiche sono sempre "letali"?

L'impiego di armi chimiche porta in media a una letalità del 5% !

- p. es. **cloro** nella 1^aGM : letalità **2%**
mostarde in Iraq-Iran ('80) : **letalità 4%**
→ *armi da fuoco in combattimento ca. 30%; artiglieria 20%; granate 10%*
- le Armi Chimiche provocano un gran numero di feriti
 - difficoltà logistiche notevoli
 - impatto enorme (anche psicologico) sulle popolazioni colpite

Armi Chimiche = "Atomica dei Poveri" ?

- Dal 2000 a oggi, **machete** (Africa), **esplosivi**, **mine**, **auto** o **aerei suicidi** hanno dimostrato di essere strumenti mortalmente efficaci in episodi di genocidio o di attacchi terroristici
- A parità di carica e di gittata, il danno causato da **esplosivo convenzionale** è, in media, **sette volte** maggiore di quello provocato da armi non convenzionali (armi chimiche, biologiche)



Minacce CBRN

Chimiche



Biologiche



Radiologiche



Nucleari



Minacce CBRN

Armi nucleari di distruzione di massa
amplissimi arsenali di armi chimiche
enorme sviluppo della biologia e delle biotecnologie
su scala mondiale



*livello di
minaccia
percepita*



Conflitti regionali
armi convenzionali
eventi multicentrici

2^a GM

**Guerra
Fredda**

1989

1992

2000

Jugoslavia, Ruanda,
Medio Oriente

scala temporale

Minacce CBRN

di nuovo ... con la minaccia del **terrorismo**
su **scala mondiale**



**Guerra
Fredda**

1989

1992

2000

2010 ...

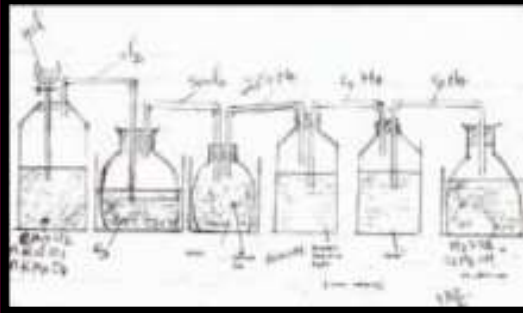
Jugoslavia, Ruanda,
Medio Oriente

scala temporale

Minacce CBRN

terrorismo su scala mondiale

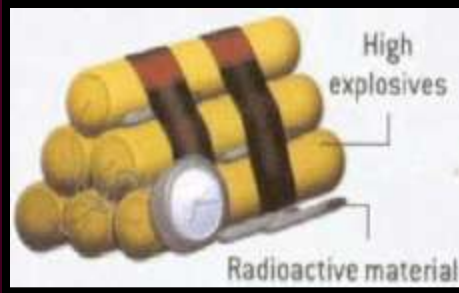
Chimico



Biologico



Radiologico



Nucleare



Minacce CBRN

MA anche rilasci NON INTENZIONALI

eventi accidentali

Chimici



Seveso, 1976

Bhopal, 1984

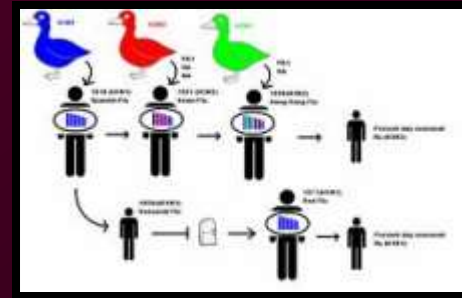
Radiologici



Chernobyl, 1986

Fukushima, 2011

Biologici



SARS, 2003

H1N1, 2009

**SARS-CoV-2,
2019**

Nucleari



Armi Chimiche = “Atomica dei Poveri” ?

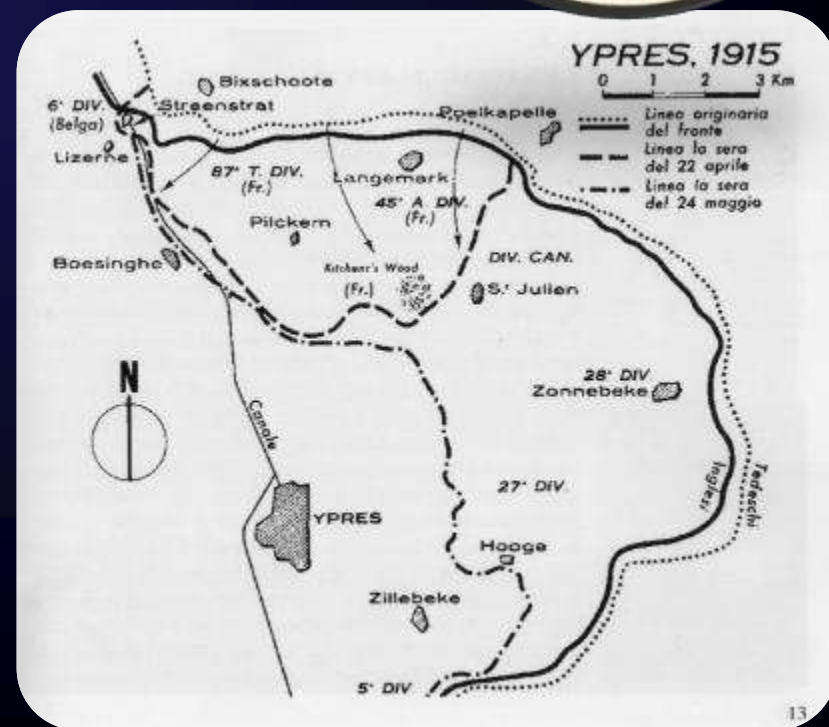
- La produzione è economica e la tecnologia è nota
- Causano danni agli esseri viventi, ma non alle strutture
- Fattore psicologico
- Le difese attuali minimizzano i danni
- Le difese riducono l'efficienza anche dell'attaccante
- Fattore critico: immagazzinamento e dispersione
- Molto sensibili ai fattori ambientali (umidità, temperatura, ecc.)
- Grandi quantità di precursori

USO BELLICO
PRO < CONTRO

USO TERRORISTICO
PRO > CONTRO

un secolo di armi chimiche

- **Prima Guerra Mondiale** (Germania, GB, Francia, Belgio)
 - cloro (1915); fosgene (1916); cloropicrina (1916); iprite (1917)
- **Anni 1930-1940** (Giappone, Italia, Francia, Spagna)
 - ipriti
- **Seconda Guerra Mondiale**
 - ammasso, senza uso. *DETERRENTE*
- **Egitto-Yemen (anni '60)**
 - ipriti e nervini
- **Iran-Iraq (1982-1987)**
 - ipriti e nervini
- **Tokyo (1995) metropolitana**
 - sarin
- **Mosca (2002) teatro Dubrovka**
 - incapacitanti
- **Siria (2013-2018) guerra civile**
- **Kuala Lumpur (2017) assassinio**
 - VX; nervino binario
- **Salisbury (2018) attentato**
- **caso Navalny (2020) attentato**
 - novichok



Impatto psicologico



Sospetti sull'uso di armi chimiche
nello scenario della guerra civile siriana

*Un'adeguata conoscenza e competenza dei
mezzi di comunicazione di massa
è il **punto cruciale***



Sharaqeb, Siria, France 24, 26 aprile 2017

Impatto psicologico



Sempre controllare l'attendibilità delle fonti di informazione

Informazioni errate possono portare a decisioni drammaticamente sbagliate



Convenzioni Internazionali

- **Protocollo di Ginevra (1925)**

- **149** nazioni; alcuni stati "con riserva"

Proibisce "l'uso in guerra di gas asfissianti, velenosi o altro e di tutti i liquidi, i materiali e i mezzi analoghi"

- **Convenzione sulle Armi Chimiche CWC (1993)**

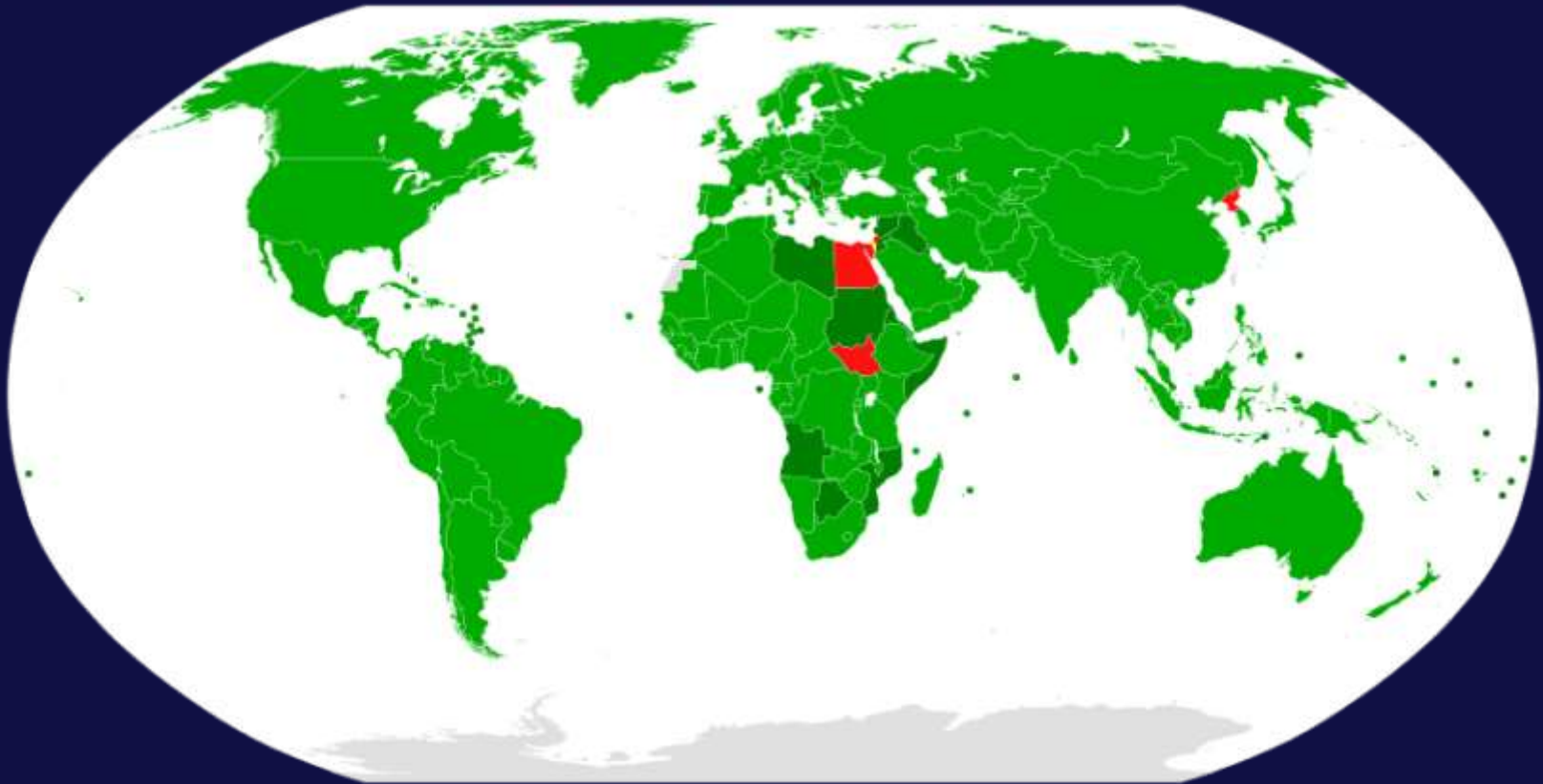
Bando dello **studio, sviluppo, produzione, acquisizione, ammasso e trasferimento** (diretto o indiretto) di armi chimiche

La CWC è stata firmata a Parigi il 13 gennaio 1993



Convenzioni Internazionali

- Convenzione sulle Armi Chimiche CWC (1993)



192 nazioni hanno ratificato la CWC.

Paesi non membri (ad oggi)

Egitto, Israele, Corea del Nord e Sudan del Sud

Sede dell'OPAC all'Aja (Paesi Bassi)



Obiettivi dell'OPAC - OPCW



- 1) **Distruggere** tutte le **produzioni** di armi chimiche e tutte le **armi chimiche** immagazzinate o disperse nell'ambiente.
- 2) **Controllare** la **produzione chimica** a scopi civili affinché non possa essere trasformata per produrre armi chimiche.
- 3) **Monitorare** lo **sviluppo della Scienza** per essere allertati sulla scoperta di nuove armi chimiche.
- 4) **Sensibilizzare** la società civile sulla **dualità della chimica**.

Risultati conseguiti dall'OPAC

- **100%** delle **armi immagazzinate** dichiarate sono state **inventariate e verificate**.
- **100%** dei **siti di produzione** sono stati **disattivati**
- **100%** delle **armi** è stato **distrutto**

72'304 ton dichiarate / 72'304 ton distrutte

Stati che avevano dichiarato
impianti di produzione

Bosnia Erzegovina, Cina, Francia,
India, Iran, Iraq, Giappone, Libia, ex-URSS,
Serbia, Siria, Regno Unito (Irlanda del Nord), Stati Uniti



aggiornamento marzo 2026

Premio Nobel per la pace 2013

Nobel Peace Prize 2013



*Organization for the Prohibition
of Chemical Weapons*



Sostanze Chimiche Pericolose

HazMat can **endanger** Human, Animal, Vegetal and Environmental Health

Toxic Industrial Chemicals

TICs

When negative consequences
are caused by

ACCIDENT OR MISUSE

Chemical Warfare Agents

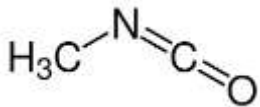
CWAs

If chemicals are **DESIGNED**
or used **ON PURPOSE**

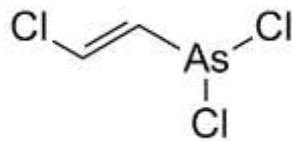
Dual-use chemicals

TICs & CWAs
simultaneously
used in industry, but with possible
illegal uses in warfare

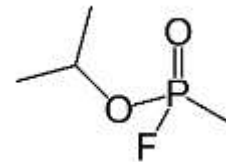
NH₃ ; HI



Me-isocianato

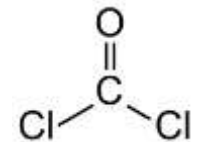


lewisite



sarin

Cl₂



fosgene

Classificazione degli Aggressivi secondo gli effetti fisiopatologici

- **Letali**
 - **Neurotossici (nervini)**
 - **Vescicanti**
 - **Sistemici**
 - **Soffocanti**
- **Incapacitanti**
 - **Psicomimetici**
 - **Irritanti**

ca. 100'000 esaminati \Rightarrow ca. **70** utilizzati e prodotti

Aggressivi Neurotossici o "Nervini" detti anche Anticolinesterasici

- Tabun, Sarin, Soman (Agenti G)
- VX (Agenti V)
- Agenti A (Novichok)

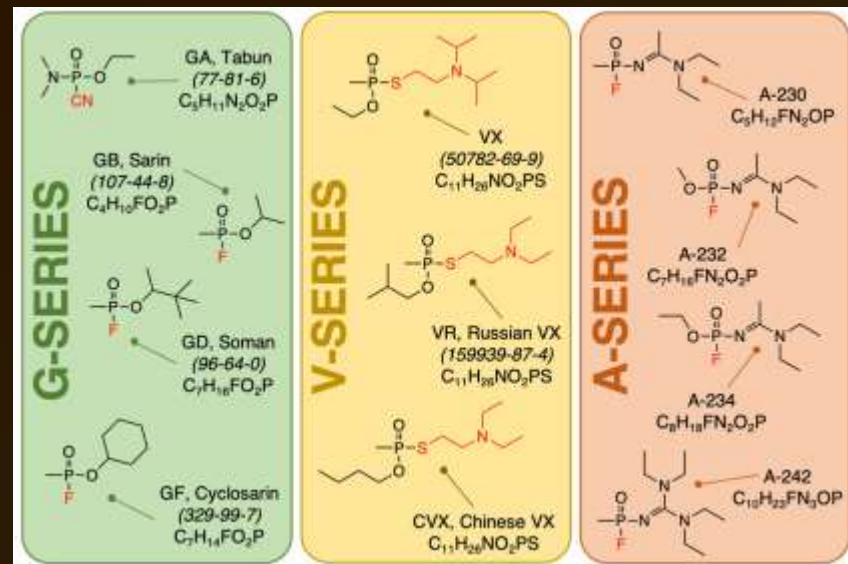
Aspetto: sono liquidi oleosi persistenti (p. eb. > 150°C) talvolta sono "ispessiti"

Azione: sull'enzima che presiede alla trasmissione degli impulsi nervosi (*acetilcolinesterasi*)



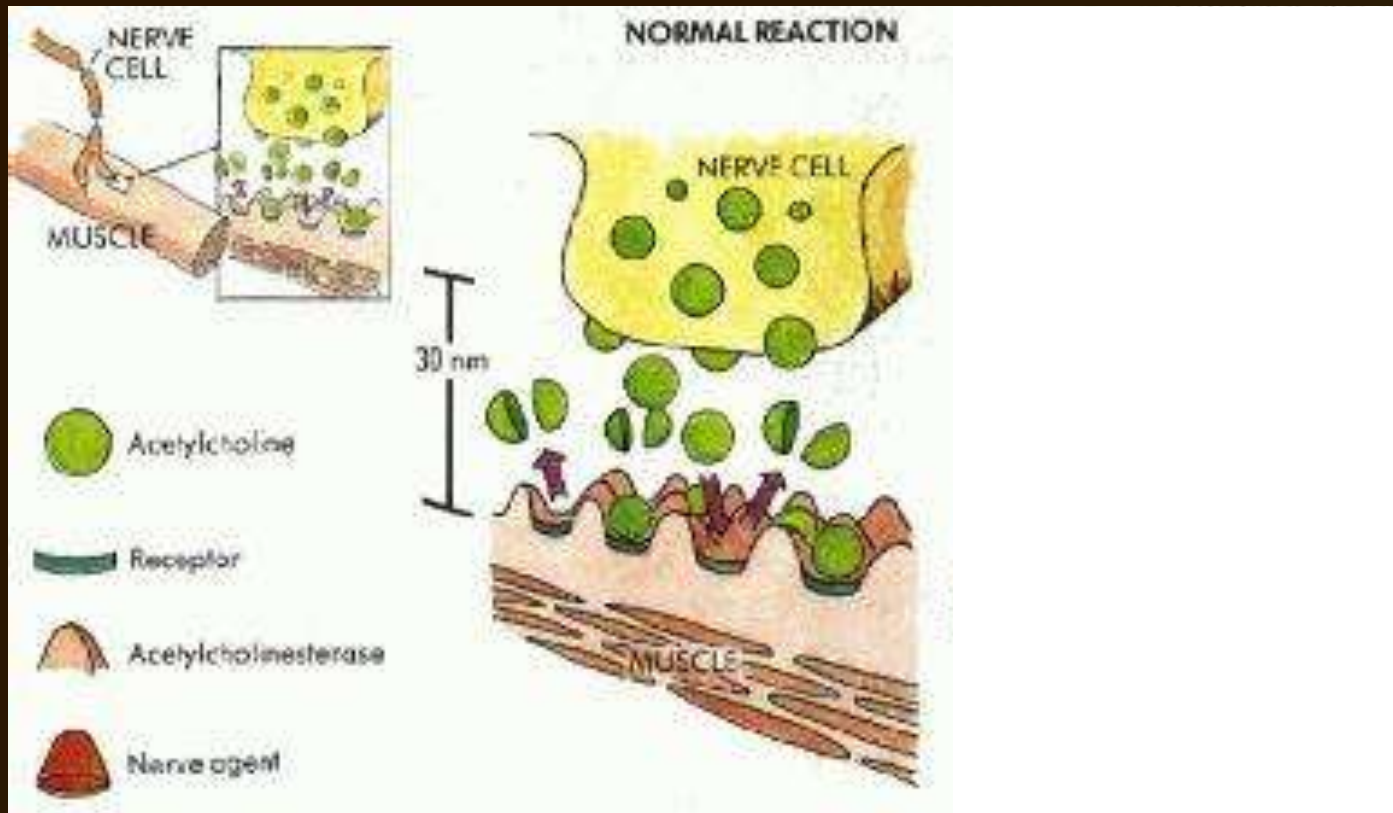
Sintomi: ipersecrezione, difficoltà di respiro e nella vista, nausea, vertigini, tremori, convulsioni, coma e morte (paralisi della respirazione)

chimicamente simili ad alcuni insetticidi



Aggressivi Neurotossici o "Nervini"

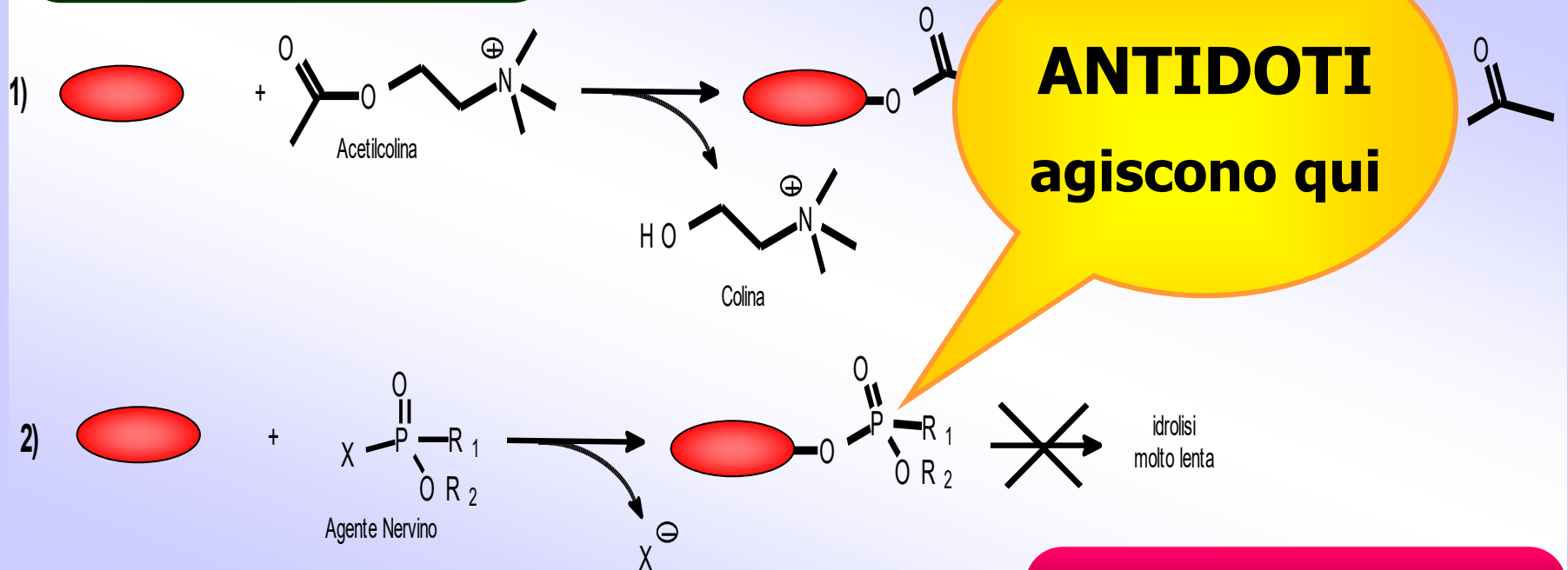
Meccanismo di Azione



l'effetto tossico è dovuto all'**eccesso** di **acetilcolina** che rimane e "continua a dar segnale"

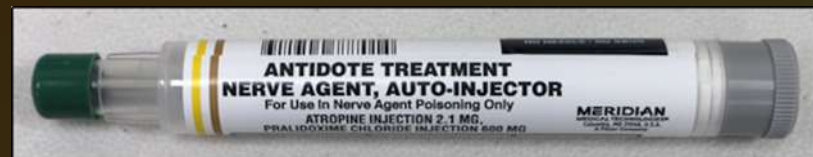
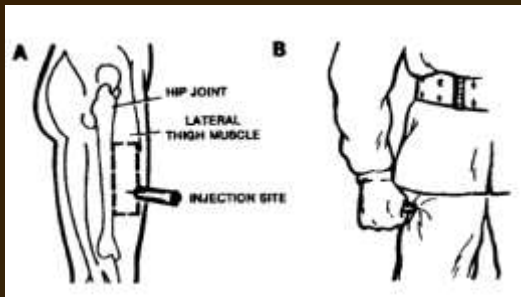
Aggressivi Neurotossici o "Nervini" detti anche Anticolinesterasici

in condizioni normali



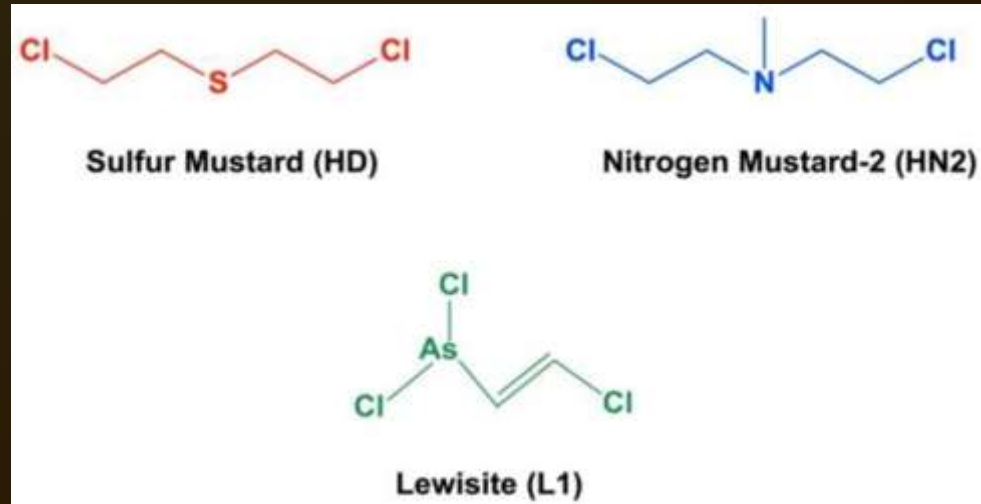
**ANTIDOTI
agiscono qui**

dopo l'esposizione



Aggressivi Vescicanti

- Iprite
- Azotoiprite
- Lewisite



Aspetto: liquidi, quasi solidi (p.f. 14°C)

hanno odore di **mostarda/senape**, se impuri

Spesso gli aggressivi sono in miscela tra loro

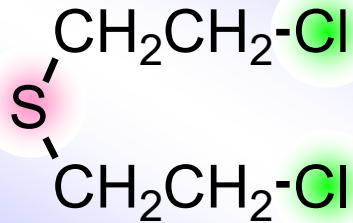
Dose minima per risposta cutanea: **0.02 mg (1/3.000 di goccia)**

Azione: si legano e modificano tutte le proteine dei tessuti

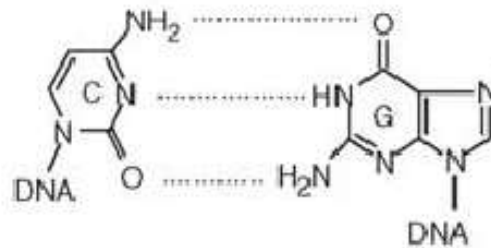
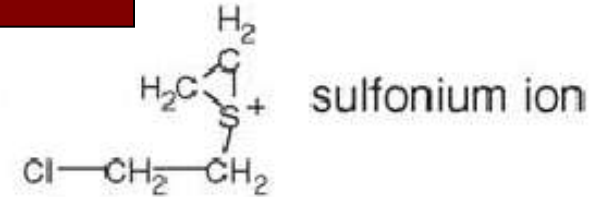
Sono nocivi soprattutto per contatto

Sintomi: vescicazioni e lacerazioni sulla cute, cecità, talvolta la morte (per lesioni sulle vie aeree)

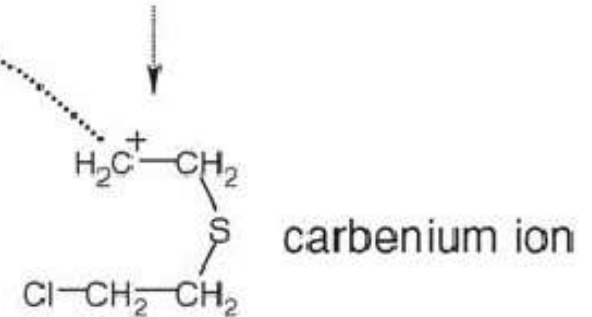
Aggressivi Vescicanti



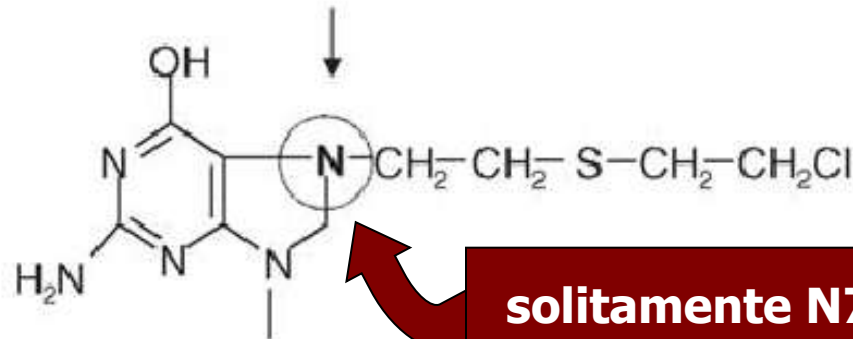
**ciclizzazione
lenta**



+



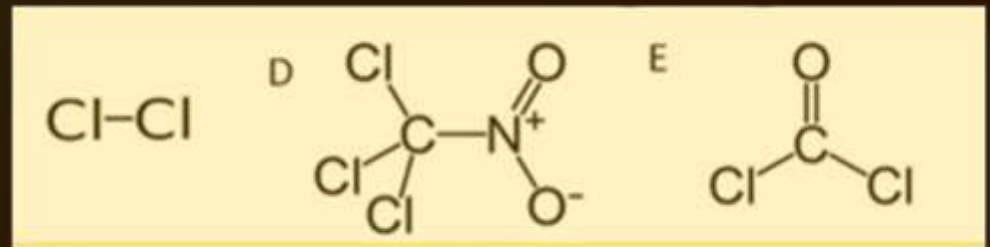
**Reazione dell'iprite
con il DNA**



solitamente N7 della guanina

Aggressivi Sistemici

- Acido cianidrico, cloruro di cianogeno
monossido di carbonio



Aspetto: liquidi molto volatili, vapori o gas

odore di mandorle amare (cianuri), inodore (CO)

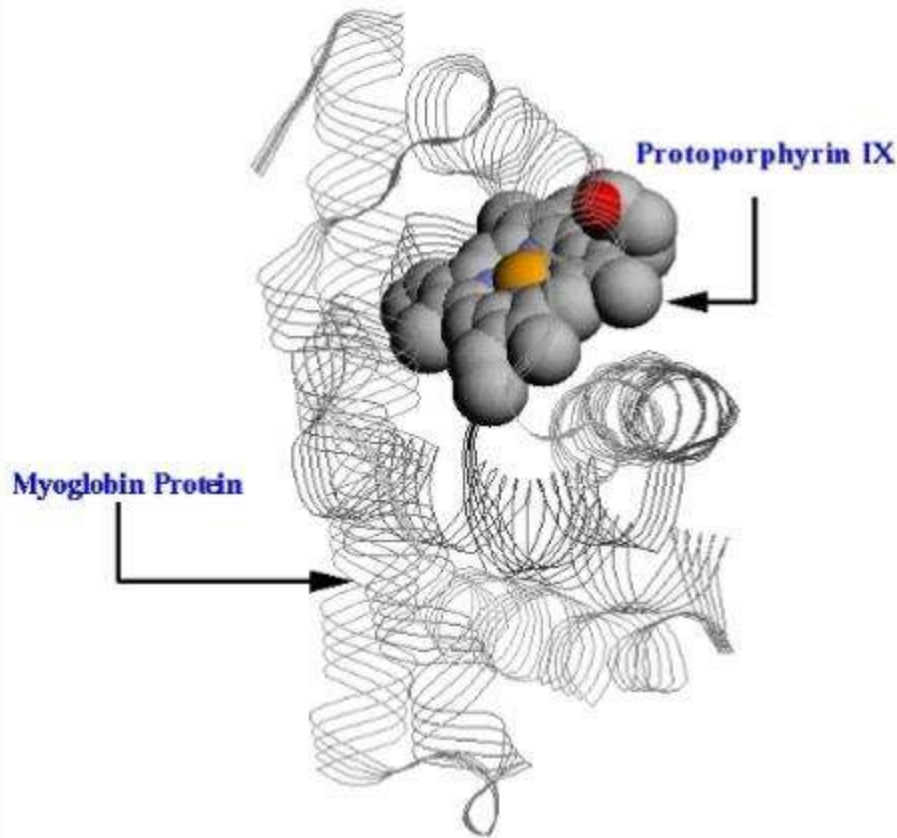
Azione: si legano ai metalli degli enzimi, soprattutto Fe

Impediscono il trasporto di ossigeno e la respirazione cellulare (*citocromo ossidasi*)

Sintomi: mal di testa, vertigini, offuscamento della vista, coma e morte. L'avvelenamento è molto rapido

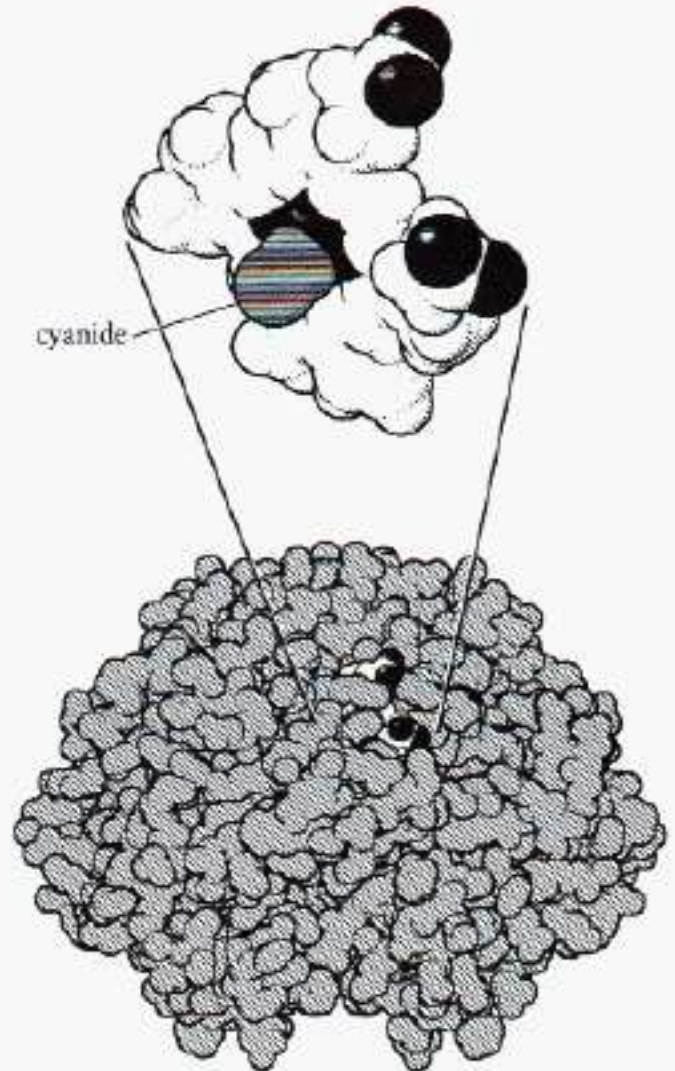
Aggressivi Sistemici

Myoglobin and Protoporphyrin IX (HEME)



Function: Oxygen storage (in muscles)

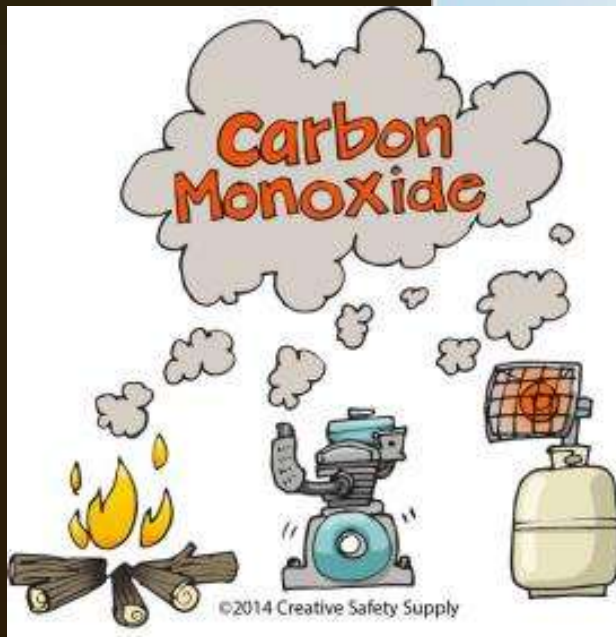
sito di Ferro : arancio



Aggressivi Sistemici

concentrazione di CO ed effetti

Concentrazione (mg m ⁻³)	Effetto
300	immediatamente letale
200	letale in 10 min
150	letale in 30 min
120 – 150	danni irreversibili in 30 min
50 – 60	tollerabile al max 20 min senza danni irreversibili
20 - 40	sintomi leggeri dopo alcune ore



Aggressivi Soffocanti

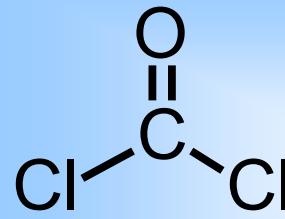
- Cl₂, Fosgene, Cloropicrina

Aspetto: gas o liquidi volatili
hanno odore pungente

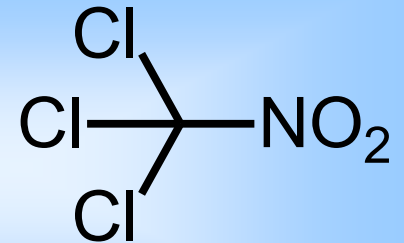
Azione: irritano fortemente le mucose delle vie respiratorie

Si ha travaso di plasma sanguigno negli alveoli

Sintomi: bruciore alla gola e petto, tosse, febbre, vomito,
morte (per asfissia o per collasso cardiaco)



Fosgene



Cloropicrina

Aggressivi Soffocanti



*Ieper 22 aprile 1915:
rilascio di cloro sul fronte
franco-tedesco 1^GM*

Aggressivi Incapacitanti

Sono definiti **INCAPACITANTI** quegli agenti che, con **MENO di 1/100 della DOSE LETALE**, sono in grado di causare alla **psiche** o al **fisico** di una persona **disturbi** tali da renderla incapace di agire nel pieno delle proprie facoltà.



Aggressivi Irritanti

- **Lacrimogeni:** CN, CS
- **Starnutatori-vomitativi:** Adamsite

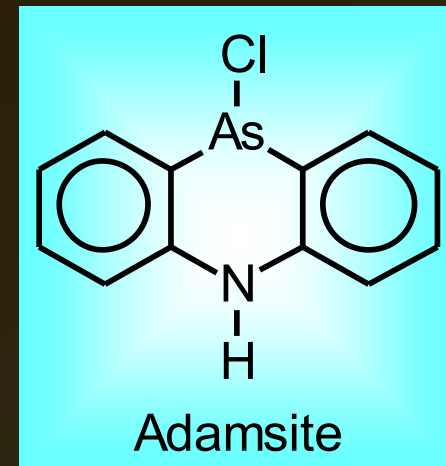
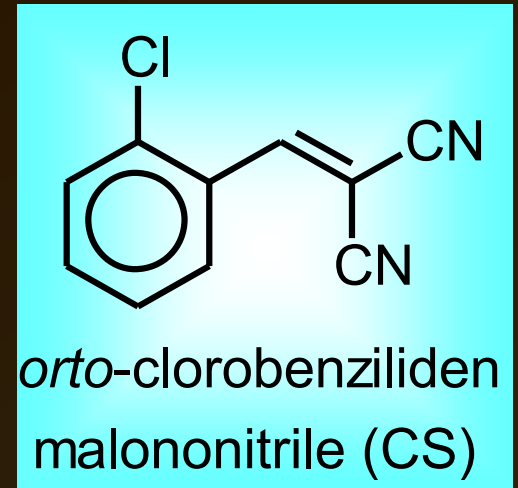
Aspetto: solidi cristallini
(solitamente bianchi o gialli)

Azione:

Irritano le mucose e le aree umide del corpo

Sintomi:

Lacrimazione, irritazione naso, gola e vie aeree
I sintomi però scompaiono dopo pochi min



Aggressivi Irritanti



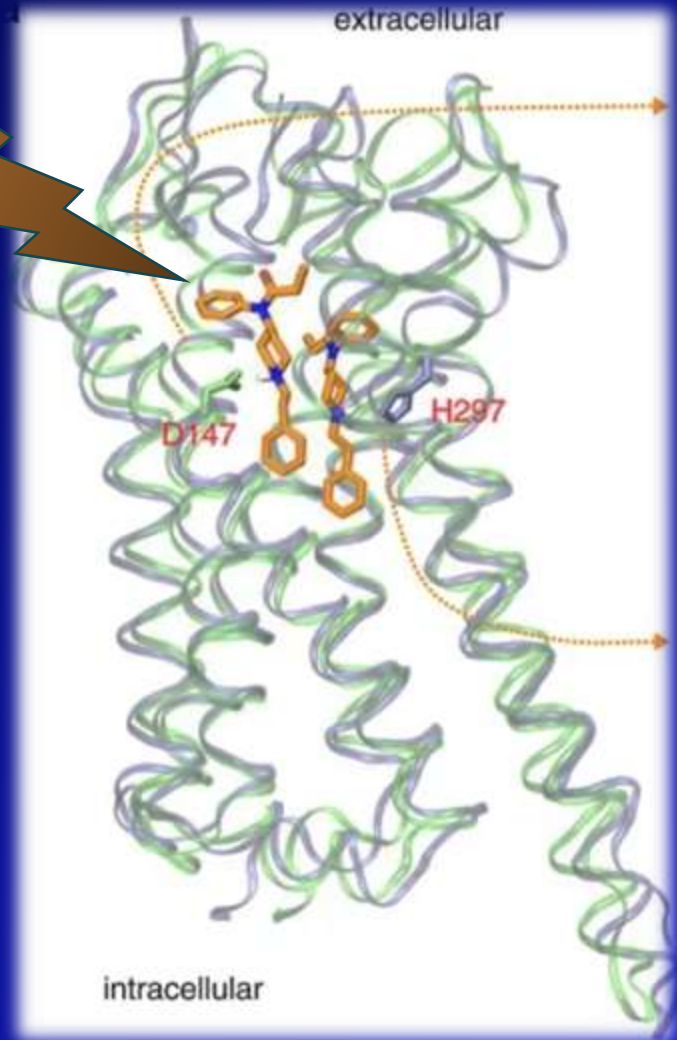
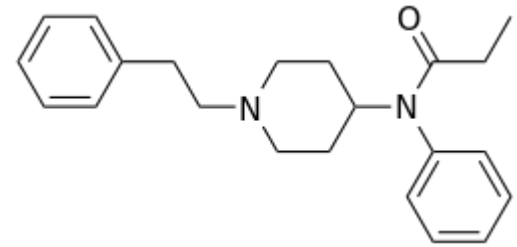
"Candelotto" di CS in uso alle forze di polizia

Fentanyl

ottenuto da Paul Janssen nel 1960
analgesico, oppioide di sintesi

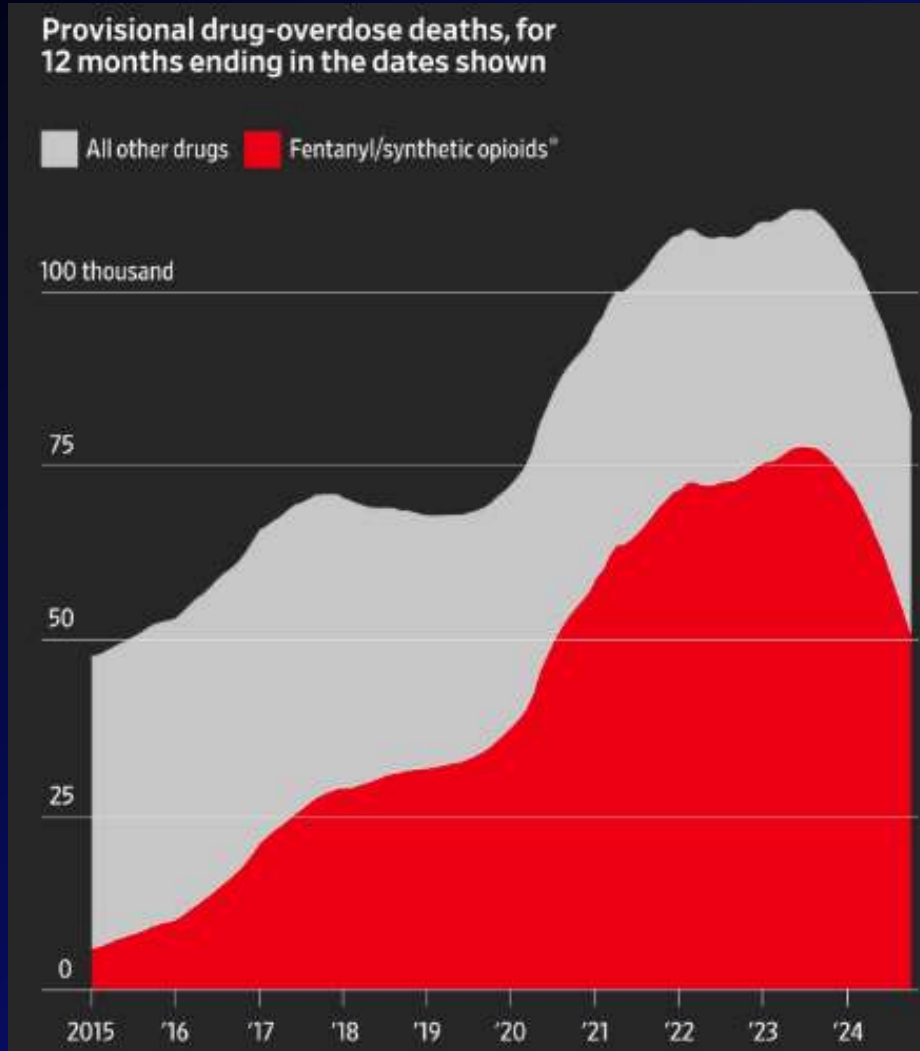
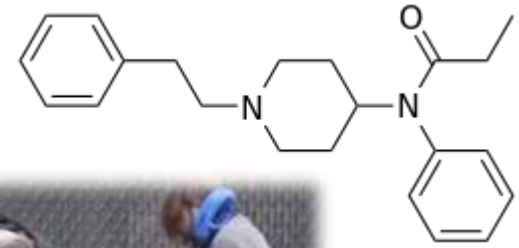
agonista forte del recettore μ
per gli **oppioidi**
ca. **100 volte più potente** della
morfina
0.1 mg di fentanyl equivalgono a
2 - 5 mg di **eroina**

per **anestesia** e
analgesia
in sale operatorie e
terapia intensiva
cure palliative



Fentanyl

Emergenza Sanitaria negli Stati Uniti



- una delle droghe più acquistate sul mercato clandestino
- «droga degli zombie»
- Europol: nel 2023 in Europa ca. 400 laboratori clandestini

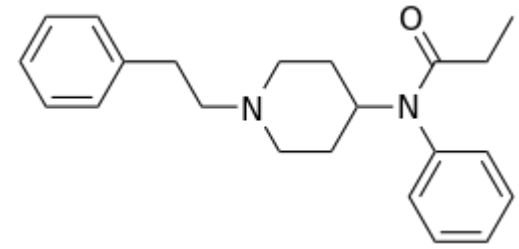


US Center Health Statistics, gennaio 2025

Fentanyl

Caso Mosca, 23 ottobre 2002 (teatro Dubrovka)

- Miscela derivati del **Fentanil** nebulizzati e **Halotano** (alogenoalcano *p.eb.* 50°C)
912 ostaggi
40 terroristi e 132 ostaggi morti
- necessario uso di **Naloxone** (Narcan) come antidoto

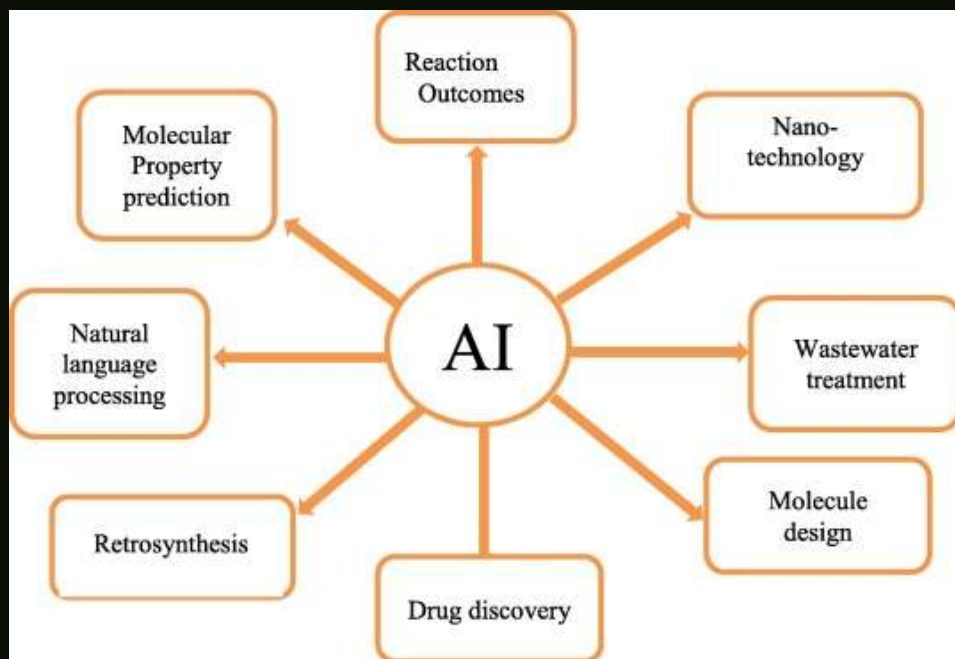


BrClHC-CF_3
Halotano



- dal **2021** la CWC ha dichiarato illegale l'uso di fentanyl in forma di **aerosol** per ordine pubblico e come arma

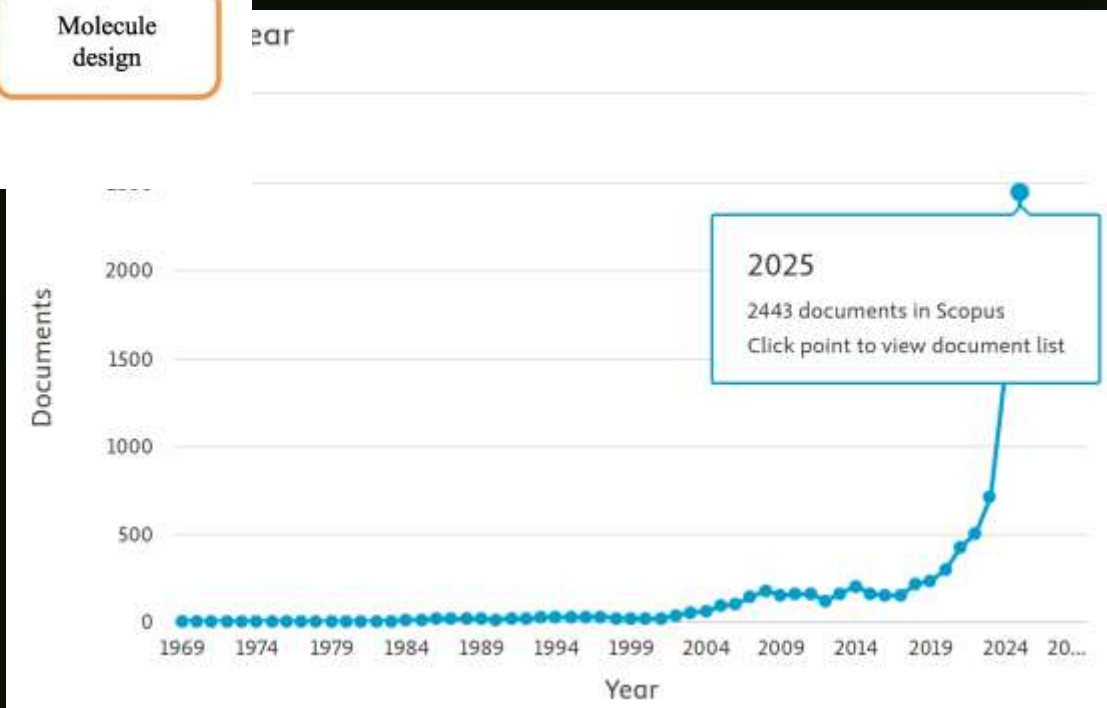
Intelligenza Artificiale: una risorsa "dual use"



Articoli scientifici contenenti:

"Chemistry" and "Artificial Intelligence"

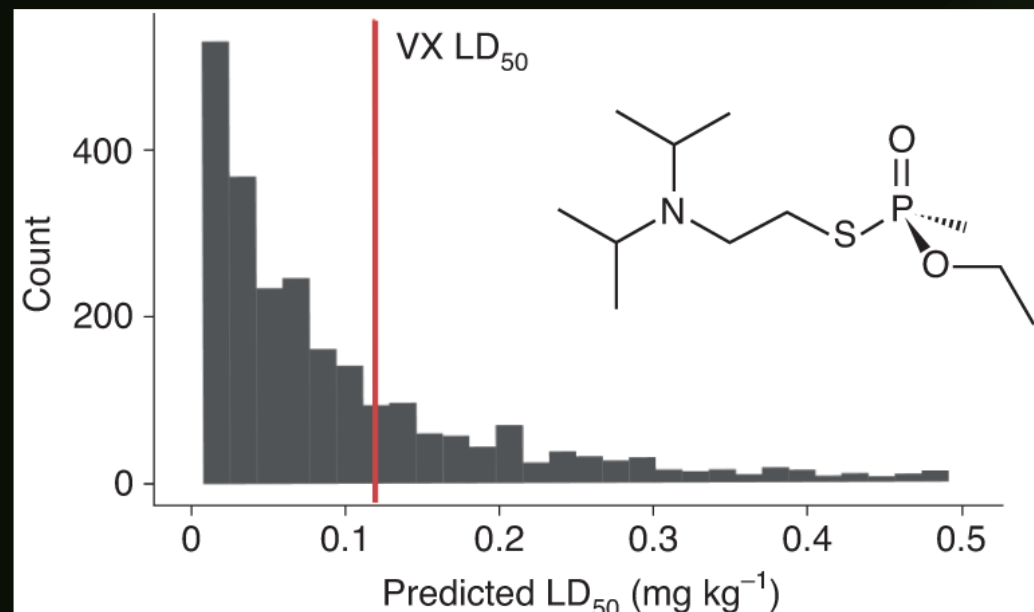
nel titolo o nell'abstract
1969 - 2025



Scopus search, 3 aprile 2026

Intelligenza Artificiale: una risorsa "dual use"

- ❖ Vie di sintesi nuove assistite dall'IA
- ❖ Progettazione di nuove molecole bioattive (bio-pharma-med)
- ❖ Predizione delle proprietà – fisiche, chimiche, tossicologiche
- ❖ Nuovi processi industriali – più efficienti → clandestini
- ❖ Tecniche analitiche avanzate – per esplorare «unknown unknowns»
- ❖ Il dilemma delle linee-guida etiche



**Tutto questo
alimenta la
«Chemiofobia»?**



**Perdita di capacità critica di giudizio
di interpretazione di un dato o di un
risultato di uno studio**

**→ più facile seguire colui che
ha la verità in tasca**

via seguita anche da molti professionisti
che devono prendere decisioni strategiche
giudici, politici, consulenti, dirigenti, ...

La cura?

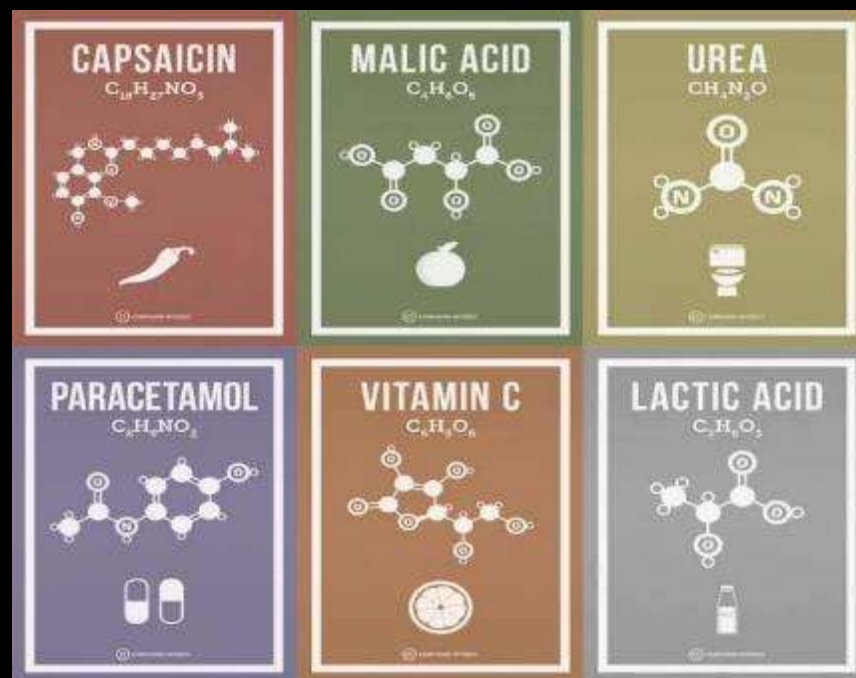
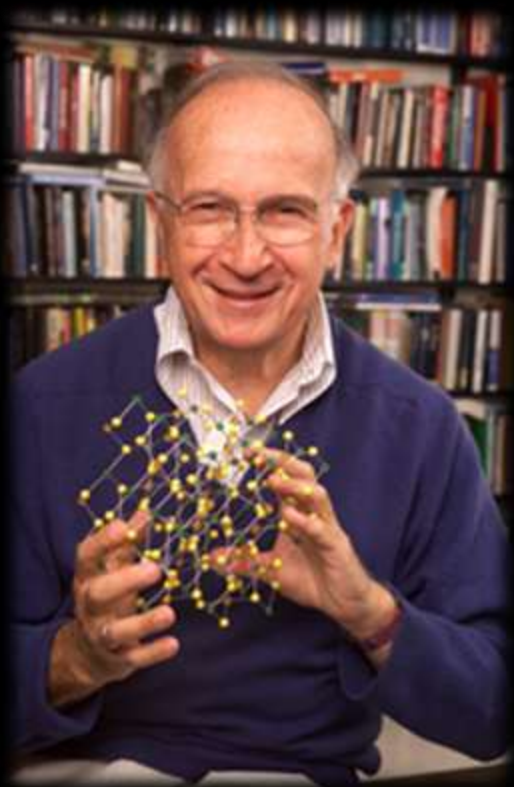
- ruolo chiave di una **formazione chimica**, bilanciata già nei **primi anni** del **curriculum scolastico**
- attività di **sensibilizzazione e divulgazione**
..... come questa!

NON CI SONO MOLECOLE CATTIVE: CI SONO SOLO UOMINI MALVAGI

Sir Roald Hoffmann

(Zoločiv, Ucraina, 1937;
premio Nobel per la Chimica nel 1981)

L. Cardellini Chem. Internat., 29 (2007) 4



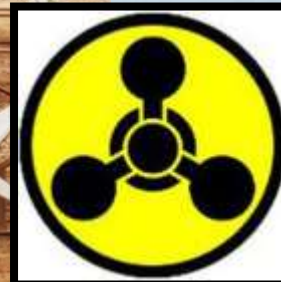
Le armi chimiche: un problema risolto?

Matteo Guidotti

*Istituto di Scienze e Tecnologie Chimiche
"Giulio Natta", Milano, Italia*

*SAB, Organizzazione per la Proibizione delle
Armi Chimiche, L'Aja, Paesi Bassi*

matteo.guidotti@scitec.cnr.it



Consiglio Nazionale
delle Ricerche



OPCW



ACCADEMIA DELLE SCIENZE
DELL'ISTITUTO DI BOLOGNA



ACCADEMIA dei
FISIOCITICI 1691