Gli effetti dell'inquinamento chimico, causato dai bombardamenti, sull'ambiente e sulla salute umana in Serbia e nel Kosovo

Lucio Triolo,[1] Vincenzo Caffarelli, Pietro Cagnetti, Giovanni Grandoni, Antonella Signorini

ENEA–Casaccia, Roma

Willy Bocola

Commissione V.I.A., Ministero dell'Ambiente, Roma

Valerio Gennaro

Istituto Nazionale per la Ricerca sul Cancro, Genova

1 Premessa

Assieme alla tragedia umana, la guerra ha portato nei territori della federazione Jugoslava una serie di gravi fenomeni da inquinamento, con danni acuti visibili sull'ambiente e sulle popolazioni. Nelle regioni colpite dai bombardamenti della NATO si sono configurati rilevanti rischi di danni cronici irreversibili per gli ecosistemi e per le popolazioni, le cui attuazioni si manifesteranno purtroppo nei prossimi anni, dando tragica continuità alle azioni militari dei tre mesi di guerra.

Per operare una prima valutazione dell'impatto sull'ambiente e la salute umana dei bombardamenti della NATO, nel territorio della repubblica di Serbia, stimeremo le emissioni causate dalla fuoriuscita dai serbatoi e dalla combustione di prodotti petroliferi. Inoltre, laddove esiste l'informazione, stimeremo anche la fuoriuscita di sostanze chimiche

[1]lucio.triolo@casaccia.enea.it

particolarmente nocive dai serbatoi bombardati degli impianti petrolchimici e di fertilizzanti di Pancevo e di Baric. Descriveremo inoltre gli effetti sull'ambiente e sulla salute umana di queste emissioni. Gli impianti e i depositi colpiti tra il 26 marzo e il 24 aprile sono riportati di seguito (*Peacelink News*, 25 aprile 1999):

1. Il deposito di carburante di Lipovica, che ha provocato un grande incendio nella foresta (26 marzo 1999);
2. Il deposito "Beopetrol" a Belgrado (4 aprile 1999);
3. Il deposito "Beopetrol" a Bogutovac (4–24 aprile 1999);
4. Il deposito di carburante dell'impianto termico di Novi Sad (4 aprile 1999);
5. Lo stabilimento chimico "Prva Iskra" di Baric: distruzione della linea di produzione (19 aprile 1999);
6. La raffineria di Pancevo, che è stata completamente distrutta (15–18 aprile 1999);
7. L'industria petrolchimica "Dp Hip Petrohemija" di Pancevo, che è stata completamente distrutta (15–18 aprile 1999);
8. Lo stabilimento di fertilizzanti "Dp Hip Azotara" di Pancevo, che è stato completamente distrutto (15–18 aprile 1999);
9. Le installazioni della "Jugopetrol" di Smederevo (4–13 aprile 1999);
10. La centrale termoelettrica e l'impianto termico di Novi Sad (5 aprile 1999);
11. La raffineria di Novi Sad e il deposito di prodotti petroliferi (5–6 aprile 1999);
12. Il deposito della "Jugopetrol" di Sombor (7 aprile 1999);
13. Il deposito di carburante "Naftagas promet", che si trova a 10 km da Sombor (5 aprile 1999);
14. Il magazzino della Naftagas, sito tra Conoplje e Kljaicevo (Sombor);
15. Il deposito di carburante della "Beopetrol" di Pristina (7 aprile 1999);
16. Il magazzino della Jugopetrol di Pristina (12 aprile 1999);
17. Il distributore di benzina della Jugopetrol di Pristina (13 aprile 1999);
18. Il deposito di carburante di Gruua, vicino a Kragujevac.

Nella figura 1 sono riportati alcuni dei siti bombardati che hanno causato emissioni inquinanti.


LUOGHI E DATE DEI BOMBARDAMENTI
KLJAICEVO
• deposito "Nafta Gas Promet" 05.04.99
NOVI SAD
• deposito carburante 04.04.99
• centrale termoelettrica 05.04.99
• raffineria 05.04.99 - 06.04.99
• deposito bitume 05.04.99 - 06.04.99
CONOPLIJE
• deposito "Nafta Gas Promet" 05.04.99
BELGRADO
• deposito carburante 04.04.99
SOMBOR
• deposito Jugopetrol 07.0.99
• deposito "Nafta Gas Promet" 05.04.99
PANCEVO
• raffineria 15.04.99 - 18.04.99
• az. petrolchimica 15.04.99 - 18.04.99
SMEDEREVO
• deposito Jugopetrol 04.04.99 - 13.04.99
PRISTINA
• deposito Beopetrol 07.0.99
• magazzino Jugopetrol 12.04.99
HUNGARY
CROATIA
ROMANIA
BOSNIA and HERZEGOVINA
SERBIA
BULGARIA
Montenegro
Adriatic Sea
ALBANIA
MACEDONIA
Subotica
Odzaci
Backa Palanka
Ruma
Sabac
Loznica
Obrenovac
Valjevo
Vrsac
Majdanpek
Zagubica
Negotin
Bor
Paracin
Zajecar
Kraljevo
Ivanjica
Krusevac
Aleksinac
Nis
Pirot
Novi Pazar
Leskovac
Titova Mitrovica
Pec
Podgorica (Titograd)
Urosevac
Vranje
Prizren
Skopje
Sofia
Sarajevo
©1992 MAGELLAN Geographix Santa Barbara, CA (800) 929-4MAP

FIG. 1

2 Le emissioni causate dalla combustione dei prodotti petroliferi

Poiché non sono note le dimensioni dei serbatoi di prodotti petroliferi e delle raffinerie colpite, sono state loro attribuite dimensioni pari a quelle di impianti medi presenti nel territorio italiano. I fattori di emissione impiegati per valutare le emissioni carboniose di fumo sono quelli descritti da Colarco (Università del Colorado) in una rassegna dei lavori scientifici pubblicati dal 1991 al 1997 sugli incendi dei pozzi petroliferi nella guerra del Golfo, e sono riportati di seguito:

$\beta_1 = 73$ g/kg per il greggio;

$\beta_2 = 57$ g/kg per le frazioni di virgin nafta, olio combustibile, gasolio ecc.

Per il calcolo stechiometrico delle emissioni di SO_2, sono state considerate concentrazioni di zolfo del 2,5% nel greggio e nell'olio combustibile ATZ, e di 0,3% nell'olio combustibile BTZ e nelle altre frazioni. In tabella 1 sono riportate le emissioni di elementi in traccia, ricavate dalle concentrazioni in un olio combustibile medio impiegato in USA.

Cautelativamente, si è ipotizzato che solo il 10% dei prodotti petroliferi dei serbatoi di stoccaggio colpiti siano bruciati. In tabella 2 sono riportate le stime delle emissioni complessive, generate dal bombardameto delle raffinerie e dei serbatoi di stoccaggio dei prodotti petroliferi bruciati negli incendi.

La ricaduta al suolo dei fumi carboniosi e dell'anidride solforosa è stata studiata per il caso della combustione dei prodotti petroliferi della raffineria di Novi Sad.

2.1 Novi Sad: raffineria e deposito di prodotti petroliferi; emissione di 5.000 t di SO_2 e 6.800 t di fumi

Le emissioni dovrebbero presumibilmente essere avvenute in due eventi successivi: dapprima durante la notte del 5 aprile, ed poi nel corso della notte successiva.

Dalle situazioni meteorologiche relative a questi due giorni (Figg. 2 e 3) si possono dedurre in prima approssimazioni i dati seguenti:

- la pressione si aggirava intorno ai 1024 mbar il 5 aprile e ai 1030 mbar il 6;

Tabella 1. Concentrazione nell'olio combustibile degli elementi in traccia (parti per milione).

As	0,8
Cd	2,27
Cr	1,3
Pb	3,5
Mn	1,33
Hg	0,04
Ni	42,2
Se	0,7
V	16,0

Tabella 2. Stima della quantità di fumi carboniosi, di SO_2 e di elementi in traccia emessi nel bombardamento di impianti di prodotti petroliferi nel territorio serbo tra il 26 marzo e il 24 aprile '99.

Fumi carboniosi	$95 \cdot 10^3$ t
SO_2 ed SO_3	$29 \cdot 10^3$ t
Cadmio	$3 \cdot 10^3$ kg
Cromo	$1 \cdot 10^3$ kg
Piombo	$7 \cdot 10^3$ kg
Vanadio	$15 \cdot 10^3$ kg
Nichel	$38 \cdot 10^3$ kg

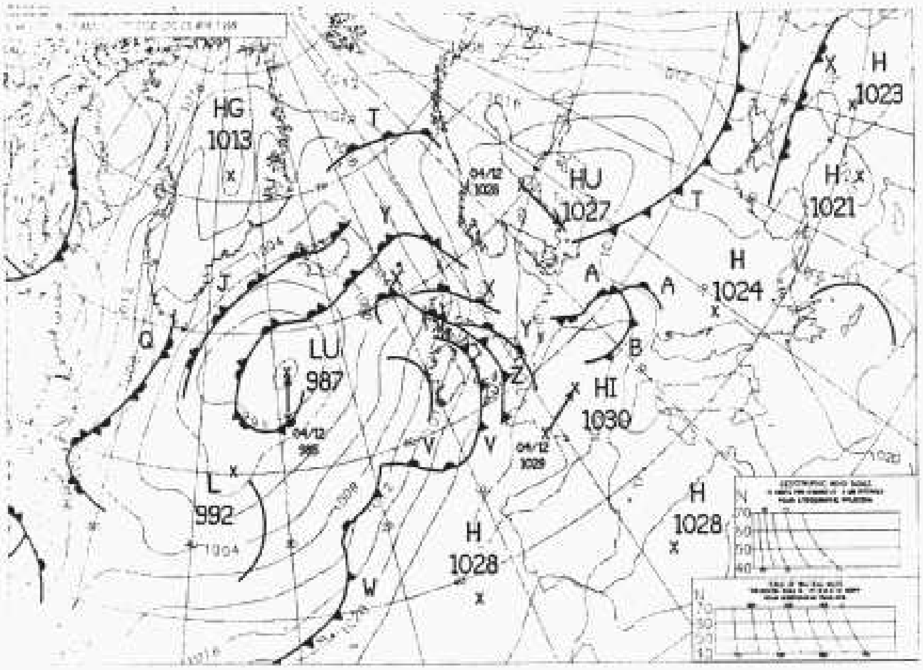


Fig. 2 *Situazione meteorologica al suolo sull'Europa il giorno 5-IV-99*

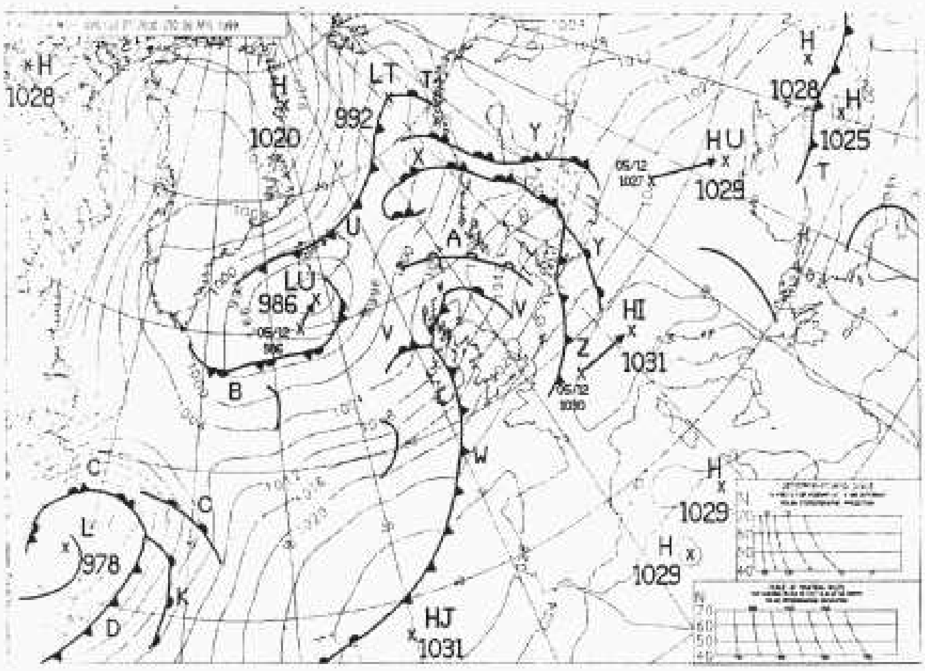


Fig. 3 *Situazione meteorologica al suolo sull'Europa il giorno 6-IV-99*

- la velocità del vento al suolo, stimata in base alla distanza fra le isobare, era di 0–1 m/s;
- la direzione di provenienza del vento era dal 1° quadrante (Nord–Est);
- le condizioni di dispersione in atmosfera sono state considerate con coefficiente di dispersione laterale elevato (condizione di vento debole), e coefficiente di dispersione verticale limitato (situazione di media stabilità).

Per quanto riguarda le emissioni, sono state fatte le seguenti ipotesi:

- il rilascio è avvenuto per metà nel primo periodo (5 aprile) e per metà nel secondo (6 aprile);
- la quantità totale emessa per ognuno dei due rilasci è stata di 2.500 t di SO_2, nell'ipotesi che solo il 10% del petrolio greggio sia stato bruciato;
- la durata del rilascio è stata presa di 10 ore: pertanto l'intensità del rilascio era di 69 kg/s.

Applicando dei modelli di diffusione atmosferica, si sono ottenuti per la concentrazione in aria di SO_2 i valori medi mostrati nella figura 4, mentre nella figura 5 è riportata la mappa della zona (il punto di emissione coincide grosso modo con Novi Sad). Per i fumi basta moltiplicare i valori della figura 4 per 1,36 (6.800$\div$5.000). Si ottiene la distribuzione delle concentrazioni riportata in figura 6.

Questi valori medi sono relativi al rilascio di 2.500 t di SO_2, avvenuto in due fasi, per una durata complessiva di 20 ore. Per questo intervallo di tempo la popolazione sottovento è stata interessata dai valori medi indicati nella figura 4. Le zone entro le quali i valori di concentrazione in aria hanno superato il limite massimo ammesso di 250 μg/m^3 sono estese fino a distanze di oltre 100 km dal punto di rilascio (nella figura 4 notare l'estensione in parte fuori riquadro della sesta zona, relativa a valori medi di $2.5 \cdot 10^{-7}$ kg/m^3 = 250 μg/m^3).

Bisogna dire che la situazione meteorologica era di alta pressione e con venti molto deboli (0–1 m/s), per cui sicuramente la traiettoria non è così rettilinea. Tuttavia le indicazioni sulla estensione delle zone per le quali le concentrazioni in aria erano oltre i limiti di legge restano valide (ma non l'individuazione esatta delle località interessate). Analizzando la figura 4 si vede che **l'estensione del territorio, interessata per 20 ore dal superamento dei livelli massimi ammessi per l'SO_2, è di circa 2.500–3.000 km^2**.

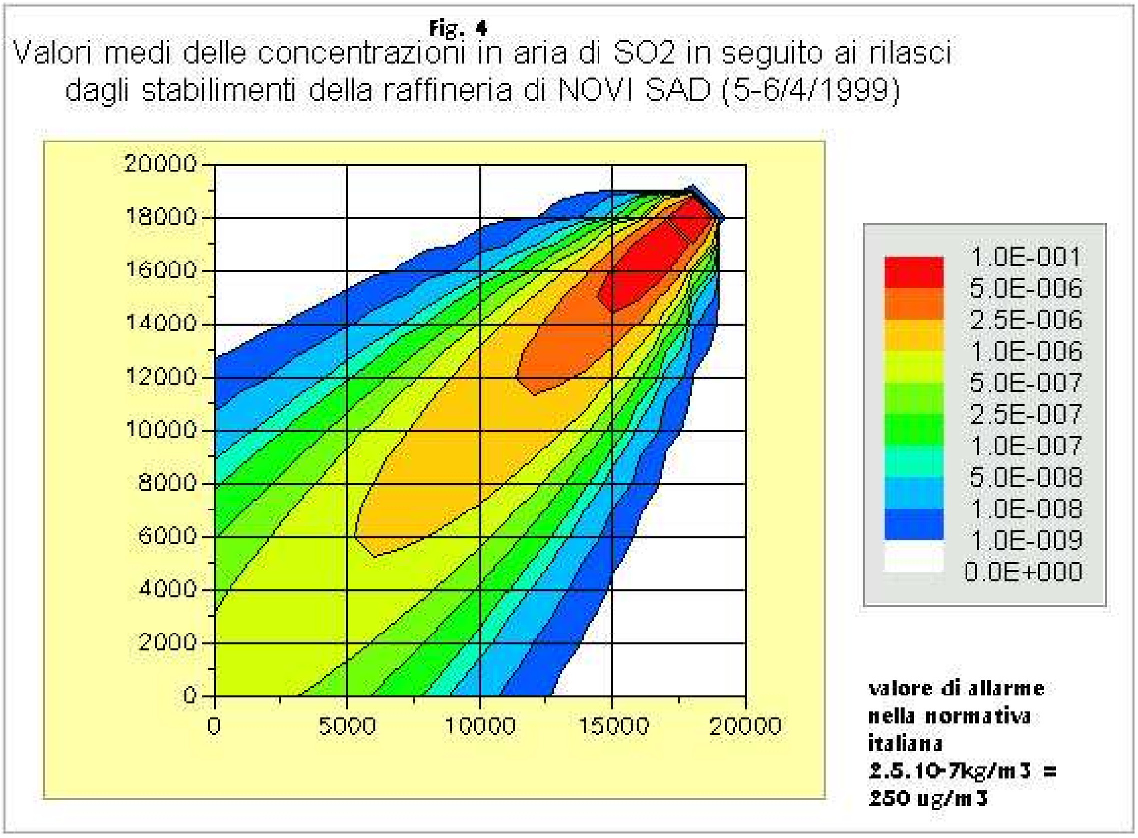


Fig. 4
Valori medi delle concentrazioni in aria di SO2 in seguito ai rilasci dagli stabilimenti della raffineria di NOVI SAD (5-6/4/1999)

3 Le emissioni inquinanti dagli impianti chimici bombardati

Le informazioni sulle emissioni di sostanze chimiche sono prevalentemente quelle riferite dal Prof. Lausevic dell'Università di Belgrado, presidente della "Serbian Ecological Society" (*Peacelink News*, 25 maggio 1999). Altri dati provengono dalle dichiarazioni del direttore dello stabilimento petrolchimico di Pancevo.

Uno degli episodi più gravi è stato quello del 15 aprile alle 22:40, quando gli aerei della NATO hanno bombardato gli impianti del complesso petrolchimico di Pancevo. Sono stati colpiti direttamente da un missile gli impianti del cloruro di vinile monomero e del dicloruro di etilene (dicloroetano). Sono stati anche pesantemente danneggiati l'impianto del cloro–alcali e del polivinilcloruro.

Le emissioni che si sono generate sono state di:

- Cloro allo stato gassoso, in quantità stimate di 600 t; soda caustica in soluzione concentrata in quantità non stimabile; 800 t di acido cloridrico al 33%, e 100 t di Mercurio.

- Cloruro di etilene, liquido volatile.

- Cloruro di vinile monomero, gassoso nelle condizioni ambientali.

L'impianto di cloro–alcali colpito era a tecnologia meno evoluta per quanto riguarda la compatibilità ambientale e sanitaria. Comunque, esso rappresenta la tipologia più impiegata nei paesi europei (75%). La produzione di Cl_2 di tali impianti è ormai destinata, nei paesi industriali, alle produzioni di PVC attraverso la produzione dei precursori, estremamente tossici, $ClCH_2$—CH_2Cl (dicloroetano) e Cl—CH=CH_2 (cloruro di vinile monomero).

Un secondo bombardamento, del 18 aprile, ha distrutto completamente gli impianti per la produzione di ammoniaca e di cloruro di vinile monomero (VCM), determinando la fuoriuscita in atmosfera dei due composti. Il VCM contenuto in un serbatoio di 1200 tonnellate è esploso dopo essere stato colpito da un missile: il contenuto in parte è bruciato e in parte si è diffuso in atmosfera.

Secondo il Ministero dell'Ambiente Jugoslavo, le concentrazioni in aria di VCM subito dopo l'incidente erano ben 7.200 volte superiori al limite ammesso all'interno delle fabbriche (1 ppm). Secondo il Dipartimento dell'Istituto di Sanità Pubblica di Pancevo, sono state misurate, a qualche km dal punto bombardato, e a 7 ore di distanza, concentrazioni al suolo pari a 10.600 ppm. Poiché una parte del VCM è combusto, si sono determinate concentrazioni al suolo anche di acido cloridrico, di monossido di carbonio, di cloro gassoso e di $COCl_2$ (fosgene).

La ricaduta al suolo e sulle acque di cloruro di vinile monomero è stata valutata per

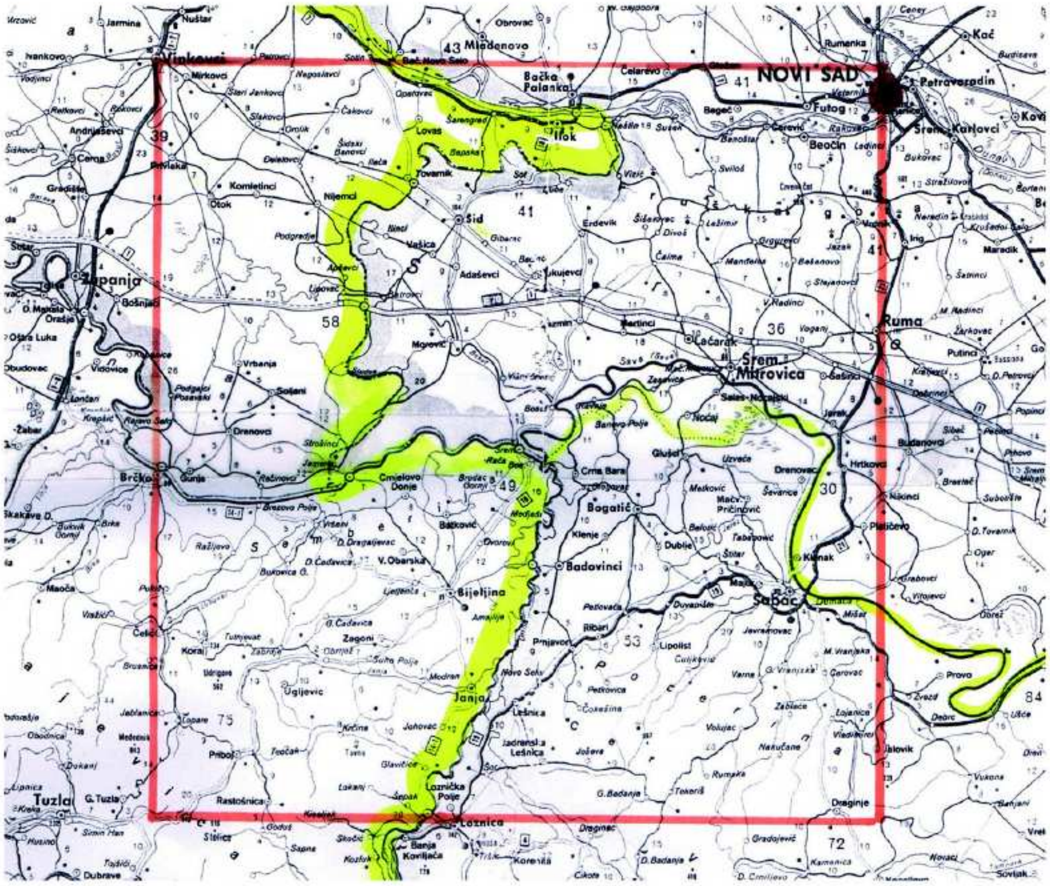
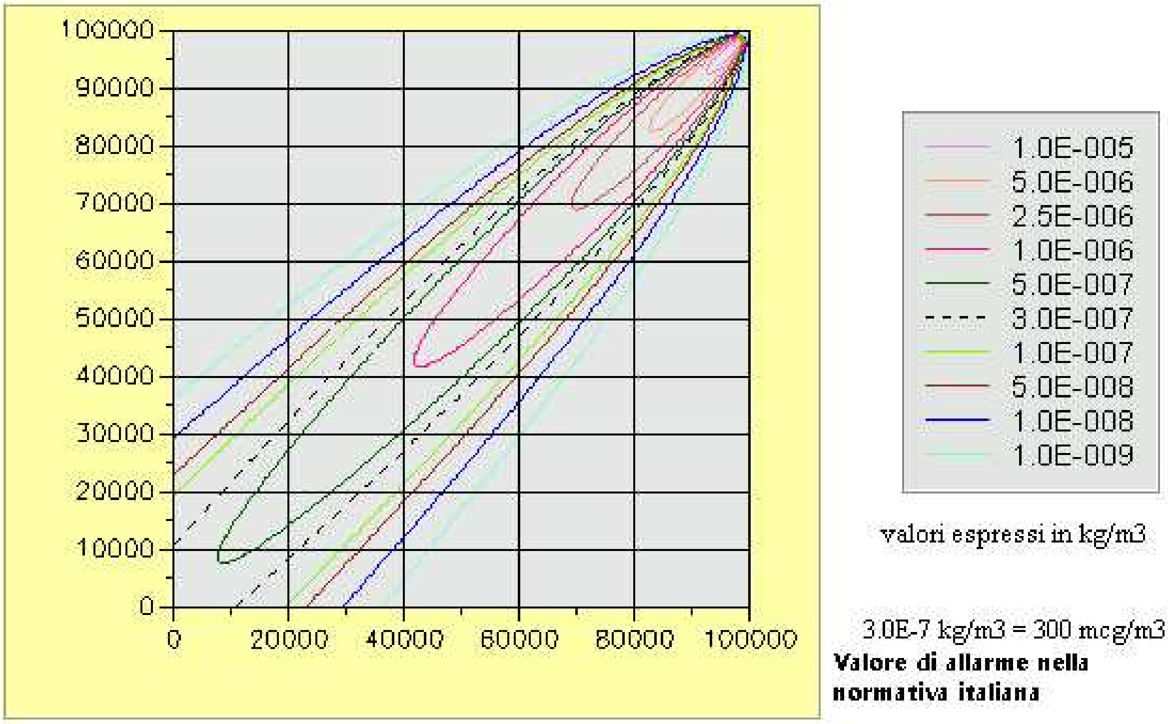


Fig. 5 Mappa della zona interessata dal rilascio: le emissioni avvengono da Novi Sad

Fig. 6

Valori medi delle concentrazioni dei FUMI in seguito ai rilasci dagli stabilimenti della raffineria di NOVI SAD (5-6/4/1999)



il bombardamento dell'industria petrolchimica Dp Hip Petrohemija di Pancevo.

3.1 Pancevo: industria petrolchimica; emissione di 1200 t di cloruro di vinile monomero

Le emissioni sono presumibilmente avvenute in due eventi successivi: uno nella notte del 15 aprile, ed un secondo nella notte del 18 aprile. Dalle situazioni meteorologiche relative a questi due giorni (Figg. 7 e 8) si possono dedurre in prima approssimazioni i dati seguenti:

- la pressione si aggirava intorno ai 1012 mbar il 15 aprile e ai 1010 mbar il 18;
- la velocità del vento al suolo è stata stimata, in base alla distanza fra le isobare, intorno ai 2–3 m/s;
- la direzione di provenienza del vento è dal 3° quadrante: da Ovest–Sud–Ovest il 15 aprile e da Sud–Ovest il 18 aprile;
- le condizioni di dispersione in atmosfera sono state considerate con coefficiente di dispersione laterale elevato (vento debole), e coefficiente di dispersione verticale limitato (situazione di media stabilità).

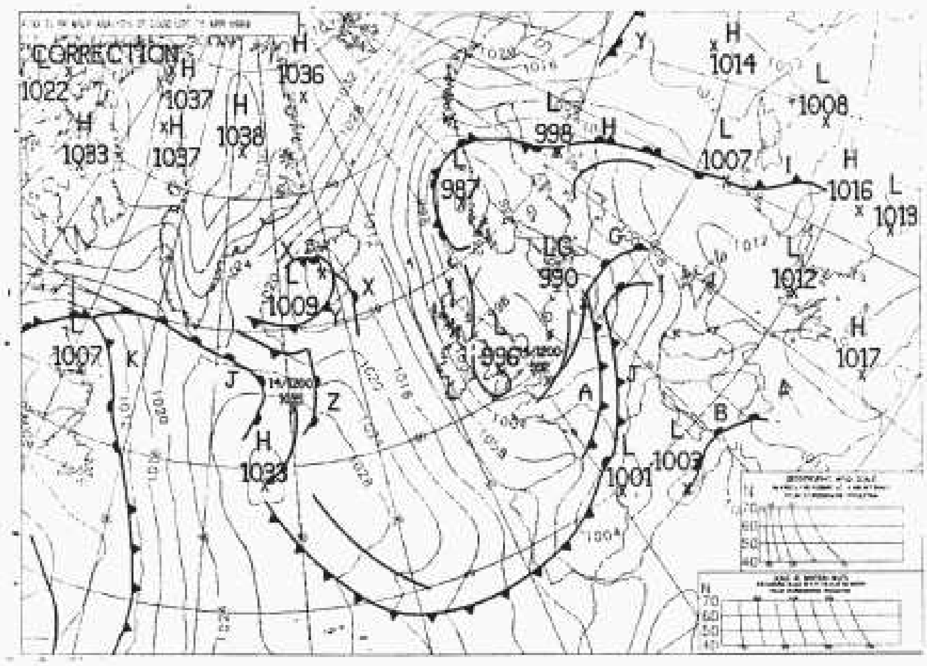


Fig. 7 *Situazione meteorologica al suolo sull'Europa il giorno 15-IV-99*

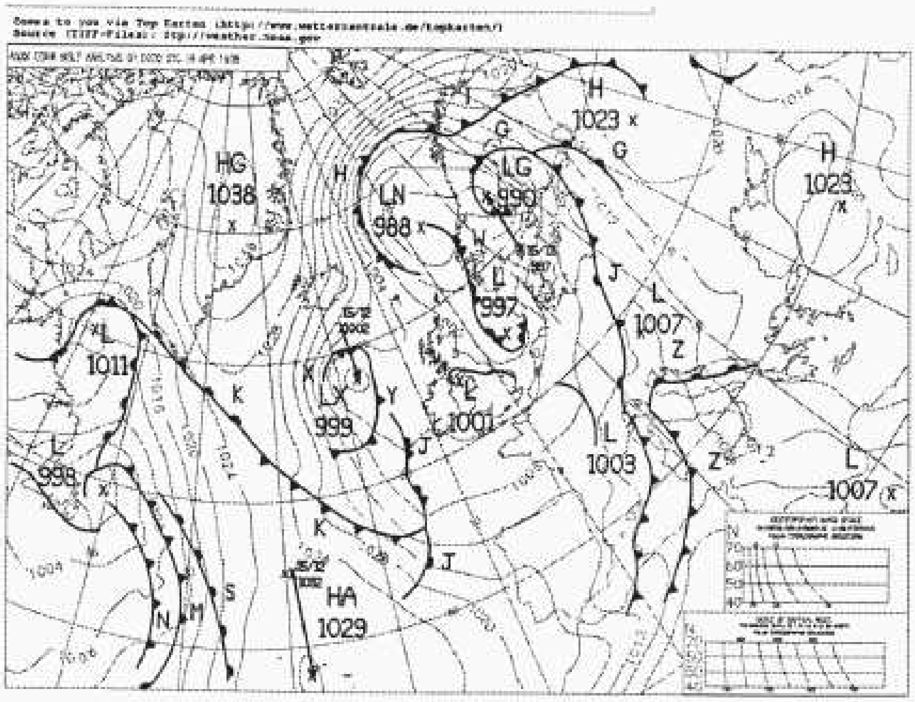
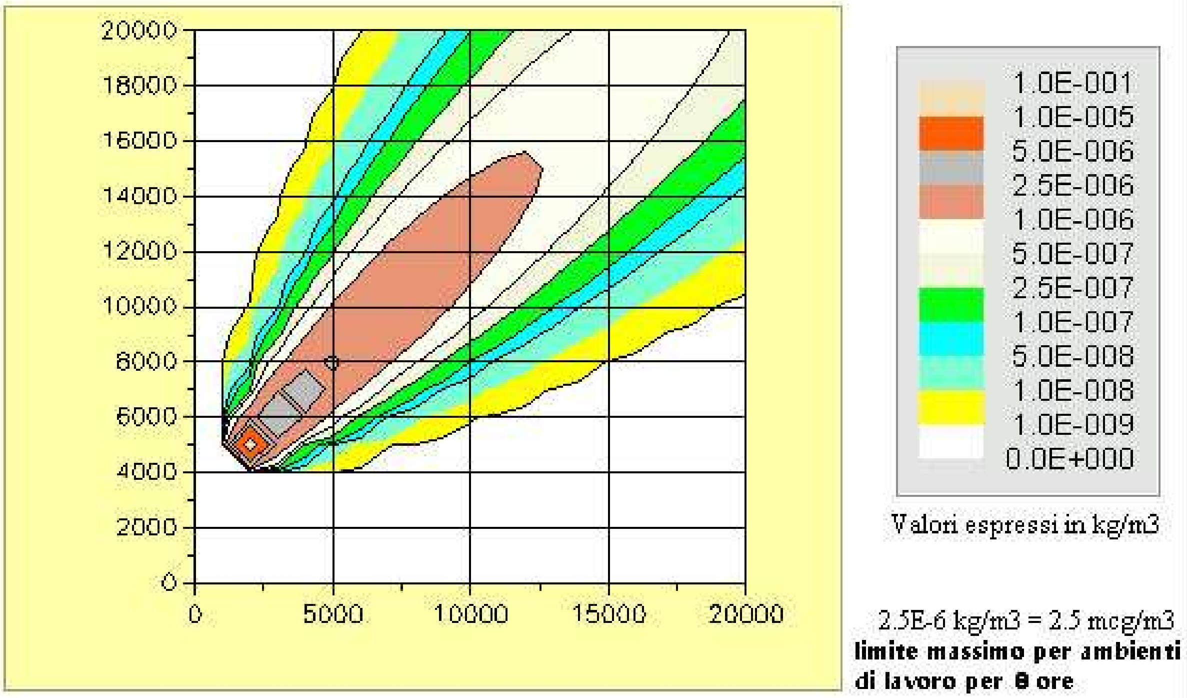


Fig. 8 *Situazione meteorologica al suolo sull'Europa il giorno 18-IV-99*

Fig. 9

Valori medi delle concentrazioni in aria di VCM in seguito ai rilasci dagli stabilimenti petrolchimici di Pancevo (15-18/4/1999)



Per quanto riguarda le emissioni sono state fatte le seguenti ipotesi:

- il rilascio è avvenuto per metà nel primo periodo (15 aprile) e per metà nel secondo (18 aprile);
- la quantità totale emessa per ognuno dei due rilasci è stata di 600 t di VCM;
- la durata del rilascio è stata stimata in 10 ore, essendo giunta la notizia che alle 8:00 del mattino successivo, dopo 7 ore circa dall'inizio dell'emissione, i valori di concentrazione in aria erano ancora molto elevati nei pressi del rilascio.

Applicando i modelli meteodiffusivi messi a punto dall'ENEA, nell'ipotesi di un'ampia fluttuazione laterale del vento e di una limitazione della dispersione sulla verticale per la presenza di uno strato stabile a 300 m, si sono ottenuti i valori medi di concentrazione in aria mostrati nella figura 9. Nella figura 10 è riportata la mappa della zona (il punto di emissione coincide grosso modo con Pancevo).

Questi valori medi sono pertanto relativi al rilascio di 1200 t di VCM in due fasi, per una durata complessiva di 20 ore. Per tale intervallo di tempo la popolazione sottovento è stata interessata dai valori medi indicati nella figura 9. È ovvio che se il tempo di rilascio fosse invece la metà di quello ipotizzato (10 ore invece di 20 ore), le stesse quantità emesse in metà tempo darebbero luogo a valori di concentrazione doppi, essendo le concentrazioni direttamente proporzionali all'intensità delle emissioni (in pratica saranno anche leggermente superiori al doppio, perché se il rilascio avviene in minor tempo la dispersione laterale è inferiore), ma con un'esposizione della popolazione per metà dell'intervallo di tempo considerato. In altri termini, i valori delle concentrazioni in aria sono inversamente proporzionali al tempo di emissione, con un'ulteriore maggiorazione dovuta alla minore dispersione laterale. Inoltre quelli indicati nella figura sono valori medi: è noto che i valori istantanei possono in alcuni punti sull'asse della direzione del vento superare anche di 100 volte i valori medi. Questo spiega come possano essere stati misurati livelli di ben 7200 ppm, pari a circa 18 g/m^3 (essendo 2.5 mg/m^3 pari ad 1 ppm), quando i valori medi sopra calcolati presentano un valore massimo a breve distanza dal punto di rilascio non superiore a 0.1 g/m^3. Va inoltre rilevato che, se la direzione fosse nella realtà diversa da quella ipotizzata, basterebbe ruotare le curve rispetto alla mappa di un angolo adeguato.

In definitiva si possono formulare le seguenti osservazioni:

- sono state assunte ipotesi teoriche sia per quanto riguarda l'intensità dei rilasci che le condizioni meteodiffusive;
- tali ipotesi sono basate sulle notizie raccolte dalla stampa per quanto riguarda sia i valori delle emissioni che le date degli eventi relativi, nonché dalle carte meteorologiche d'archivio per situazioni meteodiffusive corrispondenti;
- i risultati, emersi dall'applicazione dei modelli di diffusione atmosferica e dalle ipo-

Fig. 10 Mappa della zona interessata dal rilascio: le emissioni avvengono da Pancevo

tesi fatte, hanno mostrato che, se i rilasci sono durati complessivamente 20 ore, le zone entro le quali per tale intervallo di tempo i valori di concentrazione in aria hanno superato il limite massimo ammesso di 1 ppm (pari a circa 2.5 mg/m^3) si sono estese fino a distanze di oltre 10 km dal punto del rilascio (nella figura 9 notare l'estensione della terza zona, relativa a valori medi di $2.5 \cdot 10^{-6}$ kg/m^3, cioè di 2.5 mg/m^3). Pertanto **l'estensione del territorio sotto vento (verso NE rispetto a Pancevo) interessata per 20 ore dal superamento dei livelli massimi ammessi per il VCM è di circa 50–60 km^2**;

- va rilevato infine che, se la durata del rilascio è inferiore, la zona interessata dal superamento dei livelli massimi ammessi si estende rapidamente, ma diminuisce il tempo di esposizione.

3.2 Emissioni di altre industrie

A seguito del bombardamento dell'impianto di fertilizzanti della "Azotara" del 18 aprile si è diffusa nell'ambiente una rilevante quantità di ammoniaca. Per cinque giorni la nube nera, a causa della scarsezza di vento, è stagnata sulla città. Sembrerebbe che 1400 tonnellate di dicloruro di etilene siano state direttamente riversate nel Danubio dagli stessi operai per evitare esplosioni. Occorre anche ipotizzare che una parte dei composti petroliferi non combusti delle raffinerie di Pancevo si sia riversata nelle acque del Danubio. Gli idrocarburi alifatici e aromatici presenti nell'olio combustibile e nella nafta potrebbero aver inquinato gravemente le acque.

Nel bombardamento della centrale termoelettrica e delle installazioni elettriche delle raffinerie, la distruzione dei trasformatori ha comportato la fuoriuscita in atmosfera dei composti PCB che funzionano da dielettrici. Le stime delle emissioni di PCB sono formulate considerando per ogni trasformatore un contenuto di 15 m^3 di PCB: in totale circa 200 t.

I danni alle persone provocati dai bombardamenti del complesso petrolchimico di Pancevo sono stati illustrati dal sindaco Mikumic: 3 morti, centinaia di persone ustionate, ferite e intossicate, ottantamila evacuati e tremila disoccupati. E quanti malati cronici nei prossimi anni, tra gli esposti al cloruro di vinile monomero, al dicloroetano, agli idrocarburi policiclici aromatici e al PCB ? Al momento dei bombardamenti (15 e 18 aprile) erano presenti 200 tra operai e tecnici. I filmati da essi prodotti mostrano gli impianti in fiamme, dai quali si elevavano alti pennacchi di fumo nero. Probabilmente, rilevanti quantità di gas tossici sono state immesse nell'atmosfera. La combustione degli idrocarburi o di composti organici assieme ai composti contenenti cloro può determinare la formazione di diossine (TCDD) e di tetraclorodibenzofurani (TCDF). La stessa combustione degli idrocarburi può determinare la sintesi di idrocarburi policiclici aromatici (specialmente nelle particolari condizioni di combustione dell'incendio), i quali vengono assorbiti dai fumi carboniosi. Insieme ad essi, sono presenti anche altri inquinanti, come elementi tossici (cromo esavalente, nichel, cadmio, ecc.).

Il Prof. Lausevic ci riferisce della distruzione, avvenuta il 19 aprile, della linea di produzione dello stabilimento chimico "Prva Iskra" a Baric. Vi si producevano prodotti intermedi, per le sintesi dell'industria chimica e dei fertilizzanti. Il bombardamento dell'impianto ha liberato notevoli quantità di HF (acido fluoridrico). La maggior parte di questo composto tuttavia è stato riversato nelle acque prima dell'attacco. A causa dei bombardamenti la popolazione è stata sottoposta non solo ai rischi dovuti agli inquinanti tossici immessi nell'atmosfera, ma anche a quelli associati al bombardamento di stabilimenti situati in prossimità dei depuratori. Ad esempio quello del fiume Sava, che fornisce acqua potabile alla città di Belgrado, e quello di Novi Sad, dove l'immissione di sostanze inquinanti nelle acque ha compromesso totalmente l'uso dell'acquedotto.

4 Le emissioni degli aerei e dei missili in volo

I motori degli aerei e dei missili della NATO hanno prodotto un notevole inquinamento atmosferico. Il combustibile iniziale dei missili è molto tossico e lo sono egualmente i prodotti della combustione. Le sostanze coinvolte sono: il perclorato di ammonio, NH_4ClO_4; la nitroglicerina, $(ONO_2)CH_2$—$CH(ONO_2)$—$CH_2(ONO_2)$; la nitrocellulosa; i polimeri che fungono da substrato (polibutadiene, poliuretano, PVC, polistirene, poliacilato ecc.); i sali di piombo (Pb salicilato, Pb stearato); i nitrati; il sodio; il potassio; il calcio; il magnesio; i perclorati di metalli; e i composti del fluoro.

Nella combustione si formano gli acidi cloridrico, nitrico e fluoridrico, ossidi di azoto, CH_3CNO, fluoruri, idrocarburi policiclici aromatici e diossine. L'aggressività per i tessuti animali e vegetali dei composti e dei radicali contenenti fluoro è molto elevata.

Per quanto attiene agli ossidi di azoto sviluppatisi con il volo dei bombardieri, in mancanza di dati specifici si può ipotizzare un fattore di emissione pari a quello degli aerei civili nelle fasi di decollo e di atterraggio, ossia 4 litri di NO_2 al minuto. Considerando che le ore di volo sono state circa 150.000, abbiamo circa 37.500 t di NO_2.

5 Ripercussioni sull'ambiente, sulla salute e sull'agricoltura

5.1 Fuoriuscita di prodotti petroliferi e loro combustione

Il petrolio greggio e i derivati dei processi di raffineria (quali olio combustibile, gasolio, e nafta) che si sono riversati nelle acque superficiali hanno certamente creato squilibri degli ecosistemi acquatici, alterato i rapporti nei livelli trofici e determinato forti perturbazioni della biodiversità. È stato sperimentalmente dimostrato che i prodotti più tossici della combustione degli idrocarburi (ad esempio gli idrocarburi policiclici aromatici) si accumulano nei sedimenti e negli organismi acquatici. Occorre anche ricordare che la bioaccumulazione dei composti alifatici, aromatici e policiclici aromatici si propaga lungo la catena alimentare, fino al consumatore umano (Readman *et al.*, 1992). Il 7 aprile 1999 il Ministero dell'Ambiente bulgaro ha riferito di una macchia di petrolio lunga 14 km, situata circa al km 850 del Danubio. Inoltre, i tecnici jugoslavi hanno riferito di un vasto spargimento di petrolio sul Danubio, lungo oltre 30 km, che si è originato a Novi Sad, dove erano presenti serbatoi di stoccaggio e raffinerie. La macchia, spostandosi alla velocità di 2 km al giorno, ha inquinato i sistemi rumeni e bulgari di captazione delle acque.

Nei territori del Sud–Ovest della Romania sono state registrate precipitazioni con valori di pH nettamente acidi. Ciò prova che i bombardamenti hanno sviluppato, a causa della combustione di prodotti petroliferi, consistenti emissioni di SO_2 e NO_x. Dai gas originati dalla combustione di prodotti petroliferi, ed in particolare SO_2, SO_3 e NO_x, si formano a contatto con il vapore acqueo presente nell'atmosfera, acido solforico e nitrico, con il conseguente aumento di acidità delle precipitazioni.

Oltreché l'emissione di idrocarburi e dei loro prodotti di combustione, i bombardamenti delle raffinerie e degli impianti di stoccaggio dei prodotti petroliferi hanno causato emissioni di amianto in atmosfera.

Le seguenti schede riassumono gli effetti dei composti ed elementi tossici fuoriusciti in seguito al bombardamento degli impianti petroliferi.

Amianto. Nelle raffinerie pressoché tutte le condutture, di lunghezza dell'ordine di chilometri, sono coibentate di amianto (asbesto). Le fibre di asbesto, come il crisotilo, l'amosite e la crocidolite, agiscono sul polmone con effetti neoplasici e non neoplasici (asbestosi) spesso visibili solo dopo 10 o 20 anni. I tumori al polmone a differente morfologia (epidermoide, adenocarcinoma, microcitoma ed a grandi cellule) sono sempre ad altissima letalità in quanto non esiste la possibilità di una cura efficace (a tre anni dalla diagnosi di tumore polmonare solo il 5–10% dei pazienti è ancora vivo). Ma l'asbesto produce anche altri tumori assai letali, come i mesoteliomi alla pleura ed al peritoneo. Quelli al pericardio e alla tunica vaginale del testicolo sono invece assai rari. I mesoteliomi compaiono usualmente dopo 20 anni. Spesso comunque il tumore rimane silente per molti decenni, e solo dopo 40 o 50 anni dalla prima esposizione ad amianto si giunge alla diagnosi. Per i mesoteliomi la sopravvivenza media è inferiore ad un anno. L'amianto produce anche il cancro della laringe ed del tratto gastro–enterico.

Anidride solforosa (SO_2). L'SO_2 immessa nell'aria può reagire con l'ossigeno e il vapor d'acqua, formando SO_3, H_2SO_4, H_2SO_3 e solfati. Essa viene così rimossa dall'aria per deposizione secca o umida. Le piogge limitano l'accumulo dei composti dello zolfo nell'aria, minimizzando di conseguenza gli eventuali effetti sanitari. Tuttavia, in alcune zone le piogge acide costituiscono un serio problema ambientale. Per quanto riguarda gli effetti sanitari, la via di esposizione significativa è costituita dall'inalazione: a causa dell'elevata solubilità in acqua, l'SO_2 viene assorbita facilmente nelle mucose nasali e nel tratto superiore dell'apparato respiratorio. Dalle vie respiratorie, essa passa poi nel circuito sanguigno. Concentrazioni elevate di SO_2 possono indurre, oltre all'irritazione degli occhi e dell'apparato respiratorio: broncocostrizione, bronchite, tracheite, broncospasma e dispnea, con effetti gravi specie sui soggetti a rischio (asmatici). L'esposizione a lungo termine porta ad un progressivo aggravamento delle malattie respiratorie.

Particelle sospese. Con il termine particelle sospese o "materiale sospeso" vengono indicate tutte le particelle solide o liquide disperse nell'aria, come la fuliggine, la polvere, la cenere, il polline, eccetera. Le particelle sospese possono essere sia di origine naturale (vulcanica, sollevamento di polveri dal suolo, spray marini, incendi boschivi), sia antropica. Citiamo per esempio le attività industriali (fonderie, cementifici, miniere ecc.) e i processi di combustione (centrali termoelettriche, traffico veicolare, riscaldamento domestico e inceneritori). In base al diametro, si distingue in particelle "fini" (massimo 1 μm) e "grosse" (oltre 1 μm). A parte alcune sovrapposizioni, le particelle "fini" e "grosse" differiscono anche per composizione chimica. Le prime contengono solfati, carbonati, piombo, nitrati e alcuni componenti in traccia; quelle "grosse" consistono essenzialmente di ossidi di silice, alluminio, calcio, ferro, carbonato di calcio, sali marini, e particelle rilasciate dalle piante come i pollini e le spore. Le particelle che si depositano nella regione extratoracica possono causare effetti irritativi immediati, quali secchezza e infiammazione del naso e della gola; esse però non hanno effetto sulla "clearance" mucociliare. Le particelle che si depositano nella regione tracheobronchiale possono causare costrizione dei bronchi, ridurre la "clearance" mucociliare, aggravare le malattie respiratorie croniche come l'asma, la bronchite e l'enfisema, e possono eventualmente indurre neoplasie. Le particelle fino ad un diametro massimo di 5–6 μm possono depositarsi nella regione polmonare e danneggiare i polmoni in varie maniere. Possono disturbare la normale ventilazione polmonare e causare una costrizione riflessa dei vasi sanguigni che afferiscono ai polmoni, con il conseguente aggravamento delle malattie respiratorie croniche. Possono inoltre causare infiammazioni, fibrosi e trasformazioni maligne. I valori limite ammessi per la qualità dell'aria sono: per il breve termine 300 μg/m^3 su 24 ore; per il lungo termine (annuale): 150 μg/m^3 (media su 24 ore).

Piombo (Pb). È causa di effetti sulla salute anche a dosi relativamente basse, con danni irreversibili al cervello e al sistema sanguigno. Una volta entrato nel corpo umano, il piombo tende a comportarsi come il calcio, e quindi ad accumularsi nelle ossa. La più importante via di esposizione per l'uomo è l'alimentazione: essa incide sul livello di piombo nel sangue per più del 60%. L'esposizione per inalazione conta per circa il 30%, e quella per ingestione di acqua per il 10%. L'impiego più diffuso di questo elemento è nelle batterie, ed anche come additivo nelle benzine. Il rilascio nell'ambiente avviene soprattutto attraverso gli scarichi delle automobili e degli inceneritori: dall'atmosfera si deposita successivamente al suolo, sulle piante e sulle acque. Il rilascio di piombo nell'atmosfera è diminuito di oltre il 90% negli ultimi 20 anni. Le concentrazioni nell'aria aumentano passando dalle aree rurali a quelle urbane. Il piombo ha effetti sul sistema nervoso, sulla produzione dei globuli rossi, sui reni, sul sistema riproduttivo e sul comportamento. I sintomi da intossicazione non acuta sono aspecifici e includono vomito, dolori addominali, costipazione, disattenzione e perdita di coordinamento muscolare. I rischi sono maggiori nei bambini e nelle donne in gravidanza. Il rischio per i bambini è dovuto alla maggiore possibilità potenziale di ingestione di polveri contenenti piombo per cause comportamentali e perché gli effetti nocivi si verificano a livelli più bassi di concentrazione nel sangue. Il rischio per le donne in gravidanza deriva dalla capacità del piombo di superare la barriera placentare ed indurre danni al sistema nervoso del feto. Nei bambini, il margine fra il livello di sicurezza nel sangue e quello a cui si manifestano effetti patologici è molto stretto (un fattore 2–3). I limiti di esposizione per gli occupati negli USA e nel Regno Unito sono 0,05 mg/m^3 per tutta la giornata lavorativa e 0,15 mg/m^3 per brevi periodi.

Nichel (Ni). Fra i composti più tossici per la salute umana sono il solfato di nichel e il nichel tetracarbonile; ambedue si formano nei processi di raffinazione del nichel. Il nichel tetracarbonile è un liquido volatile, produce l'avvelenamento acuto dell'uomo, e a lungo termine ne danneggia i polmoni. Tuttavia esso costituisce un pericolo solo nelle immediate vicinanze delle raffinerie di nichel, dato che in pochi minuti si degrada. Il solfato di nichel, invece, è un composto persistente che è presente nelle polveri; esso è associato al cancro dei polmoni. Circa il 90% dell'esposizione complessiva dell'uomo deriva dalla dieta; tuttavia si ritiene che le normali concentrazioni che sono presenti negli alimenti non costituiscano un pericolo per la salute. I rischi maggiori sono confinati ai lavoratori dell'industria, e riguardano danni all'apparato respiratorio (reazioni allergiche, asma ecc.), perdita dell'olfatto e infezioni nasali. Inoltre, i fumi della combustione dei prodotti petroliferi determinano la formazione di sali di nichel che possono essere respirati dalle popolazioni dei territori bombardati. Gli studi sugli animali danno sufficienti evidenze di cancerogenicità; per l'uomo invece sono incerti i dati epidemiologici. Il solfato, il tetracarbonile e le polveri delle raffinerie di nichel **sono classificati come cancerogeni per l'uomo** (EPA cat.A; IARC cat.1). Il nichel presente nelle acque si accumula nei pesci e si concentra nelle catene alimentari. I limiti di esposizione per gli occupati negli USA e nel Regno Unito sono: per tutta la giornata lavorativa 0,05 mg/m^3 (come elemento e composti), e 0,5 mg/m^3 per brevi periodi. Per la Occupational Safety Health Agency (OSHA) il limite sul posto di lavoro è 1 mg per m^3 di aria.

Cadmio (Cd). La fonte più importante del cadmio presente nell'atmosfera è la combustione del carbone e del petrolio. Il cadmio tende a legarsi alle ceneri volatili, alle polveri, al suolo e ai sedimenti, e a diffondersi nel terreno e con le sostanze organiche, raggiungendo in questo modo i sedimenti delle acque superficiali e le catene alimentari degli organismi acquatici. Attualmente l'80–90% della dose ricevuta dalla maggior parte della popolazione deriva dall'alimentazione. Fra gli animali marini, gli organismi bivalvi ne contengono i valori più elevati. Molte specie vegetali assorbono rapidamente il cadmio attraverso le radici: se ne possono così ritrovare nei cereali, in prodotti ortofrutticoli, e nel tabacco. Il cadmio è classificato come **probabile cancerogeno per l'uomo** (EPA cat.B, IARC 2A). Ai livelli di esposizione occupazionale rilevati nei lavoratori sono stati osservati importanti anomalie cromosomiche e il cancro dei polmoni. Tuttavia, c'è una crescente preoccupazione che possa essere causa di cancro anche alle concentrazioni che si riscontrano nei pressi di inceneritori e industrie. L'esposizione cronica a bassi livelli può comportare enfisema polmonare, bronchite, malattie cardiache, fragilità del sistema scheletrico, anemia, depressione del sistema immunitario, malattie del rene e del fegato. Il cadmio tende ad accumularsi nel fegato, nei reni e nelle ossa: le disfunzioni dell'organo, nella maggior parte dei casi, si verificano quando la concentrazione raggiunge un livello critico. Esso tende anche a propagarsi lungo la catena alimentare. Il limite di esposizione per gli occupati negli USA è di 0,05 mg/m^3 per tutta la giornata lavorativa.

Cromo (Cr). Il cromo si trova in natura sotto tre forme: cromo metallico, cromo III e cromo VI. Nella forma metallica, esso è estremamente resistente alla corrosione e all'ossidazione. Il cromo III è la forma più stabile e diffusa in natura, ed è necessaria per la salute umana poiché contribuisce all'insulina e a mantenere il normale livello di zucchero nel sangue. Il cromo VI è quello commercialmente più importante per le sue proprietà chimiche, ma è anche la forma più nociva per la salute: esso viene emesso da numerose industrie (fonderie, concerie ecc.) ed inceneritori urbani, ed è contenuto nel particolato emesso per la combustione di carbone e prodotti petroliferi. Il cromo VI può causare danni al fegato e ai reni, emorragie interne, dermatiti e cancro ai polmoni. L'esposizione occupazionale, per inalazione e per contatto per tempi lunghi, produce la perforazione del setto nasale, l'ulcerazione delle mucose nasali e della pelle, e dermatiti allergiche. Per l'uomo il fabbisogno quotidiano di cromo è di 0,05–0,20 mg, provienienti dall'alimentazione. I dati ottenuti da esperimenti su animali mostrano che il cromo VI ha proprietà mutagene e teratogene. I dati epidemiologici mostrano con certezza una correlazione fra inalazione di composti del cromo VI e cancro ai polmoni. Esso è classificato come **cancerogeno per l'uomo** (EPA cat. A; IARC cat.1). I limiti di esposizione per gli occupati negli USA sono: cromo III 0,5 mg/m^3, cromo VI 50 μg/m^3 per le 8 ore di lavoro.

Benzo(a)pirene. È uno dei più tossici tra gli idrocarburi policiclici aromatici. Viene prodotto nella combustione del petrolio, specie quando questa avviene a basse temperature, come negli incendi causati dai bombardamenti degli impianti petroliferi. Si diffonde nell'atmosfera insieme al particolato. È poco solubile in acqua e tende a legarsi alle sostanze organiche. Una volta rilasciato nell'atmosfera, ricade con le piogge e può quindi essere ritrovato nelle acque potabili, nel suolo e nei prodotti agricoli, anche lontano dal punto di emissione. L'esposizione dell'uomo avviene per inalazione, ingestione o attraverso la pelle. Il benzo(a)pirene si bioaccumula lungo le catene alimentari. Sugli animali di laboratorio sono stati evidenziati i seguenti effetti: malformazioni e riduzione del peso dei neonati, lesioni sulla pelle per contatto diretto, bronchite per inalazione, sviluppo di tumori dopo inalazione, ingestione o contatto. Non ci sono dati epidemiologici sull'uomo. È classificato come **probabile cancerogeno per l'uomo** (EPA cat. B; IARC cat.2A). I limiti di esposizione consigliati per gli occupati negli USA sono di 0,2 μg/m^3 per tutta la giornata lavorativa.

5.2 Effetti sull'agricoltura

I bombardamenti hanno prodotto danni economici, relativamente alla perdita del raccolto di quelle colture che dovevano essere avviate (semine e trapianti) nel periodo di marzo, aprile e maggio. Riportiamone la produzione globale per il 1997:

Mais ($\times$ 1000 t.)	semi da olio (girasole, soia ecc.)	orticole da pieno campo: pomodori, fagioli ecc.	Barbabietola da zucchero
6.869	155	1.047	240

La superficie agricola e forestale investita era così ripartita nel 1997:

superfici irrigate (ha)	superfici arabili	colture permanenti	pascoli permanenti	foreste
65.000	3.708.000	353.000	2.117.000	1.769.000

Alcuni ricercatori di Belgrado affermano che, a causa della guerra, nella primavera del '99 ben due milioni e mezzo di ettari non sono stati coltivati. Le mancate rese interessano circa i due terzi della superficie arabile e irrigata. Su parte di questi terreni agricoli i danni alle rese e alla qualità del prodotto sono stati provocati dalla deposizione di inquinanti gassosi (quali SO_2, NO_x, O_3) e di particolato contenente idrocarburi policiclici aromatici e metalli pesanti. Sia i metalli pesanti che gli idrocarburi policiclici aromatici si depositano sui vegetali e possono penetrare nei tessuti delle piante anche attraverso l'apparato radicale, propagandosi, ed a volte accumulandosi nella catena alimentare. Tali inquinanti, inoltre, determinano un forte degrado della risorsa suolo e compromettono le rese e la qualità dei raccolti nel corso degli anni. Si può ipotizzare che l'incremento di concentrazioni di SO_2, NO_2 ozono, acido cloridrico e acido fluoridrico possa aver determinato un calo della produttività di circa il 10%. Per esempio per la produzione di frumento, che nel 1997 era di circa 2.900.000 t, ci possiamo aspettare un calo di circa 300.000 t, corrispondente alla dieta annua di amidi per circa 2 o 3 milioni di consumatori.

Il patrimonio forestale è stato anch'esso danneggiato dalle piogge acide causate dalla combustione dei prodotti petroliferi e dai gas di scarico degli aerei da guerra e dai missili. Inoltre, è un fatto documentato l'incendio di 250 ettari di foreste, causato direttamente dai missili e dalle bombe.

5.3 Emissioni inquinanti dalle industrie chimiche

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche tossicologiche ed ecotossicologiche degli inquinanti fuoriusciti dalle industrie chimiche che hanno subito bombardamenti.

Mercurio (Hg). È l'unico metallo liquido a temperatura ambiente e ha una tensione di vapore rilevante. Quando viene inalato passa facilmente nei capillari sanguigni ed entra nel sistema circolatorio. I composti inorganici del mercurio, usati nelle vernici e nelle batterie, non sono molto tossici. Tuttavia, una volta che sono stati rilasciati nell'ambiente, essi vengono convertiti dai batteri in forme organiche molto più tossiche. Tali reazioni sono accelerate da pH acidi dell'acqua, cosicché le piogge acide facilitano questa trasformazione. Fra le forme tossiche, il metilmercurio è la più importante. Esso si accumula rapidamente nei pesci e si concentra lungo le catene alimentari. Il pesce presente nella dieta è la sorgente più importante di esposizione per l'uomo (94%). Una volta ingerito, il metilmercurio viene rapidamente assorbito, attraversa la barriera emocefalica e raggiunge il cervello. Può anche superare la barriera placentare e causare gravi danni al cervello del feto. L'esposizione ai vapori di mercurio costituisce il pericolo maggiore per i lavoratori professionalmente esposti. Gli effetti tossici, ai livelli più bassi di esposizione, si manifestano con perdita della memoria, tremori, instabilità emozionale, insonnia e perdita dell'appetito. A esposizioni moderate si hanno disordini mentali più marcati, disturbi motori e danni ai reni. Esposizioni elevate a vapori di mercurio, anche per tempi brevi, possono indurre tumori ai polmoni e la morte. Nelle donne lavoratrici esposte ai vapori di mercurio durante la gravidanza è stata osservata un'elevata incidenza di aborti. Il limite accettabile nell'aria respirabile sui luoghi di lavoro, secondo la Occupational Safety Health Agency, è 0,1 mg/m^3. Il limite di esposizione per gli occupati negli USA è 0,025 mg/m^3; nel Regno Unito i limiti sono: 0,05 mg/m^3 per tutta la giornata lavorativa, e 0,15 mg/m^3 per brevi periodi.

Cloro (Cl_2). Questo gas è capace di causare l'assottigliamento dello strato di ozono stratosferico. È solubile in acqua ed è tossico per i pesci (LC_{50} medio 0,2–0,9 mg/l) e per gli invertebrati (0,2–0,8 mg/l). Nei mammiferi la tossicità inalatoria si manifesta con LC_{50} (1 ora) tra 140 e 290 ppm. Sugli animali non sono stati registrati effetti di mutagenesi, teratogenesi o cancerogenesi. Sulla specie umana è stata constatata la comparsa di dermatosi allergica tra gli occupati. I sintomi respiratori acuti sono: tosse, dolori toracici, emottisi, dispnea e cianosi. Più tardi possono manifestarsi tracheobronchiti, polmoniti ed edema polmonare. Nelle acque il cloro può reagire con molecole organiche con produzione di composti clororganici. In aria, concentrazioni di circa 1 ppm determinano forti difficoltà respiratorie e irritazioni agli occhi. Inoltre, esposizioni prolungate a concentrazioni anche non eccessivamente alte causano una forte diminuzione della capacità respiratoria. I livelli che sia negli Stati Uniti che nel Regno Unito vengono ammessi negli ambienti lavorativi sono di 0,5 ppm per le 8 ore di lavoro, e 1 ppm per i brevi periodi.

Ammoniaca (NH_3). È un gas incolore, meno denso dell'aria, con un odore penetrante. Viene immagazzinata allo stato liquido, a pressione e temperatura ambiente, e viene usata principalmente nell'industria dei fertilizzanti. Irrita la pelle, gli occhi e l'apparato respiratorio. I sintomi si manifestano con sensazioni di bruciore agli occhi, al naso e alla gola, con dolori a livello polmonare, mal di testa, nausea, lacrimazione, tosse, e un aumento della frequenza respiratoria. L'inalazione dei vapori di ammoniaca può danneggiare in modo permanente il tessuto polmonare a livello alveolare, con la comparsa di edema. Altrettanto seri e irreversibili possono essere i danni a livello degli occhi: lesioni alla cornea e glaucoma acuto. L'esposizione degli occhi a basse concentrazioni causa bruciature moderate guaribili, ma è comunque necessario un intervento medico immediato. Gli effetti irritanti sulla gola si hanno per concentrazioni di 280 mg/m^3, e la comparsa di tosse avviene a 1200 mg/m^3. I limiti di esposizione per gli occupati negli USA e nel Regno Unito sono di 17 mg/m^3 per tutta la giornata lavorativa e di 24 mg/m^3 per i brevi periodi.

Dicloruro di Etilene (EDC). Liquido volatile, altamente infiammabile. È un composto precursore della sintesi del cloruro di vinile e dei solventi clorurati. A causa dell'elevata volatilità, la via più importante di diffusione è quella atmosferica. Tuttavia nelle acque potabili sono state spesso misurate analiticamente concentrazioni di EDC comprese fra 1 e 10 $\mu l/l$. Gli effetti acuti dell'esposizione, che può avvenire sia per via orale che per via cutanea, comprendono l'alterazione del sistema nervoso e del sistema gastrointestinale, nausee, cefalea, vomito, diarrea, pupille dilatate, brachicardia, cianosi e perdita di conoscenza. La morte può intervenire per collasso cardiorespiratorio. Inoltre sono stati diagnosticati casi di danni al fegato e ai reni. I metaboliti dell'EDC nell'organismo, la cloroacetaldeide, l'acido cloroacetico e il cloroetanolo, si legano al DNA con più affinità dell'EDC e causano mutagenesi, teratogenesi e cancro nei mammiferi. L'EPA ha classificato l'EDC cancerogeno di classe B2: ciò significa che provoca tumori negli animali da esperimento, e mutazioni nelle cellule; non c'è tuttavia evidenza epidemiologica di cancro tra le popolazione umane. L'EDC reagisce con altri composti chimici formando cloroacetil–cloruro; da questo si sviluppa cloro libero, reagendo con la radiazione UV. La bioaccumulazione è improbabile a causa della forte capacità di escrezione da parte degli organismi. L'EDC è classificato come inquinante pericoloso dell'aria secondo il Clean Air Act. L'LD_{50} orale è 670–850 mg per ogni chilogrammo di peso corporeo. Secondo la Occupational Safety Health Agency, il limite per i luoghi di lavoro è 50 ppm, per 8 ore; la concentrazione di punta, tollerata per 5 minuti ogni 3 ore, è pari a 200 ppm.

Monocloroetilene o cloruro di vinile monomero (VCM). Viene usato per produrre il noto PVC (polivinil cloruro), un importante costituente delle plastiche. È un gas incolore, il cui peso molecolare è circa 2 volte quello dell'aria, per cui tende a diffondersi verso il suolo e a sciogliersi nelle acque.

Considerando le patologie a lunga latenza, è una sostanza mutagena e teratogena. Il VCM può causare cancro sia se assunto per inalazione che per ingestione. Gli organi colpiti generalmente sono il fegato, il cervello e il sistema nervoso centrale. Sono stati associati all'esposizione a VCM anche tumori al polmone, leucemia e linfoma. Secondo la International Agency for Research on Cancer (IARC), è un cancerogeno di gruppo 1, cioè un cancerogeno per gli umani, come dimostrato da esperimenti di laboratorio su animali e da dati epidemiologici sulla popolazione.

I sintomi acuti sono: nausea, cefalea, dolori addominali, riflessi rallentati e prostrazione. L'esposizione prolungata ad elevate concentrazioni determina la perdita della conoscenza e la morte. Secondo la Occupational Safety Health Agency, il limite sui luoghi di lavoro è 1 ppm nell'aria.

Acido Fluoridrico (HF). Viene usato come catalizzatore nell'industria petrolchimica. È tossico per inalazione, ingestione e contatto con la pelle. Irrita gli occhi e causa bruciature più o meno gravi a seconda della concentrazione, dermatiti allergiche e alterazioni funzionali della tiroide e della ghiandola pituitaria. In animali da laboratorio, esposti per inalazione a diverse concentrazioni, si osserva: irritazione e diminuzione della frequenza respiratoria, danni alla congiuntiva, alla cornea e alle mucose nasali, dilatazione cardiaca, danni al miocardio, enfisema ed edema polmonari, congestione del fegato, della milza e dei reni. Il limite di esposizione per gli occupati negli USA è 2,6 mg/m^3 per tutta la giornata lavorativa.

Fosgene ($COCl_2$). È il famso gas nervino (iprite) usato dai tedeschi nella prima guerra mondiale. Viene impiegato nella sintesi di molti composti organici. Ha un forte potere irritante sugli occhi. A dosi di 200 ppm nell'uomo entra dai polmoni nel sistema circolatorio. I sintomi di intossicazione sono rappresentati da tosse, bruciore agli occhi e alla gola, dispnea, cianosi, congestione ed edema polmonari. Una esposizione massiccia comporta l'emolisi intravascolare, la formazione di trombi e la morte. Cambiamenti patologici nei polmoni dei ratti sono stati osservati a 96 ore da un'esposizione di 0,5 ppm, durata 2 ore. Il limite di esposizione per gli occupati, negli USA è 0,4 mg/m^3. Nel Regno Unito è stato proposto l'abbassamento del limite a 0,08 mg/m^3 per tutta la giornata lavorativa.

Bifenili Policlorurati (PCB). Vengono usati come liquido isolante nei trasformatori elettrici di grosse dimensioni (centrali elettriche e impianti industriali). Sono caratterizzati da una elevata persistenza. Nel corpo umano tendono ad accumularsi nel tessuto adiposo e si concentrano ai livelli più alti delle catene alimentari. Sono poco solubili nell'acqua. La combustione incompleta dei PCB comporta la formazione di diossina e dibenzofurani. Sono stati ritrovati in concentrazioni anche elevate nelle acque superficiali e nei pesci. Possono essere assorbiti attraverso il tratto digestivo, la pelle e i polmoni. Sono altamente tossici. La tossicità è tanto più elevata quanto maggiore è il numero di atomi di cloro presenti nella molecola. I sintomi dell'intossicazione consistono in cloracne, iscurimento delle unghie e delle gengive, alterazioni del sistema immunitario e sofferenza polmonare, irritazione degli occhi, naso, vomito, dolori addominali, e pigmentazione grigio–bruna della pelle. Superano la barriera placentare, e negli animali da laboratorio si osservano tossicità embrionale, aumento di mortalità fetale, aborti spontanei e riassorbimento fetale, aumento della mortalità perinatale, alterazioni nel sistema immunitario, e lesioni della pelle. Sono classificati come **probabili cancerogeni per l'uomo** per l'EPA (cat.B) e per la IARC (cat.2A). Ci sono evidenze epidemiologiche di un aumento dell'incidenza di melanoma e di cancro al cervello nei lavoratori esposti. Negli animali, essi causano il cancro al fegato e allo stomaco. Alcune specie di fitoplancton sono altamente sensibili ai PBC, con una conseguente riduzione della crescita a vantaggio di specie più resistenti. Le conseguenze a lungo termine non sono certe; tuttavia possono essere significative sugli organismi che si nutrono di fitoplancton. Uno studio fatto su numerose specie di pesci e uccelli indica che esiste una correlazione fra un'elevata concentrazione di PCB nei tessuti e le alterazioni ormonali e di comportamento, la comparsa di tumori, la soppressione del sistema immunitario, e le anomalie fetali. Il limite di esposizione per gli occupati negli USA è 0,5 mg/m^3 per tutta la giornata lavorativa.

Bibliografia essenziale

Gennaro *et al.* (1994). *Pleural mesothelioma and asbestos exposure among Italian oil refinery workers*. Scan. J. Work Environ. Health. 20, 213–215.

Harte J., Holdren C., Schneider R., Shirley C. (1991). *Toxics A to Z.* University of California Press. Berkeley, Los Angeles, Oxford.

IARC–International Agency for Research on Cancer (1987). *IARC Monography on the evaluation of carcinogenic risks to humans* Supplement 7. Lyon.

Readman J. W., Fowler S. W., Villeneve J. P. Cattini C., Oregioni B. and L. D. Mee (1992). *Oil and combustion–products contamination of the Gulf marin environment following the war.* Nature 358, 662.

Richardson M. L., (1993). *The Dictionary of Substances and their effects.* Ed. Royal Society of chemistry . Cambridge.

Sittig M. (1981). *Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals.* Nojes Publications, Park Ridge N. J.

Uccelli R., Mauro F. (1992). *Biossido di zolfo*, ENEA, Serie NOXIAE n. 2.

Uccelli R., Mauro F. Terrani G., (1993). *Particelle sospese.* ENEA, Serie NOXIAE n. 5.

WHO–IARC (1989). *Occupational exposure in petroleum refining; crude oil and major Petroleum fuels.* IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks on humans. Vol. 45.

Rigraziamenti:
la Sig.ra Giulia Minelli per l'editing;
la Sig.ra Cristina Lanari per le figure.