



**APAT**  
Agenzia per la protezione  
dell'ambiente e per i servizi tecnici

# Valutazione dell'impatto sull'ambiente degli incidenti rilevanti

---

Rapporti 36/2003  
APAT

---

---

### **Informazioni legali**

L'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

**APAT** - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici  
Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma  
[www.apat.it](http://www.apat.it)

© APAT, Rapporti 36/2003

ISBN 88-448-0113-2

Riproduzione autorizzata citando la fonte

**Elaborazione Grafica**  
APAT

*Grafica Copertina: Franco Iozzoli*

*Foto: Paolo Orlandi*

**Coordinamento tipografico**  
APAT

**Impaginazione e stampa**  
Grafiche Ponticelli spa - Castrocielo (Fr)

Stampato su carta TCF

Finito di stampare novembre 2003

---

---

## Contenuti

Il rapporto analizza l'aspetto relativo all'impatto ambientale degli incidenti rilevanti contenuti nella Banca Dati Incidenti Rilevanti BIRD dell'APAT. E' strutturato sostanzialmente in tre parti :

- la prima parte evidenzia le caratteristiche strutturali/applicative della Banca Dati BIRD, indicandone anche le recenti modifiche apportate e gli sviluppi futuri programmati;
- la seconda parte si propone di affrontare la problematica della contaminazione ambientale da incidenti rilevanti in linea generale. Con riferimento a dati ed informazioni fornite da diverse Banche Dati internazionali e da molteplici studi condotti in merito, infatti, vengono trattati diversi aspetti del problema (sostanze coinvolte, componenti ambientali maggiormente colpite, distribuzione e dinamica degli inquinanti rilasciati nell'ambiente, monitoraggio biologico degli effetti degli incidenti, ecc.), ed evidenziate alcune difficoltà relative alla determinazione di altri elementi (come la frequenza degli incidenti con impatto ambientale, la quantificazione dei danni arrecati, ecc.);
- la terza parte mostra e commenta i risultati di alcune rielaborazioni dei dati BIRD, confrontandoli successivamente con quelli contenuti in altre Banche Dati.

In questa versione del rapporto è stato effettuato un aggiornamento dei dati con integrazione di informazioni estrapolate da documentazione prodotta dal Major Accident Hazards Bureau (MAHB) del Joint Research Centre (JRC) di Ispra, in merito alle sostanze pericolose per l'ambiente, con particolare riferimento a quelle pericolose per l'ambiente acquatico. Nel corso dell'integrazione è emersa una notevole coerenza tra i dati e le osservazioni sintetizzate nel presente lavoro e quelli indicati nella documentazione scientifica presa a riferimento, di livello internazionale.

Il rapporto conferma, dunque, la possibilità di utilizzo della Banca Dati BIRD come strumento, di discreta attendibilità, per lo svolgimento di analisi finalizzate all'individuazione ed al controllo dei rischi industriali.

---

---

*Autori e ringraziamenti*

Il presente documento è stato predisposto dal Servizio Rischio Industriale del Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico ed Industriale dell'APAT ed elaborato da:

Alberto Ricchiuti (Responsabile del Servizio Rischio Industriale)

Fausta Delli Quadri (referente - Servizio Rischio Industriale)

Si ringraziano il dott. Luigi Vincenzotti e l'ing. Gianfranco Capponi per i preziosi suggerimenti forniti.

---

---

# INDICE

<b>1. Premessa</b> .....	pag. 7
<b>2. Caratteristiche della Banca Dati Incidenti Rilevanti (BIRD)</b> .....	» 9
2.1 Criterio di selezione degli incidenti .....	» 9
2.2 Fonti di informazione .....	» 9
2.3 Contenuti .....	» 10
2.4 Modifiche apportate alla struttura della Banca Dati BIRD .....	» 11
2.5 Ulteriori sviluppi futuri .....	» 12
<b>3. Aspetti caratteristici dell'impatto sull'ambiente degli incidenti chimici</b> ..	» 13
3.1 Elementi ricavabili dall'analisi storica degli incidenti chimici .....	» 20
3.1.1 Banche dati incidenti chimici.....	» 20
3.1.2 Cause degli incidenti chimici .....	» 27
3.1.3 Frequenza degli incidenti chimici .....	» 29
3.2 Sostanze chimiche pericolose per l'ambiente coinvolte negli incidenti chimici.....	» 30
3.2.1 Sostanze chimiche pericolose per l'ambiente: aspetti normativi.....	» 30
3.2.2 Sostanze chimiche coinvolte negli incidenti chimici .....	» 32
3.2.3 Entità delle conseguenze degli incidenti chimici in relazione alle sostanze coinvolte e alle quantità rilasciate .....	» 34
3.3 Elementi per la valutazione dell'impatto sull'ambiente in caso di incidente chimico .....	» 35
3.3.1 Determinazione delle sostanze chimiche coinvolte .....	» 36

---

---

3.3.2 Individuazione dei percorsi di contaminazione .....	» 36
3.3.3 Individuazione delle componenti ambientali contaminate .....	» 36
3.3.4 Determinazione della distribuzione degli inquinanti .....	» 38
3.3.5 Dinamica degli inquinanti penetrati nelle diverse componenti ambientali contaminate.....	» 40
3.3.6 Individuazione delle tipologie di danni all'ecosistema .....	» 42
3.3.7 Monitoraggio biologico degli effetti degli incidenti .....	» 44
3.4 Aspetti caratteristici relativi agli effetti sull'ambiente causati da incendi chimici .....	» 48
3.4.1 Sviluppo di inquinanti rilasciati da incendi chimici .....	» 52
3.4.2 Impatto sull'ambiente.....	» 55
3.4.3 Valutazioni delle conseguenze biologiche .....	» 56
3.5 Indicazioni pratiche per il monitoraggio dei danni ambientali causati da incidenti chimici .....	» 58
3.6 Considerazioni conclusive su valutazione e prevenzione dell'impatto sull'ambiente di incidenti ed incendi chimici.....	» 61
<b>4 Analisi degli incidenti con impatto sull'ambiente contenuti nella banca dati BIRD.....</b>	<b>» 64</b>
<b>5 Conclusioni.....</b>	<b>» 70</b>
<b>Allegato I. Informazioni su alcuni incidenti storici con conseguenze sull'ambiente acquatico .....</b>	<b>» 73</b>
<b>Allegato II. FIGURE .....</b>	<b>» 81</b>

## **BIBLIOGRAFIA**

---

---

## 1. Premessa

In accordo con uno dei principali compiti assegnati all'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (già ANPA), relativo alla raccolta, elaborazione e diffusione di dati ed informazioni di interesse ambientale, svolto congiuntamente ad un'azione analitico-preventiva nel settore dei rischi industriali, è stato realizzato un sistema per la raccolta e conservazione delle informazioni sugli incidenti rilevanti.

Tale sistema è stato, ormai già da alcuni anni, sviluppato dall'APAT in termini di archivio informatizzato, strutturato in records contenenti le principali informazioni disponibili su ogni incidente e denominato BIRD (Banca Dati Incidenti Rilevanti).

Originariamente implementata su computer mediante il software dBASE III PLUS della Ashton-Tate, la banca dati ha subito successive modifiche finalizzate ad una progressiva semplificazione e versatilità di gestione dei dati contenuti: la versione attuale ha mantenuto sostanzialmente la struttura iniziale in record da 28 campi, attualmente incrementati a 29, ma si è avvalsa di software più potente (Access '97 Microsoft), i campi sono stati notevolmente estesi e disposti in ogni record in gruppi distinti a seconda dell'aspetto trattato, sono state infine attivate tecniche di filtraggio dei record (offerte da Access) estremamente utili per velocizzare le ricerche.

Si prevedono altri sviluppi futuri per potenziare e migliorare questo strumento, rivelatosi di importanza fondamentale per la molteplicità degli impieghi riscontrati nell'ambito:

- delle attività dell'APAT, proprie e di supporto al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio ed alle altre Amministrazioni con cui si interfaccia, quali:
  - o contributo, nell'ambito delle attività di supporto al Ministero dell'Ambiente, alla banca dati MARS costituita dal JRC di Ispra (Va) per conto della Commissione Europea e contenente informazioni sugli incidenti occorsi nei Paesi dell'UE;
  - o realizzazione, nell'ambito delle attività di supporto al Ministero dell'Ambiente, di Linee Guida per la valutazione dei Rapporti di Sicurezza (che le Aziende a rischio di incidente rilevante sono tenute a presentare alle Autorità competenti ai sensi del D.Lgs. 334/99), in particolare per alcune tipologie di attività particolarmente diffuse sul territorio nazionale, come ad esempio i depositi di GPL, di liquidi infiammabili e/o tossici, ecc. A tale scopo la Banca Dati BIRD costituisce un'importante strumento di verifica e confronto;
  - o realizzazione, nell'ambito delle attività di supporto al Ministero dell'Ambiente, di Linee Guida per la conduzione di Verifiche Ispettive ai sensi del D.Lgs. 334/99;
  - o collaborazione con le Agenzie Regionali per la protezione dell'Ambiente ed i Comitati Tecnici Regionali del CNVVF, Regioni o altri organismi pubblici che ne abbiano fatto

- 
- richiesta per la valutazione dei Rapporti di Sicurezza, nella fase di espressione di parere di compatibilità ambientale o in altre fasi delle attività di controllo;
- o realizzazione di specifici progetti indirizzati all'individuazione ed al controllo delle possibili condizioni di rischio per ambiente e popolazione; a riguardo è importante citare il contributo apportato ai progetti avviati nell'ambito dell'accordo CNVVF-APAT, in particolare all'iniziativa di messa a punto di una rete condivisa per il rilevamento post-incidentale, la raccolta e l'analisi dei dati e la successiva azione di reporting;
  - o contatti e scambi di esperienza ed informazioni con Agenzie di altri Paesi;
  - della valutazione degli scenari incidentali di riferimento per la pianificazione delle emergenze esterne derivanti dagli impianti a rischio di incidente rilevante, su richiesta delle autorità competenti;
  - dell'attività informativa/formativa sia interna sia rivolta alle Agenzie regionali ed alle altre amministrazioni con cui l'APAT si interfaccia (ad es. Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco).

Lo scopo del presente rapporto, che integra i precedenti rapporti tecnici interni (6, 7) e ne aggiorna i dati, è quello di focalizzare meglio l'attenzione sugli incidenti con impatti sull'ambiente contenuti nella Banca Dati BIRD, valutandone la distribuzione per diversi parametri di interesse (come la tipologia dell'ambiente coinvolto, le conseguenze arrecate allo stesso, le sostanze pericolose per l'ambiente coinvolte) al fine di fornire un quadro più generale sulle problematiche connesse a questa tipologia di incidenti.

Vengono inoltre fornite in sintesi informazioni relative ad ulteriori aspetti ed elementi che caratterizzano gli incidenti con impatto sull'ambiente: svolgimento analisi post-incidentali, comportamento dei rilasci di inquinanti nell'ambiente, monitoraggio dei danni ambientali, ecc.

Tutto questo in accordo con il ruolo di organismo preposto alla protezione ambientale che per definizione compete all'APAT.

---

## **2. Caratteristiche della banca dati incidenti Rilevanti**

Di seguito vengono indicate le principali caratteristiche dell'archivio informatico di incidenti rilevanti di cui dispone l'APAT. In particolare si esplicitano i criteri di selezione degli incidenti registrati, le diverse fonti da cui si attingono le informazioni, i contenuti attuali e gli ulteriori obiettivi di sviluppo preposti.

### ***2.1 Criterio di selezione degli incidenti.***

Il criterio di selezione degli eventi da inserire nella Banca Dati Incidenti Rilevanti, adottato sin dall'origine richiede le seguenti caratteristiche per l'incidente esaminato:

- incidente "rilevante", originato da attività industriali o da altre attività (commerciali, di trasporto, civili, agricole, ecc.) che ha provocato danni alle persone all'interno o all'esterno del sistema e/o danni all'ambiente circostante, e in cui c'è stato il coinvolgimento di una o più sostanze pericolose (quindi si escludono automaticamente quegli eventi con sole e limitate conseguenze economiche, ad es. gli incendi di manufatti non pericolosi);
- evento potenzialmente in grado di generare un incidente rilevante, ma che comunque abbia coinvolto sostanze pericolose (tossiche, esplosive, infiammabili, pericolose per l'ambiente).

Tra questi, in particolare, in coerenza con lo scopo del presente rapporto, sono stati analizzati gli incidenti che, a breve o a lungo termine, hanno avuto conseguenze sull'ambiente e comportato danni all'ecosistema. A tale riguardo è stato eseguito un lavoro di revisione degli incidenti contenuti nella Banca Dati, allo scopo di valutare (ed integrare) eventuali aspetti di impatto ambientale non specificati in precedenza. Questo al fine di conferire la massima affidabilità ai risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati raccolti sugli effetti ambientali degli scenari incidentali.

### ***2.2 Fonti di informazione.***

Le informazioni sugli incidenti archiviati nella banca dati sono ricavate da vari tipi di fonti, differenti per quantità e qualità dei dati contenuti. Sotto questo profilo le fonti più attendibili sono:

- rapporti di analisi di incidenti a carattere scientifico, redatti in seguito a sopralluoghi effettuati o pubblicati in letteratura (testi o riviste specializzate);
- documenti interni e/o privati; a questo proposito è necessario evidenziare il rilevante contributo fornito dalla creazione di una rete informativa attraverso la predisposizione e diffusione di specifiche schede di raccolta dei dati incidentali, a livello di ARPA ed Ispettorati regionali del CNVVF; il progetto è tutt'ora in via di sviluppo e contribuirà ad accrescere l'attendibilità delle informazioni contenute nella banca dati;

- 
- dati di provenienza aziendale o assicurativa;
  - siti internet specifici relativi ai rischi in attività industriali ed alla protezione dell'ambiente (EPA, CHEMSAFETY, MARS, ecc.).

Fonti meno dettagliate e di limitata affidabilità dal punto di vista tecnico sono rappresentate dalla stampa quotidiana o periodica non specializzata, i cui dati raccolti vengono comunque confrontati ed integrati con fonti diverse e con l'uso estensivo del giudizio ingegneristico, al fine di accrescerne l'affidabilità.

### **2.3 Contenuti**

La Banca Dati Incidenti Rilevanti BIRD è ormai operativa da alcuni anni, nel corso dei quali ha subito un processo di maturazione sia a livello di contenuti che di struttura sicchè, attualmente, costituisce un importante fonte di dati informatizzati contenente circa 5000 incidenti, nazionali ed internazionali, alcuni dei quali, come detto, occorsi nell'ambito di impieghi diversi da quello meramente industriale (trasporto e stoccaggio di sostanze pericolose, depositi commerciali, attività estrattive, ecc.).

A tale riguardo, una recente elaborazione dei dati custoditi nell'archivio informatico BIRD ha condotto ai seguenti risultati:

- la valutazione della distribuzione degli incidenti rilevanti per tipologia di attività mostra un andamento oscillatorio nel corso degli anni (dal 1960 ad oggi):
- gli incidenti di trasporto coprono il 26% nel periodo precedente agli anni '60 per aumentare al 37% nel periodo anni '70-'80 e tornare praticamente al valore iniziale dopo il 1990 (28%); complessivamente si registra una percentuale pari a circa il 29,6% sull'intero repertorio di incidenti, di cui comunque la maggior parte (60%) si riferisce al decennio '80-'90;
- per gli incidenti di stoccaggio si registra un andamento decisamente decrescente (a parte un leggero incremento negli anni '70-'80) nel periodo dal 1960 ad oggi con il passaggio dal 31% al 6%; la percentuale complessiva è pari a circa l'11,7%;
- per gli incidenti di processo (e vari) si evidenzia un'oscillazione di valori, all'interno del range 40-60%, nel corso degli anni, per giungere al valore complessivo attuale del 58,7%.

In complesso i dati estrapolati dal BIRD mostrano, pur con le diverse oscillazioni dei singoli valori, che il contenuto predominante della Banca Dati è costituito dagli incidenti di processo; ciò è ovviamente soprattutto da mettere in relazione alla "specializzazione" della Banca Dati e dell'Unità dell'APAT nell'ambito della quale è stata predisposta ed aggiornata.

Sarà interessante, in prospettiva, confrontare questi dati con quelli custoditi in altri database, anche al fine di valutare il grado di ricopertura degli incidenti rilevanti occorsi: va infatti evidenziato che i dati BIRD, per quanto siano oggettivi e tecnicamente qualificati,

---

si prestano ad estrapolazioni relativamente attendibili a livello quantitativo, sicchè non consentono una generalizzazione assoluta delle conclusioni ottenute in tale ambito.

La valutazione della distribuzione geografica degli incidenti attesta una crescita evidente, tra gli incidenti riportati in BIRD, della percentuale di incidenti accaduti in Italia nel corso degli anni, sino a divenire preponderante nell'ultimo periodo (52%).

Anche in questo caso il confronto con altre banche dati potrà evidenziare quanto questo derivi da un'effettiva accresciuta "incidentalità" a livello nazionale, e quanto più verosimilmente sia connesso ad un ampliamento e specializzazione "locale" delle fonti di informazione utilizzate.

#### **2.4 Modifiche apportate alla struttura della Banca Dati BIRD**

Come già specificato in precedenza la Banca Dati dell'APAT contiene, ad oggi, circa 5000 records, ognuno composto da 29 campi, ciascuno codificato con un nome relativo al tipo di informazione da inserire nel campo stesso. Nel gruppo di campi relativo alle informazioni di carattere tecnico (contrassegnato con il colore celeste) è stato aggiunto, conformemente all'obiettivo prefissato, un ulteriore campo di testo, nominato "IMPACT", indicante la "componente ambientale contaminata", in cui viene appunto specificato il tipo di componente oggetto di contaminazione a seguito di un incidente. Tale informazione viene inserita utilizzando una delle 8 parole chiave codificate nella tabella associata al nuovo campo e precisamente:

- ATMOSF – inquinamento atmosferico
- FAUNA – contaminazione della fauna
- FLORA – contaminazione della flora e vegetazione
- ACQSUP – inquinamento delle acque superficiali
- ACQSOT – inquinamento delle acque sotterranee (falde)
- SUOLO – contaminazione del suolo e sottosuolo
- ECOSIST – contaminazione di scenari ambientali particolari (coste, spiagge, parchi, ambienti turistici e/o protetti)
- ALTRO – danneggiamento di patrimonio culturale, reperti storici, monumenti, ecc...

Grazie a tale modifica è stato possibile approfondire l'analisi degli incidenti con impatto ambientale valutandone anche la distribuzione per tipologia di conseguenza arrecata all'ambiente.

La figura seguente mostra la struttura di una maschera del record BIRD in seguito alla suddetta modifica.



---

### 3. Aspetti caratteristici dell'impatto sull'ambiente degli incidenti chimici.

Con il termine "incidente chimico" ci si riferisce nel seguito a qualsiasi incidente che coinvolga una o più sostanze chimiche pericolose (ai sensi della normativa sui rischi di incidenti rilevanti) prodotte, lavorate o stoccate, e che si è rivelato rilevante o potenzialmente tale.

La potenzialità degli incidenti chimici di causare seri danni ambientali è dimostrata da una serie di eventi incidentali di larga risonanza come quelli di Seveso (1976), Alaska (Exxon Valdez - 1989) e altri occorsi nel recente passato, per lo più verificatesi, come il disastro ecologico in Alaska, durante il trasporto navale di petrolio grezzo, e determinati da rottura o incagliamento di petroliere: elementi su tali incidenti recenti sono riportati in tabella A, mentre in Allegato I sono riportati dettagli su alcuni casi storici con conseguenze ambientali. I disastri marini occupa un posto di primato nel repertorio degli incidenti ambientali, basti pensare che negli ultimi 50 anni si sono verificati circa 1300 incidenti di petroliere.

Proprio i consistenti danni apportati all'ambiente da eventi come quelli citati, hanno determinato una maggior presa di coscienza dei Governi e dell'opinione pubblica, tale da implicare la emanazione di Direttive europee (recepite successivamente dai diversi Stati membri) e specifiche norme nazionali finalizzate a controllare e minimizzare la frequenza e i danni degli incidenti rilevanti. Si è manifestata, in particolare, la necessità di inserire nel contesto di analisi degli eventi rilevanti il problema dell'impatto ambientale ad essi associato.

Gli incidenti con effetti più devastanti ovviamente accadono con frequenza molto bassa, risultando in generale dalla combinazione di un certo numero di circostanze ed eventi sfavorevoli; è comunque necessario non distogliere l'attenzione da quelli più frequenti ma di minore entità.

Gli studi che hanno affrontato la problematica dell'impatto ambientale degli incidenti chimici (sia di quelli rilevanti che di quelli minori) sono stati mirati a:

- > migliorare la comprensione dell'importanza degli effetti ambientali degli incidenti;
- > determinare la tipologia dei siti coinvolti;
- > identificare le tipologie di sostanze rilasciate;
- > determinare la quantità e la qualità degli impatti;
- > individuare le componenti ambientali maggiormente in pericolo.

---

Tali studi hanno evidenziato come l'impatto ambientale di ogni incidente dipenda da un considerevole numero di variabili, quali:

- sostanze coinvolte
- preesistenza di inquinanti nell'ambiente
- matrici ambientali inquinate a seguito dell'incidente
- topografia del sito
- meteorologia del sito

La scarsità di approcci sistematici per la valutazione dei danni all'ambiente causati dagli incidenti chimici non sorprende se si considera l'ampiezza e complessità dell'argomento. Probabilmente la difficoltà maggiore è dovuta al fatto che l'evoluzione ambientale ed ecologica (ecotossicologica) della maggior parte delle sostanze non è completamente nota.

Tutte le componenti fisiche, chimiche e biologiche dell'ambiente modificano l'esposizione degli organismi agli inquinanti, rendendo la valutazione dell'impatto sull'ambiente ancora più complessa.

Per i diversi inquinanti esiste una gamma di dati ecotossicologici disponibili, ma è estremamente difficile individuare, specie in situazioni incidentali, quali siano quelli rilevanti. Molti scenari incidentali coinvolgono più sostanze chimiche; virtualmente tutti gli ecosistemi risultano da complesse interazioni di specie biologiche: tutto questo complica notevolmente la valutazione degli effetti ambientali degli incidenti chimici.

A tale riguardo nel paragrafo 3.2 vengono riportati alcuni elementi utili ai fini della rilevazione, successivamente agli incidenti, della effettiva entità dei danni apportati all'ambiente; un esteso insieme di approcci, tecniche e strumenti sono infatti disponibili per il monitoraggio dell'inquinamento ambientale: database chimici e biologici, sistemi di informazione geografica, indici di diversità delle specie, studi sull'evoluzione chimica, misure e modelli interpretativi del danno biologico.

Tab. A – Principali disastri ambientali connessi ad eventi incidentali registrati nell'ultimo decennio.

Periodo	Luogo	Descrizione	Effetti Ambientali
Febbraio 1990	California USA	Urto nave carica di grezzo contro la propria ancora durante operazione di ormeggio. Rilascio di circa 1500 ton grezzo in mare. Recupero di parte del grezzo con mezzi meccanici. Proibito l'uso di disperdenti.	Rilascio di circa 1500 ton grezzo in mare. Pericolo per la popolazione di pellicani sulla costa. Moria di circa 500 uccelli.
Aprile 1991	Genova Italia	Esplosione durante trasferimento carico in nave cisterna cipriota HAVEN, da 143 mila ton, a largo terminale Miltedo per rottura pompa e mal funzionamento sistema inertizzazione. Rilascio di 50-80 mila ton grezzo in mare. Incendio in mare per 100 mila m <sup>2</sup> . Fiamme alte 200 m.	Rilasciati 50-80 mila ton grezzo in mare, di cui 10-25 mila ton sul fondo. 500 km <sup>2</sup> di mare e 50 km spiagge ricoperti da idrocarburi. 800 miliardi di lire di danno ambientale. Emergenza nazionale.
Gennaio 1992	Golfo del Messico USA	Rottura pipeline Conoco in 3 punti durante operazione di pulizia. Rilascio di 45 ton di idrocarburi liquidi in mare.	Rilascio di 45 ton di idrocarburi liquidi in mare. Danni in paludi e spiagge per 13 km. Chiazza in mare di 9x24 km.
Luglio 1995	Corea del Sud	Petroliera cipriota SEA PRINCE da 14 mila ton travolta da tifone urtò roccia sulla costa coreana. Rilascio grezzo arabico in mare. Soccorsi rallentati dalle fiamme e da forte vento.	Rilascio di 14 mila ton grezzo in mare. Formazione chiazza lunga circa 40 km. Moria di pesci in parco marino protetto.

Periodo	Luogo	Descrizione	Effetti Ambientali
Febbraio 1996	Galles - UK	Avaria timone petroliera SEA EMPRESS che trasportava 13 mila ton grezzo leggero alla raffineria Texaco. Incagliamento presso parco marino Pembrokeshire. Rilascio grezzo in mare. Difficoltà disincagliamento e recupero causa pessime condizioni mare.	Rilascio di 50 mila ton grezzo in mare. Formazione chiazza nera di 8x1 miglio. Incatramati circa 100 uccelli.
Novembre 1997	Unalaska Island Alaska	Incagliamento motonave per mare mosso contro roccia. Forato tank da 12 mila gal. Rilascio combustibile e dispersione del prodotto nel lago per forte vento. Tentativo di aspirazione inefficace per alta consistenza del prodotto. Successiva ripulitura spiaggia.	Stimati 3000 gal combustibile nel lago. Inquinamento litorale baia Summer. Moria di uccelli e volpi.
1998	Donana Spagna	Rilascio di rifiuti metalli tossici da miniera. Inquinamento della grande area che circonda la riserva naturale della Donana.	Moria di migliaia di pesci e danni alla vegetazione. È uno dei maggiori disastri ecologici occorsi in Spagna.
Dicembre 1999	Francia	Petroliera ERIKA della Totalfina affonda rilasciando grezzo in mare. Avvistate ampie chiazze nella baia di Bourgneuf. Tonnellate di detriti inquinati rimossi da Protezione Civile dalla spiaggia contaminata per diverse settimane. Lavori di pompaggio grezzo durati mesi. Recupero grezzo residuo nella nave.	Rilascio ton grezzo in mare. Ampie chiazze nella baia. Contaminazione ostriche. Inquinamento mare durato mesi. Nuova fuga grezzo in Marzo 2000, con chiazza di 4mx5km.

Periodo	Luogo	Descrizione	Effetti Ambientali
Gennaio 2000	Romania	<p>Uno sversamento di acque cariche di cianuro, sfuggita dai pozzi di una miniera d'oro (appartenente all'azienda mineraria australiana Esmeralda Exploration) di Aurul vicino Baia Mare in Romania, ha devastato il Danubio e alcuni dei suoi immissari. Migliaia di piante e di pesci sono stati uccisi, l'intero ecosistema del luogo è stato completamente sconvolto. Le acque cariche di scorie minerarie, tra cui una grande quantità di cianuro usato per l'estrazione dell'oro avevano cominciato a traboccare al di là delle pareti di cemento riversando elevate quantità di veleno nei fiumi Lepos e Zamos. Da questi due fiumi il veleno è poi stato portato nel Tibisco che a sua volta si getta nel Danubio. L'incidente si è ripetuto e una nuova ondata di veleni si è riversato nell'ambiente.</p>	<p>La prima zona colpita è stata la Romania in cui in decine di villaggi è stata vietata la pesca, l'uso dei pozzi situati a meno di 300 metri dalle rive è proibito alla gente di toccare l'acqua. I fiumi Lepos e Zamos, raggiungono il Tibisco in territorio ungherese. Qui la concentrazione di cianuro ha superato di 700-800 volte i livelli ammessi. Moria di pesci (lucci, trote, pesci gatto, ecc) e di uccelli che si cibavano di tali pesci. Così anche le volpi, i gatti e molti altri mammiferi che si nutrivano dei gabbiani e che si abbeveravano nelle acque del fiume. La vegetazione lungo il corso del Tibisco e del Danubio è stata gravemente danneggiata.</p>

Periodo	Luogo	Descrizione	Effetti Ambientali
Luglio 2000	Araucaria - Brasile	Guasto in pipeline di raffineria Petrobras provoca rilascio di prodotti raffinati. Inquinamento ecosistema. Installate barriere flottanti sul fiume per contenere e aspirare il grezzo.	Rilascio di circa 3000 t di grezzo e derivati in fiume Iguacu. Rapida espansione macchia nera lungo il fiume, inquinato per 43 km. 100 uccelli colpiti, di cui 50 morti.
Agosto 2000	Costa del Sol - Spagna	Probabile rilascio catrame da nave. Forte vento ha spinto il prodotto verso la spiaggia. Prelevati campioni da analizzare.	Trovati 40 km costa da Malaga a Cadiz ricoperti di catrame. Macchia nera estesa fino all'Andalusia. Moria pesci.
Ottobre 2000	Isola di Ouessant - Francia	Affonda nave IEVOLI SUN della Shell Chemicals, carica di prodotti chimici, a 15 km da costa nord-ovest francese. Rilascio prodotti in mare. Indagine e azioni mitiganti da protezione civile e da marina militare.	Formazione chiazze stirene. Analisi campione mare mostrano assenza di tossicità ma inquinamento fauna locale (delfini e uccelli).
Novembre 2000	Baia Sao Sebastiao - USA	Danneggiamento serbatoio petroliera Petrobras da urto su molo. Rilascio grezzo in mare. Intervento ditta con barriere galleggianti per contenere fuoriuscita grezzo. Annunciata prossima ristrutturazione nave.	Rilascio circa 50 mila lt grezzo in mare. Macchia dal diametro di 150 m. Inquinamento spiagge vicine.
Gennaio 2001	Kenting national park - Taiwan	Sversamento in mare di grezzo da cargo greco che navigava a sud. Difficili operazioni di bonifica.	Riversate in mare 1150 ton di grezzo, con impatto sull'ecosistema.

Periodo	Luogo	Descrizione	Effetti Ambientali
Gennaio 2001	Isola Galapagos - Ecuador	Rilascio gasolio e olio combustibile in mare da petroliera JESSICA Petroecuador da per incagliamento in banco di sabbia a largo isola San Cristobal. Rottura carena nave. Recupero di gran parte del combustibile con adozione reti contenitive e materiale assorbente. Nave ricorra in colabrodo per continuo impatto con le rocce durato mesi. Relitto non rimosso.	Rilascio 900 mila lt di gasolio e olio combustibile in mare. Macchia nera di 130 km2. Pericolo per ecosistema. Evacuazione leoni marini e specie rare.
Maggio 2001	Nuova Zelanda	Ribaltamento autocisterna con rimorchio mentre viaggiava su stretta strada costiera. Riversati in mare tonnellate di veleno per topi.	Sversamento 18 ton veleno in mare. Gravi danni ambientali alla fauna ospitata dalla baia: balene, foche, delfini, uccelli marini.
Novembre 2002	Spagna - Galizia	La Prestige nave dell'impresa russa "Crown Resources" battente bandiera delle Bahamas con equipaggio di marinai filippini e timoresi, era salpata da San Pietroburgo, alla volta di Singapore, carica di 70.000 tonnellate di gasolio. La Prestige è affondata a largo delle coste della Galizia mettendo a rischio le coste di 3 paesi: Francia, Portogallo e Spagna. La nave ha riversato migliaia di tonnellate di petrolio nell'Atlantico provocando una macchia nera lunga 37 km e larga 200 m. Inquinamento di 295 km di litorale spagnolo. Il disastro ha messo l'economia della Galizia in ginocchio.	Pesca, acquicoltura marina e turismo danneggiati; fauna, ambiente della regione e filiere della pesca e dell'acquicoltura gravemente colpite; necessari anni di lavoro per riparare i danni. Il danno provocato dall'onda nera si aggira sui 300 milioni di euro: 43 per la pulizia della costa, 200 per i crediti agevolati e 50 di indennizzo ai 7 mila pescatori. Gravi danni alla fauna: uova di granchio e di riccio, i percibe, specie di cirripedi che vivono aggrappati sulle scogliere battute dalle onde atlantiche, pesce azzurro, crostacei. Minacciati gli uccelli, soprattutto i cormorani, ricoperti di petrolio.

---

### **3.1 Elementi ricavabili dall'analisi storica di incidenti chimici.**

In letteratura sono reperibili diversi studi condotti per la valutazione delle conseguenze ambientali di incidenti chimici. Nel seguito vengono riportati in sintesi alcuni aspetti evidenziati da tali studi, con particolare riferimento al rapporto "Environmental Follow-up of Industrial Accidents" (1).

Una tipologia di incidenti particolarmente studiata è quella relativa agli incendi, con coinvolgimento di sostanze come PVC, polietilene, cloruro di etile, prodotti raffinati del petrolio, pesticidi e solventi.

La combustione di queste sostanze può provocare inquinamento degli ambienti acquatici (sotterranei e non), attraverso lo sversamento delle acque antincendio utilizzate per lo spegnimento delle fiamme, dell'atmosfera, attraverso il rilascio di gas tossici combustibili, e dell'ambiente terrestre (vegetazione, suolo) attraverso la deposizione di particelle solide combuste.

La pirolisi di una vasta gamma di materiali e sostanze chimiche provoca la formazione ed il rilascio di inquinanti quali diossine e furani, idrocarburi policiclici aromatici (PAH) e metalli pesanti. La presenza ricorrente di tali inquinanti nei fumi prodotti dagli incendi di sostanze chimiche ha consentito lo sviluppo di metodiche di analisi e prelievi ambientali, in particolare per le componenti acquatiche e terrestri.

Aspetti specifici relativi ad incendi chimici sono riportati nel paragrafo 3.4.

L'analisi degli eventi occorsi in passato è uno strumento importante per valutare la natura e gli effetti sull'ambiente degli incidenti chimici. Le ricerche svolte a tale riguardo, pur evidenziando lacune nella quantificazione oggettiva dei danni ambientali, forniscono comunque utili informazioni per quanto riguarda la tipologia dei composti maggiormente coinvolti negli incidenti ed elementi sulla frequenza di tali eventi.

Inoltre l'analisi dell'esperienza storica fornisce importanti delucidazioni e utili insegnamenti relativamente ai percorsi di contaminazione, alle quantità rilasciate e all'estensione delle conseguenze. Essa consente di evidenziare infine la tipologia degli stabilimenti maggiormente coinvolti, e mostra come incidenti "rilevanti" possano accadere anche in attività non strettamente soggette alla Direttiva Seveso, come il trasporto e lo stoccaggio di rifiuti tossici presso industrie estrattive.

#### **3.1.1 Banche dati incidenti chimici**

La legislazione in materia di ambiente (sia europea che USA) richiede la notifica alle autorità degli incidenti chimici, anche con impatto ambientale, sicchè negli ultimi 30 anni è stata dedicata un'attenzione speciale al progetto e sviluppo di database di incidenti chimici accaduti. Come risultato di ciò, esistono diverse banche dati, sia relative agli specifici ambiti nazionali, sia ad aree geografiche più ampie, contenenti informazioni su eventi incidentali rilevanti e non.

In tabella 1 sono evidenziate le caratteristiche salienti di alcune delle Banche Dati disponibili, con particolare riferimento a quelle sviluppate da agenzie pubbliche ed organizzazioni internazionali.

Tab. 1 – Banche Dati di incidenti chimici

Data Base	Acronimo	Agenzia di Raccolta	Nazionale / internazionale	Fonti di informazione	Note
Major Hazard Incident Data Service	MHIDAS	HSE AEA Technology (UK)	Internazionale	Letteratura e rapporti media	Raccoglie tutti gli incidenti rilevanti, dal 1964 ad oggi. Attualmente contiene circa 5000 casi.
Environmental Incident Database Service	EnvIDAS	HSE AEA Technology (UK)	Internazionale	Letteratura e rapporti media	Concentra l'attenzione solo su incidenti con effetti sull'ambiente
OECD Database of Industrial Accidents	OECD	World Health Organization (WHO)	Internazionale	Rapporti dai governi dei paesi membri	Incidenti occorsi in stabilimenti non soggetti alla Seveso II e nel trasporto di sostanze pericolose
Major Accident Reporting System	MARS	Commissione Europea – JRC di Ispra (MAHB)	Unione Europea	Eventi riconosciuti come incidenti rilevanti secondo la Dir. Seveso II	Raccoglie esclusivamente incidenti rilevanti, dal 1980 ad oggi. Attualmente contiene circa 530 casi.

Data Base	Acronimo	Agenzia di Raccolta	Nazionale / internazionale	Fonti di informazione	Note
Emergency Response Notification System	ERNS	US Environmental Protection Agency (EPA)	USA	Rapporti dalle Agenzie NRC, EPA Regions, USCG	Raccoglie incidenti con rilascio di una quantità minima predefinita di inquinante dal 1987 ad oggi. Attualmente contiene circa 10000 casi.
Acute Hazardous Events Data Base	AHE	US EPA	USA	Rapporti dalle agenzie	Raccoglie circa 11048 eventi distribuiti in 8 anni.
Australian System for Hazardous Materials Incident Reporting	ASHMIR	National Occupational Health & Safety Commission	Australia	Letteratura e rapporti media	Raccoglie tutti gli incidenti che coinvolgono sostanze pericolose
Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level	APELL	United Nations Environment Programme (UNEP)	Internazionale	Altre banche dati	Raccoglie incidenti coinvolgenti sostanze pericolose rispondenti ai seguenti criteri: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ 25 morti, o</li> <li>• ≥ 125 feriti;</li> <li>• ≥ 10000 evacuati, o</li> <li>• ≥ 10000 persone private dell'uso di acqua.</li> </ul> Dal 1970 ad oggi. Attualmente contiene circa 350 casi.

Data Base	Acronimo	Agenzia di Raccolta	Nazionale / internazionale	Fonti di informazione	Note
United Nations Economic Commission for Europe	UN/ECE	United Nations Economic Commission for Europe	Europa		Incidenti in siti industriali con effetti transfrontalieri
Database for Accidents with Hazardous Materials	FACTS	Institute of Environmental and Energy Technology	Olanda		Raccoglie tutti gli incidenti rilevanti che coinvolgono sostanze pericolose e che hanno causato o potevano causare seri danni. Attualmente contiene circa 20000 casi.
Accidental Release Information Program	ARIP	Environmental Protection Agency (EPA)	USA	Questionari inviati agli impianti soggetti a rilasci di sostanze pericolose	Rilasci accidentali significativi di sostanze pericolose da installazioni fisse, che causano effetti esterni o danni ambientali, dal 1986 ad oggi. Attualmente contiene circa 5000 casi.
Chemical Incident Reports Center	CIRC	Chemical Safety and Hazard Investigation Board	USA		Incidenti chimici
Incident Reporting Information System	IRIS	National Response Center (NRC)	US		Incidenti di trasporto con rilasci e sversamenti di sostanze pericolose

Data Base	Acronimo	Agenzia di Raccolta	Nazionale / internazionale	Fonti di informazione	Note
	ADID	ADIC	Giappone		Incidenti dal 1968 ad oggi. Attualmente contiene circa 1100 casi.
Process Safety incident Database	PSID, basato sull'IRAS della Exxon	Center for Chemical Process Safety (CCPS) of the AIChE	USA	IRAS	Incidenti di processo
Analysis Research and Information on Accidents	ARIA	Ministero dell'Ambiente e dello sviluppo del territorio  Bureau for Analysis of Industrial Risk and Pollutions (BARPI)	Francia		Contiene circa 23700 casi relativi a: incidenti rilevanti, incidenti non rilevanti ma significativi, quasi incidenti di processo (in installazioni fisse) e/o di trasporto.

Tali inventari di incidenti sono usualmente dettagliati e forniscono informazioni interessanti sugli incidenti chimici. Sono da citare inoltre la Banca Dati dell'UK NRA (National River Authority, dal 1996 parte dell'Environment Agency), che raccoglie specificatamente incidenti con contaminazione degli ambienti acquatici, e quella dell'UK Public Fire Service, che raccoglie incidenti chimici in generale. A criteri analoghi si conforma, per l'Italia, la Banca Dati BIRD dell'APAT a cui si è cercato, come evidenziato nel paragrafo 2.4, di conferire caratteristiche adeguate proprio per una più efficace trattazione del problema dell'impatto ambientale.

Le risultanze dell'analisi statistica riguardante sostanze o classi di composti coinvolti negli incidenti variano ovviamente a seconda del database che si considera, poiché ogni database tratta determinate tipologie di sostanze in relazione alle esigenze e agli obiettivi che si prefigge. Nella tabella 2 ad esempio si nota come il database australia-

---

no ASHMIR (che non discrimina tra incidenti minori e rilevanti) valuta il petrolio come il responsabile di oltre il 50% degli incidenti registrati, quando invece per la UK Fire Brigade lo è solo per il 2,7% degli incidenti registrati e addirittura non compare affatto negli altri due database, ove si considerano esclusivamente incidenti rilevanti, cioè con gravi conseguenze sulle persone e sull'ambiente, associati a determinate categorie di attività e sostanze pericolose. È possibile che il pericolo per la popolazione associato agli sversamenti di grezzo sia ritenuto dalla UK Fire Brigade di minore rilevanza rispetto a quello per l'ambiente, e di competenza di altri organismi operativi, come il NRA. Ovvero i casi registrati coinvolgenti il petrolio potrebbero essere in numero limitato in considerazione del fatto che il database in questione concentra maggiormente l'attenzione sugli eventi occorsi negli stoccaggi e nelle installazioni di processo, mentre gli incidenti da petrolio caratterizzano per lo più le attività di trasporto e, anche per questo, il loro impatto è considerevole per l'ambiente acquatico e per le falde.

Tabella 2. Percentuali di sostanze coinvolte negli incidenti chimici raccolti da 4 database (n = numero di eventi)

sostanza	MARS	AHE (EPA)	UK Fire Brigade	ASHMIR
	n=121	n=6928	n=521	n=52
petrolio liquido	-	-	2,7	50,5
metano	-	-	-	10,1
gas di petrolio liquefatti	-	-	8,1	6,9
acido cloridrico	5	3,1	12,7	3,3
ammoniaca	10	3,7	12,5	2,5
acetilene	-	-	2,7	1,1
dimetilammina	-	-	-	0,8
tricloruro di etilene	-	-	4,4	0,8
cloro	17	3,5	-	0,8
xilene	-	-	-	0,6
acido nitrico	-	1,7	5,2	0,6
etilacrilato	-	-	-	0,6
idrossido di sodio	-	2,6	5,8	0,6
ipoclorito di calcio	-	-	-	0,6
acido acetico	-	-	1,9	0,6
acido solforico	-	6,5	6,4	0,6
cherosene	-	-	-	0,6
policloro-bifenili	-	23,0	-	-
toluene	-	1,4	1,9	-
cloro metano	-	1,4	-	-
metanolo	-	1,7	2,5	-
formaldeide	-	-	4,8	-
alcool di isopropile	-	-	3,3	-
percloroetilene	-	-	3,3	-
ipoclorito di sodio	-	-	2,7	-
zolfo	-	-	2,5	-
idrogeno	9	-	-	-
acido fosforico	-	-	2,5	-
acido formico	-	-	2,3	-
fosforo	-	-	2,1	-
arsenico	-	-	2,1	-
tricloruro arsenico	-	-	1,9	-
perossido di idrogeno	-	-	1,9	-

(continua)

sostanza	MARS	AHE (EPA)	UK Fire Brigade	ASHMIR
nitrato di ammonio	4	-	1,9	-
fenolo	-	-	1,9	-
ossido di etilene	-	6	-	-
ossidi di azoto	-	6	-	-
acido fluoridrico	3	-	-	-
altro	52	39,4	-	18,4

### 3.1.2 Cause degli incidenti chimici

Da un'analisi statistica condotta (3) dalla UK Public Fire Service (Tabella 3) si evince che la tipologia di incidenti più diffusa è sicuramente quella delle perdite e sversamenti, seguita dagli incendi e, a decrescere, da rilasci gassosi, reazioni divergenti ed esplosioni.

Tabella 3. Analisi di 968 incidenti chimici studiati dalla UK Public Fire Services

Tipologia rilascio	frequenza (%)
spillamenti e perdite	60
incendi	17
rilasci di gas / vapore	7
surriscaldamento di sostanza chimica	8
sversamento potenziale	1
esplosione	1
altro	4
non registrato	2
Causa	frequenza (%)
errore umano	34
apparecchiatura difettosa	16
proprietà dei prodotti chimici	16
incendi chimici	12
recipienti/serbatoi difettosi	9
innesco spontaneo	5
trasporto stradale/ferroviario	4
dolo \ vandalismo	3
veicolo difettoso	1

---

Sempre secondo la medesima fonte le cause predominanti degli incidenti chimici sono da attribuire per il 34% ad errore umano, per il 16% a difetti di apparecchiature e per il 9% a cedimento di serbatoi/contenitori (come si evince dalla medesima tab. 3). Al riguardo si può notare una certa corrispondenza di risultati con quelli riportati in figura 21, ricavati dalla Banca Dati BIRD e in seguito presentati e discussi.

Quelle evidenziate sono solo alcune (le principali) tra le possibili cause di incidenti individuate in base all'analisi dell'esperienza storica. Esse appaiono contrastabili attraverso un miglioramento delle procedure di lavoro, dell'addestramento del personale ed in generale dei sistemi di gestione della sicurezza. Altre cause, come ad esempio incidenti di trasporto e atti dolosi, sono ovviamente più difficilmente prevedibili, e necessitano di strategie e misure di controllo ad hoc.

Dai dati presentati si può concludere che l'analisi degli effetti ambientali degli incidenti, in base all'esperienza storica, può essere concentrata sugli scenari incidentali di sversamento ed incendio.

Al riguardo va rilevato come possa essere relativamente facile proteggere l'ambiente da sversamenti: i moderni impianti e stoccaggi possono essere progettati in maniera tale da contenere perdite o rilasci nelle acque superficiali e sotterranee; vi è quindi la possibilità di prevenire questa tipologia di scenario che, nel caso in cui si verifichi, comporta effetti ambientali considerevoli.

Risulta invece molto più difficoltosa la protezione dell'ambiente dalle conseguenze degli incendi. Ciò in relazione soprattutto ai consistenti volumi di acqua antincendio impiegati per spegnere le fiamme, tali, in genere, da superare la capacità dei sistemi di contenimento adottati, provocando quindi, oltre che inquinamento atmosferico da gas combustibili e inquinamento del suolo da particelle solide sparse dai fumi, anche danni ambientali per contaminazione delle acque sotterranee e superficiali.

---

### 3.1.3 Frequenza degli incidenti chimici

Gli incidenti chimici accadono certamente con frequenza apprezzabile, ma in generale si può affermare che solo alcuni determinano seri effetti ambientali; è pertanto difficile estrapolare dai soli dati statistici sugli incidenti informazioni di carattere generale sulle conseguenze sull'ambiente. Non è ovviamente possibile stabilire con precisione la frequenza per gli incidenti chimici con impatto sull'ambiente, poiché spesso molti eventi non vengono registrati.

Il database NRA (National River Authority) raccoglie dati sugli effetti che gli incidenti chimici provocano sull'ambiente d'acqua dolce nel Regno Unito e costituisce, come detto, una buona fonte di informazioni in merito all'impatto ambientale degli incidenti. I dati statistici ricavati rivelano che in Gran Bretagna il numero annuo di incidenti con contaminazione delle acque dolci originati da industrie chimiche ammontano circa a 100 (gli altri sono originati da attività come la depurazione di acque e liquami, attività agricole ecc.).

In particolare gli eventi incidentali analizzati dall'NRA sono quelli che provocano:

- effettivi o potenziali danni persistenti sulla qualità dell'acqua o sulla vita acquatica
- interruzione di alimentazione di acqua potabile e di uso industriale/agricolo
- consistente moria di pesci
- violazioni di limiti di legge
- necessità di onerosi sistemi per rimediare ai danni

Altri dati rilevati dalla NRA indicano che gli incidenti chimici costituiscono comunque un importante sorgente di contaminazione a lungo termine dell'ambiente.

Le banche dati AHE e ERNS (USA), contenenti informazioni su un cospicuo numero di incidenti chimici, stimano una frequenza annua di circa 5500 incidenti chimici, solo negli USA, con il coinvolgimento di circa 45500 tonnellate di sostanze chimiche, di cui molte fortemente tossiche e persistenti nell'ambiente.

Il database MARS registra 14 incidenti con severe conseguenze ambientali su 121 raccolti in un periodo di 9 anni. Non è però un dato confrontabile con i precedenti, visto che il MARS considera esclusivamente gli incidenti rilevanti denunciati dai singoli Paesi membri dell'U.E.

La Banca Dati BIRD dell'APAT, infine, nel periodo 1998-2002 rileva in media una frequenza annua di incidenti ambientali rilevanti accaduti nel mondo di circa 18 eventi; appare a tale riguardo necessario ampliare e specializzare ulteriormente le fonti di informazione, con particolare riferimento, per l'Italia, al sistema delle Agenzie ambientali.

---

## **3.2 Sostanze chimiche pericolose per l'ambiente coinvolte negli incidenti chimici**

### *3.2.1 Sostanze chimiche pericolose per l'ambiente: aspetti normativi*

La Direttiva Seveso II mira alla prevenzione dei rischi di incidente rilevante coinvolgenti sostanze pericolose e alla limitazione delle conseguenze di tali incidenti non solo sulle persone (aspetti di sicurezza dei lavoratori e salute per la popolazione), ma anche sull'ambiente (aspetti ambientali). Entrambi tali obiettivi dovrebbero essere perseguiti mediante un sistema che garantisca in modo efficace alti livelli di protezione in tutta la Comunità Europea.

Benché in molti casi sostanze pericolose per le persone siano anche pericolose per l'ambiente, si può dire che il campo della Seveso I è stato più incentrato sulla protezione delle persone piuttosto che delle componenti ambientali. Con la Seveso II la protezione dell'ambiente è divenuto un aspetto più importante, con l'inclusione, per la prima volta, di sostanze classificate come "pericolose per l'ambiente (acquatico)" nell'ambito della Direttiva. Tali sostanze risultavano considerate nella Seveso I solo se ricadenti anche in altra categoria di classificazione.

L'allegato I, parte 1, della Seveso II contiene una lista di sostanze specifiche per le quali sono indicate le quantità limite per l'applicazione degli articoli 6, 7 e 9 relativi alla categorizzazione degli stabilimenti a rischio di incidente rilevante. L'allegato I, parte 2, contiene 10 categorie definite di sostanze pericolose che si riferiscono a caratteristiche di classificazione come tossicità, infiammabilità, esplosività o ossidabilità e appunto di 'pericolosità per l'ambiente'. Sono state incluse le sostanze molto tossiche per gli organismi acquatici (frase di rischio: R50) o tossiche per l'ambiente acquatico ma capaci di creare a lungo termine effetti negativi per tale ambiente (frasi di rischio: R51 e R53).

Comunque, ci sono alcune incertezze sulla reale adeguatezza delle quantità limite per l'applicazione degli articoli 6, 7 (200/500 t) e 9 (500/2000 t) fissate dal Consiglio Europeo. La necessità di una immediata revisione di queste soglie è stata riconosciuta nella dichiarazione 6 dei verbali del Consiglio riportati nella direttiva Seveso: 'il Consiglio e la Commissione riconoscono la necessità di valutare le opportune quantità assegnate alle sostanze pericolose per l'ambiente nella parte 2; a tal fine, il Consiglio richiede alla Commissione di approntare una dettagliata analisi, in collaborazione con gli Stati Membri, delle adeguate quantità limite per queste categorie di sostanze, nel contesto degli obiettivi prefissi dalla Direttiva'.

Inoltre, la convenzione UN/ECE sugli "Effetti transfrontalieri derivanti da incidenti industriali", nel suo allegato I, parte I, fissa un valore di soglia differente per le sostanze ed i preparati "pericolosi per l'ambiente" per la definizione delle attività soggette (200 t). La convenzione fu firmata dalla CE e 14 Stati Membri il 17 Marzo 1992, e approvata

---

dalla CE il 24 Aprile 1998. Essa contiene una serie di disposizioni volte alla protezione dell'uomo e dell'ambiente contro gli incidenti industriali capaci di causare effetti transfrontalieri, e volte alla promozione di una collaborazione internazionale attiva tra le parti, prima, durante e dopo un incidente. Per i membri della UE la direttiva Seveso II è considerata come uno strumento giuridico e tecnico per adempiere agli obblighi sorti dalla Convenzione.

Alla luce di tale incoerenza e del fatto che il numero di stabilimenti presumibilmente rientranti nelle categoria di sostanze pericolose per l'ambiente ai sensi della Seveso II appariva molto limitato, fu istituito un gruppo di lavoro tecnico europeo ad hoc volto ad analizzare in modo dettagliato se l'adeguatezza delle quantità limite di sostanze pericolose per l'ambiente per gli scopi di applicazione degli articoli 6, 7 e 9 della Seveso II e, in caso negativo, di proporre quantità limite più idonee.

Il lavoro condotto dal gruppo tecnico ha tentato di effettuare un bilancio tra i rischi creati all'ambiente dalle sostanze classificate come R50, R51, R53, le difficoltà amministrative segnalate dalle Autorità competenti e dall'industria in caso di fissazione di valori limite molto bassi, ed infine la considerazione dei rischi comparativi per l'uomo e per l'ambiente.

Il gruppo tecnico di lavoro, composto da rappresentanti europei delle autorità competenti, ha adottato un triplice approccio per la conduzione del lavoro, alla luce del fatto che comunque la giustificazione scientifica delle quantità limite adeguate dovrebbe essere bilanciata da una considerazione degli effetti sul sistema dei controlli in ogni singolo Stato Membro:

- raccogliere elementi, nei singoli Stati Membri e presso le associazioni industriali, per la stima del numero degli stabilimenti che probabilmente rientrano in vari livelli di soglia (raccogliendo così informazioni preziose sugli aspetti pratici della modifica delle soglie);
- raccogliere ed analizzare incidenti del passato coinvolgenti sostanze pericolose per l'ambiente al fine di estrarre lezioni ed insegnamenti appresi dall'esperienza storica; in Allegato I sono riportate le descrizioni di alcuni incidenti con conseguenze sull'ambiente acquatico [9] esaminati dal gruppo di lavoro.
- formulare altre osservazioni scientifiche, come la valutazione delle quantità minime capaci di causare effetti significativi sull'ambiente.

Relativamente a questo aspetto è necessario sottolineare che i criteri per la valutazione degli effetti ambientali delle sostanze chimiche sono diventati disponibili solo nell'ultimo decennio, e che tale valutazione è un processo dinamico. Quindi, non tutte le sostanze sono state riesaminate sotto questo aspetto e, con lo sviluppo di tale valutazione, è probabile che ulteriori sostanze siano classificate come pericolose per l'ambiente.

---

Un'interessante problematica riguarda la possibilità di determinare la minima quantità di sostanze pericolose che, quando rilasciate, possono causare severi danni all'ambiente. Ovviamente la questione, messa in questi termini, è mal-definita, ed è necessario fare alcune assunzioni per svilupparla. Innanzitutto, deve essere considerato un fiume o lago 'tipico', ed adottare una chiara definizione di 'severi danni ambientali'. Gli analisti che hanno affrontato questa problematica hanno considerato come incidente 'grave' lo sversamento in un fiume di una sostanza pericolosa, la cui diluizione successiva in acqua determina ancora, ad una distanza di 10 km a valle dalla sorgente, una concentrazione uguale al valore LC50 per i pesci o EC50 per le alghe. Si assume che la sostanza sia solubile in acqua, senza evaporazione o sedimentazione. È stata inoltre adottata una semplice equazione Gaussiana per la modellizzazione della dispersione degli inquinanti nel fiume.

Risultati di uno studio ad hoc mostrano, ad esempio, che 2,4 kg di forate (ditiofosfato) rilasciato in un tipico fiume sono sufficienti per inquinarlo (con concentrazione LC50) a una distanza di 10 km a valle. L'equivalente quantità di acido cianidrico è risultata pari a 216 kg, mentre è evidente che per altre sostanze quantità molto più piccole rilasciate in ambiente acquatico possono creare danni severi. Altri analisti, utilizzando modelli più sofisticati, sono arrivati a conclusioni simili.

### *3.2.2 Sostanze chimiche coinvolte negli incidenti chimici*

La maggior parte delle sostanze presenti nella tabella 2 (paragrafo 3.1.1) sono senz'altro potenzialmente pericolose per l'ambiente (PCB, fenolo, ossido di etilene, ipoclorito di sodio, ecc..). Molte di esse sono però gas o liquidi estremamente volatili sicchè, anche se sono tossiche, presentano tempi di permanenza molto bassi nell'ambiente; il loro rilascio causa quindi un impatto ambientale rilevante ma di breve durata.

Relativamente all'ambiente acquatico, l'analisi di significativi casi incidentali con impatto su tale componente ambientale (vedi Allegato I) ha evidenziato la criticità delle seguenti sostanze pericolose:

- > sostanze molto tossiche e persistenti nell'ambiente acquatico, di tipo inorganico (cianuri) ed organico (fenoli e composti);
- > sostanze tossiche per gli organismi acquatici e persistenti nel loro ambiente, inorganiche (come criolite) ed organiche (cumene);
- > sostanze molto tossiche per gli organismi acquatici ma non persistenti in tale ambiente, come ad esempio il solfuro di potassio;
- > pesticidi, erbicidi, insetticidi (es. endosulfan, disulfoton, parathion, lindane), la maggior parte di queste sostanze ha effetti nocivi sull'ambiente acquatico;

- 
- > derivati del petrolio (es. benzina, kerosene, oli combustibili); anche tali sostanze sono state classificate pericolose per l'ambiente acquatico;
  - > schiume antincendio e prodotti di pirolisi (aspetto approfondito nel par. 3.3). Tali sostanze sono connesse con la contaminazione dell'ambiente acquatico per effetto dello sversamento delle acque antincendio utilizzate nello spegnimento di grossi incendi, come quelli ad esempio in stoccaggi di pesticidi/fertilizzanti. È da sottolineare la difficoltà di prevedere la composizione dei prodotti di pirolisi;
  - > rifiuti e scarti di attività minerarie e di impianti di trattamento. Le sostanze presenti nelle acque reflue costituiscono altre categorie di contaminanti di interesse; anche qui è da segnalare la difficoltà di prevedere l'esatta composizione dei rifiuti e scarti sversati;
  - > sostanze non classificate come pericolose per l'ambiente. Molte di queste, infatti, sono coinvolte in incidenti con conseguenze ambientali. Ciò è dovuto al fatto che la classificazione di sostanze secondo la direttiva 67/548/CE corrisponde ad un processo dinamico in continuo avanzamento. Circa 400 sostanze, non classificate per effetti ambientali fino al 23° ATP, sono state valutate nel 24° e 25° ATP e classificate R50, R50/53 e R51/53. Ci sono molte altre sostanze, non ancora classificate per effetti ambientali, che potrebbero, in futuro, essere classificate come pericolose per l'ambiente e caratterizzate da una delle frasi di rischio citate. In aggiunta, altre categorie di sostanze, come le corrosive (per es. acido solforico oppure acido nitrico), possono essere coinvolte in incidenti con severe conseguenze ambientali.

Particolare attenzione meritano le sostanze derivate dal petrolio, corrispondenti a miscele complesse prevalentemente composte da idrocarburi non solubili in acqua. Dato che, dopo il rilascio della sostanza nell'ambiente acquatico, ogni componente si comporta in modo lievemente differente, la classificazione dell'intera miscela non risulta facilmente definibile. A tale riguardo CONCAWE (l'organizzazione europea delle compagnie petrolifere per la sicurezza, salute ed ambiente) ha redatto uno specifico documento [10] in cui i derivati del petrolio vengono raggruppati secondo il processo di raffinazione e secondo le loro proprietà (principalmente l'intervallo di ebollizione). Inoltre di ogni gruppo è stata riesaminata la classificazione, attribuendo infine a benzine, kerosene, diesel fuels, gasoli e oli combustibili le frasi R51/53, al petrolio R52/53, mentre alcuni distillati pesanti (lubrificanti, solventi, paraffine, oli usati, ecc) sono da classificare caso per caso.

Una lista delle sostanze pericolose più frequentemente coinvolte negli incidenti con impatto sull'ambiente è stata estrapolata dalla Banca Dati BIRD e riportata nelle figure 10 e 11. I dati della tabella 2 e le considerazioni precedenti estratte da [6] possono

---

essere messi a confronto con i dati delle figure 10-12. Dal confronto si evince un'analogia di risultato: gli idrocarburi e non idrocarburi più critici compaiono ai primi posti anche nei grafici estrapolati da BIRD (vedi capitolo 4).

In generale per una efficace prevenzione dell'inquinamento ambientale da incidenti dovrebbero essere tenuti sotto particolare controllo quei gruppi di sostanze che risultano storicamente, anche per la loro diffusione ed il loro utilizzo, maggiormente coinvolte negli incidenti: prodotti di raffinazione del petrolio, pesticidi, composti del cloro, ammoniacca, acidi minerali.

### *3.2.3 Entità delle conseguenze degli incidenti chimici in relazione alle sostanze coinvolte e alle quantità rilasciate*

L'entità delle conseguenze è direttamente correlata con la tipologia di sostanze coinvolte e con le relative quantità rilasciate. Le pericolosità e tossicità più critiche per una sostanza sono quelle relative all'ambiente acquatico (acque superficiali, acque sotterranee, falde), in cui si manifestano gli effetti più severi.

La persistenza di una sostanza, come già accennato, è un altro importante parametro: maggiore è tale persistenza, maggiore sarà il tempo richiesto per il recupero dell'ecosistema danneggiato. D'altra parte incidenti coinvolgenti sostanze molto tossiche ma poco persistenti (R50) possono comunque richiedere lunghi tempi di recupero dell'ambiente contaminato, a causa dell'estensione delle conseguenze e del fatto che gli habitat colpiti non sono completamente incontaminati all'atto dell'incidente. Da questo punto di vista, le sostanze R50 sono correttamente considerate nella Direttiva Seveso II.

I pesticidi risultano spesso coinvolti in incidenti particolarmente rilevanti, per effetto della loro tossicità in ambiente acquatico e per il fatto che molte di queste sostanze vengono rilasciate simultaneamente (stoccaggi multisostanze), dunque agiscono nell'ecosistema in modo sinergico, con notevole potenziamento delle conseguenze apportate.

I derivati del petrolio presentano un particolare comportamento come inquinanti. Da un lato si registrano effetti devastanti dei rilasci di petrolio su uccelli ed in generale sulle specie presenti in coste marine e fluviali. Dall'altro lato la loro tossicità per organismi acquatici non è così elevata, e la loro solubilità in acqua è relativamente bassa. Le chiazze d'olio hanno la capacità di ricoprire larghe aree di superfici d'acqua, formando un sottile film, che riduce lo scambio di ossigeno con l'aria. Molti derivati del petrolio non sono prontamente biodegradabili, per questo sono caratterizzati dalla frase di rischio R53. In ultimo, è importante sottolineare che rilasci di prodotti di raffineria sono risultati significativamente più dannosi per l'ambiente acquatico di quelli di petrolio grezzo.

In tale contesto, e sulla base di incidenti storici esaminati, si può però affermare che le

---

conseguenze determinate dai derivati del petrolio risultano meno severe di quelle create da altre sostanze pericolose per l'ambiente acquatico. La gestione dell'emergenza è infatti normalmente molto meglio definita e le squadre di emergenza molto più preparate ad affrontare rilasci di idrocarburi anziché di altre sostanze.

In termini quantitativi, una importante conclusione estrapolata dall'analisi dell'esperienza storica, è che anche quantità relativamente basse di sostanze possono causare gravi danni ambientali. Inoltre è importante se la sostanza risulti già diluita (per es. in acque antincendio o in acque reflue) o meno. Anche piccoli rilasci che non causano effetti devastanti non devono comunque essere trascurati in fase di prevenzione: essi riducono progressivamente la qualità dell'ambiente acquatico ed intaccano l'equilibrio dell'ecosistema.

### ***3.3 Elementi per la valutazione dell'impatto sull'ambiente in caso di incidente chimico***

L'eterogeneità delle cause, delle sostanze coinvolte e delle componenti ambientali potenzialmente soggette a contaminazione rende particolarmente complessa la valutazione dell'effettivo impatto sull'ambiente di un incidente, soprattutto considerando che per molti scenari incidentali è difficoltoso conoscere a priori tutte le informazioni utili allo scopo, come di seguito evidenziate. Tale eterogeneità si evince innanzitutto dall'analisi storica sugli incidenti accaduti, da cui si possono comunque estrapolare utili lezioni ed informazioni.

Le fasi in cui può essere articolata l'effettuazione di una valutazione dell'impatto sull'ambiente di un incidente accaduto sono :

- determinazione delle sostanze chimiche coinvolte
- individuazione dei percorsi di contaminazione
- individuazione delle componenti ambientali contaminate
- determinazione della distribuzione degli inquinanti
- valutazione della dinamica degli inquinanti nelle diverse componenti ambientali contaminate
- individuazione della tipologia di danni all'ecosistema
- monitoraggio biologico degli effetti degli incidenti

Nel seguito vengono forniti elementi conoscitivi e di indirizzo per ognuna delle fasi suddette.

---

### 3.3.1 *Determinazione delle sostanze chimiche coinvolte*

Ovviamente la distribuzione nell'ambiente di una miscela di sostanze chimiche è molto più complessa da valutare rispetto a quella relativa ad una singola sostanza. E' necessario decidere a priori se considerare la maggior parte delle sostanze coinvolte o solo i composti rappresentativi. Così ad esempio le miscele di sostanze possono essere trattate come miscele di composti rappresentativi (come PCB, PAH, diossine, metalli pesanti, ecc.), in quanto le metodiche analitiche attuali sono state sviluppate per tali gruppi di sostanze e richiedono un solo percorso analitico per caratterizzare l'intera miscela.

### 3.3.2 *Individuazione dei percorsi di contaminazione*

Una identificazione dei potenziali percorsi di contaminazione è importante, specie nella fase preventiva di progetto delle diverse apparecchiature e sistemi dell'impianto (sistema antincendio, sistema di scarico acque, ecc.) e per la gestione dell'emergenza. Nell'analisi degli eventi storici sono stati individuati vari percorsi di contaminazione, relativi per lo più alla contaminazione delle acque, in modo specifico:

- scarico di acque antincendio nell'ambiente acquatico
- sversamento attraverso il sistema fognante
- scarico insieme alle acque reflue dagli impianti di trattamento
- rilascio diretto (ad es. da tubazione rotta, o guasto valvola)
- sovrariempimento di serbatoio di stoccaggio
- rilascio durante operazioni di carico/scarico (ad es. da nave)
- rilascio da nave
- scarico attraverso il sistema di acque di raffreddamento
- rilascio in atmosfera e quindi successiva contaminazione dell'ambiente acquatico mediante deposizione (particelle o pioggia)
- sversamento attraverso il terreno (ad es. le sostanze pericolose attraversano il terreno ed entrano nell'ambiente acquatico o nella falda acquifera).

### 3.3.3 *Individuazione delle componenti ambientali contaminate*

Una sostanza chimica può causare contaminazione di più di una componente ambientale, come si evince dall'analisi storica degli incidenti accaduti.

- 
- Inquinamento atmosferico: è generalmente il primo effetto della maggior parte degli incidenti, considerando il notevole potere disperdente dell'atmosfera, che però consente, nello stesso tempo, di ridurre la concentrazione degli inquinanti.

Risulta di particolare rilievo, come sempre avviene nel caso di rilasci in atmosfera, la determinazione delle condizioni meteorologiche, come la direzione preferenziale del vento, le inversioni atmosferiche, le precipitazioni e tutti quei fattori che determinano in generale il destino degli inquinanti dell'ambiente.

Conoscendo le condizioni atmosferiche prevalenti, le aree a rischio possono essere spesso individuate rapidamente e con buona approssimazione.

Questo aspetto di contaminazione ambientale non è stato comunque ulteriormente oggetto delle analisi contenute in questo rapporto, visto che i dati reperiti nella Banca Dati BIRD sono risultati poco utilizzabili a tale scopo. Nel caso di rilasci in atmosfera risulta infatti prevalente, nelle fonti di informazione sugli incidenti, l'interesse per i danni subiti a seguito delle ricadute sulle persone esposte o sulle altre componenti ambientali (fauna, vegetazione, ecc.). Pertanto nella classificazione degli incidenti in base alla natura ed estensione dei danni ambientali apportati, non troveremo elaborazioni significative concernenti l'eventuale contaminazione dell'atmosfera.

- inquinamento del suolo : è originato in generale da quegli incidenti che comportano deposizione dei composti rilasciati su piante, animali e suolo. La superficie delle piante, essendo esposta alla deposizione atmosferica, è la parte che inizialmente assorbe la maggior quantità di inquinanti. La contaminazione del suolo può derivare da una estensione della prima deposizione, come ad esempio dalle acque piovane cadute dalla superficie delle piante. Nel caso in cui il suolo sia invece completamente scoperto (es. terreno coltivato), sarà esso il primo recettore di inquinanti.

Ulteriori cause importanti di inquinamento diretto del suolo si hanno a causa di rilasci direttamente sul suolo da stoccaggi, contenitori o pipelines danneggiati; l'area interessata da tali eventi presenta in caso di rilasci massivi un elevato livello di contaminazione che diviene estensivo per via della migrazione degli inquinanti, sia in superficie che in profondità nel suolo.

Le informazioni a riguardo, desunte dalla Banca Dati BIRD e riportate nella figura 27, confermano quanto sopra: il trasporto e lo stoccaggio risultano attività fortemente coinvolte nei casi di contaminazione del suolo.

- Inquinamento delle acque: è generalmente determinato da eventi quali rilasci di inquinanti, sversamenti di acque antincendio nei corsi d'acqua, oppure da infiltrazioni nei corsi d'acqua da suoli e da acque sotterranee contaminati. Appena

---

gli inquinanti vengono rilasciati nelle falde, essi si ripartiscono tra i sedimenti e vengono diluiti. Il grado di contaminazione dei sedimenti dipende dalle proprietà fisiche e chimiche delle sostanze coinvolte nonché dalla dinamica delle acque che ricoprono il sedimento.

I dati BIRD in merito evidenziano il contributo delle varie tipologie di attività industriali che risulta complessivamente inferiore a quello del trasporto, come fonte di inquinamento incidentale delle acque (vedi figura 29).

### 3.3.4 Determinazione della distribuzione degli inquinanti

Alla individuazione delle componenti ambientali contaminate a seguito degli incidenti segue necessariamente una valutazione sia dell'estensione spaziale della distribuzione degli inquinanti sia dei diversi livelli di inquinamento del sito colpito. Un aspetto rilevante è dato dalla conoscenza della tipologia e delle proprietà delle sostanze rilasciate. Particolarmente critica è la conoscenza delle proprietà dispersive delle sostanze chimiche coinvolte.

- distribuzione degli inquinanti nell'atmosfera: dalle scarse informazioni disponibili sul monitoraggio effettuato su atmosfera contaminata successivamente all'accadimento di incidenti chimici, si rileva come tecniche di analisi di campioni di aria prelevati come GC-MS (gas cromatografia e spettrometro di massa) siano estremamente utili per lo studio della distribuzione degli inquinanti. Ma tali strumenti sofisticati non sono purtroppo sempre disponibili sul luogo degli incidenti.

Gli inquinanti emessi da incendi sono i più difficili da studiare data la complessità della chimica della pirólisi.

Come già accennato in precedenza, la componente ambientale atmosferica non è stata considerata di interesse ai fini di questo rapporto, visto che i dati ricavati da BIRD in merito, sono risultati in numero statisticamente non trattabile e affetti da incertezze tali da non consentire elaborazioni significative.

- distribuzione degli inquinanti nel suolo: per determinare l'impatto sul suolo di un incidente è necessaria la valutazione della distribuzione spaziale e della concentrazione degli inquinanti. A tale riguardo possono anche essere eseguite prove sperimentali. Così ad esempio è stato seguito il rilascio di PCB (4) in un terreno a struttura geologica sottostante costituita prevalentemente da riempimento granulare di argilla, fango, sabbia e ghiaia. Sia argilla che fango presentavano molteplici fratture, rendendo così la distribuzione di PCB estremamente eterogenea. La superficie campione analizzata ha mostrato la presenza di aree localizzate ad elevata concentrazione di PCB. I PCB che percolavano dalla

---

superficie venivano trasportati via dai siti contaminati in forma particellare attraverso lo scorrimento delle acque superficiali. L'analisi dei campioni di terreno ha mostrato inoltre una riduzione di concentrazione dei PCB a minor contenuto di cloro, dovuto ad una loro particolare degradazione o migrazione preferenziale o volatilizzazione.

Una ricerca effettuata sulla Banca Dati BIRD, anche al fine di identificare eventuali priorità per sperimentazioni ed analisi specifiche, ha evidenziato le macroclassi di sostanze coinvolte nella contaminazione del suolo da incidenti, come riportato nelle figure n° 30, 31, 32. Si evidenzia, come atteso, la prevalenza del contributo degli idrocarburi, tra i quali i più coinvolti nella contaminazione del suolo da incidenti sono risultati essere: grezzo, benzina e composti aromatici.

- distribuzione degli inquinanti nelle acque: la distribuzione nell'ambiente acquatico a seguito di rilascio accidentale di sostanze pericolose è determinato da un certo numero di parametri. In termini generali, questi si riferiscono alle proprietà intrinseche delle sostanze stesse (persistenza, bioaccumulazione, solubilità in acqua, ecc), al comportamento delle sostanze in ambiente acquatico (evaporazione, sedimentazione, diluizione, reazioni chimiche, degradazione, ecc), le condizioni fisiche dell'ambiente acquatico (flusso, dimensioni, proprietà fisico-chimiche dell'acqua, stato dell'inquinamento, ecc).

Alcuni corsi d'acqua sono continuamente monitorati al fine di verificare la presenza o meno delle caratteristiche chimico-biologiche necessarie per l'utilizzo delle acque e per l'allevamento ittico. Un simile monitoraggio, continuo e dettagliato, fornisce una fonte preziosa di rilevamento di dati antecedenti e successivi all'incidente, importante per lo studio delle conseguenze di quest'ultimo; un monitoraggio accurato degli effetti ambientali degli incidenti favorisce inoltre una modellazione più attendibile della dispersione degli inquinanti.

I fiumi rappresentano componenti ambientali particolarmente critici in relazione all'impatto degli inquinanti in essi eventualmente sversati. Alcune specifiche condizioni, tipo l'elevata turbolenza, possono comunque mitigare l'impatto dei contaminanti garantendone una rapida dispersione.

Anche in questo caso l'esigenza di monitoraggi specifici potrebbe essere orientata dai risultati della ricerca in BIRD, che evidenzia come grezzo, idrocarburi liquidi vari e composti aromatici conservino il primato tra gli idrocarburi coinvolti negli incidenti, mentre tra i non idrocarburi si evidenzia il contributo degli acidi (figure 36, 37, 38).

---

### 3.3.5 Dinamica degli inquinanti nelle diverse componenti ambientali contaminate

La conoscenza delle proprietà fisico-chimiche di un inquinante è essenziale per prevederne l'impatto sull'ambiente. La maggior parte dei composti comunemente usati sono stati ben caratterizzati da questo punto di vista ma, anche per quelli non ancora ben analizzati, il comportamento sull'ambiente può essere previsto dalla conoscenza della struttura chimica e del comportamento di composti simili.

Le sostanze chimiche si ripartiscono tra i vari componenti ambientali in cui vengono rilasciate e tale ripartizione determina, in parte, il tempo di residenza di una sostanza in un dato componente. Per esempio i lipofili, sostanze chimiche non ioniche, hanno una elevata affinità con le componenti organiche del suolo e dei sedimenti superficiali. La loro forte adesione al suolo ed alle particelle dei sedimenti, combinata con una bassa solubilità, comporta percentuali di biodegradabilità minimi, dunque lunghi tempi di residenza nell'ambiente.

Contrariamente composti polari con una biodegradabilità maggiore tendono ad avere tempi di residenza nell'ambiente più brevi.

In dipendenza dalla natura delle sostanze chimiche, le trasformazioni biotiche o abiotiche sono di considerevole importanza per determinare la dispersione degli inquinanti e l'impatto ambientale conseguente. Per esempio il cromo, se rilasciato, persiste nell'ambiente per un considerevole lasso di tempo se non è soggetto a degradazione fisica o biologica. Esso migra molto lentamente sotto la superficie del suolo, poiché tende a fissarsi sui siti di scambio ionico (siti carichi negativamente) come accade per tutti i metalli di transizione. I migliori vettori per la rimozione del cromo dal sito contaminato sono le azioni erosive di acqua e vento nei confronti delle particelle a cui esso si è legato. Le condizioni redox influenzano la mobilità del metallo, ma la maggior parte delle specie metalliche sono relativamente immobili nel suolo. Anche i metalli inquinanti con elevata mobilità nelle soluzioni del suolo, come ad esempio il Cesio, sono trattenuti e comunque riciclati nel suolo dalla macroflora.

Contrariamente ai metalli, la maggior parte dei composti organici (esclusi i polimeri sintetici) si degradano nell'ambiente o mediante fotolisi, o per instabilità chimica o attraverso trasformazioni/ degradazioni microbiologiche. Le velocità con cui tutti questi processi avanzano condizionano il tempo di residenza degli inquinanti in un dato componente ambientale. La stabilità di tutti i composti organici deve essere tenuta presente quando si cerca di valutare il loro impatto ambientale.

#### Modalità di persistenza delle sostanze inquinanti nell'ambiente.

Le principali modalità di persistenza delle sostanze inquinanti nell'ambiente sono tre:

- degradabilità abiotica.

---

I principali processi di degradazione fisica o chimica delle sostanze sono la fotolisi e l'idrolisi. La fotolisi consiste nella conversione fotochimica di una sostanza: il processo fisico di assorbimento di quanti di luce induce ad una reazione chimica di decomposizione della sostanza (fotolisi diretta). Nel caso di fotolisi inversa è l'ossigeno o sono gli acidi contenuti sulla superficie del terreno che assorbono la luce solare per poi reagire con le sostanze da decomporre.

La velocità di decomposizione dipende sia dalle proprietà della sostanza che da fattori ambientali (come l'intensità delle radiazioni solari, ecc.). Si tratta quindi di un processo che avviene in atmosfera o sulla superficie del suolo o delle acque, per cui non interessa le sostanze inquinanti penetrate nel sottosuolo o nelle falde.

L'idrolisi è il meccanismo di decomposizione abiotica più importante nell'ambiente acquatico superficiale e sotterraneo. Si tratta di una scissione della molecola per mezzo di un accumulo di acqua. La velocità di scissione dipende dalle proprietà specifiche della sostanza nonché dal pH della soluzione in cui essa è disciolta.

- biodegradabilità aerobica.

Si verifica nel caso in cui le molecole della sostanza inquinante abbiano struttura e proprietà fisico-chimiche tali da renderla attaccabile da microrganismi o sistemi di microrganismi adatti. Il processo è il più importante meccanismo di decadimento dei composti organici. Il metabolismo di molti microrganismi risulta il più efficiente a tal fine.

- biodegradabilità anaerobica.

Molti microrganismi importanti per la degradazione delle sostanze organiche vivono in condizioni anaerobiche, condizioni che prevalgono nel sottosuolo e nelle acque sotterranee o possono essere create da precedenti decomposizioni aerobiche.

Per valutare il destino ed il comportamento degli inquinanti rilasciati dagli incidenti devono essere sviluppate strategie di campionamento per assicurare che i carichi inquinanti siano adeguatamente quantificati. Per le sostanze chimiche con basso tempo di residenza (dovuto a rapida degradazione biotica/abiotica, alta volatilità o soggetti a rapido trasporto nell'ambiente) si richiede una risposta immediata. Il composto di interesse necessita di immediata estrazione (o adsorbito in una matrice solida per cui ha elevata affinità, o estratto con un solvente adatto). Ogni determinazione temporale di comportamento richiede tempi relativamente brevi tra un campione e l'altro.

Per gli inquinanti più persistenti non è fondamentale un rapido prelievo del campione, ma spesso ci si aspetta che la distribuzione dell'inquinante con l'ambiente possa cambiare velocemente. Per esempio, inquinanti depositati sulla superficie delle piante possono essere dilavati dalle precipitazioni. Per gli inquinanti persistenti non è quindi

---

richiesta la rapida estrazione dalle matrici ambientali; comunque, l'estrazione immediata è preferibile nel caso in cui i comportamenti dei composti di interesse nella matrice ambientale analizzata siano incerti.

Alcuni composti organici come diossina, PCB e PAH possono avere inizialmente alta volatilità, ma le concentrazioni si stabilizzano poi velocemente nel periodo in cui si ripartiscono nel suolo e nei sedimenti. Per i composti relativamente stabili nell'ambiente, i tempi di campionamento devono tener conto della loro persistenza, che varia, per i singoli composti, in base alle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche della matrice in cui sono rilasciati o depositati.

### *3.3.6 Individuazione delle tipologie di danni all'ecosistema*

Focalizzando l'attenzione sull'ecosistema acquatico (corrispondente ad acque superficiali – fiumi, laghi, estuari – e acque marine) che, come accennato in precedenza, risulta essere quello maggiormente colpito dagli effetti ambientali di incidenti chimici, si riscontra, dall'analisi incidentale in merito, che esso include non solo habitat acquatici ma anche altre specie (come insetti ed uccelli) che alimentano tali habitat. In maniera più dettagliata, l'ecosistema considerato comprende:

- organismi marini
- flora acquatica
- alghe/daphnia
- pesci (es. trote, salmoni, pesci marini, anguille)
- invertebrati
- insetti
- uccelli
- specie litoranee
- specie alimentate dagli habitat colpiti
- habitat terrestri connessi con acque di fiumi o laghi contaminati
- popolazione stagionale dell'ambiente acquatico colpito (uccelli migratori o altri animali di passaggio)
- pesci d'allevamento o popolazione di acquacoltura.

---

Gli effetti di sversamenti accidentali su queste specie possono essere devastanti. Vari livelli di danno sono stati registrati:

- completo sradicamento dell'intera popolazione di una specie
- morte di una significativa porzione di popolazione, senza comunque colpire la sua funzione come comunità
- morte di una significativa porzione di popolazione, compromettendo la sua funzione come comunità
- popolazione di specie colpita, ma non sradicata
- specie contaminata ma ancora in vita (rischio di contaminazione della catena di alimentazione)
- semplice inquinamento di una parte di un fiume o di un lago.

In termini di tempo, gli effetti possono essere a breve o lungo termine, ed il periodo di recupero corto o lungo. Un altro fattore importante è rappresentato dalla dinamica della popolazione: è possibile che una specie non sia molto sensibile ad un tipo di inquinante, e sopravviva ad un rilascio accidentale. Se comunque altre specie di cui si alimenta non sopravvivono, allora anche la sua popolazione sarà colpita. Effetti sinergici dall'azione simultanea di molti contaminanti sull'ecosistema possono inoltre incrementare la gravità delle conseguenze.

La velocità di dispersione per gli inquinanti è molto importante per la determinazione dei livelli di danno: piccoli laghi, come sistemi chiusi, risultano maggiormente suscettibili dei fiumi, non solo perché la concentrazione degli inquinanti e la durata di esposizione sono presumibilmente più elevate, ma anche per l'assenza di habitat incontaminati che dovranno rimpiazzare gli organismi scomparsi.

Altre conseguenze, diverse da quelle ecologiche, devono essere considerate. Queste includono l'interruzione dell'utilizzo di acqua potabile per persone ed animali, l'interruzione di acquedotti, danni alla pesca ed al turismo. I costi di bonifica per riportare il fiume o il lago alle condizioni originarie sono di solito molto elevati.

Altra componente ambientale potenzialmente soggetta a contaminazione da sversamenti accidentali è la falda, che non deve essere sottovalutata, anche in relazione ai suoi utilizzi effettivi e potenziali.

---

### 3.3.7 Monitoraggio biologico degli effetti degli incidenti

A causa della diversità biologica della maggior parte degli habitat acquatici e terrestri, il monitoraggio biologico degli incidenti chimici si presenta piuttosto laborioso. In relazione ai danni ambientali di un incidente, esso comporta:

- la valutazione dei livelli di residui negli organismi
- il monitoraggio delle dinamiche della popolazione e della diversità delle specie
- la valutazione dei danni fisiologici, biochimici e comportamentali delle specie

La tabella 4 illustra la gamma di fattori chimici, ambientali e biologici, che influenzano le risposte delle specie agli inquinanti, evidenziando la molteplicità di interazioni che contribuiscono a determinare lo stress subito dalla specie stessa.

Un certo numero di considerazioni devono essere fatte nella valutazione dell'impatto biologico degli incidenti:

- monitorare la risposta di un numero elevato di specie negli habitat colpiti potrebbe essere inutile;
- l'analisi di ogni incidente potrebbe partire dall'identificazione delle specie rare o più sensibili e degli habitat contaminati;
- gli organismi che occupano posti chiave nell'ecosistema, come fonti di alimentazione dell'uomo, o le specie che possono bio-accumulare gli inquinanti sono utili indicatori della salute dell'intero ecosistema;
- informazioni sul numero di specie presenti nell'habitat prima dell'incidente sono utili per valutare l'impatto ambientale di questo, a meno che la mortalità o i danni arrecati non siano facilmente quantificabili;
- la velocità di ricolonizzazione o di recupero del sito contaminato dall'incidente può indicare l'estensione dell'esposizione all'inquinamento prodotto.

Tab. 4 – Fattori biotici o abiotici che influenzano le risposte delle specie agli inquinanti

Parametri chimici dell'agente inquinante	Parametri fisici	Parametri biologici	Situazione biologica finale della specie colpita
- concentrazione	- clima	- tossicità	- mortalità
- mobilità	- terreno	- bioaccumulazione	- patologia
- degradazione	- distribuzione spaziale	- sinergia con altri inquinanti	- livelli residui
- disponibilità biologica	- distribuzione temporale	- esaurimento	- effetti e cambiamenti biochimici
	- capacità respingenti	- mobilità animale	- danni al comportamento
			- capacità riproduttiva
			- metabolismo dell'inquinante
			- immuno - deficienza

Se specie o habitat rari vengono contaminati in vari modi da un incidente chimico, esso si deve considerare rilevante rispetto ai danni creati all'ambiente. Questo approccio è alla base del documento di linee guida sull'interpretazione degli impatti ambientali degli incidenti [11].

I criteri riportati nell'allegato VI del D.Lgs. 334/99 (originati dalla Direttiva Seveso II), forniscono indicazioni sia pure non conclusive al riguardo.

Gli inquinanti in fase gassosa presentano inizialmente il più gravoso impatto sugli organismi terrestri, dato che possono essere velocemente ingeriti ed assorbiti attraverso i polmoni e la pelle degli animali, ed attraverso la cuticola delle piante. Tale scenario si verificò ad esempio a seguito del rilascio di metil isocianato nell'incidente di Bhopal.

Similmente, i composti solubili in acqua hanno il più severo impatto sugli ambienti acquatici.

---

Una valutazione della biodisponibilità richiede sperimentazione e quindi non può fornire una rapida indicazione delle specie a rischio. Misure di livelli residui possono essere più rapide ed indicare che tipo di componenti di un ecosistema sono a rischio e a che livello è entrato un inquinante nell'ambito del ciclo alimentare. La determinazione dei residui è un approccio potente per una iniziale stima dell'esposizione di un ecosistema, specialmente se combinata con un monitoraggio a lungo termine dell'ambiente contaminato.

Alcuni metalli pesanti (come mercurio e cadmio) e molti composti organici lipofilici (che si accumulano nei tessuti grassi di un organismo) bioconcentrano in ecosistemi acquatici e terrestri. La bioconcentrazione (assorbimento di una sostanza in maniera tale che le sue concentrazioni nei tessuti dell'organismo diventano più alte di quelle presenti nell'ambiente circostante), e la conseguente biomagnificazione (accumulazione seriale di un composto chimico attraverso la catena alimentare passando da concentrazioni più basse nelle specie preda a concentrazioni più alte nelle specie predatrici) possono causare severi danni alle specie predatrici. L'individuazione dei residui nelle specie in basso nella catena trofica possono essere preoccupanti, se essi biomagnificano nei predatori.

Se gli inquinanti sono persistenti nel tessuto biologico, i livelli di residuo forniscono chiare indicazioni dell'esposizione dell'inquinante a certe specie. Tali specie possono essere monitori biologici (specie che accumulano l'inquinante o specie chiave nell'ecosistema) dell'ambiente contaminato, specie rare o animali domestici presenti nell'ambiente inquinato.

La correlazione tra i livelli di residui negli organismi e le concentrazioni di inquinanti nell'ambiente può essere utilizzata per valutare la biodisponibilità del contaminante, e tali informazioni possono far prevedere se altre specie sono a rischio. Solo se un inquinante è biodisponibile, o può divenire biodisponibile, potrà causare un rischio per l'ambiente naturale.

Ad esempio per l'incidente di Seveso (1976) sono stati sviluppati studi dettagliati in merito: al momento dell'incidente circa 81131 animali domestici erano presenti nelle zone contaminate, di cui circa 80340 erano conigli, polli ed altri animali di piccola taglia. La più alta mortalità si registrò fra i conigli con il 32% di moria nella zona più contaminata, 8,8% e 6,8% rispettivamente nella zona con contaminazione media e bassa. La mortalità media complessiva per tutte e tre le zone fu dell'8,3%. Gli animali che morirono successivamente all'evento furono sottoposti ad analisi di diossina: su 309 capi analizzati 203 risultarono positivi.

I livelli di residuo sono stati determinati anche in animali domestici a seguito di incendio in fabbrica di trattamento del legno, coinvolgente circa 4500 kg di PCP (pentaclorofenolo) utilizzato in una miscela per il trattamento del legno. Il fuoco produsse una

---

densa nuvola di fumo nero; segnali di esposizione epidermica agli aerosol e veleni PCP si osservarono su oltre 100 residenti nel raggio di 3-5 km dalla fabbrica, e la bassa temperatura di combustione dei PCP (< 900°C) incrementò fortemente il contenuto di diossine e furani nell'ecosistema. L'analisi della loro concentrazione negli animali domestici da foraggio dimostrò il loro ingresso nella catena alimentare.

I livelli di diossina e furani sono stati determinati in specie selvatiche a seguito di un incendio di PCB. Analisi su tessuti animali di diverse specie hanno rivelato che gli animali viventi nelle aree contaminate contenevano nel fegato alcuni congeneri a concentrazioni superiori a 13 volte quelle presenti negli animali stessi. Animali che avevano elevate concentrazioni di diossina e furani nei loro fegati furono ad esempio lombrichi, topi, ragni, rane, colombe, falchi e gufi. Comunque studi in merito conclusero che elevati livelli di diossina e furani non comportavano rischio per la loro salute.

La bioaccumulazione degli aromatici in ambiente estuario è stata studiata a seguito di uno sversamento di creosoto (prodotto di distillazione di catrami) in un ruscello in Louisiana. Le vongole incontaminate furono trasferite nelle stazioni inquinate a valle e in una stazione non inquinata a monte, poi analizzate per individuare la presenza di PAH (idrocarburi policiclici aromatici) a 4 settimane di distanza dopo l'esposizione. La stazione controllata mostrò contaminazione notevolmente minore rispetto agli altri 2 siti a valle. Comunque tale stazione rivelò un accumulo di PAH a 4 settimane di distanza, dopo un iniziale caduta a 2 settimane. Tale modello di caduta ed incremento di livelli di PAH fu attribuito alle maree nel fiume che portarono gradualmente alla contaminazione dei siti a monte.

Studi dettagliati [13] su popolazioni a seguito di incidenti con inquinamento consentono di analizzare l'impatto di un inquinante sull'ambiente e monitorare il suo conseguente recupero. Tale approccio è stato quasi esclusivamente utilizzato per popolazioni acquatiche di invertebrati poiché i livelli di popolazione e le diversità delle specie sono buoni indicatori della salute dell'ecosistema acquatico. In ogni caso esiste un numero limitato di esempi di dinamica di popolazioni floreali a seguito di sversamento di idrocarburi sul suolo.

Ad esempio l'impatto ecologico degli aromatici negli ambienti acquatici fu illustrato da uno sversamento in un fiume di circa 9100 l di una miscela di etilbenzene e creosoto da un serbatoio di stoccaggio. Il rilascio causò un decremento di densità e diversità di popolazioni di pesci e macro invertebrati per circa 5 km dal punto di rilascio. Furono eliminati tutti i maggiori gruppi di pesci, ad eccezione delle sanguinerole. Furono eliminati anche mosche, insetti, larve e molluschi, ma mosche e plecoteri tornarono entro 6 mesi indicando così un miglioramento della qualità dell'acqua. Coleotteri, emetteri, gamberi e alcune lumache sopravvissero all'esposizione.

Sono stati realizzati numerosi studi per la determinazione del recupero ecologico dopo

---

il rilascio di idrocarburi in ambienti acquatici (ad es. studi sui fondi marini successivi a rottura di pipeline di gasolio/grezzo/kerosene). L'impatto e la risposta delle popolazioni di macro-invertebrati mostrano la stessa tendenza generale, indipendente dalla natura dell'inquinante. Il numero e la diversità dei chironomidi e dei lombrichi sono in genere minimamente contaminati e sono i primi a ripopolare e a riprodursi. I plecoteri e le larve sono invece fortemente colpite e lente a rigenerarsi. Le mosche possono essere gravemente o solo lievemente colpite. Le larve dei moscerini si diffondono rapidamente, mentre le larve più grandi dei plecoteri si portano a valle a velocità molto più bassa.

La ricolonizzazione degli insetti acquatici nel basso Reno, dopo l'incidente alla Sandoz di Basilea (1986), indicò che per tutte le specie non più di una generazione è richiesta per il recupero parziale. Il recupero totale della specie si ottenne con 2 generazioni.

C'è un grande numero di danneggiamenti fisiologici e comportamentali che possono derivare da effetti biochimici risultanti da esposizione ad inquinanti. La risposta di una specie individuale ad un singolo inquinante è difficile da prevedere. Ciò rende lo sviluppo di tentativi di valutazione dei danni biochimici da incidenti estremamente difficili da standardizzare.

#### ***3.4. Aspetti caratteristici relativi agli effetti sull'ambiente causati da incendi chimici.***

Gli incendi rappresentano una tipologia di incidenti chimici da cui può essere estrapolata una notevole quantità di informazioni sull'impatto ambientale.

Infatti le componenti ambientali usualmente colpite da tali eventi sono le uniche in cui può essere effettuata un'analisi ambientale post-incidente dettagliata. Le informazioni riportate in questo paragrafo sono state desunte da fonti di letteratura riportanti risultati di ispezioni in campo ed analisi approfondite condotte successivamente a cinque incendi che hanno visto il coinvolgimento di sostanze chimiche di riferimento (1).

E' probabile che analoghe rilevazioni effettuate, in maniera sistematica, sulle altre tipologie di incidenti chimici risultino altrettanto utili per lo sviluppo di metodi di campionamento e per la valutazione degli impatti ambientali degli incidenti medesimi.

Gli incidenti che si prestano meglio ad un'analisi post-incidentale dettagliata sono quelli che causano la contaminazione di ambienti sia acquatici che terrestri e rilasciano inquinanti persistenti (come metalli pesanti o composti organici semi-volatili). In effetti tale tipologia di inquinanti consente uno studio dettagliato della loro distribuzione e, in ambienti adatti, della loro migrazione verso la catena alimentare.

---

L'analisi post-incidentale richiede, per una sua efficace realizzazione, siti possibilmente privi di contaminazione pregressa e facilmente accessibili. Questa tipologia di siti risulta relativamente rara, comunque gli incidenti analizzati in (1) sono stati scelti secondo questi criteri; le informazioni al riguardo ottenute sono sintetizzate nella tabella 5.

Tab. 5 – Esempi di incendi di sostanze plastiche

data	Tipo incidente	Breve descrizione evento	Ambiente contaminato	Inquinanti rilasciati
Ott. '91	Incendio di impianto di riciclaggio di plastica usata.	<p>L'impianto pellettizzava rifiuti in plastica riciclati. Nel momento dell'incendio erano stoccate svariate centinaia di ton di PVC e PE, e un centinaio di ton di PET, PP e ABS. L'impianto era situato vicino ad una proprietà industriale, e confinava con un'area utilizzata per silvicoltura, con piantagione di conifere, vicina ad una foresta di pini scozzesi e faggi.</p> <p>Un iniziale livello di inquinamento durante l'evento fu determinato dalla produzione di HCl, la cui concentrazione, misurata nelle aree residenziali vicine, fu registrata inferiore ai limiti di esposizione fissati da HSE.</p> <p>La plastica fusa dalle fiamme si riversò sul sito adiacente e ricoprì un'area di foresta di 25 x 50 m. Solidificandosi formò uno strato impermeabile costituito da due differenti tipi di plastica, uno nero friabile e soggetto a degradazione, uno grigio massiccio e resiliente, che penetrò nel suolo causando la contaminazione. La sorgente dei 2 diversi materiali contaminanti veniva da diversi settori dell'impianto. Essi probabilmente si sono originati da diversi tipi di plastiche.</p>	<p>Suolo, flora e vegetazione, fauna. Da rilevazioni effettuate, a distanza di 5 anni dalla data dell'incidente, sono state rinvenute tracce di diossina e furani fino ad un km di distanza dall'impianto; presenza di quantità consistenti di metalli pesanti fino a 50 m dal perimetro dell'edificio. In generale è stato registrato un alto livello di contaminazione dell'area circostante l'impianto, con effetti rilevanti sulla vegetazione e sulla colonia di invertebrati del suolo. Tracce di residui biotici attestano la bio-affinità degli inquinanti suddetti, dunque il loro ingresso nel ciclo di alimentazione.</p>	<p>Diossina, furani, metalli pesanti (piombo, antimonio e cadmio)</p>

data	Tipo incidente	Breve descrizione evento	Ambiente contaminato	Inquinanti rilasciati
Feb. '94	Incendio di magazzino di PE	Il magazzino conteneva circa 11000 ton di PE ed era circondato da complessi industriali. Confinava inoltre con un tempio romano situato su area pubblica, su cui sono state ritrovate lastre di amianto e frammenti ivi pervenuti in seguito all'incendio. Il territorio limitrofo era costituito da una estensione erbosa ricca di alberi.	Suolo, flora e vegetazione. Analisi sulle superfici della vegetazione limitrofa hanno rivelato contaminazione da piombo, cadmio e zinco. L'area erbosa contaminata si estende fino a 60 m di distanza dal magazzino. Ritrovate anche consistenti quantità di metalli pesanti.	Metalli pesanti (piombo, cadmio, zinco).
Mar. '94	Incendio di un magazzino di pellicola plastica aderente	Il magazzino conteneva circa 1000 ton di pellicola (una formulazione di PVC fortemente elasticizzata). L'incendio durò 6 ore, richiese circa 30 mila lt di acqua antincendio, che fu poi scaricata nel pozzo adiacente all'impianto collegato a un torrente vicino	Suolo, acque superficiali. Campioni di acqua prelevati dal torrente hanno rivelato, a seguito di analisi, elevate concentrazioni di un metallo pesante (antimonio). Non c'è stata contaminazione della fauna locale. Il terreno adiacente al magazzino presentava elevati livelli di contenuto di piombo.	Diossina. Furani, metalli pesanti (antimonio, piombo).
Feb. '93	Incendio di magazzino di pesticidi	Il magazzino conteneva, al momento dell'incendio, circa 4 ton di mercurio elementare e di pesticidi a base di mercurio. Indagini post incendio nel magazzino combusto hanno rivelato che solo un contenitore di mercurio era stato distrutto e 0,25 ton di mercurio rilasciate durante l'incendio. Analisi effettuate un mese dopo l'incidente sull'acqua contenuta nel serbatoio di contenimento di acqua antincendio rivelarono un alto grado di contaminazione della stessa da sostanze organiche e metalli pesanti.	Acque superficiali, suolo	Pesticidi, solventi, metalli pesanti, idrocarburi poliaromatici

data	Tipo incidente	Breve descrizione evento	Ambiente contaminato	Inquinanti rilasciati
Feb. '94	Incendio di impianto di additivi petrolchimici dovuto ad innesco di nube di cloruro di etile rilasciata	L'incendio coinvolse l'area stoccaggio contenente 50 ton di cloruro di etile. Prima dell'innesco furono rilasciate circa 5 ton di prodotto, che presenta un f.p. molto basso (-40°C). Furono Utilizzati circa 2 milioni di lt di acqua e 230000 lt di schiuma per domare le fiamme.	Acque superficiali	Metalli pesanti (piombo e zinco), stirene, composti organici.

### 3.4.1 Sviluppo di inquinanti rilasciati da incendi chimici

Lo studio condotto su tale tipologia di incidenti evidenzia che gli incendi di sostanze plastiche producono una considerevole quantità di inquinanti: metalli pesanti, composti inorganici (di cui il monossido di carbonio risulta essere il più tossico), composti organici (monomeri di plastiche, idrocarburi poliaromatici clorurati, derivati sostituiti del benzene, ecc.) come si evince dalla tabella 6. Questi vengono dispersi sotto forma di particelle di fuliggine, benchè i composti organici semi-volatili possano essere rilasciati nell'ambiente in fase vapore. La dispersione dipende dalla quantità di sostanze rilasciate, dall'incendio predominante e dalle condizioni meteorologiche.

- Metalli pesanti contaminanti derivanti da incendi di plastiche

I metalli pesanti hanno un ampio raggio di applicazioni nella produzione delle plastiche, come stabilizzanti, antiossidanti, pigmenti e ritardanti di incendio. Composti organo-metallici stabilizzanti sono usati di frequente nella plastificazione ed irrigidimento del PVC. Sali di cadmio, di stagno ed antimonio sono utilizzati come stabilizzanti e plastificanti. L'antimonio è usato anche come ritardante di incendio. L'impiego di stabilizzanti in piombo è generalmente limitato al PVC utilizzato come isolante di cavi e fili, per la loro elevata tossicità e alto peso specifico.

Più del 17% del cadmio totale prodotto è utilizzato come stabilizzante delle plastiche, circa il 24% in pigmenti, di cui l'80% utilizzati nelle plastiche. Una combinazione di sali di acidi grassi di zinco-cadmio e zinco-bario sono utilizzati in modo estensivo per plastisols (PVC + plastificanti), mentre i sali di cadmio-bario sono utilizzati principalmente per il PVC irrigidito.

---

Altri metalli pesanti sono utilizzati in preparazioni di materiali plastici, come coloranti e plastificanti: cobalto, rame, manganese, molibdeno e vanadio. Alcuni studi hanno valutato i metalli pesanti presenti nelle particelle di fumo emesso a seguito di pirolisi incontrollata di plastiche: cadmio, piombo e antimonio risultavano presenti in percentuali diverse nel fumo respirabile e nelle ceneri.

- Gas inorganici prodotti negli incendi di plastiche

I prodotti di pirolisi possono includere molti composti inorganici come CO, ossidi di azoto, HCl, HBr, HF, HCN, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub>. L'acido cloridrico è prodotto dalla degradazione di plastiche clorurate, come PVC, l'HCN invece dai polimeri azotati come nylon, acrilonitrile-butadiene-stirene (ABS) e poliuretani rigidi.

La completa combustione in eccesso di ossigeno di un polimero contenente idrogeno, carbonio e azoto, porta alla formazione di acqua, CO e NO<sub>2</sub>. Quando si è in mancanza di ossigeno, sia che ci sia o non ci sia la fiamma, vengono prodotti gas più tossici. La maggior parte degli incendi si trovano, almeno in alcuni stadi, in difetto di ossigeno, ed il calore generato dalla fiamma causerà la decomposizione del materiale adiacente non ardente. Il CO è il prodotto più tossico derivato dalla pirolisi di 7 tipi di plastiche; al crescere della temperatura di fiamma, la concentrazione di CO prodotto sale, così come quella di HCN, HCl e NO<sub>2</sub>, mentre quella di CO<sub>2</sub> si riduce.

- Inquinanti organici prodotti in incendi di plastiche

La maggior parte degli incendi di grosse dimensioni di plastiche si sviluppa in difetto di ossigeno, per almeno una parte della durata dell'incendio, che porta alla formazione di un ampio range di contaminanti organici.

Studi specifici condotti in merito [12] hanno rilevato la presenza di oltre 450 composti organici nei fumi prodotti da incendi di plastiche. Tali composti includono i monomeri di plastiche, epossidi, idrocarburi policromatici (PAH), idrocarburi, sostituiti del benzene, aromatici clorurati e bifenili.

Le temperature più alte favoriscono la produzione di composti aromatici, come i composti sostituiti del benzene e PAH. Al crescere della temperatura, dagli 800-950°C in poi, la produzione di PAH aumenta del 1000%. Oltre l'1% della massa plastica iniziale è convertita in PAH con pirolisi a 9500°C. Durante un incendio le temperature variano considerevolmente nello spazio e nel tempo, sia in condizioni di fiamma che di non fiamma, ed in condizioni di sufficiente o insufficiente ossigeno. Quindi, la produzione di sostanze chimiche organiche da

---

incendi di plastiche in condizioni sperimentali può essere solo una stima approssimativa su cosa sia attualmente prodotto in condizioni di incendio 'reale'. In ogni caso, tali valutazioni illustrano la potenzialità di inquinare l'ambiente da parte di incendi di grosse dimensioni.

Gli incendi che coinvolgono i composti clorurati possono produrre diossina, furani, composti sostituiti del benzene, bifenili e benzene clorurato in varie quantità. Studi in merito hanno analizzato circa 200 incendi di plastiche clorurate, e nel 90% dei casi, diossine e furani sono risultati presenti in elevate concentrazioni. La massa totale di diossine e furani prodotta nella pirolisi sperimentale di un range di formulazioni di PVC è risultata variare da 1 a 22 mg/kg di materiale combusto.

- Inquinamento ambientale connesso alle acque antincendio

Altra informazione ricavabile dallo studio (1) è che, nei casi analizzati, la contaminazione dovuta allo sversamento dell'acqua antincendio utilizzata per estinzione degli incendi è stata maggiore di quella dovuta a volatilizzazione delle sostanze coinvolte. Questo perchè in fase di spegnimento delle fiamme è stata rilasciata nelle acque superficiali una notevole quantità di sostanze chimiche in forma solida, con effetti dannosi per la fauna acquatica (in uno dei cinque incidenti analizzati si è riscontrata una moria di pesci fino a 40 km di distanza dall'impianto).

I suoli nelle aree ad alta densità industriale sono spesso fortemente contaminati già prima dell'accadimento di un incendio. L'acqua antincendio utilizzata tende a mobilizzare le sostanze inquinanti e, dunque, a disperderle nell'ambiente potenziando l'effetto di contaminazione dello stesso. Probabilmente quindi parte degli inquinanti trascinati dall'acqua antincendio sono frutto di contaminazioni già esistenti, il che può rendere difficile la valutazione degli effetti strettamente conseguenti all'incidente. Inoltre bisogna considerare che gli stessi materiali costruttivi degli edifici di impianti o magazzini coinvolti negli incendi possono determinare effetti indesiderati sull'ambiente in caso di incendio. Basti pensare, ad esempio, ad edifici obsoleti con parti in amianto, che a seguito dei danni provocati dalle fiamme, può essere rilasciato nell'ambiente.

Tab. 6 – principali classi di inquinanti tossici e persistenti nell’ambiente rilasciati da pirolisi di sostanze chimiche organiche

Sostanza organica	Prodotti risultanti da pirolisi
Plastiche clorurate	- PAH
	- alifatici
	- composti del benzene
	- alifatici clorurati
	- diossine e furani
plastiche non clorurate	- PAH
	- alifatici
	- composti del benzene
	- metalli pesanti
Sostanze chimiche clorurate	- PAH
	- alifatici
	- composti del benzene
	- alifatici clorati
Sostanze chimiche non clorurate	- diossine e furani
	- PAH
	- alifatici
Metalli di base e pesticidi	- composti del benzene
	- sostanze organiche
	- metalli pesanti

### 3.4.2 *Impatto sull’ambiente*

L’impatto ecologico provocato dagli incendi analizzati è stato variabile: da effetti praticamente trascurabili a seri danni all’ambiente circostante.

La natura del sito contaminato condiziona ovviamente i successivi effetti su vegetazione, flora e fauna presenti nel sito stesso.

La degradazione delle caratteristiche del suolo comporta una varietà consistente di effetti su queste componenti, che però non sono facilmente evidenziabili se l’habitat colpito risulta già contaminato e, in ogni caso, anche nel caso di sito incontaminato, eventuali loro alterazioni non risultano essere generalmente gli aspetti maggiormente critici in tale contesto (a meno che non si siano evidenziate conseguenze veramente catastrofiche). L’inquinamento degli habitat acquatici comporta invece effetti ecologici più severi.

---

I composti organici clorurati risultano particolarmente critici, in merito all'impatto ambientale, nel caso di incendi di sostanze chimiche, sia per la quantità che per la tipologia di inquinanti rilasciati.

La notevole pericolosità per l'ambiente di tali composti è dovuta al fatto che sono particolarmente stabili. Infatti il legame chimico tra il carbonio ed il cloro, che è il cuore di questi composti, richiede notevoli quantità di energia per essere sciolto. Per questo motivo persistono nell'ambiente resistendo ai processi di degradazione fisico-chimici. Inoltre essi sono generalmente molto tossici, provocando numerosi effetti sulla salute di numerose specie.

### ***3.4.3. Valutazione delle conseguenze biologiche.***

Il monitoraggio biologico è, come visto in 3.3.7, effettuato a lungo termine e generalmente su particolari specie. Nel caso di presenza di specie rare in un habitat contaminato, il monitoraggio viene effettuato proprio su tali componenti dell'ecosistema. Informazioni in merito possono essere ricavate da valutazioni di impatto su specie comunemente colpite (come specie di allevamento o fauna ittica) e da saggi sullo stato della fauna acquatica.

Analisi effettuate sui residui di componenti biotici ed abiotici di un ambiente contaminato da incidente sono in grado di rivelare molteplici informazioni sulla distribuzione, bio-affinità e capacità di trasferimento nella catena alimentare degli inquinanti rilasciati.

Alcuni risultati ottenuti da una valutazione degli effetti biologici degli incendi sono schematizzati in tabella 7.

Tab.7- Effetti biologici degli incendi coinvolgenti sostanze plastiche

Metodo usato per valutare l'impatto	Organismo esaminato	risultato
Residui di metalli	lombrichi, insetti, lumache, erba, pini, piccoli mammiferi	I metalli si sono accumulati nei diversi organismi a tutti i livelli trofici, con concentrazione di Cadmio in alcuni
Residui di diossina e furano	topi	Riscontrati elevate quantità di residui negli animali analizzati, che presentavano ingrossamenti del fegato
Integrità della membrana lisosomiale*	lombrichi	L'integrità delle membrana lisosomiale è stata severamente danneggiata negli animali che vivono nel sito contaminato
alterazione comportamentale	insetti	Alterazione della mobilità e dell'attività
struttura	pini	Decremento del tasso di differenziazione delle specie

\* I lisosomi sono in grado di accumulare e suddividere al loro interno una grande quantità di composti tossici, svolgendo pertanto un ruolo importante nella detossificazione. Molti di questi composti però esplicano un'azione sulle membrane lisosomiali alterando la funzionalità di questi organuli.

Lo stato di salute di un dato organismo può essere quindi determinato analizzando lo stato di attività del sistema vacuolare lisosomiale, valutato generalmente nelle cellule epatiche di vertebrati o nelle cellule della ghiandola digestiva degli invertebrati. Un aumento dell'attività lisosomiale (lisosomi con membrane meno stabili) indica un animale con un metabolismo sbilanciato, in cui il catabolismo delle macromolecole è aumentato. E' importante notare che sia i differenti inquinanti che rilevanti variazioni dei parametri ambientali (temperatura, ossigeno, salinità, ecc.) possono influenzare negativamente questo parametro che risulta essere un indice di stress ideale per identificare qualsiasi alterazione dell'ambiente che possa alterare lo stato fisiologico degli animali.

---

### **3.5 Indicazioni pratiche per il monitoraggio e la valutazione dei danni ambientali causati da incidenti chimici.**

Data la diversità degli incidenti chimici non può essere applicabile a tutti un'unica metodologia di valutazione dei danni provocati. D'altra parte è possibile ricavare degli approcci pratici comuni per studiare gli effetti ambientali:

- categorizzazione degli incidenti chimici e probabili sorgenti di inquinanti stimabili a priori

Un elenco di possibili incidenti prevedibili in impianti fissi con i potenziali effetti inquinanti è riportato in tabella 8.

La tabella può essere confrontata con i grafici riportati nelle figure 3-5.

L'impatto di un incidente chimico dipende da fattori come la tossicità ed il volume delle sostanze rilasciate, la sensibilità delle specie o degli habitat colpiti nei riguardi della sostanza inquinante, l'efficacia degli interventi di emergenza disposti e le condizioni meteorologiche prevalenti. In base a tutte queste circostanze l'impatto ambientale di ogni incidente può variare considerevolmente da trascurabile a rilevante.

Ogni tipo di scenario incidentale può dar luogo al rilascio di più inquinanti, i quali possono essere dispersi in diversi componenti ambientali (atmosfera, suolo ed acque) attraverso un certo numero di vettori.

- strategie per la valutazione dell'impatto sull'ambiente di incidenti chimici

In caso di accadimento di incidente è necessario porsi alcune domande cruciali per individuare le corrette tecniche di analisi e monitoraggio per una valutazione del relativo impatto ambientale.

Un elenco di domande è riportato nella lista di controllo in tabella 9.

Tab. 8 – tipi di incidenti prevedibili in impianti fissi e probabili forme di contaminazione

Tipi di incidenti	Potenziale inquinamento causato
Sversamenti di sostanze chimiche	- contaminazione degli habitat acquatici
	- inquinamento locale del suolo
	- inquinamento delle acque sotterranee
	- inquinamento atmosferico
Incendi di stoccaggi di sostanze chimiche	- contaminazione degli habitat acquatici per effetto dello sversamento di acque antincendio e di rottura di serbatoi di stoccaggio
	- inquinamento locale del suolo per effetto dello sversamento di acque antincendio e della rottura di serbatoi di stoccaggio
	- inquinamento delle acque sotterranee per effetto dello sversamento di acque antincendio e di rottura di serbatoi di stoccaggio
	- inquinamento atmosferico da sostanze gassose combuste e da volatilizzazione di sostanze originarie
	- contaminazione localizzata e dispersa del suolo per effetto della caduta di particelle dall'atmosfera
Incendi che coinvolgono combustibili liquidi e gassosi	- inquinamento atmosferico da sostanze gassose combuste e da volatilizzazione di sostanze originarie
	- danni potenziali ad ambienti acquatici da sversamento di acque antincendio
	- danni potenziali al suolo da sversamento di acque antincendio
Rilasci gassosi di composti volatili	- generalmente solo inquinamento atmosferico a breve termine
	- inquinamento potenziale per alcuni ambienti acquatici
Rilasci gassosi di composti semi-volatili	- inquinamento atmosferico a breve termine
	- inquinamento a lungo termine e potenzialmente dispersivo del suolo
	- inquinamento potenziale per alcuni ambienti acquatici
Esplosione di gas	- impatto ambientale generalmente minimo
	- potenziali danni ecologici da effetti dell' esplosione (effetti domino)

Tab.9 – individuazione delle tecniche e dei programmi di monitoraggio da applicare in seguito ad incidente chimico

domanda	Cosa fare in caso affermativo	Cosa fare in caso negativo
È nota l'estensione dell'area inquinata?	Iniziare un dettagliato campionamento dell'area	Prelevare campioni biologici rappresentativi nelle vicinanze della zona colpita
Sono noti gli inquinanti?	Sviluppare protocolli analitici per i contaminanti e per i prodotti di degradazione	Utilizzare adatte metodologie di screening (ICP, GC-MS) per i contaminanti
Sono coinvolte miscele di sostanze chimiche complesse?	Scegliere adatti indicatori chimici per localizzare l'estensione dell'area inquinata	Individuare l'estensione dell'area inquinata
C'è un gradiente di concentrazione di un contaminante/i lontano dalla sorgente?	È possibile che tale contaminante sia coinvolto nell'incidente, comunque deve essere considerata la storia dell'inquinamento del sito analizzato	È probabile che l'inquinamento da tale contaminante sia precedente all'incidente o che, nel caso in cui sia stato rilasciato durante l'evento, fosse comunque già presente a livelli elevati nella componente ambientale di interesse. E' inoltre possibile che il campione da analizzare non sia stato preso sufficientemente lontano dalla sorgente, tale da poter constatare un gradiente.
Gli inquinanti hanno mostrato effetti su fauna e flora?	Quantificare tali effetti utilizzando una serie di tecniche che includano studi sulla popolazione, analisi sui residui e indicatori biologici	Si può assumere la presenza di effetti minimi su flora e fauna ma un monitoraggio dovrebbe comunque essere regolarmente condotto per appurare che ciò sia vero
Sono messe in pericolo specie o habitat nella possibile area contaminata?	Tutte le risorse disponibili devono essere usate per proteggere tali specie o habitat e un'azione di risanamento ambientale deve essere intrapresa prima possibile	Si può affinare il monitoraggio sugli effetti ambientali
Gli inquinanti presentano lunga permanenza nell'ambiente?	Deve essere iniziato un monitoraggio ambientale a lungo termine sull'ambiente	L'impatto ambientale ci sarà comunque

---

### **3.6 Considerazioni conclusive su valutazione e prevenzione dell'impatto ambientale di incidenti ed incendi chimici.**

Teoricamente la procedura per la valutazione dell'impatto ambientale degli incidenti chimici richiede lo svolgimento di un certo numero di attività per valutare la dispersione degli inquinanti rilasciati/prodotti a seguito dell'incidente ed i danni risultanti.

L'applicazione pratica di tale procedura risulta però estremamente complessa per le seguenti ragioni:

- può non essere noto il tipo di sostanza/e coinvolta/e;
- molti incidenti si verificano in aree urbane e/o industriali già contaminate da una vasta gamma di inquinanti, rendendo così difficile associare gli inquinanti osservati ad uno specifico evento incidentale;
- gli incidenti possono causare il rilascio di più di una sostanza chimica, specie in caso di incendio;
- i prodotti di pirolisi da incendi sono di solito molto differenti e spesso più tossici delle sostanze che subiscono pirolisi;
- gli inquinanti possono essere transitori a causa della loro tensione di vapore e/o caratteristiche di degradazione biologica/chimica, il che rende più difficoltosa la valutazione del loro impatto sull'ambiente;
- non è sempre evidente il tipo di specie o parametro biologico da prendere in esame;
- per molti organismi è necessario considerare la migrazione e l'immigrazione dalle zone contaminate;
- può passare molto tempo prima che gli inquinanti mostrino effetti apprezzabili sull'ambiente;
- è disponibile un numero estremamente ridotto di dati per valutare gli effetti sinergici ed antagonisti delle miscele di sostanze chimiche su fauna, flora e vegetazione.

Data la complessità del problema potrebbero quindi rendersi necessarie notevoli risorse e competenze specifiche per affrontarlo.

Nel caso di risorse limitate, ci si dovrebbe concentrare su eventuali specie o habitat rari minacciati dagli inquinanti rilasciati a seguito dell'incidente, per una valutazione dell'impatto e dei fattori di protezione o risanamento dell'ambiente.

Laddove le risorse risultino disponibili deve essere fatto il possibile per valutare l'insieme dei danni apportati all'ambiente ed applicare le opportune strategie di intervento ai fini della sua protezione e risanamento.

---

Naturalmente, in caso di risorse disponibili limitate, se l'incidente può comportare danni alla salute umana, questo determina le priorità di intervento.

Per quanto concerne invece la specifica problematica degli incendi di sostanze chimiche e del loro impatto sull'ambiente, i riferimenti analizzati evidenziano inoltre che:

- molti degli incidenti analizzati coinvolgono pirolisi di sostanze chimiche, con possibilità di sviluppo di altre sostanze in grado di causare severi danni all'ambiente;
- nelle analisi degli incendi di sostanze chimiche deve essere quindi tenuta in particolare considerazione la chimica di pirolisi;
- gli incendi di plastiche, pesticidi e metalli possono provocare il rilascio nell'ambiente di metalli pesanti;
- gli incendi che coinvolgono organoclorurati possono sviluppare quantità di diossine e furani;
- l'inquinamento risulta in genere fortemente localizzato intorno alla zona di incendio;
- lo sversamento delle acque antincendio è una delle maggiori cause di inquinamento da incendio di sostanze chimiche, per cui è necessario intervenire per evitare contaminazioni consistenti delle acque superficiali;

Questi elementi possono essere utilizzati per focalizzare le risorse necessarie alla protezione dell'ambiente dai rischi di incidenti, nonché per implementare procedure atte a minimizzare la frequenza di accadimento di un incidente ed a proteggere l'ambiente eventualmente coinvolto.

Ad esempio:

- in fase di attuazione delle misure impiantistiche e gestionali di riduzione dei rischi, deve essere adeguatamente considerato l'impatto ambientale connesso agli incendi, in relazione al possibile conseguente rilascio di inquinanti organici ed inorganici;
- è necessario implementare specifiche procedure gestionali di sicurezza per prevenire gli incendi negli impianti o negli stoccaggi che trattino grandi quantità di materie plastiche;

- 
- è necessario implementare adeguate modalità di gestione e smaltimento delle acque antincendio utilizzate;
  - in caso di incendio di sostanze chimiche può risultare conveniente lasciar consumare l'incendio limitando l'intervento al controllo delle fiamme finchè si estingue da solo; ciò chiaramente nel caso in cui le sostanze combuste rilasciate non siano particolarmente tossiche e non ci sia rischio di estensione dell'incendio. In caso contrario è ovviamente imperativo domare le fiamme.

---

#### 4. Analisi degli incidenti con impatto sull'ambiente contenuti nella Banca Dati BIRD

L'obiettivo dell'analisi è stato quello di utilizzare le informazioni contenute nella Banca Dati, tramite opportune rielaborazioni, per trarre elementi utili in merito all'impatto ambientale degli eventi incidentali, sia dal punto di vista delle conseguenze arrecate alle diverse componenti ambientali, sia dal punto di vista delle attività e sostanze pericolose principalmente coinvolte. Il punto focale di tutto il lavoro è costituito dal confronto dei risultati ottenuti dalle suddette rielaborazioni della Banca Dati BIRD con quelli riportati nei precedenti paragrafi, estratti da alcune Banche Dati internazionali e da fonti di letteratura (con particolare riferimento a 2, 3, 4). Complessivamente è già possibile affermare, per quanto evidenziato finora, che la Banca Dati BIRD dell'APAT si rivela, nel confronto, consistente e sufficientemente attendibile nei contenuti, così da poter essere considerata un utile riferimento per le analisi e le valutazioni richieste ed effettuate dall'APAT in questo ambito.

A livello operativo è stata condotta una preliminare revisione generale di tutti gli incidenti inseriti, al fine di completare ed estendere le informazioni relative ad ognuno, evidenziando gli eventuali effetti sull'ambiente con l'inserimento, come già indicato in 2.4, di un nuovo record relativo alla specifica componente ambientale contaminata. Si è quindi proceduto all'aggiornamento dell'archivio informatico con l'inserimento di circa 200 nuovi incidenti. Per ogni incidente è stata poi effettuata:

- un'analisi delle cause (dirette, indirette, generali e specifiche);
- una identificazione e quantificazione degli effetti;
- una valutazione delle misure di emergenza adottate;
- una estrapolazione, ove possibile, di ulteriori elementi utili a fini informativi.

Per la realizzazione di una ricerca mirata e specifica sull'impatto ambientale ci si è avvalsi dell'operazione di filtraggio delle maschere (records) della Banca Dati, operazione ampiamente semplificata (per un uso più facile ed immediato) attraverso una recente specifica modifica apportata alla struttura del BIRD. Il filtraggio consiste in sostanza in una ricerca per "chiavi" degli incidenti rispondenti alla tipologia desiderata e contraddistinta dalla "chiave" di interesse. Nel caso specifico la principale chiave di riferimento è "impat", che caratterizza, in BIRD, gli incidenti con effetti ambientali.

Sono stati individuati 578 incidenti con impatto ambientale su un totale di 4960 eventi al momento archiviati in BIRD, corrispondenti ad una percentuale del 12%, come si evince dal grafico in figura 1.

---

Successivamente, all'interno di questa classe di incidenti, è stato eseguito un lavoro di filtraggio al fine di valutarne la distribuzione secondo diversi parametri di interesse:

- a. tipologia di incidente con conseguenze ambientali (incendio, esplosione, rilascio). Fig.2;
- b. tipologia di componente ambientale contaminata a seguito dei diversi scenari incidentali. Fig. 3-5;
- c. tipologia di attività coinvolte. Fig. 6-7;
- d. tipologia di sostanze inquinanti coinvolte. Fig. 8-12;
- e. principali attività coinvolte per le diverse macroclassi di sostanze inquinanti individuate. Fig. 13-15;
- f. tipologia di cause generali/specifiche degli incidenti. Fig. 16-20;
- g. tipologia di cause generali/specifiche degli incidenti in impianti fissi. Fig. 21-24;
- h. tipologia di conseguenze sull'ambiente. Fig. 25-26;
- i. principali attività coinvolte nella contaminazione delle diverse componenti ambientali. Fig. 27-29;
- j. sostanze inquinanti coinvolte nella contaminazione dei diversi componenti ambientali. Fig. 30-38;
- k. classificazione degli incidenti sulla base delle entità di danni apportati all'ambiente. Fig. 39-42;
- l. sostanze inquinanti coinvolte negli incendi. Fig. 43-45.

Si commentano di seguito le diverse distribuzioni ottenute.

- a. La rielaborazione dei dati BIRD per tipologia di scenario incidentale mostra una netta prevalenza dei rilasci come origine di contaminazione dell'ambiente. Risultano infatti ben 497 casi di rilascio-perdita-spillamento su un totale di 578 incidenti individuati (Fig. 2).

E' importante precisare che nelle ricerche condotte nella Banca Dati sono state incluse (salvo diverso avviso) anche le attività di trasporto, nonostante lo scopo

---

del lavoro sia orientato principalmente sugli effetti ambientali degli incidenti in impianti fissi.

Risultati come quello appena commentato appaiono comparabili con le informazioni già riportate in tabella 3 del paragrafo 3.1.2.

- b. Le componenti ambientali che appaiono maggiormente coinvolti a seguito dei diversi scenari incidentali sono le acque superficiali, la fauna ed il suolo. Per le esplosioni e gli incendi, come era prevedibile, anche l'inquinamento atmosferico risulta essere una conseguenza ambientale più frequente. Lo scenario di maggior interesse è ovviamente, in relazione alla sua maggior frequenza, quello dei rilasci (Fig. 3). I risultati appaiono coerenti, nella sostanza, con la situazione inquadrata dalla tabella 8 relativa alle principali forme di contaminazione associate agli incidenti prevedibili.
- c. Nell'analisi delle attività coinvolte si è cercato di aggregare in classi il più possibile omogenee le diverse tipologie di attività, classificate in BIRD in modo piuttosto ampio e differenziato. L'attenzione è stata concentrata sulle installazioni fisse, dato che queste sono soggette alla Direttiva Seveso II, anche se il trasporto di sostanze pericolose costituisce il 50% delle attività interessate da incidenti chimici con effetti sull'ambiente archiviati in BIRD. Ciò va messo essenzialmente in relazione alle carenze di protezioni e mitigazioni immediate disponibili sul teatro degli incidenti disponibili per la gestione dell'emergenza. Anche se esclusi dal contesto Seveso, gli incidenti di trasporto sono stati comunque inclusi nell'analisi, dato che possono fornire importanti elementi sul destino degli inquinanti nell'ambiente acquatico e sulla estensione delle loro conseguenze. L'industria chimica di processo e lo stoccaggio appaiono le tipologie di attività più a rischio, almeno secondo i dati contenuti nella Banca Dati BIRD. Tra le industrie chimiche di processo il maggior numero di casi riscontrato si riferisce alle industrie di pesticidi/erbicidi, seguite da quelle di produzione/lavorazione degli acidi e di chemicals. A livelli comparabili si pone l'industria di raffinazione e petrolchimica (fig 6,7).
- d. Analisi di maggior dettaglio sono state eseguite riguardo le sostanze coinvolte. Si è cercato innanzitutto di individuare lo stato fisico delle sostanze più frequentemente coinvolte negli incidenti chimici, che nel 58% dei casi è risultato essere quello liquido (figura 8). Il risultato è coerente con i precedenti (prevalenza di rilasci) e con quelli commentati più avanti.

---

Di maggior interesse sono i dati emersi sulle macroclassi di sostanze coinvolte (figura 9): gli idrocarburi risultano dominanti per il 57%, in discreta analogia con le rilevazioni di alcune Banche Dati (tabella 2 paragrafo 3.1.1.). Tra gli idrocarburi, poi, i responsabili del maggior numero di casi incidentali risultano essere grezzo, idrocarburi liquidi e composti aromatici (figura 10), dati attendibili poiché sufficientemente corrispondenti a quelli riportati in tabella 2. Stessa considerazione per i non idrocarburi principalmente coinvolti negli scenari incidentali (figura 11) : cloro, ammoniaca, acidi, cianuri e pesticidi. In particolare per gli acidi, che rappresentano il massimo numero di casi riscontrati, sono state evidenziate le diverse specie di acidi coinvolti. Si nota in figura 12 il rilevante contributo dell'acido solforico. Se si confronta questo dato con le informazioni estratte da altri database (tabella 2) si intravede una certa rispondenza: la tabella associa infatti all'acido cloridrico il primato di frequenza, ma a seguire troviamo immediatamente l'acido solforico; ciò ovviamente in relazione all'esteso utilizzo di queste sostanze.

- e. Una ulteriore analisi condotta sulle sostanze pericolose coinvolte negli incidenti sembra evidenziare che per gli idrocarburi le principali attività a rischio risultano essere in ordine decrescente il trasporto, lo stoccaggio e di seguito l'industria, con una netta predominanza del trasporto che contribuisce per il 68% dei casi di incidenti (fig. 13). Diversamente per i non idrocarburi, fermo restando il primato, anche se meno evidente del trasporto (32%), acquista rilevanza, ovviamente, l'industria chimica di processo (27%), seguita dall'industria più generale ed infine dallo stoccaggio (figura 14).
- f.- g. Per l'individuazione delle cause più comuni di incidenti con impatto ambientale è stata effettuata una prima verifica includendo le attività di trasporto, benchè i dati così ottenuti siano di limitato interesse. Infatti l'attività del trasporto "maschera" il reale risultato poiché grava pesantemente sulla causa "urto" che appare indiscutibilmente come causa prevalente (figura 16).

Un filtraggio sulle cause specifiche mostra come, secondo i dati BIRD, sempre includendo le attività di trasporto, le principali sub-cause di errore umano siano associate a problemi gestionali (mancato rispetto o carenze di procedure) e di manutenzione (figura 17), quelle meccaniche a problemi di corrosione/erosione e malfunzionamenti di valvole (figura 18). L'urto è invece principalmente connesso ad incidenti in mare e stradali (figura 19); infine le cause esterne origine degli incidenti con effetti ambientali sono identificabili principalmente nei movimenti del suolo (terremoti, frane, smottamenti, ecc.) e in atti di sabotaggio (figura 20).

---

Un'ulteriore affinamento della ricerca BIRD, effettuata escludendo gli incidenti di trasporto, ha condotto a risultati differenti: gli errori umani interessano 51 casi su 121 (figura 21), risultando la causa più frequente, seguiti dai difetti meccanici e quindi dalle cause esterne. Si conferma, per le cause specifiche, il problema generale già riscontrato delle carenze gestionali, in termini di procedure di carico/scarico e manutenzione, come origine degli errori umani (figura 22), della corrosione e dei malfunzionamenti di valvole come origine delle cause meccaniche (figura 23), mentre risultano predominanti gli atti di sabotaggio per quanto concerne le cause esterne (figura 24). L'urto in questa seconda estrapolazione non è stato analizzato visto che riveste, per gli impianti fissi, un'importanza decisamente minore. I dati estratti con riferimento esclusivamente agli impianti fissi, risultano in buon accordo con i risultati raccolti dalla UK Public Fire Services riportati in tabella 3 nel paragrafo 3.1.2.

- h. L'introduzione del campo "impact" nella struttura della maschera BIRD ha consentito di valutare la distribuzione degli incidenti con impatto ambientale secondo la tipologia di componente ambientale contaminata. Dal filtraggio si ottiene il risultato mostrato in figura 25, dove è evidente che l'ambiente acquatico è quello più frequentemente colpito dagli eventi incidentali, seguito dalla fauna (soprattutto ittica coerentemente con quanto appena rilevato) e quindi dal suolo e dall'atmosfera. Il risultato può essere considerato attendibile, visto che trova riscontro, oltre che con il senso comune, con quanto riportato nel paragrafo 3.2.
- i. L'attività principalmente responsabile di contaminazioni ambientali, per tutte le componenti, risulta essere sempre il trasporto. Escluso questo, risulta che le acque vengono inquinate per lo più a causa di incidenti interessanti l'industria chimica di processo e gli stoccaggi; il suolo è contaminato principalmente da attività di stoccaggio; la fauna dall'industria in generale e da quella di processo in particolare (figure 27-29).
- j. Proseguendo nell'analisi delle componenti ambientali contaminate a causa di incidenti, sono state individuate le classi di sostanze inquinanti maggiormente coinvolte (figure 30-38).

Prevedibile la predominanza degli idrocarburi per quanto riguarda le acque ed il suolo, mentre per la fauna appaiono lievemente prevalenti i non-idrocarburi per il 56% dei casi.

---

Tra gli idrocarburi i dati BIRD rivelano ancora una volta che grezzo, benzina e composti aromatici primeggiano come contaminanti per tutte le componenti ambientali. Per i non idrocarburi al primo posto compaiono gli acidi, seguiti da ammoniaca, metalli, cianuri e pesticidi in ordine diverso per le tre componenti ambientali.

- k. Si è proceduto tentativamente ad una classificazione degli incidenti chimici con impatto ambientale, sulla base dell'entità di danni apportati all'ambiente, secondo i criteri riportati in (8). Le tabelle in figure 39-42 mostrano i risultati della classificazione degli incidenti chimici in relazione all'entità dei danni o alla contaminazione di acque, flora o fauna o suolo. I dati necessari sono stati in realtà reperiti per un numero limitato di incidenti e con qualche incertezza, poiché pochi sono i casi di incidenti per i quali l'entità dei danni è risultata riportata in modo così dettagliato da poter stimare i parametri presi a riferimento dalla fonte citata. Nonostante ciò si ritiene che tale classificazione possa risultare utile come orientamento in merito all'ordine di grandezza delle conseguenze arrecate all'ambiente in alcuni casi di incidenti "rilevanti".
- l. E' stata infine effettuata una ricerca delle sostanze pericolose coinvolte negli incendi, tipologia di scenario di peculiare interesse nell'ambito delle analisi di impatto ambientale degli incidenti, come già evidenziato in par. 3.4. La percentuale di idrocarburi, il cui contributo è prevalente anche in questo caso, è lievemente più bassa (51%) rispetto al caso generale e pressoché confrontabile con quella dei non-idrocarburi (49%). Si conferma quasi la stessa graduatoria delle tipologie di idrocarburi maggiormente coinvolte, mentre tra i non idrocarburi i casi più frequenti di incendi risultano quelli relativi ai pesticidi, seguiti da alcoli e cianuri (figure 43, 44 e 45).

---

## 5. Conclusioni

L'obiettivo principale del lavoro, che è alla base di questo rapporto, è stato quello di approfondire l'aspetto relativo all'impatto sull'ambiente degli incidenti registrati nella Banca Dati BIRD dell'APAT, al fine di poter estrapolare, da tale approfondimento, delle considerazioni generali, utili per inquadrare l'aspetto della contaminazione ambientale da incidenti nell'ambito della più ampia problematica del controllo del rischio industriale.

Dalle informazioni ottenute tramite rielaborazione dei dati BIRD, considerando la buona coerenza dei risultati ottenuti con quelli desumibili da altre Banche Dati internazionali, che si sono proposte di affrontare una simile tematica, si ricava che:

- gli incidenti chimici con impatto ambientale risultano associati per lo più a scenari di rilascio/perdita di sostanze chimiche. Un contributo apprezzabile, anche se statisticamente meno rilevante rispetto ai rilasci, è fornito, soprattutto in relazione all'elevato numero di componenti ambientali coinvolte e di inquinanti rilasciati, dagli incendi, per i quali in questo rapporto è stata pertanto condotta un'analisi specifica (paragrafo 3.4);

- le sostanze maggiormente coinvolte risultano essere gli idrocarburi liquidi, come era da attendersi in considerazione della loro diffusione e del loro utilizzo. Tra gli idrocarburi, poi, risultano ai primi posti in merito alla problematica della contaminazione ambientale da incidenti, petrolio grezzo, idrocarburi liquidi e composti aromatici. Tuttavia è importante notare che le conseguenze determinate dai derivati del petrolio risultano meno severe, a parità di quantità coinvolte, di quelle create da altre sostanze pericolose per l'ambiente acquatico, principalmente per una migliore capacità e definizione della gestione dell'emergenza.

L'analisi dei non idrocarburi evidenzia una ricorrenza di incidenti con composti del cloro, ammoniaca e acidi (tra cui l'acido solforico e quello cloridrico detengono il primato). Altri composti particolarmente critici appaiono i pesticidi (essenzialmente organoclorurati) e altre sostanze clorurate.

Per l'ambiente acquatico sono emerse ulteriori specifiche sostanze pericolose perché tossiche per gli organismi acquatici: sostanze molto tossiche (cianuri e fenoli e composti) e tossiche (criolite e cumene) persistenti nell'ambiente acquatico; sostanze molto tossiche ma non persistenti in tale ambiente (solfuro di potassio); schiume antincendio e prodotti di pirolisi; rifiuti e scarti di attività minerarie e di impianti di trattamento.

---

Infine va evidenziato come molte sostanze non classificate come pericolose per l'ambiente (ad es. acidi) siano risultate coinvolte in incidenti con severi danni ambientali.

In termini quantitativi una importante conclusione, estrapolata dall'analisi dell'esperienza storica, è costituita dal fatto che quantità estremamente basse di sostanze possono causare spesso gravi danni ambientali;

- un'analisi delle attività principalmente coinvolte negli incidenti con impatto ambientale ha evidenziato risultati coerenti con quelli appena descritti: escludendo il trasporto, che occupa la posizione dominante tra le attività a rischio, l'industria chimica e lo stoccaggio sono più frequentemente responsabili di incidenti "ambientali". L'industria chimica, che vede ai primi posti la produzione-trattamento di pesticidi, acidi e solventi, conferma quanto già accennato al punto precedente relativamente al contributo dei non idrocarburi. Lo stoccaggio conferma invece la criticità degli idrocarburi, per lo più di grezzo e prodotti di raffinazione. Inoltre, sempre per lo stoccaggio, magazzini agrochimici risultano spesso coinvolti negli incidenti con impatto ambientale, poiché presentano rischi elevati in particolare per l'ambiente acquatico;
- le componenti ambientali prevalentemente contaminate risultano essere l'ambiente acquatico (per lo più superficiale), seguito dalla fauna e dal suolo. In queste componenti le sostanze inquinanti rilasciate hanno una diversa persistenza ed evoluzione a seconda delle loro proprietà chimico-fisiche e dipendentemente dalle caratteristiche del sito colpito. In particolare la rete fluviale appare la tipologia di acque superficiali più colpita, principalmente a causa del rilascio di idrocarburi liquidi da attività di trasporto e stoccaggio;
- una ricerca delle cause determinanti gli incidenti occorsi nelle attività svolte in impianti fissi e nel trasporto evidenzia come l'urto risulti essere la tipologia di causa più frequente, seguita da malfunzionamenti meccanici ed errori umani, nel caso in cui si includa il trasporto. Negli impianti fissi prevalgono invece errori umani e difettosità meccaniche, mostrando così la rilevanza di una corretta gestione come misura preventiva. Questo aspetto evidenzia l'importanza dell'implementazione di un corretto sistema di gestione della sicurezza (ai sensi del D.Lgs. 334/99) da parte dei gestori;

---

- un tentativo di classificazione degli incidenti in base alla "entità" di danni apportati all'ambiente ha evidenziato, con riferimento ai parametri proposti in (8), la scarsità nelle fonti di informazioni sugli incidenti. I dati riportati nelle figure 39-42 sono comunque utili per fornire un'idea, in termini generali, dell'ordine di grandezza dei danni all'ambiente provocati dagli incidenti contenuti in BIRD; tuttavia in futuro dovrà essere fatto uno sforzo ulteriore per acquisire informazioni più estese ed attendibili sulla magnitudo degli impatti ambientali degli incidenti.

Il lavoro svolto, consistente nell'utilizzo della Banca Dati BIRD dell'APAT come strumento di supporto per l'individuazione e l'analisi del rischio per l'ambiente associato agli incidenti rilevanti, ha condotto a risultati che trovano un buon riscontro con le informazioni reperite in merito a questa problematica in altre fonti scientifiche a livello internazionale.

Da ciò si deduce, dunque, che la Banca Dati, che continua peraltro ad essere ulteriormente aggiornata ed ottimizzata nei contenuti e nella struttura, può essere proficuamente utilizzata come riferimento per analisi e controlli nelle attività industriali a rischio di incidente rilevante.

Si evidenzia però la necessità di migliorare la fase di raccolta ed analisi delle informazioni sugli incidenti, in particolare per quanto riguarda l'entità delle conseguenze ambientali; da questo punto di vista diventa pertanto fondamentale la costituzione della rete informativa sugli incidenti di livello nazionale, con il coinvolgimento degli organi tecnici preposti ai controlli sul territorio, in primo luogo del Sistema delle Agenzie Ambientali e del Corpo Nazionale dei Vigili Del Fuoco.

---

# ALLEGATO I

## **INFORMAZIONI SU ALCUNI INCIDENTI STORICI CON CONSEGUENZE SULL'AMBIENTE ACQUATICO**

Informazioni su alcuni incidenti con conseguenze sull'ambiente acquatico sono state raccolte da varie fonti ed analisi e riportate nel seguito. I database di origine delle informazioni comprendono: MARS (Major Accident Reporting System), IRC (International Rhine Committee), ENVIDAS (Environmental Incident Data Service), ARIA-BARPI dbase, vari rapporti e letteratura scientifica.

### **1. Acque antincendio contaminate con pesticidi**

- Data/luogo: 1 Novembre 1986 – Schweizerhalle (Basel), Svizzera.
- Sostanze coinvolte: acque antincendio contaminate da una varietà di pesticidi. Principalmente insetticidi organofosforici (dichlorvos, disulfoton, parathion, ecc), pesticidi a base di mercurio, di zinco e vari (endosulfan, DNOC). La maggior parte di essi sono sostanze classificate come R50/53.
- Quantità rilasciate/stoccate/trasportate: la quantità complessiva di pesticidi stoccati era pari a 680 t, di cui circa 6-22 si stima sversate nel fiume (circa l'1-3% dell'inventario).
- Descrizione: 'acqua antincendio, usata per spegnere un incendio in un magazzino agrochimico, fu scaricata nel fiume Reno. Questo causò un inquinamento esteso del fiume per effetto di pesticidi ed insetticidi, compresi alcuni a base di mercurio e zinco. I livelli di mercurio nel fiume furono registrati pari a 3 volte quelli limite. 50000 m3 di suolo circostante il sito fu contaminato principalmente con mercurio e fu necessario bonificarlo. La contaminazione degli strati superficiali comportò il divieto di abbeveraggio del bestiame, la chiusura degli acquedotti sia in Germania che in Olanda per l'inquinamento, la necessità di utilizzo di forniture di emergenza. Effetti negativi sulla pesca e sul turismo nella parte francese. Pompe da vuoto furono utilizzate per rimuovere il mercurio dal letto del fiume. La bonifica del sito fu completata 3 mesi dopo e con un costo di 10 milioni di franchi svizzeri.

- 
- Conseguenze: massiccia moria di pesci e organismi acquatici nel Reno. Organismi di fondo marino ed anguille furono completamente eliminati fino a 400 km a valle. Le tre specie di pesci maggiormente colpite furono trote, temoli, e anguille. Moria di mezzo milione di anguille (circa 200 t), e la popolazione di anguille fu contagiata per anni fino a 650 km a valle. Tutti i temoli e le trote fino a 150 km dal punto di sversamento morirono, e tali specie furono contaminate fino a 450 km a valle. Macro invertebrati furono inoltre sradicati vicino al punto di rilascio e la loro popolazione fu colpita fino a notevole distanza. Un gran numero di uccelli ed insetti rimasero vittime dall'inquinamento. Il grave impatto dello sversamento può essere stato dovuto ad effetti sinergici di pesticidi, con il fattore addizionale dell'inquinamento cronico esistente nel Reno. Dopo un anno, e dopo estese operazioni di bonifica e di ripopolamento di anguille ed altre specie ittiche, la maggior parte delle specie fu recuperata.
  - Lezioni apprese:
    - a. Tipo di sostanza. Le sostanze coinvolte in uno dei disastri più conosciuti sono pesticidi ed insetticidi. La classificazione della maggior parte di essi riguardo agli effetti sull'ambiente è R50 e R50/53.
    - b. Effetti sinergici. Molti contaminanti agiscono simultaneamente sull'ecosistema, con possibili effetti sinergici in aggiunta all'inquinamento cronico del fiume.
    - c. Tipologia di stabilimento. Si trattava di un magazzino agrochimico in cui venivano stoccati solo prodotti chimici (pesticidi, erbicidi, insetticidi). Simili attività risultano spesso coinvolte in incidenti chimici ambientali.
    - d. Percorso di contaminazione. Scarico nel fiume di acque utilizzate per lo spegnimento dell'incendio. Si tratta di un percorso molto comune di contaminazione dell'ambiente acquatico. Di solito seri danni all'ecosistema sono causati da incendi negli stoccaggi chimici. Ciò è dovuto ai consistenti volumi di acqua antincendio riversati negli ambienti acquatici e della complessa miscelazione di schiume antincendio, pesticidi, prodotti di formulazione e prodotti di pirolisi risultanti da un incendio. Tale percorso di contaminazione deve essere tenuto presente in fase di progetto del sistema antincendio e del sistema di scarico in fogna di uno stabilimento. Deve inoltre essere considerato nel piano di emergenza.
    - e. Estensione delle conseguenze. Gli effetti furono devastanti e si estesero all'intero ecosistema acquatico: sradicamento delle forme di vita nei primi 150 km, estinzione di alcune specie (anguille) per oltre 400 km, danni alla popolazione per oltre 650 km, moria di uccelli, invertebrati ed insetti furono le conseguenze dirette del disastro. Altre conseguenze, come l'interruzione di acqua potabile e acquedotto, danni alla pesca e al turismo, devono inoltre essere considerati, così come le spese per la bonifica del territorio.

- 
- f. Conseguenze ecologiche in relazione alle quantità rilasciate. Dall'analisi dell'incidente si può concludere che quantità estremamente piccole possono causare gravi danni ambientali.
- g. Quantità rilasciate in relazione a quelle presenti nello stabilimento. La quantità rilasciata può rappresentare solo una piccola percentuale dell'inventario dello stabilimento (in questo caso solo 1-3%). È da notare che in termini di quantità presenti nello stabilimento, le sostanze R50/53 assommavano a più di 400 t e, secondo l'allegato I della Seveso II, tale stabilimento sarebbe stato soggetto solo agli articoli 6 e 7, non all'articolo 9. Con i valori di soglia proposti dal gruppo di lavoro europeo citato nel paragrafo 3.2.1, lo stabilimento sarebbe invece soggetto all'articolo 9 della Direttiva Seveso II.

## **2. Scarico di sostanza altamente tossica per l'ambiente**

- Data/luogo: 15 Settembre 1983 – Drogobych, Ucraina.
- Sostanze coinvolte: sali di potassio, principalmente solfati e solfuri. I solfuri di potassio sono classificati come molto tossici per l'ambiente acquatico (R50), mentre altri sali sono anche persistenti (R50/53).
- Quantità rilasciate/stoccate/trasportate: Furono rilasciate grandi quantità di soluzioni di sali di potassio (circa 4,5 milioni di metri cubi).
- Descrizione: severi danni ambientali a seguito del crollo di una parete di sostegno di uno stoccaggio di rifiuti di un impianto di fertilizzanti, con rilascio di vaste quantità di sali di potassio concentrati (soprattutto solfati) nel fiume Dniester. La soluzione di sali affondò nel fiume e poi si mosse lentamente accumulandosi alla base di una diga, la quale impedì l'estensione dell'inquinamento alle altre città a valle.
- Conseguenze: fauna e bestiame che bevvero l'acqua del fiume morirono. Oltre 2000 t di pesce rimasero uccisi, e 360 miglia del fiume Dniester rimasero inquinati. Tutte le piante acquatiche, alghe e la maggior parte di sistemi biologici nel fiume furono distrutti. 500 acri di campagna furono inondati e contaminati dalla soluzione di sali. Il ripristino del terreno durò molti anni, per effetto dei gravi danni ambientali subiti dal fiume.
- Lezioni apprese:
  - a. Tipo di sostanze. Anche se la maggior parte delle sostanze coinvolte nell'incidente sono classificate R50 (altamente tossiche, ma non persistenti), gli effet-

---

ti furono devastanti. Senza dubbio, se gli effetti acuti sono estremamente severi, il danno all'ecosistema è alto ed il recupero lungo, anche se le sostanze non sono persistenti.

- b. Percorso di contaminazione. La causa dell'incidente fu il collasso del muro di sostegno dei rifiuti nell'impianto di fertilizzanti. Benché diverse siano le cause di altri incidenti coinvolgenti scarichi di rifiuti nell'ambiente acquatico, le cause sostanziali furono un cattivo progetto del sistema ed una ridotta difesa contro lo sversamento.
- c. Estensione delle conseguenze. L'incidente fu considerato un disastro ecologico: 2000 t di pesci morti e completo sradicamento dell'ecosistema. Senza dubbio, l'entità del danno fu dovuta all'elevata quantità di soluzione di sali di potassio rilasciata nel fiume.

### **3. Rilascio di pesticidi - agricoltura**

- Data/luogo: 4 Maggio 1995 – Erre, Francia.
- Sostanze coinvolte: pesticidi, la maggior parte dei quali classificati come R50 o R50/53.
- Quantità rilasciate/stoccate/trasportate: non specificate.
- Descrizione: in un magazzino agricolo si verificò uno sversamento di pesticidi nel fiume Erre, a causa di un errore umano nelle operazioni di trasporto dei materiali.
- Conseguenze: il fiume Erre fu inquinato per circa 12 km dal punto di scarico. Ciò causò la morte di un significativo numero di pesci nel fiume e nel vicino allevamento.
- Lezioni apprese:
  - a. Tipo di sostanze. Pesticidi.
  - b. Tipo di stabilimento. Si tratta di un magazzino agricolo, dove venivano stoccati pesticidi. I processi erano semplici processi fisici, come miscelazione, diluizione, ecc. E' apparso che anche un semplice stabilimento ha le potenzialità di causare un incidente rilevante, relativamente agli effetti ambientali. Inoltre, la presenza di un allevamento di pesci nelle vicinanze di una potenziale fonte di inquinamento illustra una differente dimensione del problema della pianificazione del territorio attorno alle attività a rischio.

---

#### 4. Rilascio di derivati del petrolio

- Data/luogo: 2 Gennaio 1988 – Floreffe, Pennsylvania, USA.
- Sostanze coinvolte: diesel fuel, classificato come R51/53.
- Quantità rilasciate/stoccate/trasportate: circa 12500 t rilasciate, pari all'intera quantità di prodotto stoccata. Comunque, solo circa 2400 t di fuel furono rilasciati nel fiume Monongahela e trascinate più in là nel fiume Ohio.
- Descrizione: l'incidente fu causato dal collasso di un serbatoio di stoccaggio di prodotto, per effetto di una falla nel fondo del serbatoio. Il collasso di un serbatoio contenente circa 11000 t di diesel e la perdita da un altro serbatoio vicino contenente benzina, portò allo sversamento totale di circa 12500 t di diesel e benzina. Per la quantità rilasciata si creò un'ondata di olio che scavalcò i bacini di contenimento delle apparecchiature fino ad entrare nel sistema di scarico acque bianche, con rilascio di circa 2400 t nel fiume Monongahela.

L'olio si sparse per circa 100 miglia a valle del punto di rilascio. Più di 80 comunità persero la propria fornitura d'acqua (più di 1 milione di residenti) e numerose attività furono obbligate a interrompere temporaneamente le attività, appena la fornitura idrica fu interrotta. La Guardia Nazionale controllò le operazioni di bonifica che terminarono dopo più di 4 mesi, con un costo superiore agli 11,4 milioni di dollari.

- Conseguenze: il fiume si inquinò per più di 100 miglia dal punto di rilascio. Circa 2000-4000 uccelli morirono, compresi anatre, gavie, cormorani, oche canadesi. Si tentò di lavare gli uccelli contaminati dall'olio; così molti furono salvati. Si verificò anche una moria di pesci. Fu monitorato l'impatto sulla popolazione di allevamenti di mitili.
- Lezioni apprese:
  - a. Tipo di sostanze. Le sostanze coinvolte nell'incidente furono distillati di petrolio, principalmente fuel diesel e piccole quantità di benzina. Successivamente CONCAWE (Conservation of Clean Air and Water in Europe – organizzazione europea delle compagnie di petrolio, per ambiente, salute e sicurezza) ha proposto di classificare tali sostanze come R51/53. Distillati medi e pesanti (oli minerali) risultano infatti coinvolti in molti incidenti con impatto sull'ambiente.
  - b. Percorso di contaminazione. La causa fu il collasso (cedimento strutturale e trabocco) del serbatoio di olio. La vasta contaminazione del fiume fu dovuta al fatto che l'olio oltrepassò i bacini di contenimento delle apparecchiature e si riversò nel vicino sistema di acque bianche. Nonostante non sia facile prevedere una barriera difensiva in casi come questo, lo scarico delle acque risulta

---

coinvolto in molti incidenti, e per tale ragione tale percorso è da tenere in considerazione nel progetto dell'impianto e nella gestione dell'emergenza.

- c. Estensione delle conseguenze. Le conseguenze sono tipiche di questa categoria di incidenti, caratterizzati da un elevato numero di uccelli morti e contaminati, estese macchie di petrolio sul fiume, interruzione di approvvigionamento idrico per la popolazione, intossicazione di organismi acquatici. In merito a quest'ultimo aspetto, è necessario evidenziare che tali effetti non sono gravi come quelli causati da altre sostanze R50/53 o R51/53.
- d. Conseguenze ecologiche in relazione alle quantità rilasciate. Dall'analisi dell'incidente si può concludere che quantità di sostanze relativamente limitate (se paragonate ad es. a quelle coinvolte nei grossi incidenti di trasporto in mare) possono tuttavia causare severi danni ambientali. La quantità di diesel sversata nel fiume risultò pari a circa 2400 t.

#### **5. Rilascio di sostanza 'non tossica per l'ambiente'**

- Data/luogo: 21 Gennaio 1995 – Quebec, Canada.
- Sostanze coinvolte: acido solforico concentrato, classificato come corrosivo (C, R35), ma per il quale non è indicata tossicità per l'ambiente acquatico.
- Quantità rilasciate/stoccate/trasportate: 234 m<sup>3</sup> rilasciati.
- Descrizione: a seguito di deragliamento di un treno che trasportava acido solforico concentrato, si verificò il rilascio del prodotto, con successivo inquinamento del lago e fiume vicini.
- Conseguenze: la vita acquatica nel lago fu eliminata. La riproduzione delle specie indigene potrebbe essere stata colpita a lungo termine.
- Lezioni apprese:
  - a. Tipo di sostanze. Acido solforico, classificato come corrosivo ma non come pericoloso per l'ambiente acquatico. Similmente, sono stati registrati altri casi incidentali coinvolgenti sostanze non attualmente classificate come pericolose per l'ambiente.
  - b. Tipo di attività. L'incidente avvenne durante il trasporto della sostanza. In effetti il trasporto è una delle attività in cui si verificano statisticamente incidenti con contaminazione ambientale, forse anche più frequentemente che nelle installazioni fisse. Le particolari caratteristiche del trasporto rendono piuttosto difficili la corretta pianificazione e la disponibilità di adeguate misure e procedure di gestione dell'emergenza.

- 
- c. Estensione delle conseguenze. Il danno all'ecosistema ed il lungo periodo di ripristino rendono l'incidente grave, anche se la sostanza coinvolta non è classificata come pericolosa per l'ambiente. Una ulteriore conclusione scontata è che l'ambiente del lago è più suscettibile di quello del fiume poiché trattato di sistema chiuso.

## **6. Rilascio di scarti da miniera - Donana**

- Data/luogo: 25 Aprile 1998 – Aznalcollar, Spagna.
- Sostanze coinvolte: scarti da miniera di zinco contenenti acque acide e fanghi ricchi di metalli (Zn, Cd, Pb, As).
- Quantità rilasciate/stoccate/trasportate: circa 5 milioni di m<sup>3</sup> rilasciati.
- Descrizione: dopo il parziale cedimento della diga di un lago della miniera di zinco in Aznalcollar, a nord delle paludi di Guadalquivir (Donana) nella Spagna del sud, furono rilasciati circa 5 milioni di m<sup>3</sup> di rifiuti metallici nel fiume Guadiamar. Tale materiale contaminò terreni agricoli e sottomarini per più di 40 km a valle, includendo anche i 900 ettari di 'Entremuros', un'importante area protetta per uccelli, all'interno del sito protetto Donana.
- Conseguenze: il pH nelle Entremuros scese da 8,4 a 4, i livelli di Zinco, Cadmio e Piombo salirono rispettivamente sopra a 270000 µg/l, 900 µg/l e 2500 µg/l. Tali concentrazioni risultano tossiche per un ampio range di organismi marini, di estuario e d'acqua dolce, e quindi ne risultò la moria di considerevoli quantità di pesci ed invertebrati. Inoltre, metalli rilasciati durante l'incidente si sono inseriti nella catena alimentare di diversi uccelli e presentano un rischio considerevole per le specie che si alimentano della flora dell'area.
- Lezioni apprese:
  - a. Tipo di sostanze. Scarti da miniera di zinco, contenenti acque acide e vari metalli
  - b. Tipo di stabilimento. L'incidente avvenne in una miniera di zinco e si deve notare che l'industria estrattiva è stata esclusa dagli obblighi della Seveso II. Comunque ci sono sorprendenti somiglianze con l'incidente che avvenne 2 anni dopo in Romania (31 Gennaio 2000), in una miniera d'oro in Baia Mare. Tale incidente provocò la contaminazione con cianuri dei fiumi Tisza e Danubio, ed ebbe effetti devastanti sull'ambiente acquatico. La Direttiva è stata rivista anche alla luce di tali eventi coinvolgenti le fasi di lavorazione finali in miniere, considerati equivalenti agli stoccaggi di grandi quantità di materiale tossico nelle installazioni fisse.

---

c. Estensione delle conseguenze. Il danno all'ecosistema e l'importanza rivestita dalla riserva naturale della Donana rese l'evento rilevante. Infatti, gli incidenti occorsi a Donana e a Baia Mare, insieme a quello della Sandoz e ad una serie di rilasci di petrolio in mare, costituiscono i più gravi disastri ecologici in Europa negli ultimi 20 anni. È necessario evidenziare l'importanza di evitare l'inserimento di contaminanti nella catena alimentare. Inoltre, è necessario riconoscere la dimensione ecologica della pianificazione del territorio.

## ALLEGATO II

### FIGURE

Fig. 1

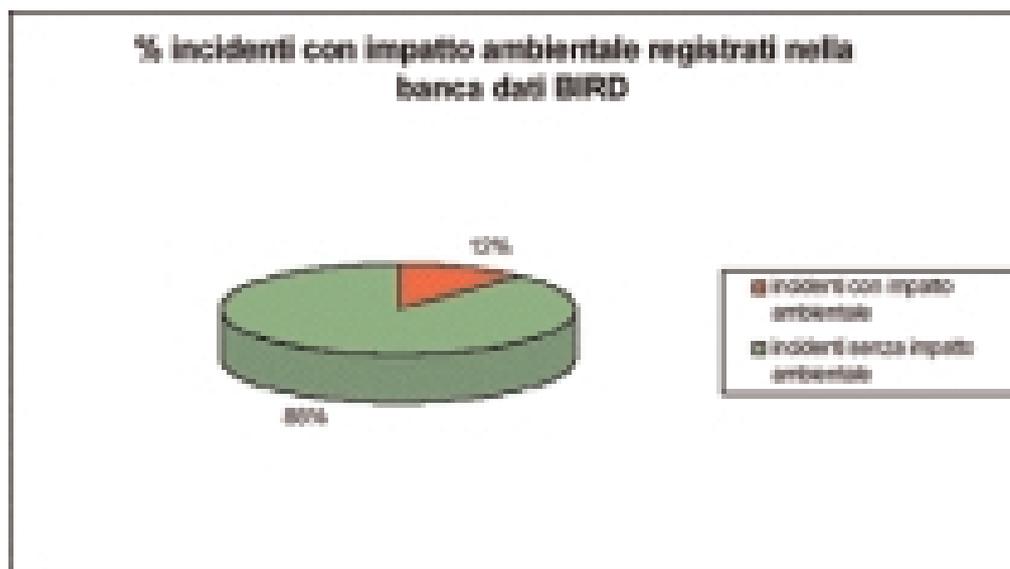


Fig. 2

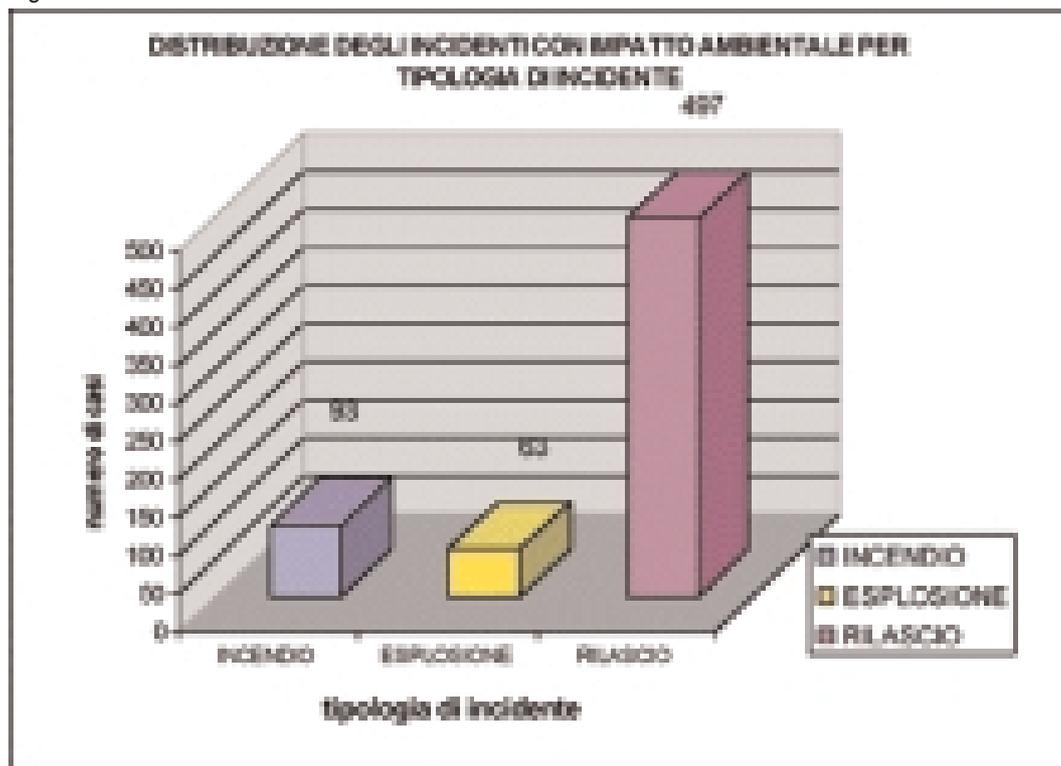


Fig. 3

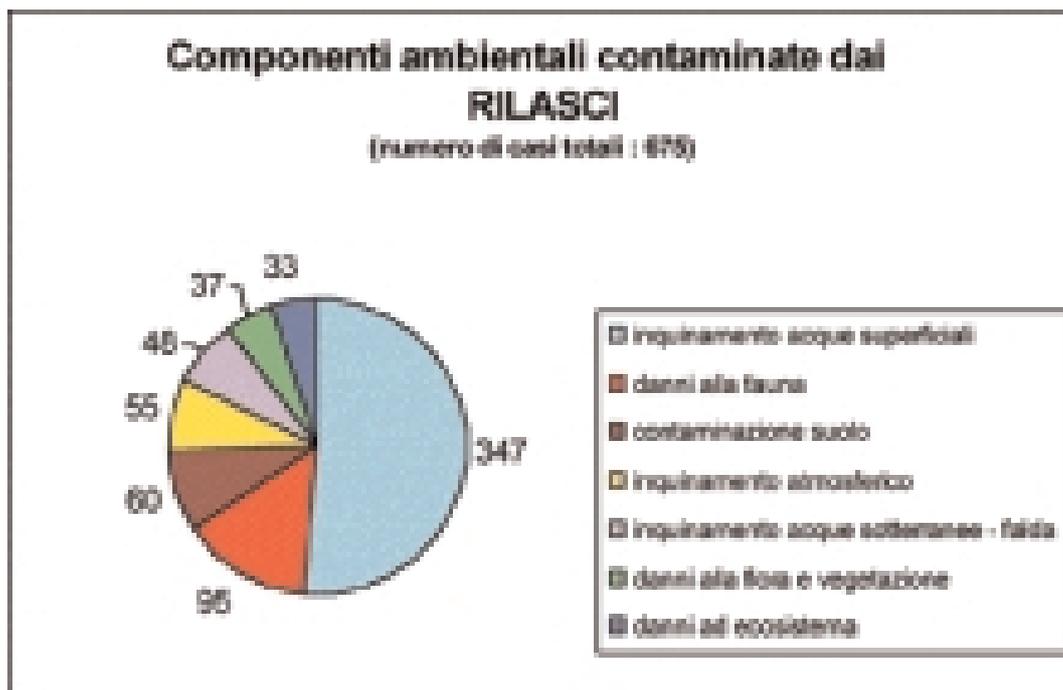


Fig. 4

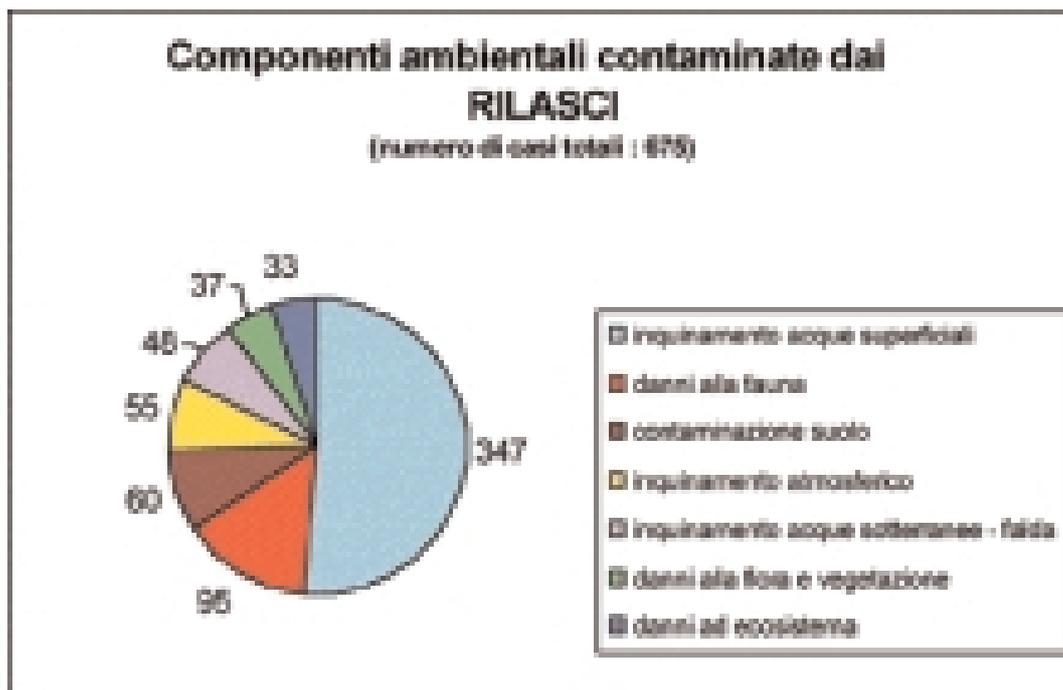


Fig. 5

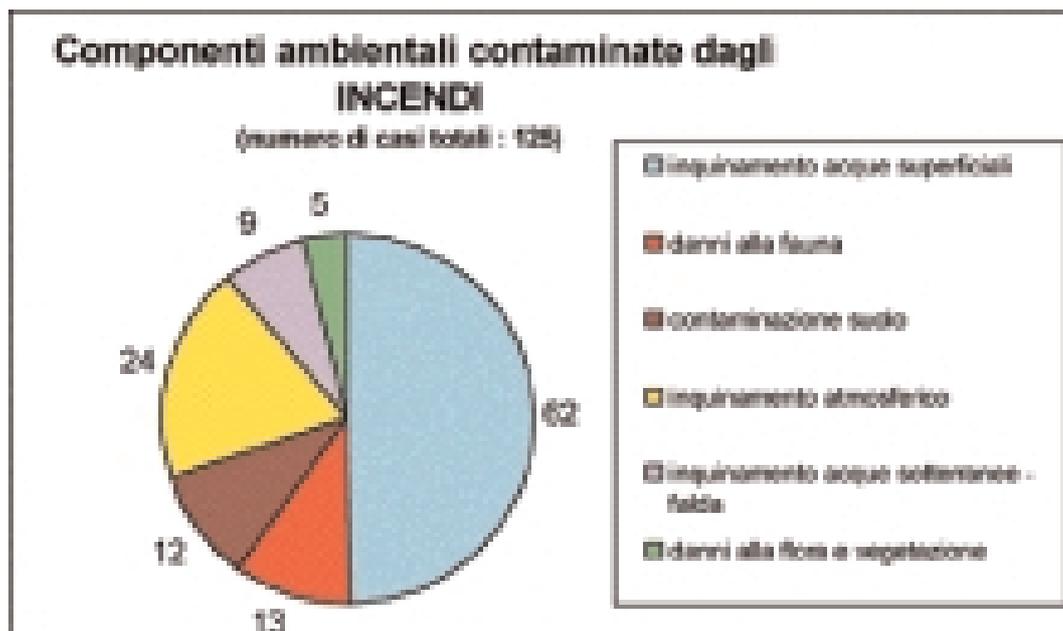


Fig. 6

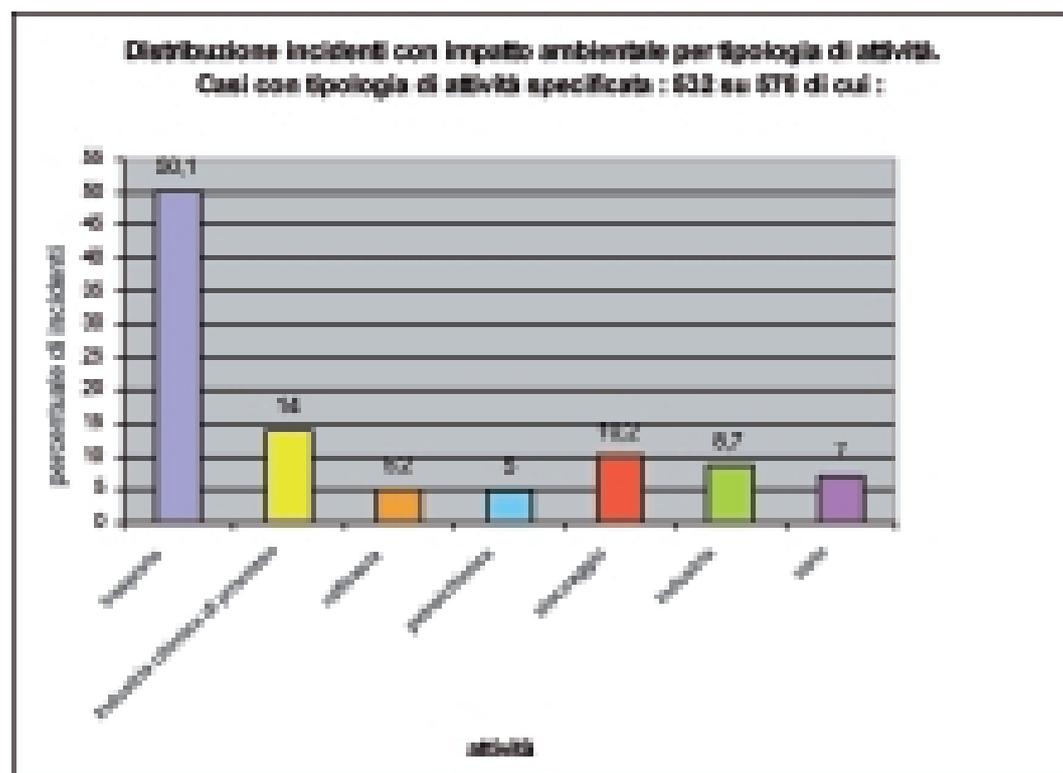


Fig. 7

**DETTAGLIO TIPOLOGIE DI ATTIVITA' NELLE CATEGORIE: IND. CHIMICA,  
INDUSTRIA, VARIE**

Industria Chimica di Processo	Numero di casi
pesticidi-erbicidi-fitofarmaci	24
acidi	13
chemicals	13
chimica	5
vernici-solventi-resine	5
processi vari	4
fertilizzanti	4
coloranti	4
ricerca	2
pneumatici	2
<b>Tot</b>	<b>76</b>

Industria	Numero di casi
alimentare	7
centrali term/elettr	7
manifatturiera	6
metalli	6
galvanica	5
smaltimento rifiuti	4
distilleria	2
acciaio	2
nucleare	2
tessile	1
elettronica	1
cartiera	1
fonderia	1
cementificio	1
amianto	1
<b>tot</b>	<b>47</b>

VARIE	Numero di casi
estrazione gas/petrolio/metalli	12
carico/scarico	9
civili	8
trattamento acque	6
agricoltura	2
militare	1
<b>Tot</b>	<b>38</b>

Fig. 8

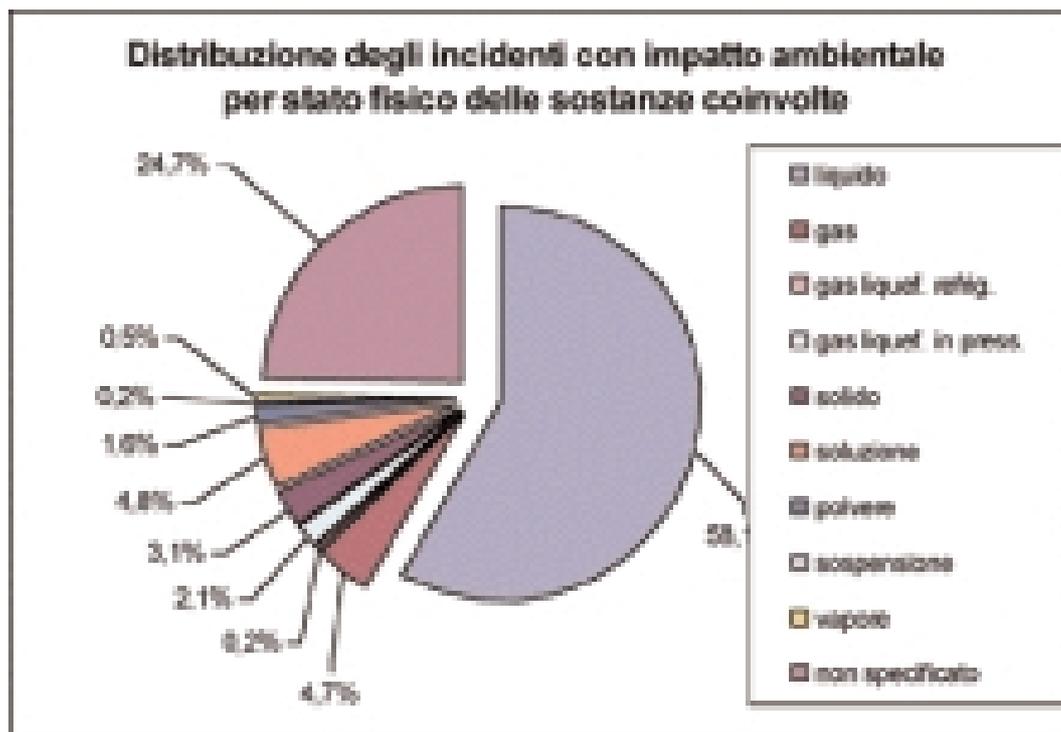


Fig. 9

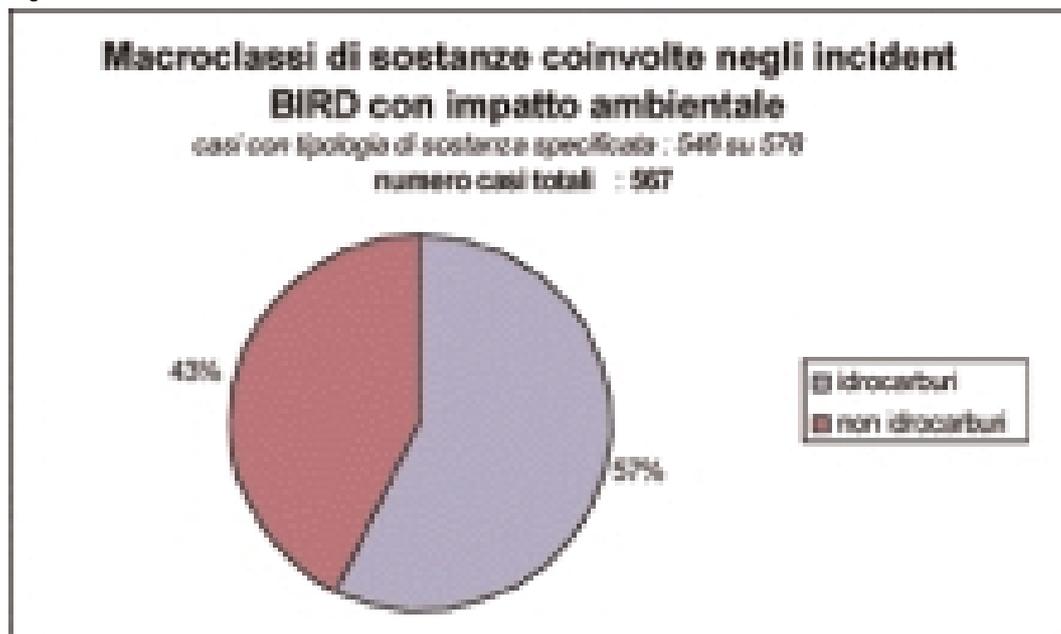


Fig. 10

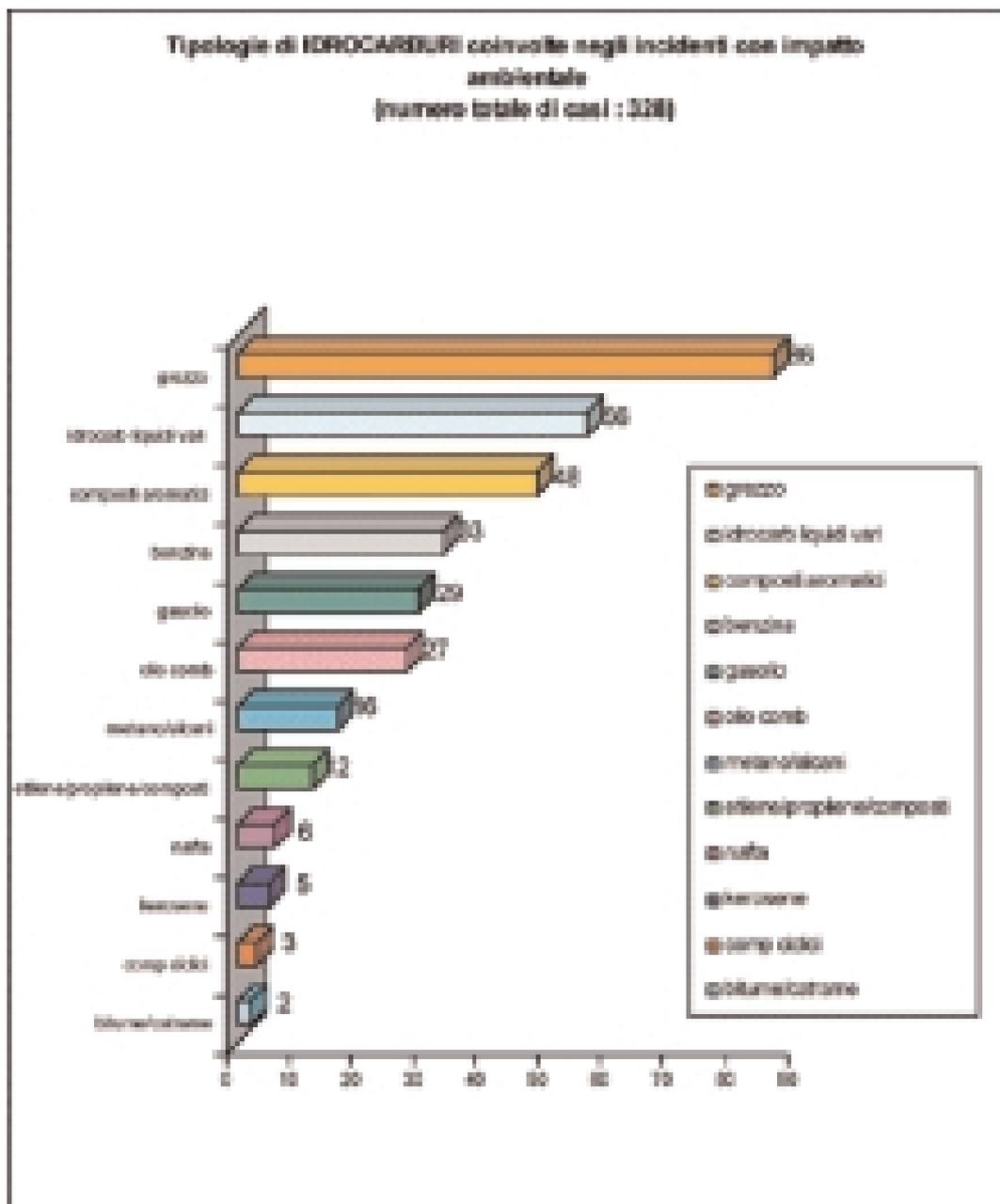


Fig. 11

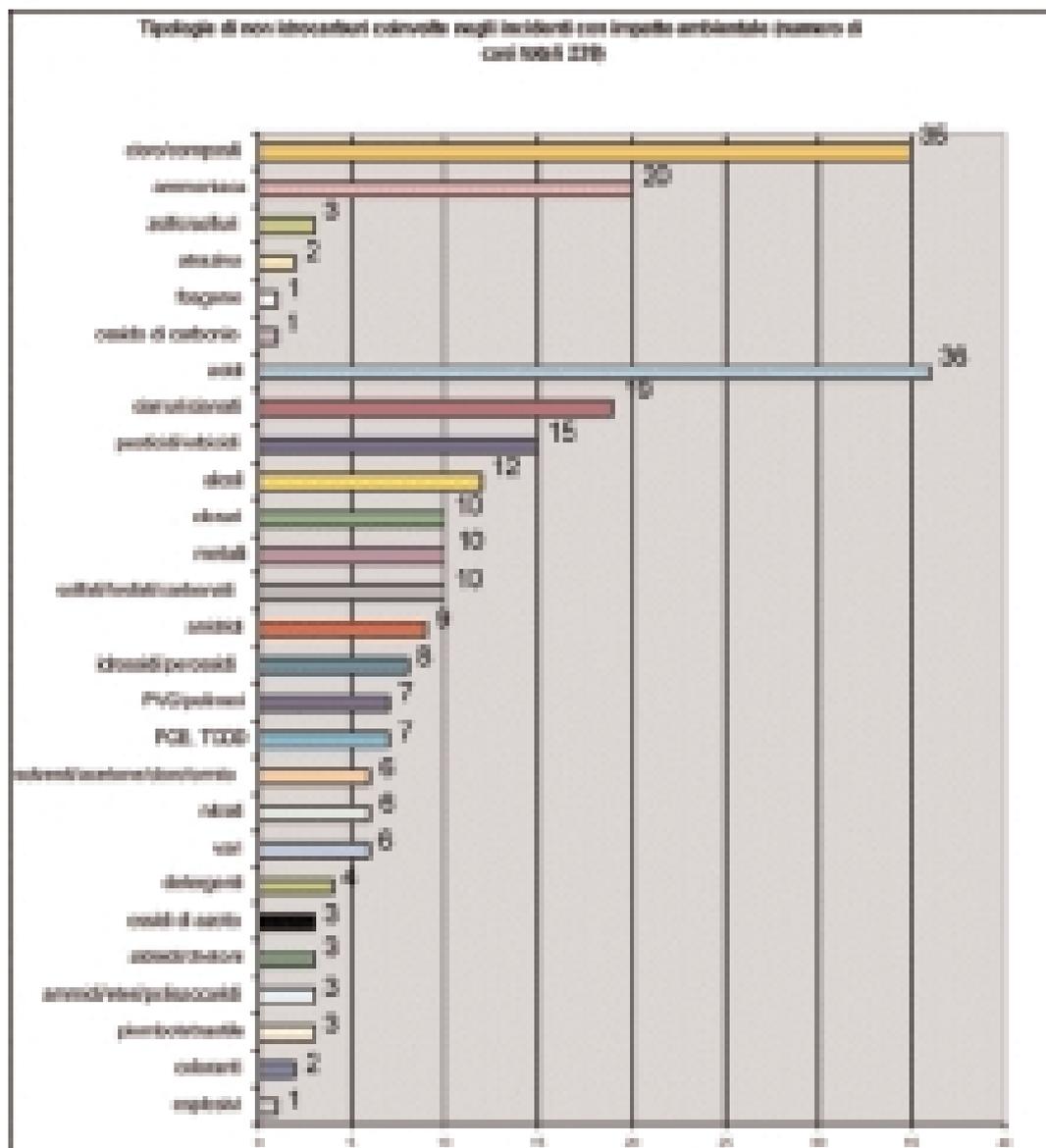


Fig. 12

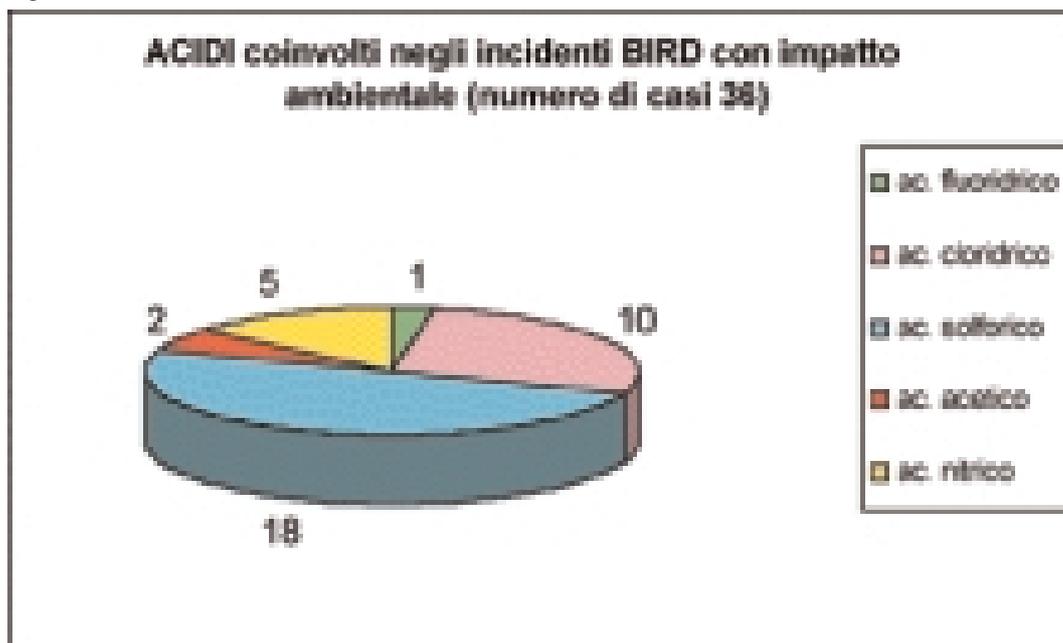


Fig. 13

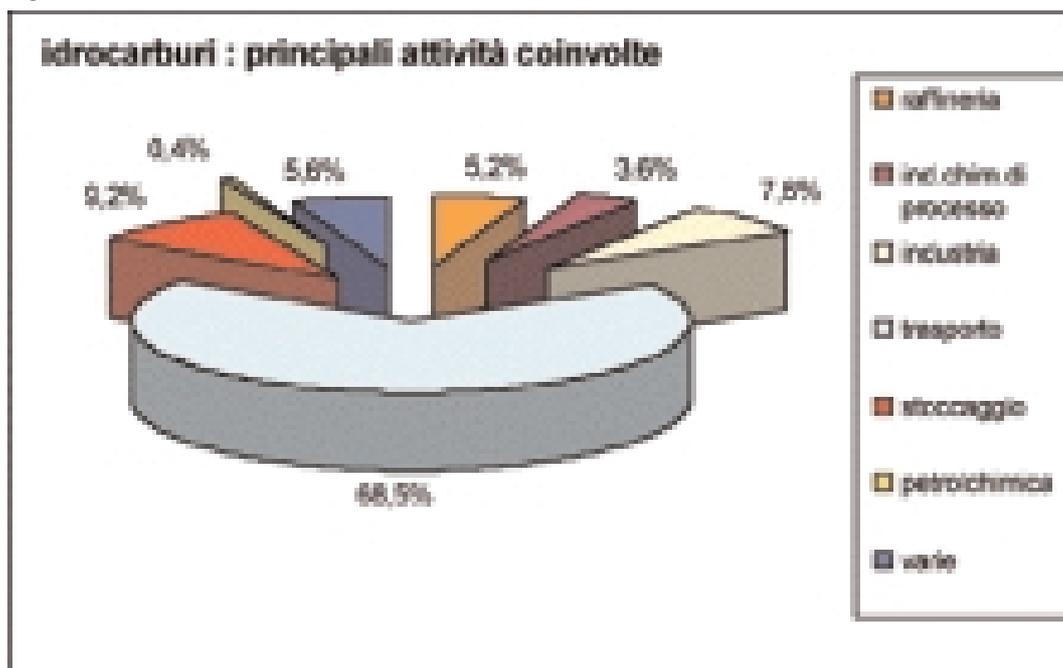


Fig. 14

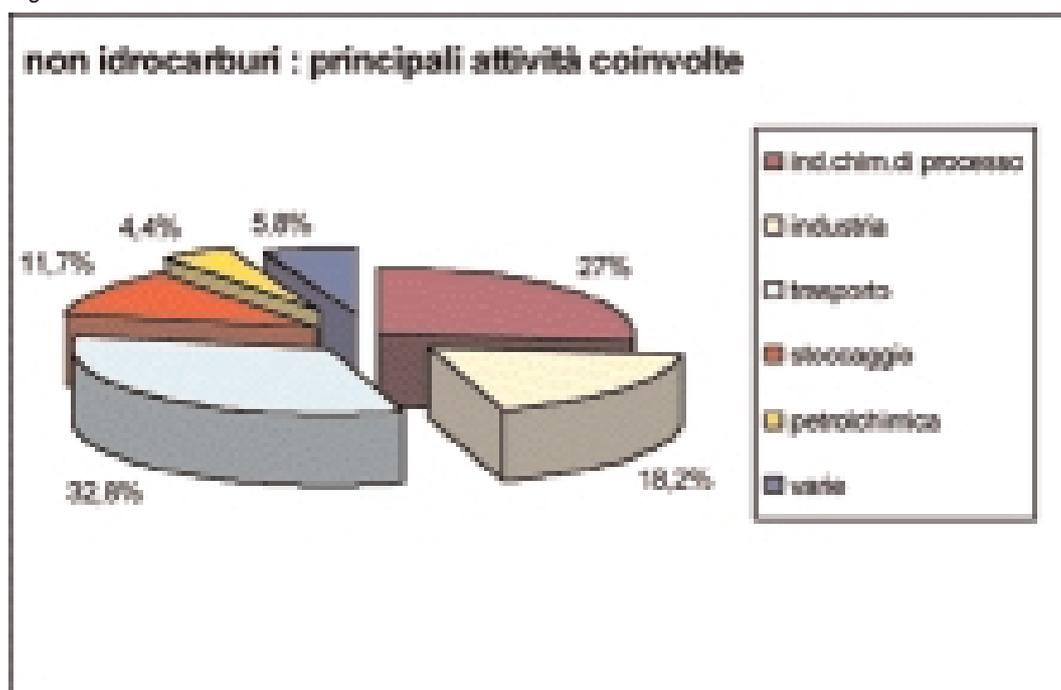


Fig. 15

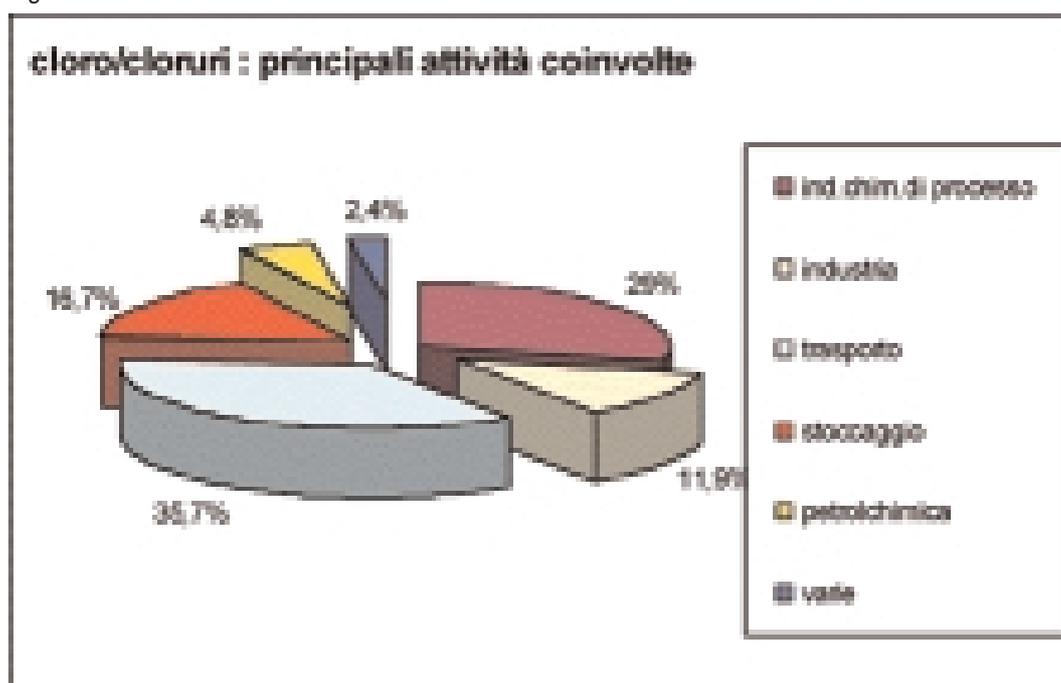


Fig. 15 bis

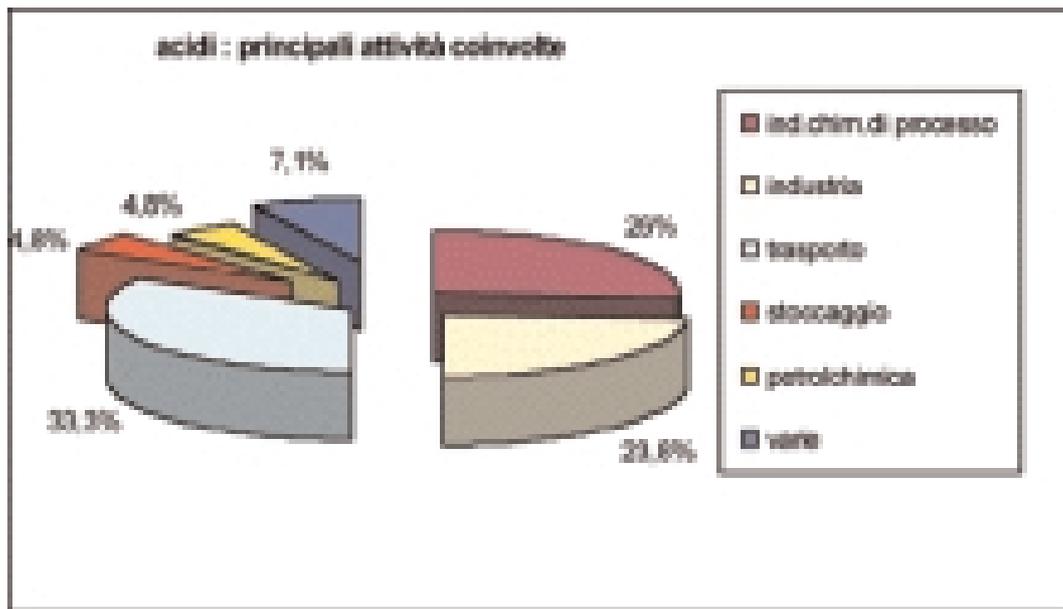


Fig. 16

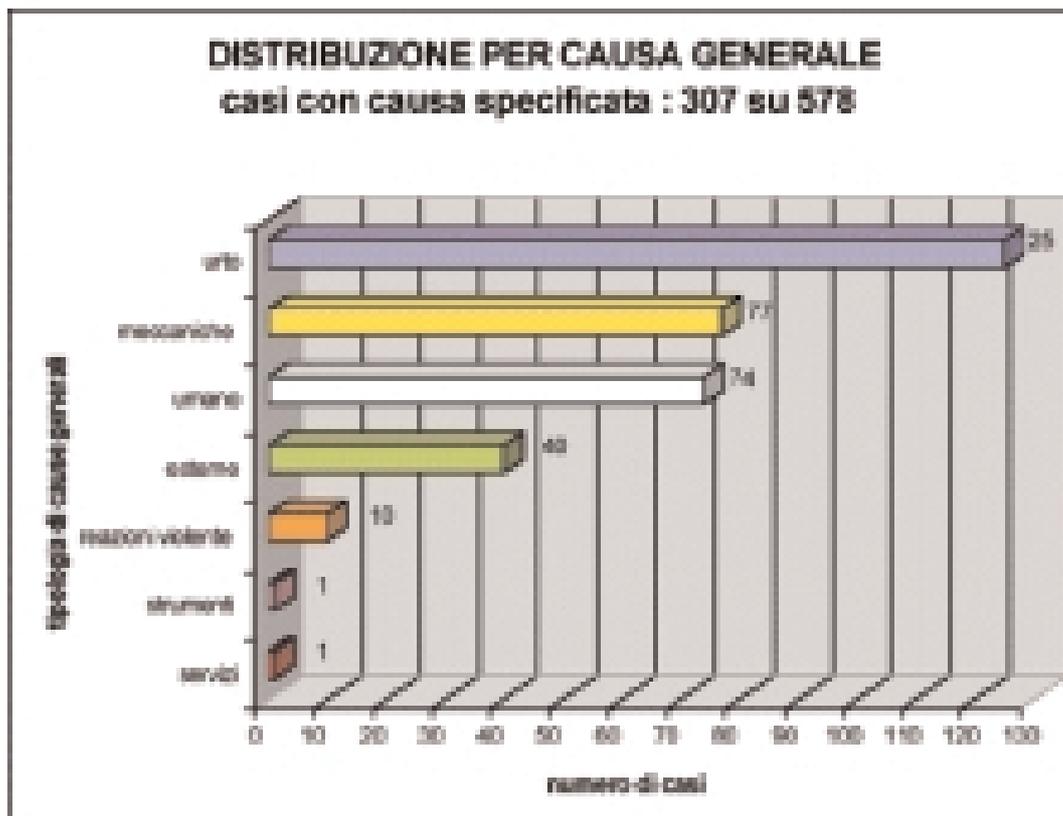


Fig. 17

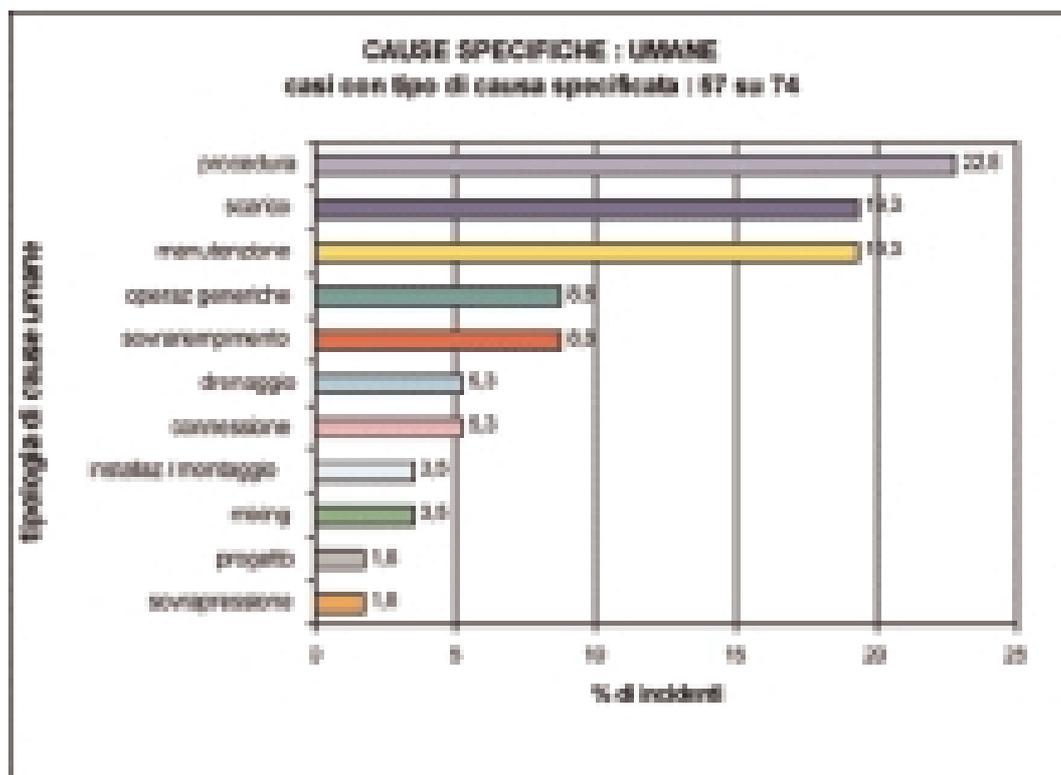


Fig. 18

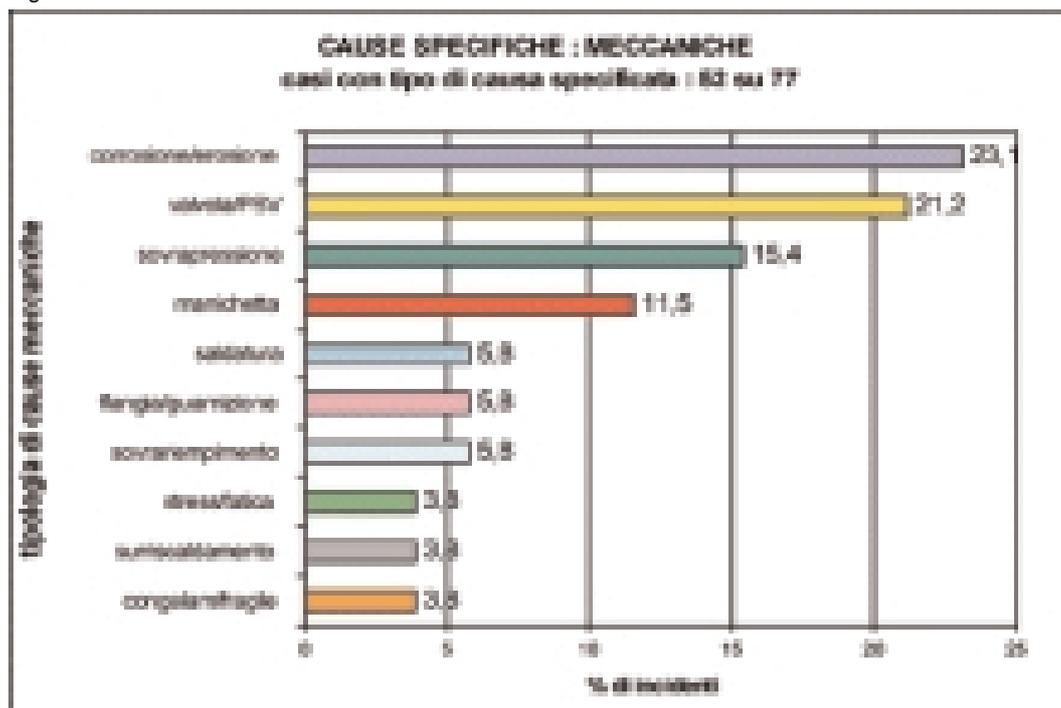


Fig. 19

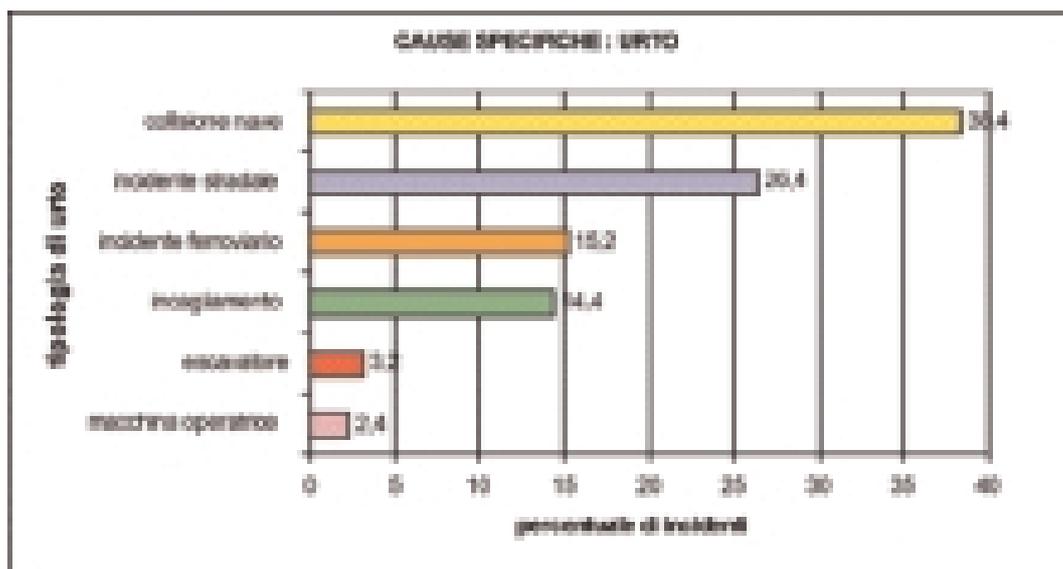


Fig. 20

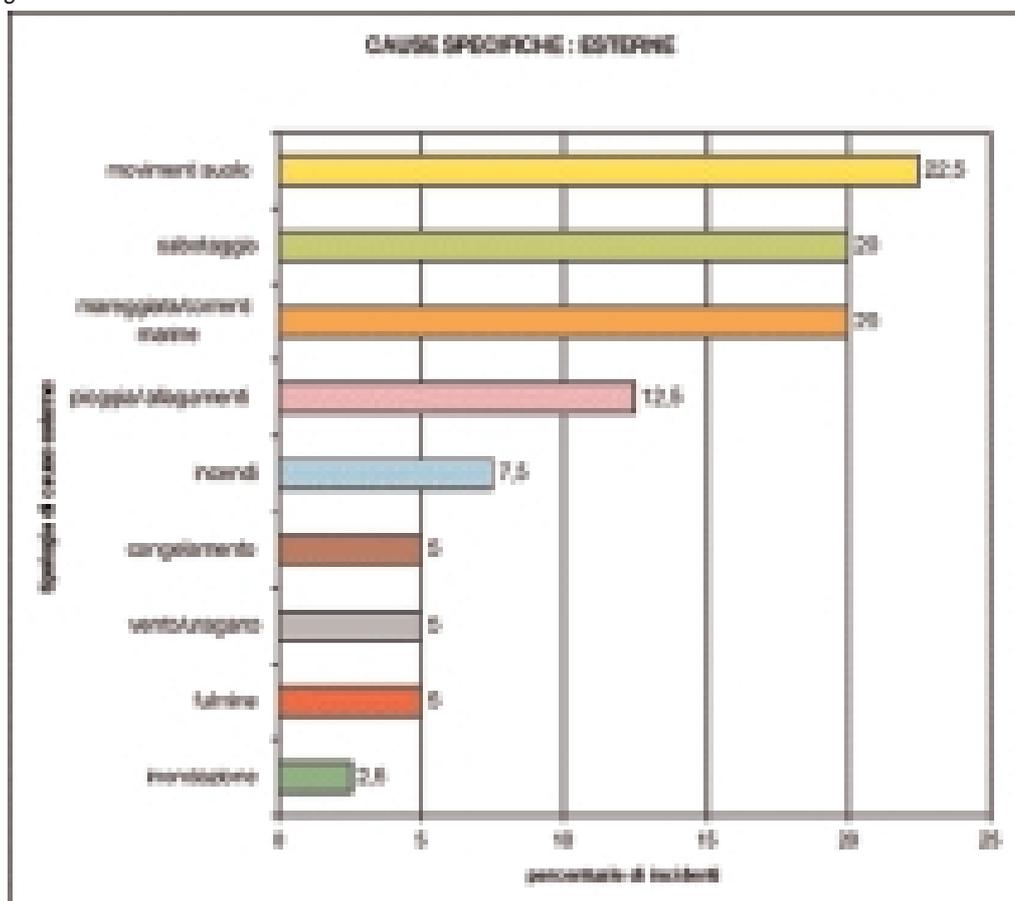


Fig. 21

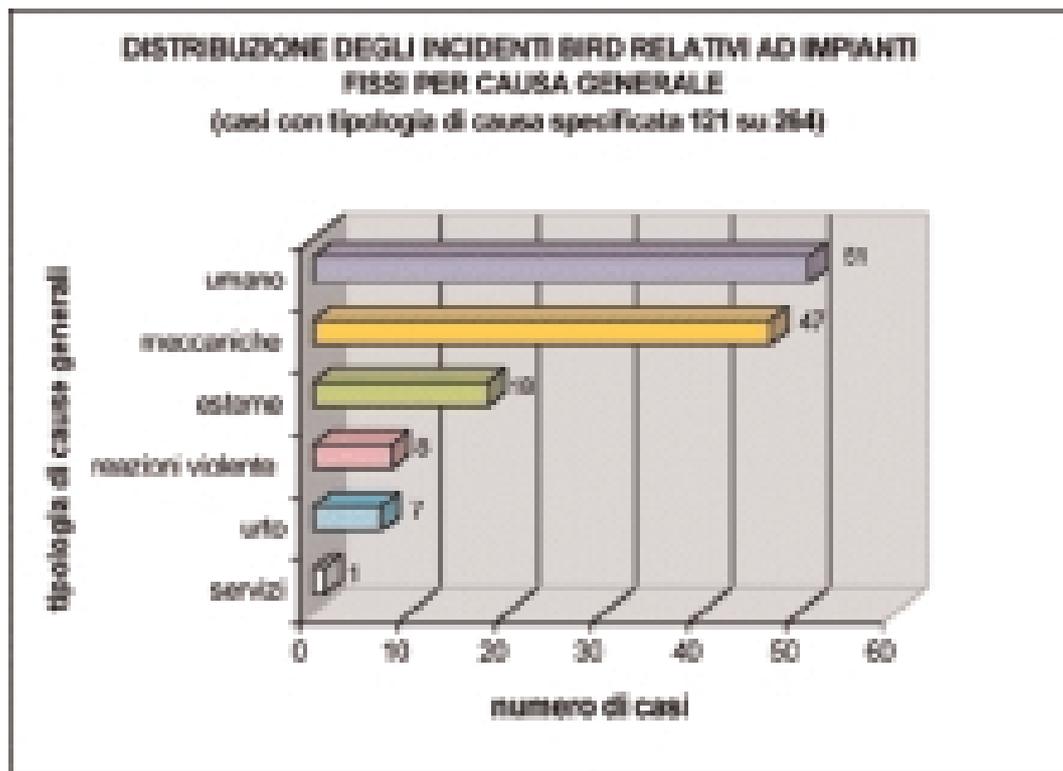


Fig. 22

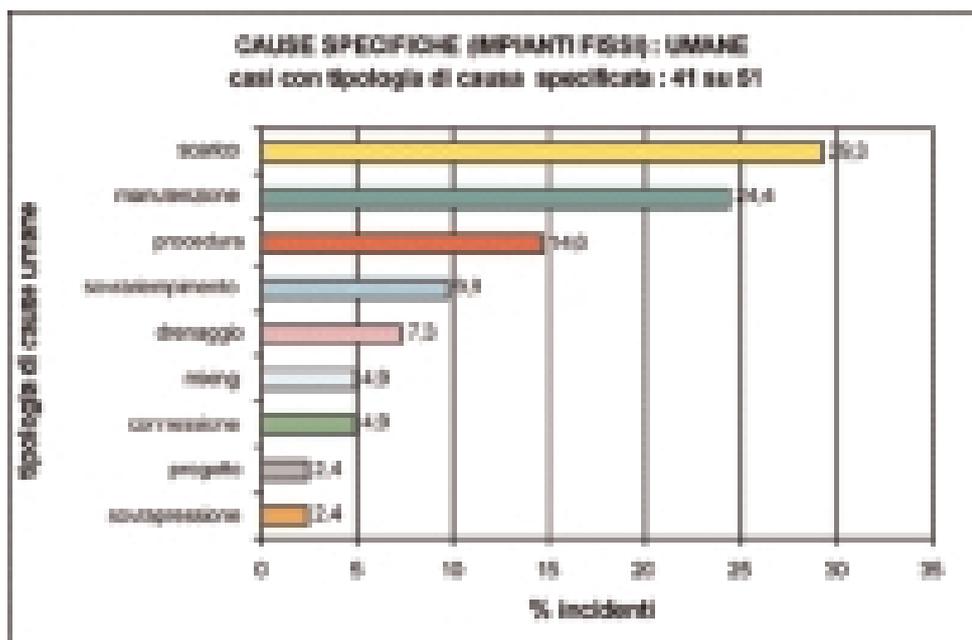


Fig. 23

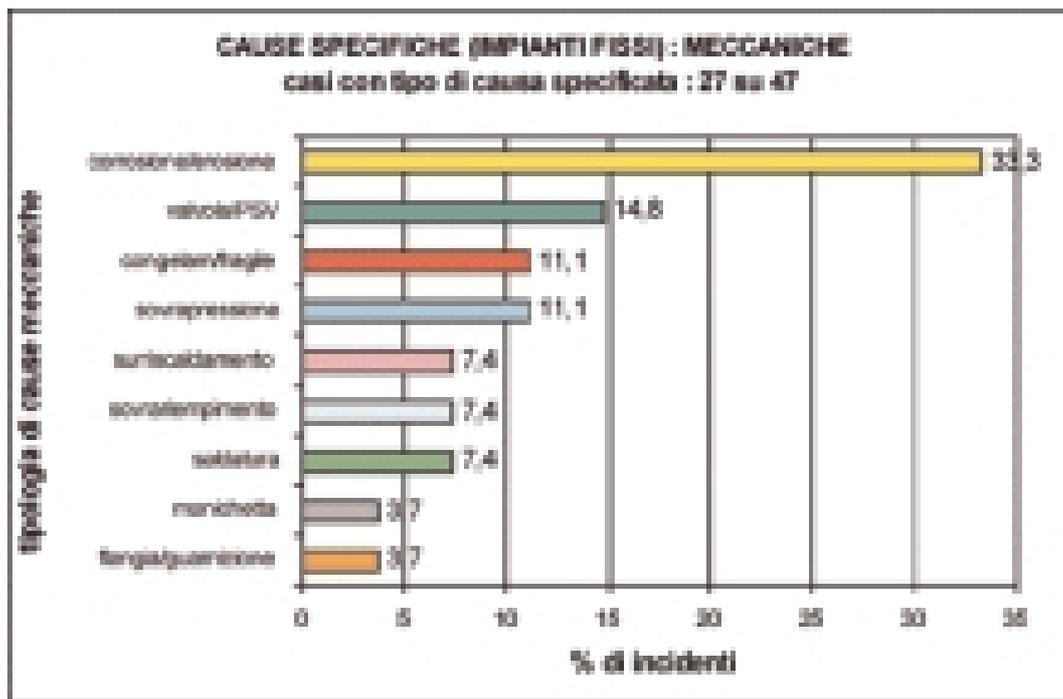


Fig. 24

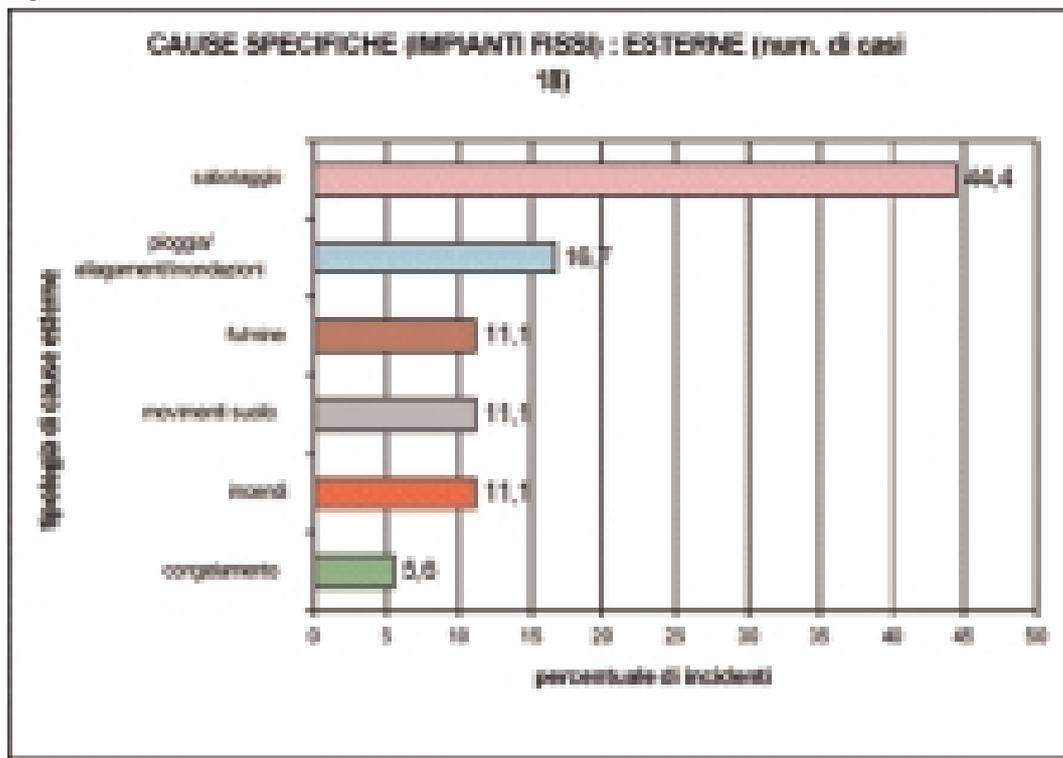


Fig. 25

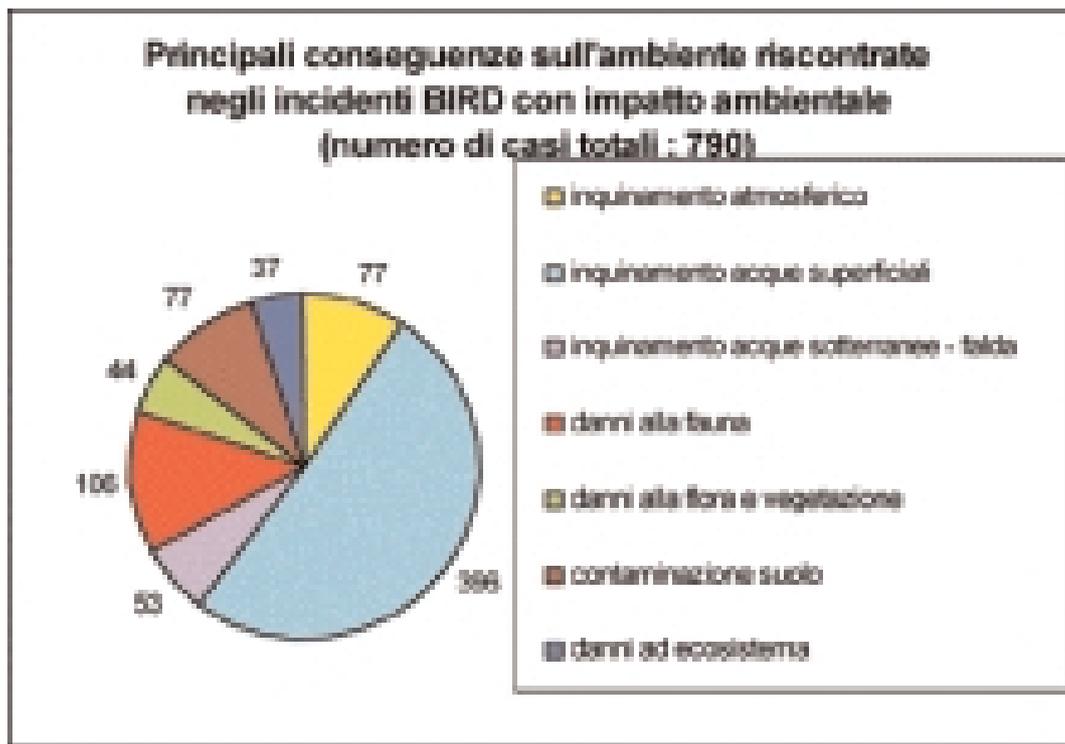


Fig. 26

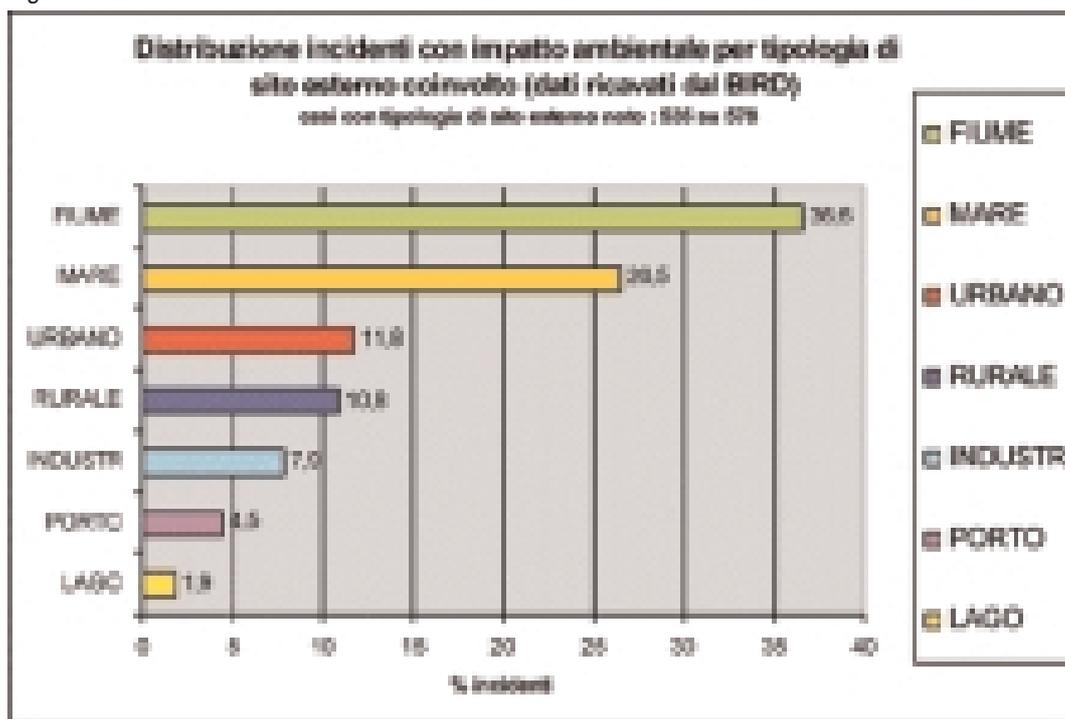


Fig. 27

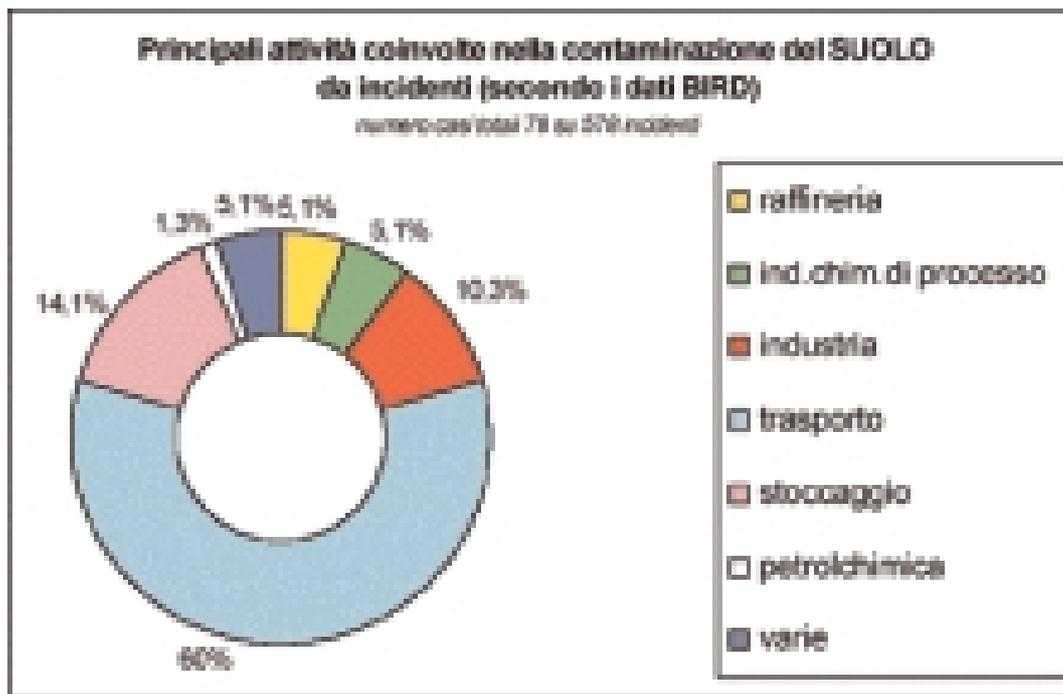


Fig. 28

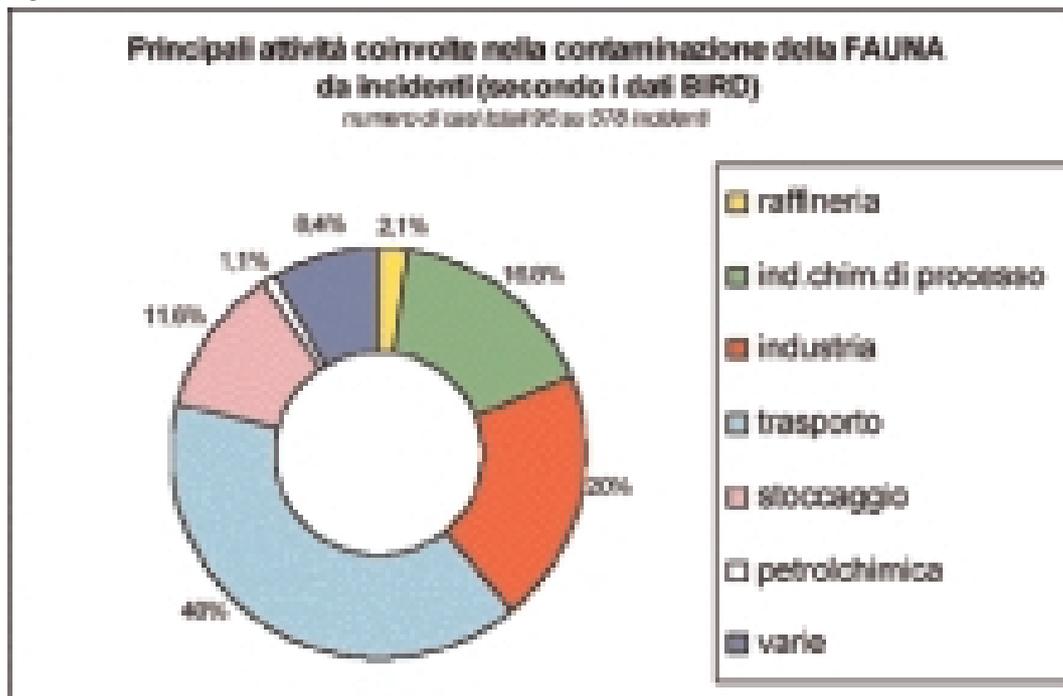


Fig. 29

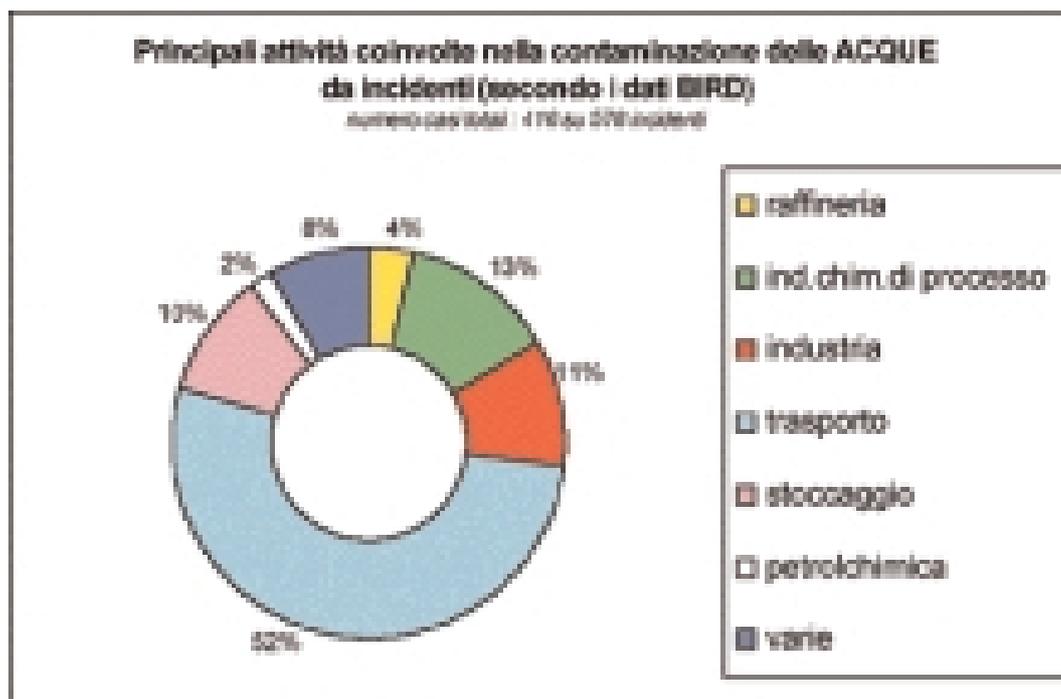


Fig. 30

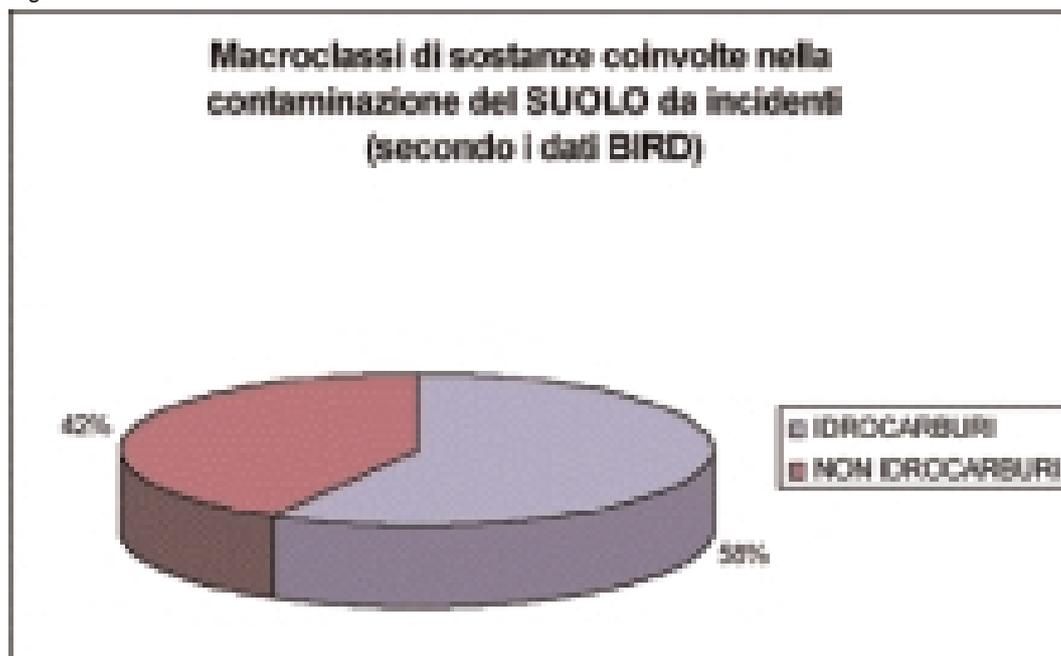


Fig. 31

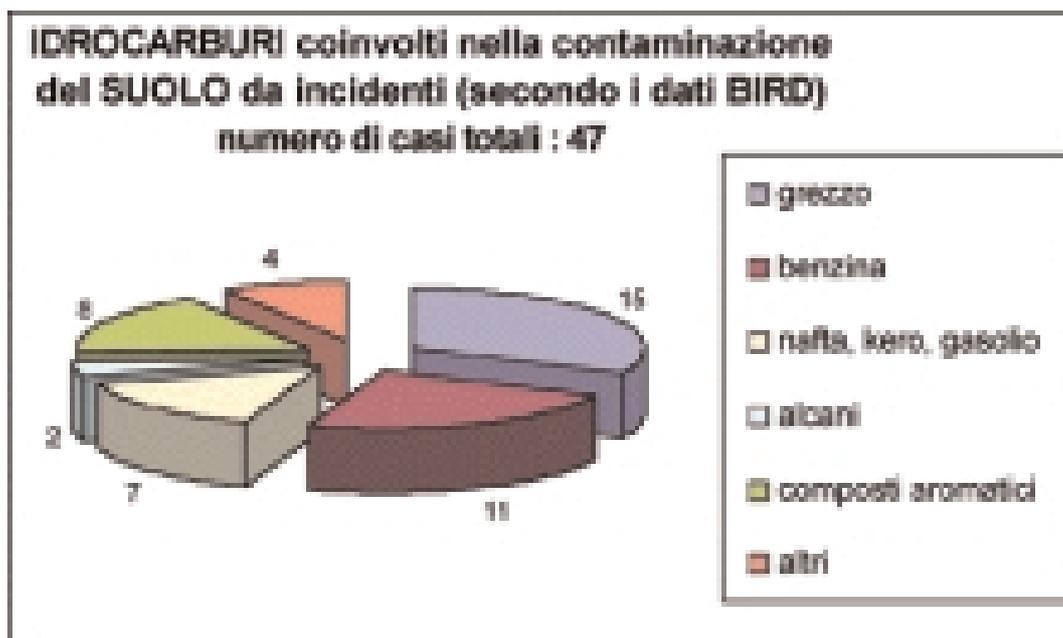


Fig. 32

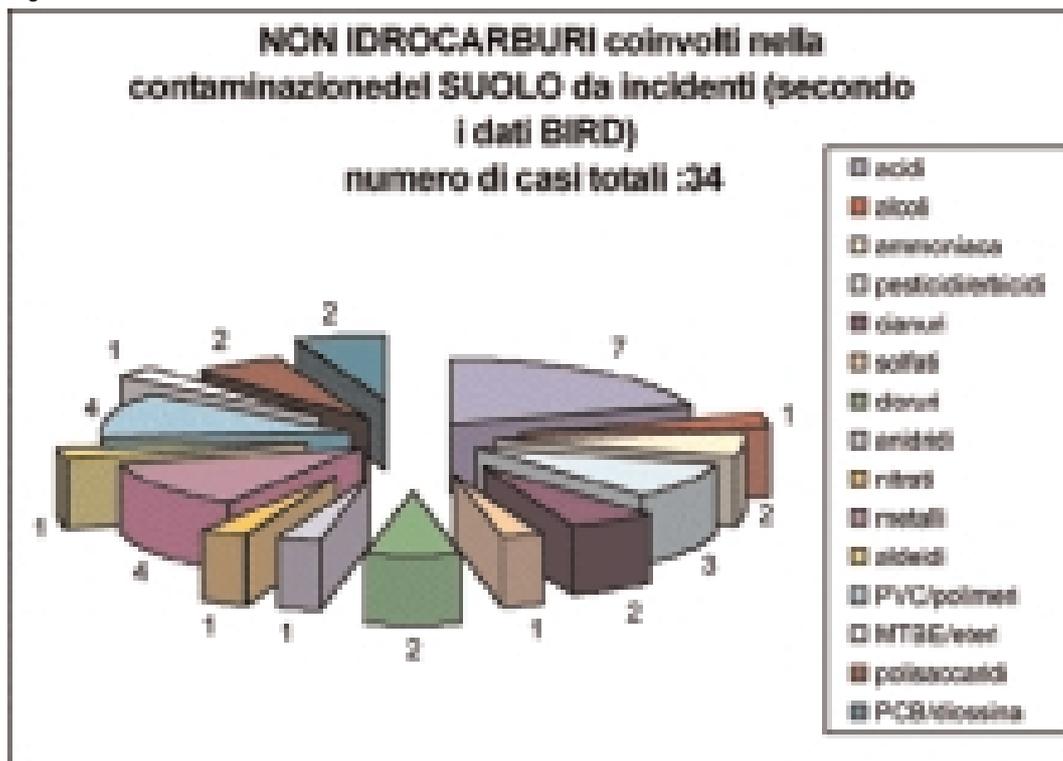


Fig. 33

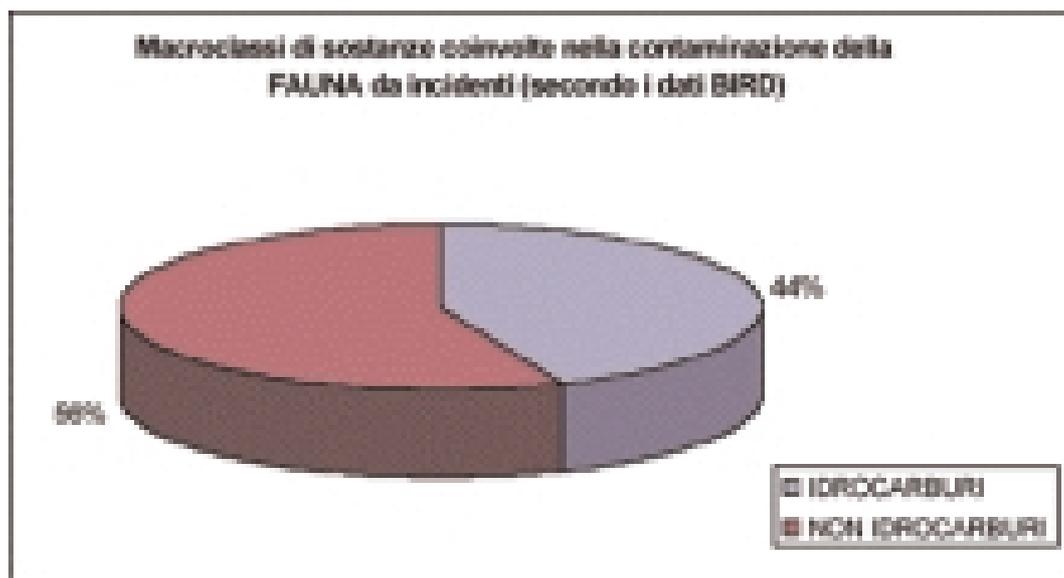


Fig. 34

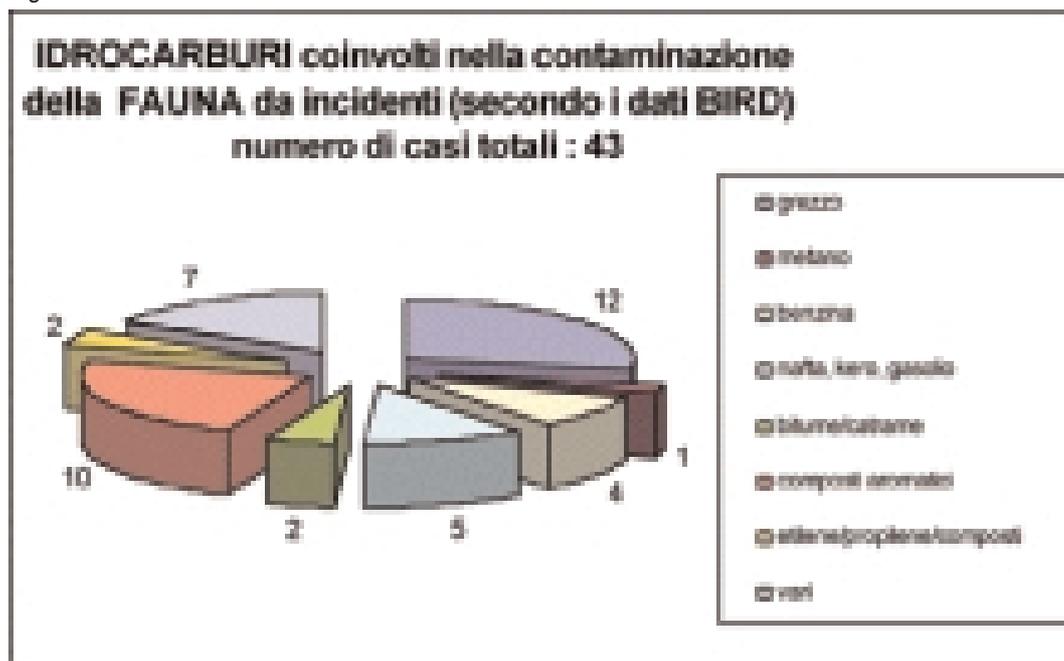


Fig. 35



Fig. 36

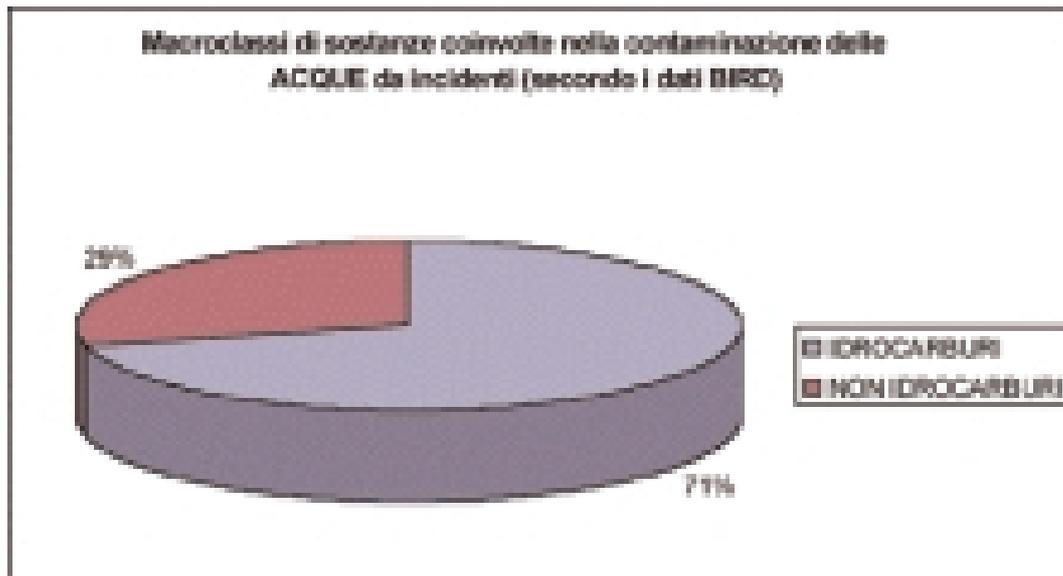


Fig. 37

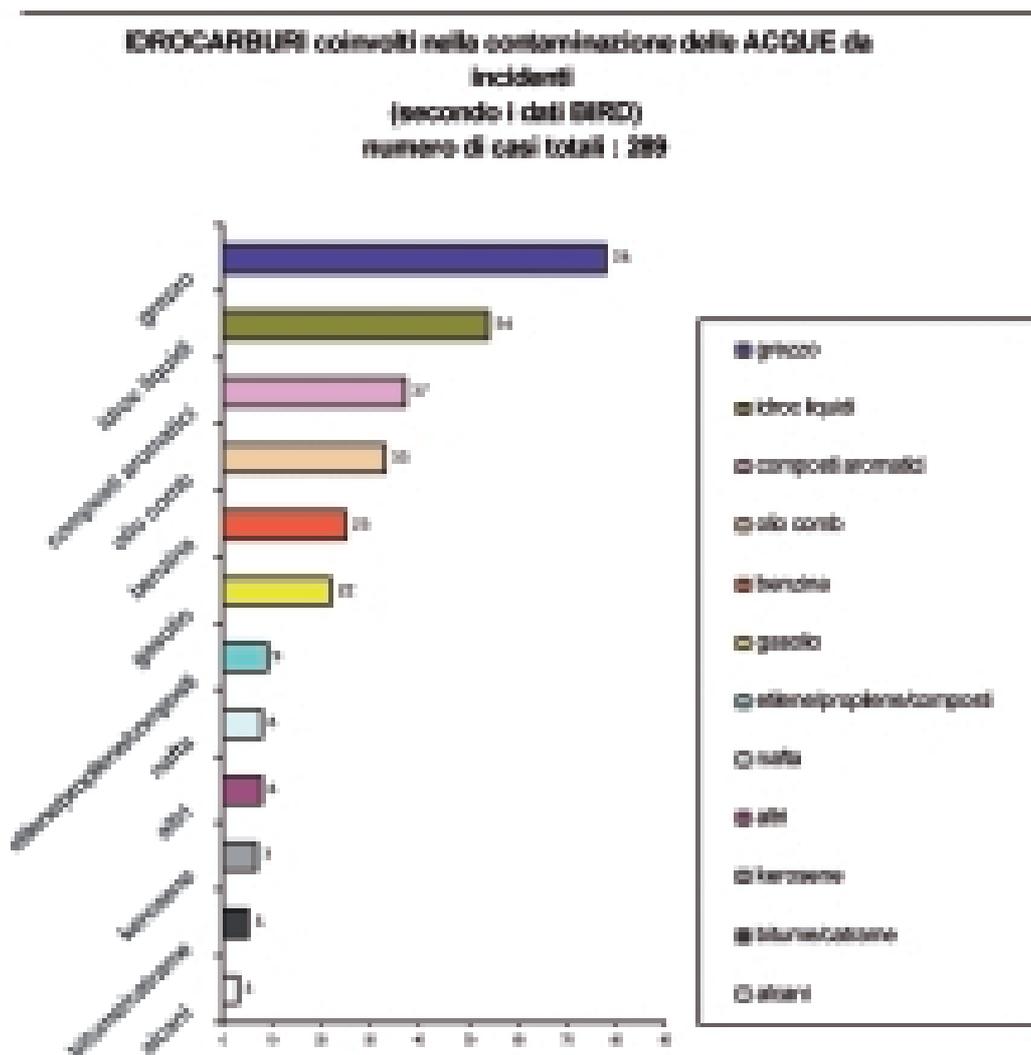
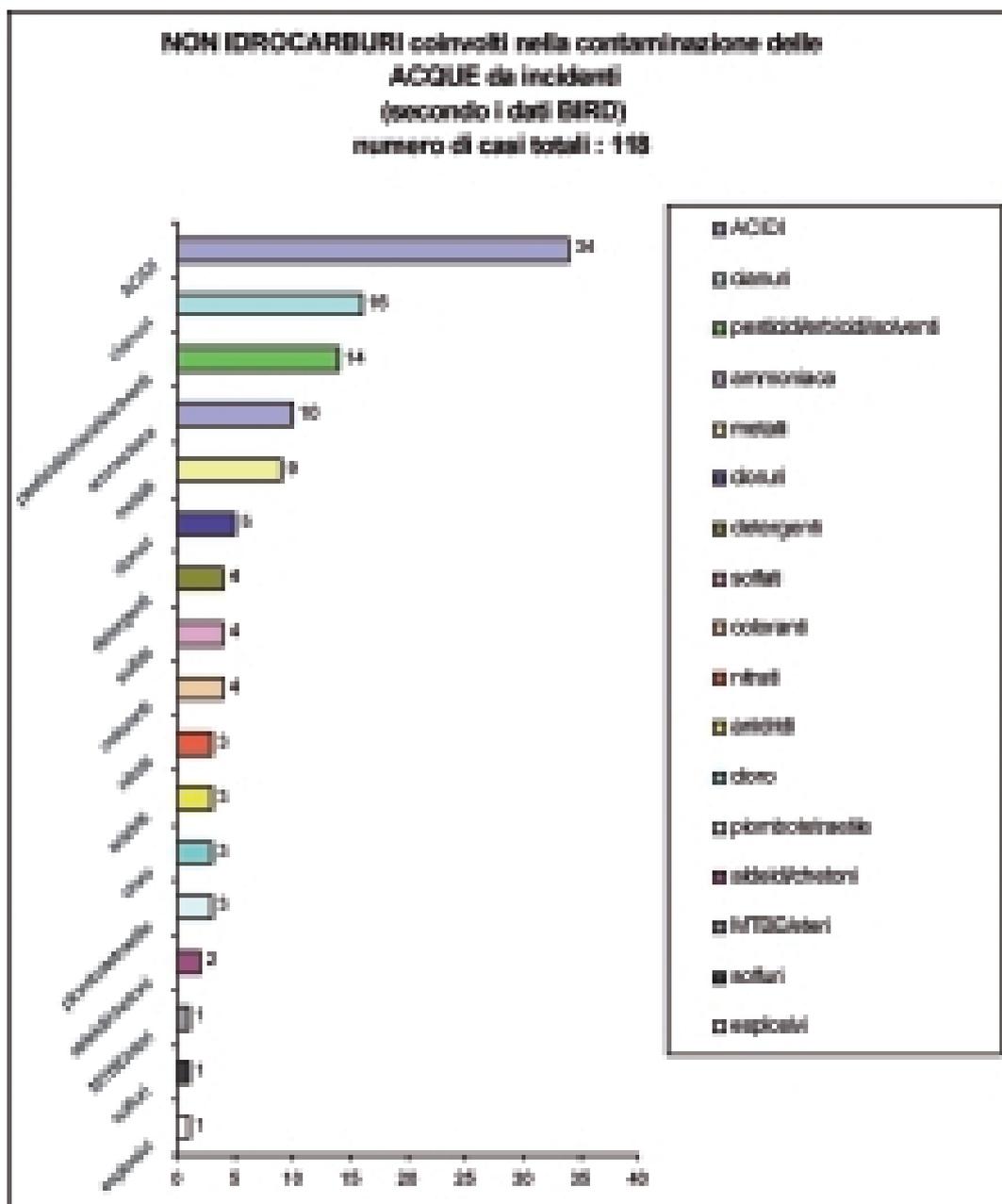


Fig. 38



---

## BIBLIOGRAFIA

- [1] **Environmental follow-up of industrial Accidents**  
Report dell'Istitute of terrestrial Ecology – Department of the Environment, Transport and the Regions USA (Ottobre 1997)
- [2] **Water pollution incidents in England and Wales.**  
Water Quality series N° 13. NRA (1993)
- [3] **Chemical incidents handled by the United Kingdom fire service in 1980.**  
Maclean AD (1981). J.Hazard. Mater.
- [4] **A case study of a chemical spill : polychlorinated biphenyls (PCB)**  
Roberts JR, Cherry JA and Schwartz FW (1982)
- [5] **Soil and Groundwater protection**  
EIDOS/IWS – Commission of the European Communities Joint Research Centre of Ispra (Maggio 1997)
- [6] **La Banca Dati Incidenti Rilevanti dell'ANPA**  
Dipartimento Ambiente, prevenzione, risanamento e sistemi informativi – Settore Rischio Industriale – A.Ricchiuti/D.Esposito (Aprile 1998)
- [7] **Aggiornamenti dei contenuti della struttura della Banca Dati Incidenti Rilevanti dell'ANPA**  
Dipartimento Rischio Tecnologico e Naturale – Settore Rischio nelle Attività Industriali – A. Ricchiuti/G. Dell'Aquila (Aprile 2000)
- [8] **Journal of hazardous material 59 (1998).**  
C. Kirchstaiger. JRC
- [9] **Substances Dangerous for The Environment (in the context of Council Directive 96/82/EC)**  
JRC-EC-MAHB – Michalis Christou (Aprile 2000)
- [10] **Classification and labelling of petroleum substances according to the EU dangerous substances Directive (revision 1)**  
CONCAWE – Report no. 98/54 (1998)
- [11] **Interpretation of major accident to the environment for the purposes of the CIMAH regulations. A guidance note by the Department of the Environment UK - Department of the Environment (1991)**

- 
- [12] **A summary of the NBS literature reviews on the chemical nature and toxicity of the pyrolysis and combustion products from seven plastics: Acrylonitrile-butadiene-styrenes (ABS), nylons, polyesters, polyethylenes, polystyrenes, poly(vinyl chlorides) and rigid polyurethane foams**  
Levin BC (1987). *Fire Mater.* 11,143-157
- [13] **Diesel oil spill in a subalpine meadow: 9 years of recovery**  
Belsky J (1982). *Can. J. Bot.*, 60: 906- 910.