

Scuola Protezione Civile “Ernesto Calcara”
Corso di Gestione Integrata dei Rifiuti Solidi
ottobre-novembre 2008

GLI STRUMENTI DI SUPPORTO ALLE DECISIONI:

La Valutazione del Rischio Ambientale

Prof. Ing. Maria Laura MASTELLONE
Docente di Impianti Chimici e Biochimici - SUN



Dipartimento di Scienze Ambientali
Seconda Università di Napoli



AMRA scarl
Settore Rischio Antropico -
Gestione dei Rifiuti

Introduzione: la valutazione del rischio ambientale

La valutazione del rischio, attraverso protocolli, metodi e strumenti anche molto complessi, ha l'obiettivo di rispondere a tre domande:

- **Cosa potrà andare male?**
- **Quante sono le possibilità che accada?**
- **Quali saranno le conseguenze se accade?**

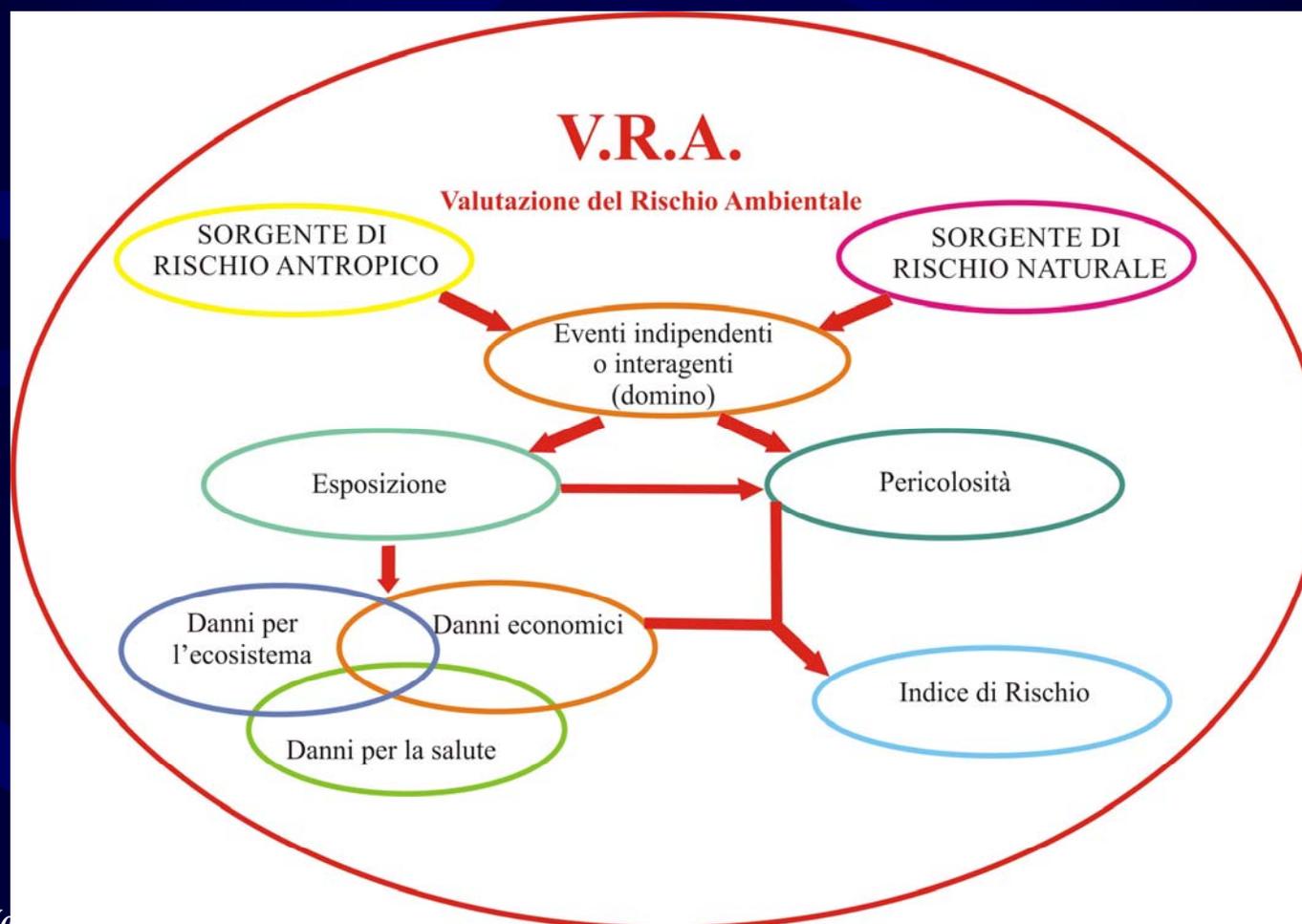
La valutazione del rischio ambientale include l'analisi dei rischi derivanti da eventi naturali, pratiche, processi, prodotti, agenti (chimici, biologici, fisici) ed attività industriali che possono minacciare persone, animali ed ecosistema (con riguardo anche ad uno specifico microorganismo).

Lo scopo di una VRA è di identificare ed analizzare i sistemi a rischio e, in particolare, di valutare i relativi scenari di esposizione per poter ridurre l'indice di rischio ed evitare conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente e l'economia.

La quantificazione del rischio permette di:

- Evitare giudizi soggettivi sull'entità del rischio;
- Confrontare rischi connessi a situazioni differenti;
- Supportare decisioni ed interventi per la riduzione del rischio (risk management);
- Monitorare l'effetto delle decisioni e delle azioni laddove fossero stati attuati interventi;
- Fissare dei livelli di “rischio tollerabile”.

La Valutazione del Rischio Ambientale dovuto a sorgenti multiple di tipo diverso (multihazard o multirischio)



La Valutazione del Rischio Ambientale

La **VRA** è ottenuta tramite l'applicazione di uno strumento matematico formale che permette di quantificare i potenziali rischi per la salute pubblica e per l'ambiente indotti da eventi di tipo diverso. Un evento particolare è la contaminazione causata dall'immissione di inquinanti nei diversi comparti ambientali. Un tipo di valutazione del rischio specifica di questo evento è l'ERA la cui implementazione spesso richiede approssimazioni qualitative o quantitative per valutare i potenziali o reali effetti di contaminazione ambientale sulle piante e sugli animali e sugli esseri umani.



IL CRITERIO DELL'ANALISI DI RISCHIO: DIVERSI METODI A CONFRONTO

■ **La componente di rischio di ogni fenomeno o azione, pur essendo il più delle volte ineliminabile** (si pensi ad una regione ad intensa attività sismica o alla necessità di utilizzare sostanze pericolose in alcuni processi produttivi), **può essere ridotta prevedendo interventi di prevenzione e di mitigazione**, prima che l'evento accada o a valle di esso. **Il rischio non deve essere considerato solo come una potenziale minaccia per la vita dell'uomo, né rappresentare una limitazione eccessiva al proprio sviluppo.**

L'analisi dei rischi è lo strumento di supporto alle decisioni che meglio si presta a promuovere politiche innovative e compatibili, dal punto di vista sociale, economico ed ambientale, con le caratteristiche del territorio. Ad essa vanno associati altri strumenti metodologici (quali la LCA) che ne esaltano l'efficacia quale supporto ai decision-makers.

IL CRITERIO DELL'ANALISI DI RISCHIO: DIVERSI METODI A CONFRONTO

Il primo passo per descrivere e comprendere la procedura di analisi dei rischi è chiarire alcuni concetti fondamentali.

- Una definizione di ampia applicabilità è: **il rischio** è *la probabilità che una determinata conseguenza negativa si verifichi in un determinato intervallo di tempo in seguito ad uno specifico evento avverso.*
- Il concetto di rischio differisce da quello di pericolo che è *ciò che può potenzialmente determinare un rischio, cioè creare conseguenze avverse all'ambiente e alle persone* e dipende dalle caratteristiche intrinseche di una sostanza o di una situazione di arrecare danno.
- Il rischio è quindi ottenuto considerando tre diversi fattori:

- **pericolo**
- **sistema bersaglio (PAR, ...)**
- **vie di esposizione**



IL CRITERIO DELL'ANALISI DI RISCHIO

Il rischio ha un carattere “bidimensionale”, dipende cioè sia dalla **probabilità che si verifichi l'evento avverso** sia **dall'entità delle conseguenze** determinate. Dal punto di vista matematico, quindi, è espresso dalla relazione: $R=f*m$

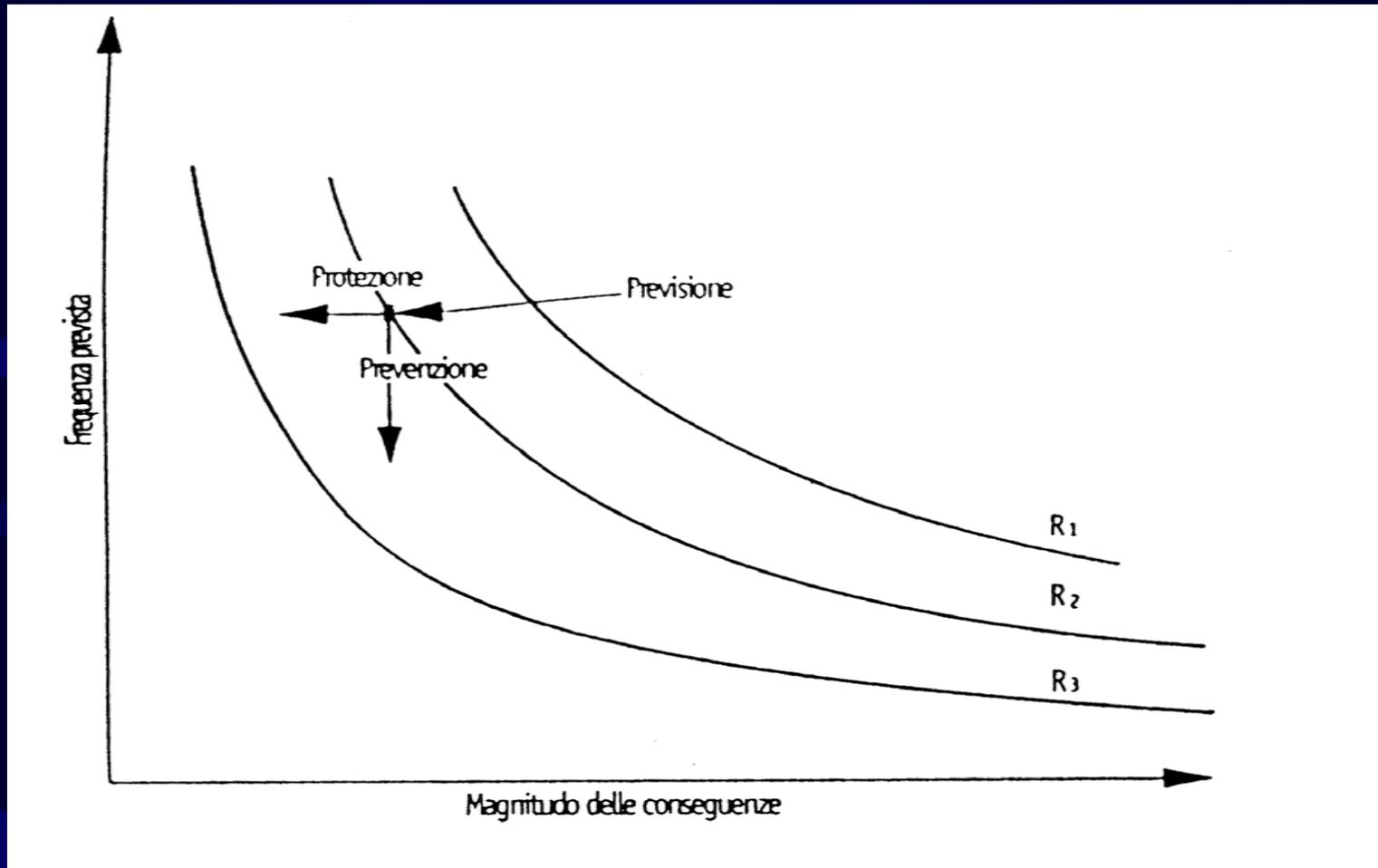
- dove f è la probabilità di accadimento dell'evento e m è la magnitudo.

Poiché, nella maggior parte dei casi, la probabilità che si verifichi un evento deve essere stimata entro un intervallo di tempo prefissato, l'espressione precedente diventa: $R=F*m$

- dove F è la probabilità che si verifichi un evento entro un determinato intervallo di tempo (frequenza)

La magnitudo può essere intesa come prodotto del *valore esposto* (misura di tutto ciò che può essere perso in seguito al verificarsi di un evento avverso in una certa area) per la *vulnerabilità* (stima della frazione del valore esposto che può essere persa a causa di uno specifico evento avverso).

IL CRITERIO DELL'ANALISI DI RISCHIO

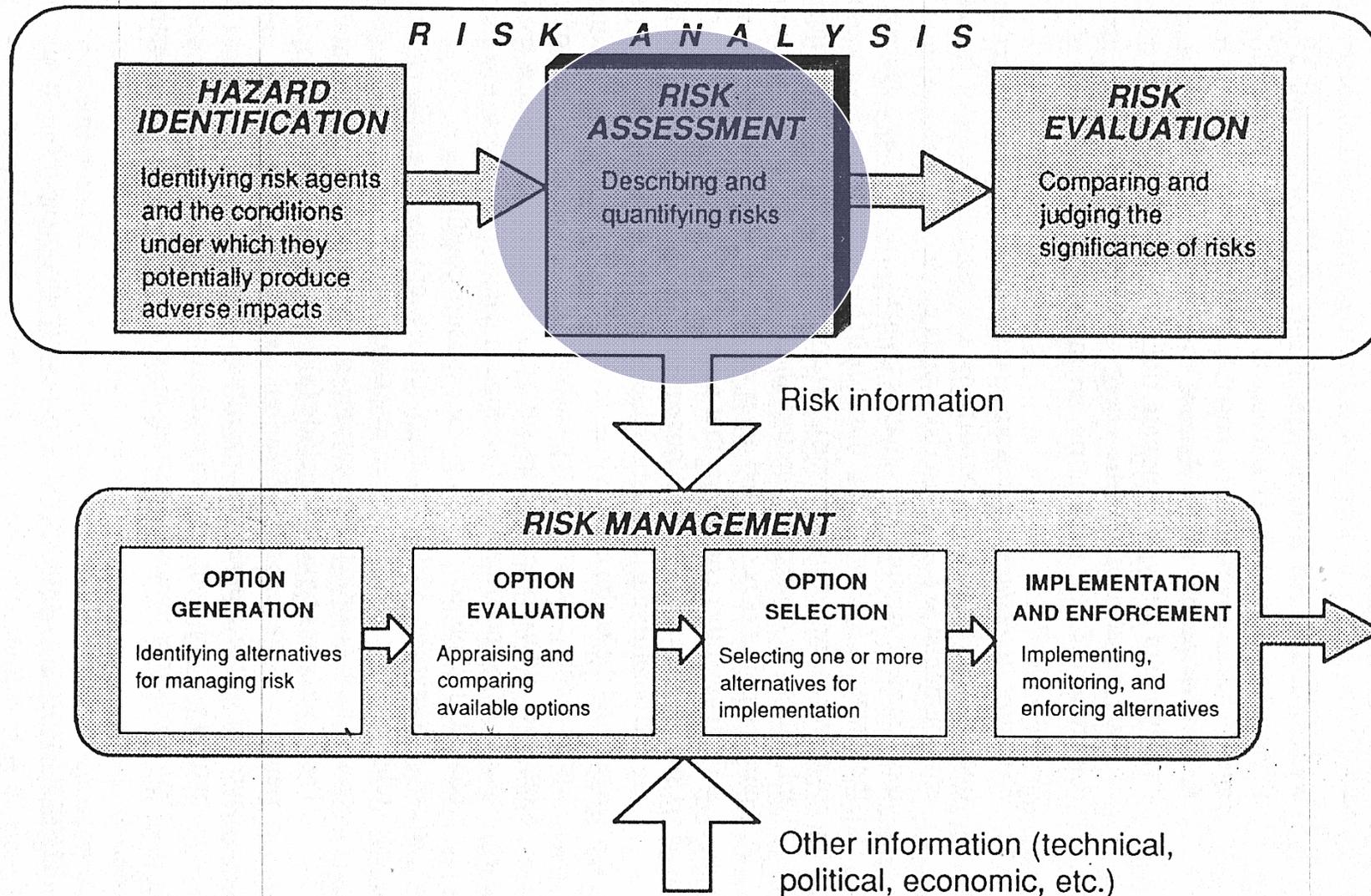


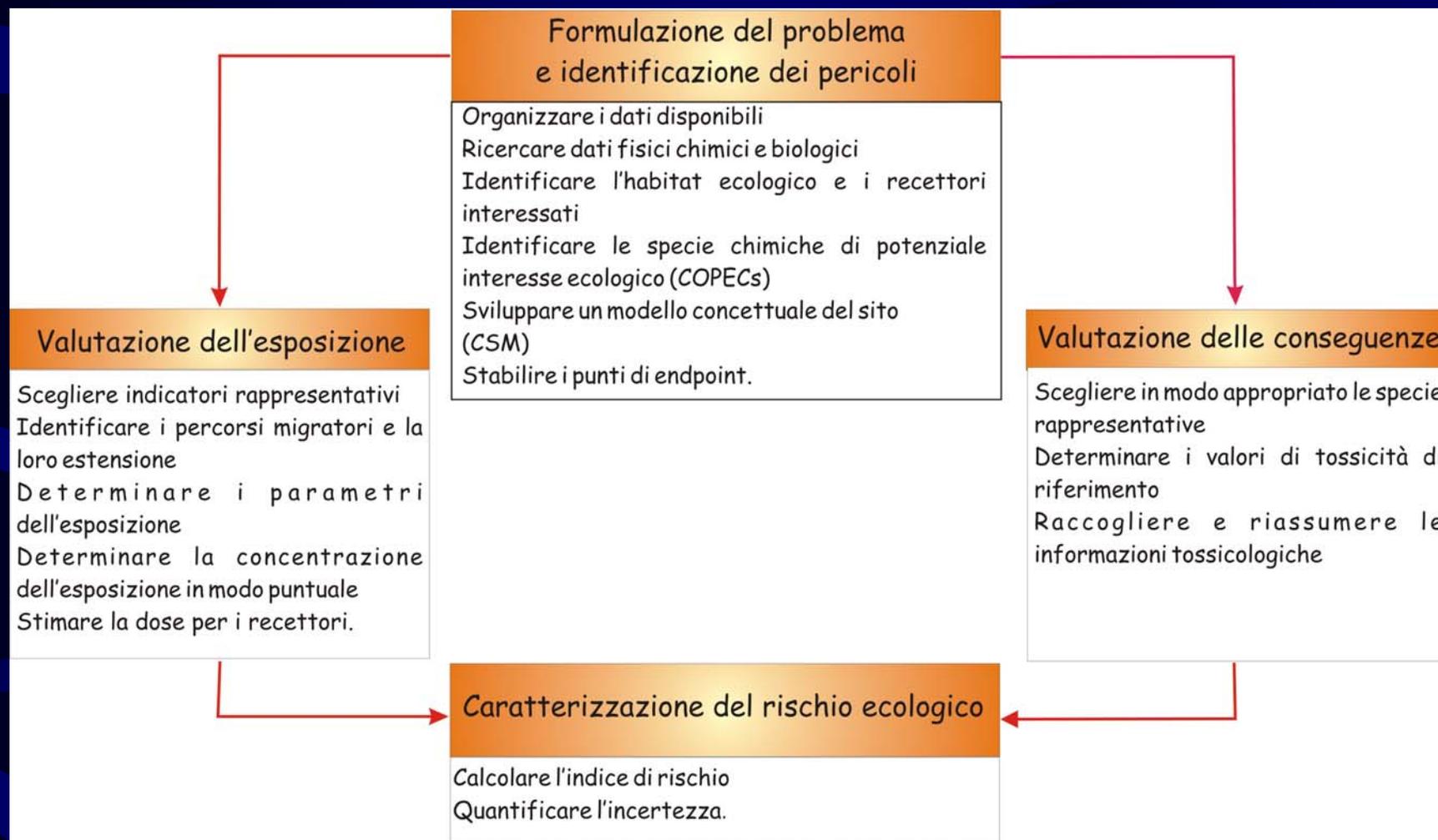
Il livello di rischio aumenta con il grado di pericolo e diminuisce se vengono adottate misure protettive o preventive

La Procedura per la Analisi del Rischio

- *identificazione e studio dei pericoli (HAZARD IDENTIFICATION)*: consiste nella ricerca delle sorgenti di rischio e dei casi in cui queste possono potenzialmente produrre danni all'ambiente e/o alle persone;
- *stima e caratterizzazione dei rischi (RISK ASSESSMENT O RISK CHARACTERIZATION)*: è la descrizione e la quantificazione dei rischi come probabilità di accadimento e conseguenze;
- *valutazione dei rischi (RISK EVALUATION)*: è il confronto delle stime ottenute con criteri di riferimento (valori soglia) e il giudizio sulla significatività del rischio

La Procedura per la Analisi del Rischio





Definizioni e terminologia

Nella valutazione del rischio si dovrebbe quindi cercare di utilizzare un approccio uniforme, per quanto possibile quantitativo, per le diverse tipologie di eventi possibili (naturali ed antropici).

Ciò richiede un'omogeneizzazione di definizioni e terminologia poiché, sia nella letteratura scientifica sia nelle normative di settore (per es., quelle per le costruzioni in zona sismica, per il rischio industriale o per i siti contaminati), si ritrovano significati diversi attribuiti a termini uguali.

Definizioni e terminologia

▪ **sorgente di rischio o pericolo** è tutto ciò che può potenzialmente creare conseguenze avverse indesiderate alla popolazione e/o all'ambiente. E' quindi un concetto legato solo alle caratteristiche intrinseche di una sostanza o di una situazione di arrecare danno a persone, cose o elementi dell'ambiente .

▪ **evento avverso** è il verificarsi, in una zona considerata, di un fenomeno con conseguenze potenzialmente avverse, legata ad una sorgente di rischio localizzata all'interno o all'esterno della zona considerata e caratterizzato da una certa intensità.

▪ **intensità** è la misura dell'entità con la quale si manifesta il fenomeno generato da un evento avverso e dal quale il recettore può subire danno. Essa può essere espressa in [bar] se l'evento pericoloso è un'esplosione; in [kW/m²] se l'evento è un incendio stazionario, in [mg/m³] se l'evento è un rilascio di sostanza tossica; in [m/s² o g (accelerazione di gravità al suolo)] se l'evento è un terremoto; ecc. Solo nel caso di contatto con una sostanza tossica occorre distinguere tra dose, ovvero l'ammontare effettivamente assorbito dall'uomo o dall'animale, e concentrazione genericamente presente in un certo sito .

Definizioni e terminologia

- **pericolosità** è la probabilità che un evento avverso dovuto ad una determinata sorgente di rischio si verifichi con una data intensità in un intervallo di tempo ed in un luogo definiti. Ne deriva che la pericolosità è valutata tenendo in considerazione sia le caratteristiche della sorgente di rischio sia quelle del sito al quale è riferita.
- **valore esposto** è la misura di tutto ciò che si può perdere a seguito del verificarsi di un evento avverso in una certa area. Può essere espresso in vite umane oppure in termini economici reali o convenzionali (poiché il valore storico, culturale e ambientale non è, in molti casi, monetizzabile). Esso è quindi dipendente sia dalle attività (umane, culturali, economiche, ecc.) sia dalle peculiarità ambientali che caratterizzano l'area cui ci si riferisce.

Definizioni e terminologia

▪ **vulnerabilità** è la frazione del valore esposto che può essere persa a seguito del verificarsi di uno specifico evento avverso. Il prodotto valore esposto x vulnerabilità fornisce l'estensione presunta del danno (a uomini, cose, ambiente) che si avrebbe a seguito del verificarsi di un evento di un certo tipo e intensità in uno specifico luogo e tempo.

▪ **danno** sono le conseguenze, in termini di vite umane, danni materiali, perdite economiche, del verificarsi di un evento pericoloso. Esse possono essere immediate o a lungo termine. Ad es., incendi, esplosioni e alcune sostanze tossiche provocano lesioni o danni immediati. Altre sostanze chimiche, come l'asbesto, producono effetti sulla salute solo dopo molti anni. Le radiazioni ultraviolette provocano invece sia effetti immediati (scottature) che a lungo termine (cancro della pelle).

Definizioni e terminologia

- I **danni DIRETTI** sono quelli che si producono come conseguenze immediate dell'evento avverso, convenzionalmente espresse in termini di letalità e di danni economici complessivi. I **danni DERIVATI** sono invece quelli prodotti indirettamente dall'evento avverso, di solito a valle di una sequenza incidentale. Ne sono esempi i danni agli impianti di depurazione e ai sistemi di distribuzione dell'acqua o dell'energia elettrica, che poi attivano altre conseguenze.
- I **danni IMMEDIATI** hanno la stessa scala temporale dell'evento avverso; quelli A MEDIO TERMINE possono convenzionalmente fare riferimento ad un periodo dell'ordine dell'anno; quelli a LUNGO TERMINE si verificano su tempi più lunghi e si considerano esauriti quando è stato ripristinato lo status quo ante per beni materiali ed ambiente.

Definizioni e terminologia

- **esposizione** è la modalità attraverso cui un recettore vulnerabile viene in contatto con gli eventi avversi generati da una sorgente di rischio (ad es. un certa dose di sostanza tossica emessa a seguito di un rilascio oppure un'onda di pressione generata da un'esplosione o, ancora, l'accelerazione al suolo generata da un terremoto).
- **percorso di esposizione** è il percorso attraverso il quale il pericolo raggiunge il recettore sensibile. Ad esempio, una sostanza chimica rilasciata nel suolo può raggiungere per percolazione una falda, da questa un corso d'acqua superficiale e, se questo è usato per irrigazione agricola, può giungere nella catena alimentare animale e umana.

Definizioni e terminologia

▪ **rischio** è la probabilità che una determinata conseguenza negativa (cioè un danno di un certo tipo ed estensione) si verifichi in un certo periodo di tempo a seguito di uno specifico evento avverso. Può essere espresso come una frequenza (il numero di accadimenti della conseguenza negativa in un anno o in un altro periodo di tempo) o come una probabilità (che quella conseguenza negativa si verifichi a seguito di una particolare azione). Ciò che distingue il rischio dal pericolo (cioè dalla sorgente di rischio) è proprio il fatto che nel rischio è tenuta in conto (e quantificata) la probabilità che si verifichi un certo danno come risultato dell'esposizione a un pericolo.

- Il rischio è quindi un parametro funzione della probabilità di accadimento di un certo evento e della entità delle conseguenze su uomini, ambiente e cose. Può essere quantificato dal prodotto:

RISCHIO = (PROBABILITÀ DI ACCADIMENTO) X (ENTITÀ DELLE CONSEGUENZE) (generalmente adottata per il rischio industriale) (1)

oppure dall'espressione:

RISCHIO = (PERICOLOSITÀ) X (VULNERABILITÀ) X (VALORE ESPOSTO) (generalmente adottata per i rischi naturali) (2)

che risulta equivalente alla prima dando alla “pericolosità” il significato prima indicato, cioè di probabilità di accadimento di uno specifico evento avverso, in un tempo e un luogo fissati.

- Questa definizione coincide sostanzialmente con quella adottata dalla Comunità Europea (EN 1050, 1996) che indica il rischio relativo ad una specifica sorgente di rischio (o pericolo) *come una funzione della ampiezza del possibile danno che può risultare dal pericolo considerato e della probabilità di accadimento di quel danno (a sua volta funzione della frequenza e durata dell'esposizione, della probabilità di accadimento dell'evento pericoloso e della possibilità di evitare o limitare il danno).*

Definizioni e terminologia

- Quindi il rischio ha un limite inferiore (che è prossimo a zero nel caso in cui non vi sia un'apprezzabile possibilità di un evento avverso o in cui l'estensione delle conseguenze sia sostanzialmente nulla) ma non ha un limite superiore (perché l'entità delle conseguenze è fortemente influenzata dal valore esposto che può essere esteso infinitamente, si pensi al rischio di un'esplosione nucleare).
- **La valutazione e la quantificazione integrata di pericoli, esposizioni e rischi è un contributo fondamentale a qualsiasi processo decisionale di gestione dei rischi** (quindi anche a qualsiasi studio di pianificazione) che assuma come **criterio base la necessità di minimizzare il rischio**. Per ridurre il rischio bisogna infatti poterne quantificare con sufficiente approssimazione il valore, e ciò sia per confrontarlo con un livello stimato come *rischio accettabile* sia per valutare l'entità di un possibile suo abbassamento a seguito di azioni di riduzione della pericolosità e/o di mitigazione degli effetti. La quantificazione del livello di rischio consente inoltre di valutare (ad es. con un'analisi costi-benefici) se possibili politiche di gestione sono, prima socialmente e poi economicamente, accettabili.

Definizioni e terminologia

Perché la metodologia di quantificazione non si riduca ad uno studio teorico di limitato utilizzo per la pianificazione territoriale, cioè sia poi poco utile alla fase di risk management, è indispensabile definire i criteri per stabilire, per ogni area, il livello di RISCHIO ACCETTABILE, cioè il livello di rischio che la società può tollerare per una specifica situazione di pericolo.

I livelli di rischio si possono considerare compresi tra due limiti:

- **i livelli de manifestis, cioè quelli così elevati che, a qualsiasi costo, non si può consentire che avvengano**
- **i livelli de minimis, cioè quelli così bassi che non occorre quantificarli in quanto la probabilità del loro accadimento o il danno ad essi conseguente sono trascurabili.**

Definizioni e terminologia

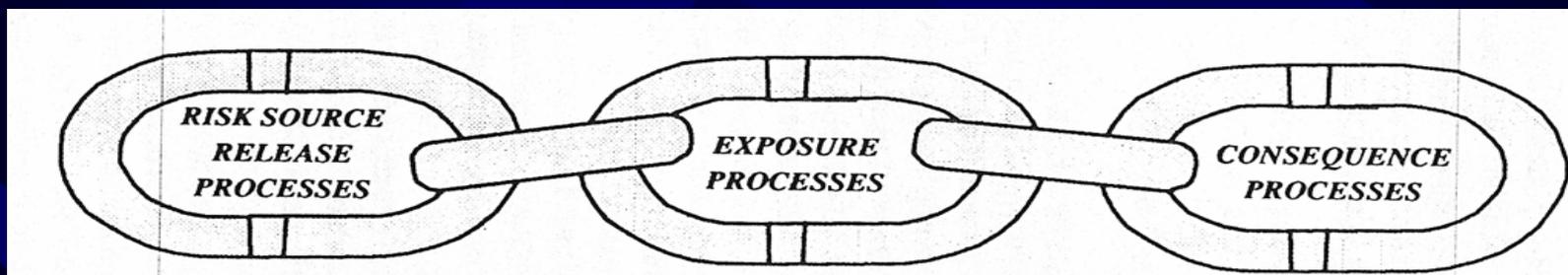
La definizione di rischio accettabile non può non dipendere dalla natura del rischio e dai recettori sensibili coinvolti, oltre che da altre variabili contestuali. Un approccio che trova vasto consenso nella definizione del rischio accettabile è il confronto con certe misure di grado di rischio di attività normalmente accettate dalla maggioranza della popolazione.

Tipicamente, i rischi inferiori a quelli di 10^{-6} di probabilità di morte prematura a causa dell'evento indesiderato sono spesso considerati accettabili dalla maggior parte degli enti governativi preposti al controllo, perché tale valore si confronta positivamente con quelli di rischio connessi con le attività umane considerate "normali".

Un criterio analogo va cercato usando anche il danno economico come unità di misura, in modo da poter considerare anche i rischi che non coinvolgono letalità ma hanno conseguenze su ambiente e cose. **La letalità non va però inclusa nella quantificazione economica del danno: tenere le due stime separate è di maggiore utilità sia per comprendere la reale tipologia delle conseguenze sia per orientare meglio il processo decisionale, cioè la fase di gestione del rischio.**

Risk assessment o Stima e Caratterizzazione del Rischio

La fase di risk assessment ha lo scopo di fornire una descrizione e una stima dei rischi. Come si è già osservato, un rischio sussiste solo se è presente un pericolo, se esiste un sistema bersaglio che può subire conseguenze negative, e se vi è un'esposizione, cioè la possibilità di un contatto tra pericolo e sistema bersaglio. In realtà, l'identificazione e la stima dei pericoli è la prima fase dell'analisi dei rischi e consente di raccogliere tutti quei dati necessari per il risk assessment.



Valutazione dell'esposizione

Lo studio dell'esposizione ha lo scopo di stimare l'entità, la durata e la frequenza delle esposizioni (di recettori attuali e potenziali) agli agenti di rischio, la natura e le dimensioni delle popolazioni potenzialmente a rischio e le modalità di esposizione.

Se l'agente di rischio è costituito da contaminanti rilasciati nell'ambiente, la costruzione di un **modello concettuale** aiuta ad individuare i possibili scenari di esposizione, vale a dire quei processi che portano le popolazioni a rischio a contatto con un comparto ambientale contaminato. **Il modello concettuale, infatti, fornisce una serie di ipotesi riguardo al comportamento delle sostanze inquinanti nell'ambiente e alle vie di migrazione attraverso le quali possono raggiungere i recettori vulnerabili.** L'elaborazione di tale modello non può prescindere dall'acquisizione di dati sul sito e dalla conoscenza delle caratteristiche chimico-fisiche dei contaminati (tempo di residenza, tempo di dimezzamento, trasformazione in altri composti chimici, bioaccumulo, metabolismo, ecc...).

Valutazione dell'esposizione

Le modalità con cui un inquinante può essere assorbito dagli organismi viventi sono di tre tipi: **ingestione, inalazione e contatto dermico**. Spesso le vie di esposizione sono interconnesse nel senso che si può essere esposti ad una stessa sorgente di contaminazione con modalità differenti (p. es., se l'acqua utilizzata per una doccia è contaminata, si ha esposizione sia per contatto dermico che per inalazione dei vapori generati). Mettendo insieme i dati sulla migrazione degli inquinanti, sugli scenari di esposizione e sui sistemi bersaglio, si possono applicare modelli di esposizione (come i *Multimedia and Multipathway Exposure Modeling*); l'output di tali modelli è la stima della durata e della frequenza delle esposizioni, della dimensione delle popolazioni potenzialmente a rischio e del tasso con cui i contaminanti vengono assorbiti dall'organismo.

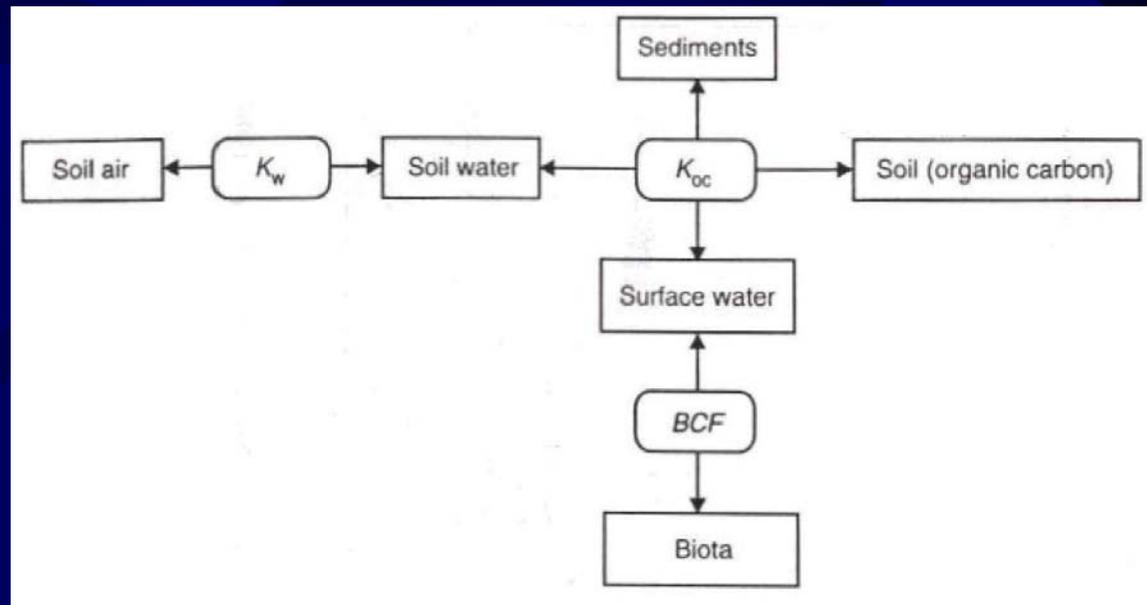
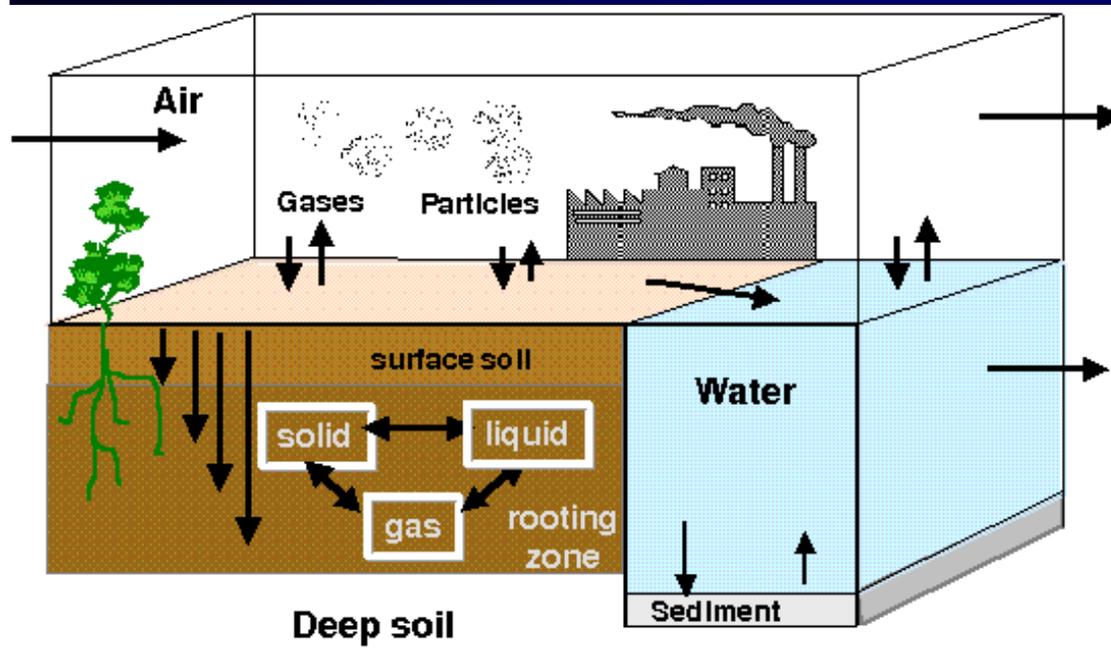
Valutazione dell'esposizione

Le modalità con cui un inquinante può essere assorbito dagli organismi viventi sono di tre tipi: **ingestione, inalazione e contatto dermico**. Spesso le vie di esposizione sono interconnesse nel senso che si può essere esposti ad una stessa sorgente di contaminazione con modalità differenti (p. es., se l'acqua utilizzata per una doccia è contaminata, si ha esposizione sia per contatto dermico che per inalazione dei vapori generati). Mettendo insieme i dati sulla migrazione degli inquinanti, sugli scenari di esposizione e sui sistemi bersaglio, si possono applicare modelli di esposizione (come i *Multimedia and Multipathway Exposure Modeling*); l'output di tali modelli è la stima della durata e della frequenza delle esposizioni, della dimensione delle popolazioni potenzialmente a rischio e del tasso con cui i contaminanti vengono assorbiti dall'organismo.

Valutazione dell'esposizione

Per la costruzione del modello concettuale, si utilizzano modelli di dispersione degli inquinanti: si tratta di strumenti deterministici, vale a dire basati su principi chimico-fisici. Necessitano, quindi, di dati sia sulle sostanze coinvolte che sulle caratteristiche del sito con particolare riguardo a quelle variabili che influiscono sulla migrazione dei contaminanti nell'ambiente (direzione e velocità del vento o del flusso delle acque sotterranee...). **Lo studio dell'esposizione coinvolge anche fattori probabilistici perché il contatto con le sostanze inquinanti è legato alle caratteristiche dei singoli recettori (età, sesso, stato di salute ed altri fattori) e alle abitudini delle persone;** per esempio, se un alimento è contaminato, l'esposizione può dipendere dal modo in cui viene cucinato o conservato, dalla quantità che viene consumata, ecc...

La migrazione dei contaminanti nei comparti ambientali



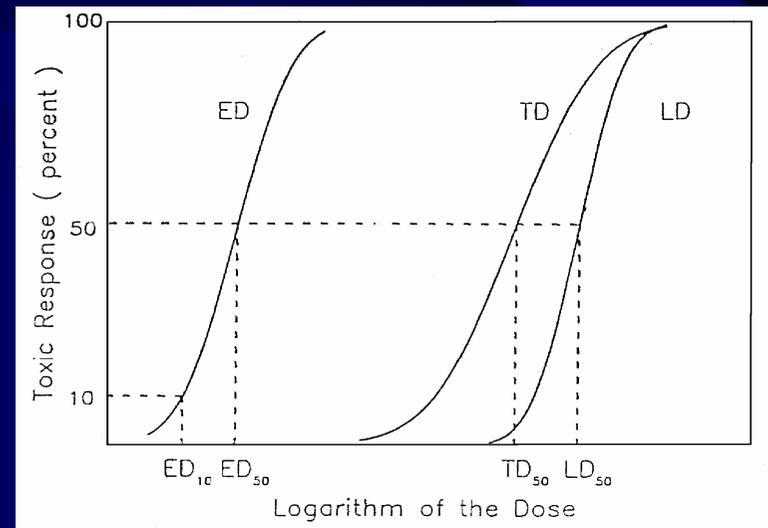
Valutazione delle conseguenze

Lo studio delle conseguenze di rilasci di sostanze pericolose coinvolge settori scientifici come la tossicologia e l'ecotossicologia che si occupano degli effetti dell'esposizione ad agenti tossici, chimici e fisici, sulla salute umana e sui recettori ambientali (popolazioni, comunità, ecosistemi). Le caratteristiche tossiche di una sostanza sono in genere classificate in base agli organi o ai sistemi bersaglio (ciò che viene danneggiato), o in base agli effetti che producono. Tipicamente, **questa fase dell'analisi dei rischi inizia con la compilazione dei profili tossicologici delle principali sostanze presenti nel sito contaminato**, cioè con la raccolta di dati per identificare la tossicità dell'inquinante (modalità di assunzione, test di tossicità cronica e acuta, dati clinici, ecc...).

Valutazione delle conseguenze

Per valutare il rapporto tra il grado di esposizione ad una sostanza chimica e i conseguenti effetti indesiderati, il metodo più usato è quello della curva dose-risposta (dose-response model): consiste nella costruzione di un grafico che mette in relazione il logaritmo della dose (quantità di sostanza assorbita dall'organismo per evento di esposizione) e la risposta (quantificazione dell'effetto).

Le curve dose-risposta si ottengono sperimentalmente somministrando ad un gruppo di organismi campione, in genere animali, dosi crescenti di una sostanza tossica e rilevando l'entità o l'incidenza di un certo effetto negativo. Una curva dose-risposta ha un andamento sigmoidale, con il punto di flesso corrispondente a quella dose per la quale il 50% degli organismi campione subisce l'effetto.



Valutazione delle conseguenze

Lo studio della relazione dose-risposta è un metodo statistico perché l'esposizione può variare nel tempo complicando il calcolo della dose e anche perché gli organismi possono rispondere diversamente all'assunzione di una stessa quantità di un agente tossico a seconda delle caratteristiche individuali. Questo metodo può offrire risultati affetti da un certo errore per diversi motivi: in alcuni casi le conseguenze negative di una sostanza non sono ancora provate oppure vi è un certo ritardo dell'effetto rispetto all'esposizione. Si possono commettere errori applicando all'uomo dati ottenuti da studi sugli animali, inoltre ben poco si conosce degli effetti additivi, sinergici e antagonisti che possono derivare dall'esposizione a più contaminanti.

- Combinando i dati ottenuti dall'analisi delle conseguenze con quelli ottenuti nello studio dell'esposizione si ottiene una stima del rischio.

Stima del rischio

La stima del rischio riassume ed integra i risultati degli studi sull'esposizione e sugli effetti e quindi rappresenta l'ultima fase del risk assessment. Fornisce una stima del rischio, cioè della probabilità che si verifichino conseguenze negative a recettori umani ed ecologici in seguito a particolari condizioni di esposizione ad un pericolo.

La determinazione del rischio deve essere accompagnata da uno studio delle incertezze derivanti da approssimazioni o errori commessi nelle varie fasi dell'analisi. Le incertezze che influiscono sulla stima del rischio sono legate alla quantità e all'affidabilità dei dati disponibili e alla capacità dell'analista di elaborarli.

La definizione accurata delle azioni strategiche di controllo del rischio non potrà che avvenire a valle di tale quantificazione. In particolare, il valore di pericolosità connessa ad una certa sorgente di rischio può suggerire l'individuazione di **azioni preventive di riduzione della pericolosità, mirate cioè a ridurre la probabilità di accadimento del potenziale evento avverso** (quali, ad es., l'adozione di componenti industriali di maggiore affidabilità, intense ed estese campagne contro la criminalità che gestisce gli sversamenti illegali, una gestione secondo criteri avanzati di sicurezza degli impianti di smaltimento rifiuti) mentre **l'entità del danno può guidare nella definizione di azioni preventive di mitigazione**, mirate cioè a ridurre l'entità del possibile danno conseguente ad un evento avverso.

Tali azioni di mitigazione possono essere sia *pre-evento* (quali, la delocalizzazione di impianti a rischio verso zone con un più basso numero di elementi territoriali ed ambientali vulnerabili o il cambio di destinazione d'uso di un'area con presenza di siti contaminati) sia *post-evento* (quali, la definizione e organizzazione di piani di emergenza, la realizzazione di barriere di contenimento/assorbimento di nubi tossiche o di vapori infiammabili, la messa in sicurezza di sostanze inquinanti in un sito contaminato e la sua successiva bonifica).

La valutazione del rischio supporta quindi il pianificatore e chi opera il controllo sul territorio nella definizione di due parametri fondamentali nell'ambito del risanamento dei siti contaminati: il **livello di contaminazione del sito ed il livello di bonifica**.

Dalla conoscenza del livello di contaminazione si può stabilire quale grado di decontaminazione si vuole raggiungere ovvero si stabilisce il livello di intervento. La scelta dei livelli di intervento e quelli di bonifica sono probabilmente le due più importanti decisioni politiche in un programma di risanamento. Questi livelli non possono e non devono essere fissati in modo indipendente l'uno dall'altro e dipendono da ogni specifico caso, dalla natura del contaminante, dalla sua mobilità nei comparti ambientali (aria, suolo, acque), dalla tipologia e distribuzione sul territorio dei recettori sensibili tra cui la popolazione. Inoltre, il livello di bonifica è inscindibile dalla futura destinazione d'uso del sito.

L'analisi del rischio è lo strumento da utilizzare per quantificare il rischio ambientale relativo al grado di contaminazione del sito pre-intervento e per stabilire il livello di bonifica (*cleanup*) richiesto in base alla destinazione d'uso stabilita dal pianificatore. Il livello di *cleanup* e la destinazione d'uso sono correlate dalla preliminare definizione del livello di rischio accettabile.

Perché uno schema di tal genere sia operativo è necessario stabilire delle categorie di destinazioni d'uso alle quali associare indici di rischio quantitativi. In questo modo la scelta della destinazione d'uso e del metodo di bonifica nonché il calcolo dell'indice di rischio residuo e di quello accettabile saranno output di un processo di analisi quantitativo ed oggettivo.

Nel grafico seguente è riportata una distinzione della destinazione d'uso del territorio in 4 categorie: agricolo/zootecnico, ricreativo; residenziale, commerciale/industriale. Come si può vedere la soglia del rischio accettabile è differente per ogni categoria in quanto per ognuna di esse si può stimare un valore del rischio differente. In particolare, ciò che differenzia le diverse categorie è l'esposizione ovvero sia i meccanismi di migrazione del contaminante verso il recettore che la probabilità di raggiungere il recettore stesso.

Un sito adibito a pascolo di vacche da latte è infatti ad altissimo rischio in quanto la sostanza contaminata entra nella catena alimentare attraverso il percorso “suolo/acqua – erba – latte/carne” e raggiunge con probabilità unitaria il recettore. Se ci sia o meno danno dipenderà dalla dose ovvero dalla quantità dell'alimento contaminato, dalla concentrazione accumulata nell'alimento e dalle condizioni generali dell'individuo. E' chiaro quindi che la soglia accettabile per un sito agricolo o adibito a pastorizia deve essere molto più bassa di quelle attribuibili ad altre categorie



Si deve inoltre considerare che i siti contaminati possono essere classificati in base alle seguenti classi di rischio:

- **rischio basso:** siti che non richiedono risanamento, tali cioè che o il livello di contaminazione o il livello di esposizione per gli essere umani e per le risorse ambientali sono bassi.
- **rischio medio:** siti dove sono state rilevate azioni di contaminazione ma non a livelli tali da destare preoccupazioni per la salute dell'uomo dell'ambiente;
- **rischio alto:** siti che costituiscono un rischio altissimo per la salute dell'uomo o dell'ambiente perché la contaminazione interessa falde o terreni adibiti ad agricoltura/zootecnia o ha a disposizione percorsi di migrazione verso i recettori sensibili (i recettori sensibili o vulnerabili sono organismi vegetali o animali appartenenti alla esosfera che possono ricevere un danno dall'esposizione con una specifica sostanza) molto agevoli;

Se si interseca il diagramma delle destinazioni d'uso con quello che riporta le aree di rischio basso, medio e alto come definite in precedenza, si può notare che le categorie con esposizione più agevole devono ricadere nelle aree a basso rischio. Le aree a medio rischio possono includere destinazioni d'uso per cui l'esposizione non è favorevole e quindi il contatto con il recettore non è probabile né avverrebbe con concentrazioni di esposizione tali da recare danni. Nelle aree ad alto rischio non deve essere invece permesso alcun contatto recettore-sito.

