

**PRINCIPALI PARAMETRI CHE  
DETERMINANO LA PERICOLOSITÀ  
ED IL DESTINO AMBIENTALE DELLE  
SOSTANZE CHIMICHE**

# DISTRIBUZIONE AMBIENTALE

**Le sostanze chimiche introdotte nell'ambiente per specifici scopi ed in varie maniere.**

- si muoveranno dal punto di entrata (fase ambientale: aria, acqua, suolo)
- verso la loro destinazione finale, ossia **il comparto ambientale per il quale hanno la maggiore affinità.**

## **Tale comparto**

- può bloccare o semplicemente fungere da serbatoio cosicché le sostanze chimiche possono essere trasferite nuovamente verso altri comparti.

**Vanno incontro a trasformazioni in ogni comparto ambientale incluso il biota.**

# DISTRIBUZIONE AMBIENTALE

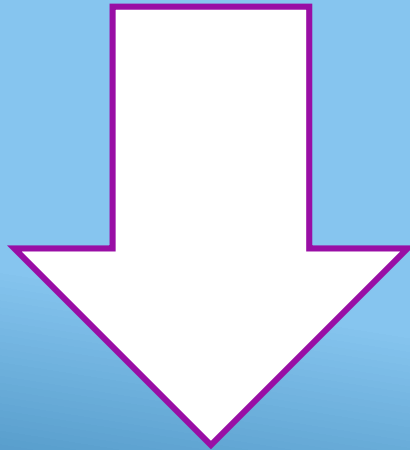
**Vie attraverso le quali gli inquinanti entrano negli ecosistemi**

- Acque superficiali
- Contaminazione del suolo
- Scarico in atmosfera

# DISTRIBUZIONE AMBIENTALE

**Le modalità di dispersione del contaminante nei diversi mezzi**

Riflettono le condizioni ottimali di distribuzione del contaminate a seconda delle sue proprietà chimico-fisiche.



# DISTRIBUZIONE AMBIENTALE

## Le modalità di dispersione del contaminante nei diversi mezzi

### **se volatili**

- possono essere rilasciati nell'aria e trasportati dal vento;

### **se non-volatili** con affinità da moderata a forte per l'adsorbimento su suolo

- possono essere trasportate dalla polvere per mezzo dell'erosione eolica;

### **se solubili in acqua** e con bassa tendenza ad adsorbirsi al suolo

- possono essere lisciviati, infiltrare, e percolare nelle acque di falda;
- possono sciogliersi in acque di ruscellamento e scaricarsi in acque superficiali;

# DISTRIBUZIONE AMBIENTALE

## Le modalità di dispersione del contaminante nei diversi mezzi

### **se con forte affinità per il suolo e sedimenti**

- possono essere risospesi e riversati con le acque nel corso di esondazioni;

### **se presenti in falda**

- possono riversarsi in acque superficiali ove presenti punti di scarico (pozzi, sorgenti);

### **se adsorbiti nei sedimenti**

- si possono ripartire nell'acqua interstiziale e i pori e rendersi biodisponibili al benthos;

# DISTRIBUZIONE AMBIENTALE

Processi a cui può andare incontro una molecola di inquinante

## Volatilizzazione

## Trasporto:

lisciviazione, dilavamento, trasporto via corrente

## Immobilizzazione:

**Assorbimento** avviene principalmente nel biota

**Adsorbimento** avviene principalmente sulle superfici di particolato sospeso, sedimenti e suolo.

**A differenza delle molecole assorbite, le molecole adsorbite possono ancora essere degradate.**

## Degradazione:

**Chimica:** idrolisi, ossidazione and riduzione;

**Fisica:** fotolisi, dissociazione e ionizzazione ;

**Biologica:** biodegradazione

# DISTRIBUZIONE AMBIENTALE

## Trasporto e destino nel **suolo**

- Lisciviazione attraverso il suolo
- Dilavamento
- Adsorbimento
- Biodegradazione
- Accumulo
- Bioaccumulo in piante ed animali ed eventuale metabolismo
- Volatilizzazione
- Fototrasformazione



# DISTRIBUZIONE AMBIENTALE

## Trasporto e Destino in ambienti **acquatici**

- **Biodegradazione**
- **Fotodegradazione**
- **Bioaccumulo in organismi acquatici**
- **Volatilizzazione**
- **Adsorbimento su solidi sospesi e sedimenti**

# DISTRIBUZIONE AMBIENTALE

Trasporto e Destino in **aria**

- **Fotodegradazione**
- **Inalazione**
- **Assorbimento**
- **Precipitazione**

# DISTRIBUZIONE AMBIENTALE

- **Le proprietà chimico-fisiche degli inquinanti e le caratteristiche del comparto abiotico** determinano quanto tempo ed in che forma una sostanza si troverà o si muoverà da/per un dato comparto
- **Es.di proprietà delle molecole:**
  - massa, carica, solubilità, costante di Henry, tensione di vapore, coefficienti di ripartizione
- **Es.di proprietà dei comparti:**
  - pH, sostanza organica, tessitura del suolo, particolato fine, temperatura, etc.

# DISTRIBUZIONE AMBIENTALE

## MECCANISMI DI RIPARTIZIONE

- **Meccanismi grazie ai quali una sostanza**

tende a muoversi verso il comparto ambientale (aria, acqua, suolo, biomassa, sedimento) per il quale presenta un maggior grado di affinità:

- **Tale affinità è determinata**

dalle caratteristiche chimico-fisiche della molecola  
e dalle caratteristiche del comparto

# DISTRIBUZIONE AMBIENTALE

## MECCANISMI DI RIPARTIZIONE

- **Proprietà chimico-fisiche della molecola:**

peso molecolare, densità, punto di fusione, punto di ebollizione, solubilità in acqua o altri solventi (es. organici), tensione di vapore, coefficienti di ripartizione

- **Caratteristiche del comparto:**

idrofobicità (presenza di gruppi con o senza carica), pH, temperatura, stato fisico

# DISTRIBUZIONE AMBIENTALE

- **Persistenza:**

intesa come residenza è il tempo di permanenza di un inquinante in un determinato comparto, qualunque sia la via cui questo viene rimosso (degradazione, trasporto di massa, assorbimento).

- **Resistenza alla degradazione:**

capacità di una sostanza di rimanere in forma inalterata nell'ambiente.

è rappresentata dal tempo di dimezzamento (*half life*), il quale è in genere riferito ai vari comparti ambientali.

# DISTRIBUZIONE AMBIENTALE

- **La degradazione**

fenomeno che determina la scomparsa di una sostanza per reazione

- **Biologica:**

**Biodegradazione:** microrganismi aerobi ed anaerobi

**Metabolismo:** organismi superiori (produzione di metaboliti)

- **Abiotica:**

fotodegradazione,

idrolisi,

ossido-riduzione

# DISTRIBUZIONE AMBIENTALE

La resistenza alla degradazione dipende da:

- **Somiglianza** dello xenobiotico ad un composto naturale
- **Concentrazione** (soglia necessaria per induzione)
- Possibile **effetto tossico** sui microorganismi
- Scarsa **biodisponibilità**
- **Struttura chimica** (anelli poliaromatici con molti Cl<sup>-</sup> sono poco attaccabili)
- Da **fattori ambientali**:
  - **Fisici**: irraggiamento, temperatura, umidità
  - **Chimici**: nutrienti essenziali, pH, potenziale redox, coemtaboliti, specie reattive
  - **Biologici**: comunità microflora



# DISTRIBUZIONE AMBIENTALE

## BIODEGRADAZIONE

**Trasformazione strutturale di un composto organico realizzata da reazioni effettuate da microorganismi**

- **Biodegradazione primaria o funzionale**

altri composti organici (in genere “più piccoli”) – più degradabili

- **Biodegradazione totale o mineralizzazione:**

$\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{PO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$

## Substrato

### **POCO CONCENTRATO**

può non indurre gli enzimi necessari per la biodegradazione

### **TROPPO CONCENTRATO**

può essere tossico per i microorganismi

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

**l'identificazione del pericolo delle sostanze chimiche ed il loro potenziale destino nell'ambiente.**

- **diviene importante conoscere**
  - le proprietà fisiche, chimiche, di bioaccumulo e tossicologiche delle sostanze in esame
- **per valutare il rischio della loro presenza nell'ambiente.**

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## PARAMETRI CHIMICO- FISICI

- **I parametri chimico-fisici**
  - dipendono solamente dal tipo di sostanza chimica
  - identificano in modo univoco la sostanza.
  - sono parametri ricavabili o da indagini in laboratorio oppure dalla letteratura.

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## Temperatura di Fusione e di Ebollizione

- **La conoscenza di questi due valori,**
  - può fornire un' idea dello stato fisico in cui queste sostanze si trovano in natura.
  - Tuttavia una sostanza può passare in fase gassosa molto prima che la temperatura raggiunga la temperatura di ebollizione (volatilità).
- **Queste due temperature di riferimento**
  - **prese singolarmente** non hanno un grande utilizzo dal punto di vista ambientale;
  - **essi diventano,** al contrario, veramente utili per stimare altre proprietà.

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## **Solubilità**

**È UNO DEI PIÙ IMPORTANTI FATTORI CHE DETERMINANO IL TRASPORTO DEGLI INQUINANTI NEL SOTTOSUOLO.**

- **rappresenta la capacità di una sostanza di sciogliersi in acqua**  
viene indicata dal rapporto tra la quantità soluto ed il volume del solvente, nella pratica ambientale rappresentato dall'acqua.
- **è un parametro caratteristico della sostanza**  
che varia al variare delle condizioni di temperatura e di pressione e viene generalmente espresso in mg/L o in moli/L.

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## Solubilità

- **Sostanze ioniche e polari**  
si dissolvono in acqua
- **Sostanze non-polari o debolmente polari**  
si dissociano in acqua in percentuali molto basse.
- **Sostanze come i POPs** come diossine, PCBs ed alcuni pesticidi organici clorurati,  
sono debolmente disciolti in acqua.

**Queste stesse sostanze saranno, invece, disciolte nel più importante tra i solventi non-polari e debolmente polari ovvero il lipido biotico.**

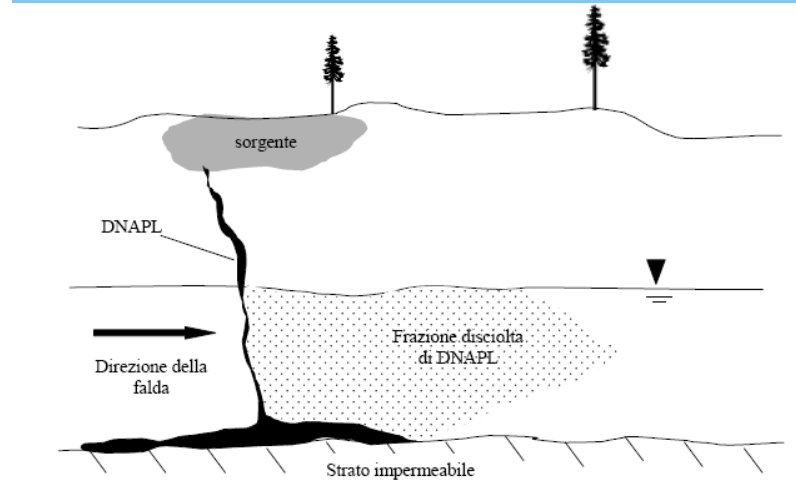
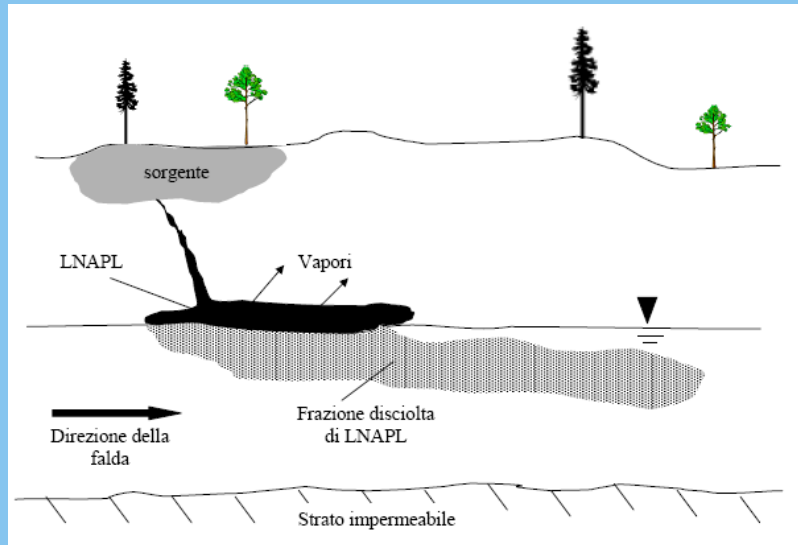
# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## Densità

- ▶ **La densità di un fluido  $\rho_f$  (g/cm<sup>3</sup>), definita anche in rapporto a quella dell'acqua che ha valore unitario,**  
è un parametro importante in quanto condiziona il comportamento dei fluidi nel terreno rispetto all'acqua.
- ▶ **i composti miscibili**  
vengono trasportati in soluzione dalle acque d'infiltrazione e tendono ad allargarsi ed approfondirsi nell'acquifero secondo le leggi della dispersione idrodinamica,
- ▶ **quelli immiscibili più leggeri dell'acqua (LNAPL)**  
tendono a galleggiare sulla superficie della falda,
- ▶ **quelli più pesanti (DNAPL)**  
spazzano l'acqua dai pori e si approfondiscono nell'acquifero fino a raggiungere un orizzonte poco permeabile;  
**l'insieme di LNAPL e DNAPL viene definito NAPL**



# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE



**La frazione immiscibile organica più leggera dell'acqua** forma uno strato sopra la falda.

**La frazione immiscibile organica più pesante dell'acqua** forma uno strato al di sotto della falda. La direzione di questo strato dipende dalla conformità dello strato impermeabile e non dalla direzione della falda.

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## NAPL

- ▶ non si dissolvono nell'acqua ai valori di solubilità a saturazione di letteratura, ma secondo questa espressione:

$$S_i^{\text{eff}} = X_i \cdot S_i^0$$

- ▶  $S_i^{\text{eff}}$  è l'**effettiva** solubilità pura del composto iesimo, nella miscela NAPL.
- ▶  $X$  è la **frazione molare** del composto iesimo;
- ▶  $S_i^0$  è la **solubilità** del composto iesimo che si trova in letteratura;

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

LNAPL	DNAPL
Benzene	Tricloroetilene (TCE)
Toluene	Pentacloroetilene (PCE)
Idrocarburi combustibili	PCBs
Olii	

## **solubilità di miscele di idrocarburi**

Il benzene che ha una solubilità in acqua pari a 1750 mg/l a contatto con la benzina (assumendo una frazione molare pari a 0,02) ha una solubilità molto più bassa di circa 35 mg/l.

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## Volatilità

- ▶ **La volatilità di un composto può essere considerata in relazione**
  - alla pressione di vapore
  - alla costante di Henry
- ▶ **La pressione di vapore (Pa) di un composto**
  - rappresenta la tendenza dello stesso ad evaporare
  - viene espressa dalla pressione esercitata dalla fase gassosa di una sostanza quando essa è in condizioni di equilibrio.
  - maggiore è la **pressione di vapore** maggiore è la tendenza del composto a passare in fase gassosa.
- ▶ **La temperatura di ebollizione è un parametro che, legato alla pressione di vapore,**
  - ci indica la tendenza del composto a passare in ambiente gassoso.

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## Volatilità

- ▶ **Un composto organico volatile allo stato liquido in fase non acquosa può provocare pennacchi di vapore che possono dirigersi verso i recettori superficiali e verso la falda.**
- ▶ **La percentuale relativa di vaporizzazione è controllata dalla pressione di vapore del composto organico, che varia notevolmente con il composto e con la temperatura.**

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## volatilità

Ad esempio il TCE ha una pressione di vapore a 20°C pari a  $P^{\circ}=0.076$  atm, la concentrazione del composto in aria secondo la legge dei gas ideali sarà:

$$C_{vap} = \frac{n}{V} = \frac{P}{R \cdot T} = \frac{0.076}{0.082 \cdot (20 + 273)} = 0.0032 \frac{moli}{l}$$

*oppure*

$$C_{vap} = 0.0032 \cdot 131.5 = 0.42 \frac{g}{l}$$

Il rischio associato all'evaporazioni di composti volatili è uno scenario molto probabile

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## Volatilità

- ▶ **volatilità dall'acqua**  
molto importante.

$$K_H = \frac{P_{\text{air}}}{C_w}$$

- ▶ **La costante di Henry,**

definita come partizione tra l'aria e l'acqua di un determinato composto,

è data dal rapporto tra la pressione parziale di un composto in fase gassosa e la sua solubilità e può essere espressa in  $\text{atm}\cdot\text{m}^3/\text{moli}$ .

- $p_{\text{air}}$  è la pressione parziale del composto in aria alla temperatura T;
- $C_w$  è la concentrazione nell'acqua

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

VOLATILITÀ	$K_H$ (atm·m <sup>3</sup> /moli)
Meno volatile dell'acqua	$< 3 \cdot 10^{-7}$
Lentamente volatile	$10^{-7} < K_H < 10^{-5}$
Moderatamente volatile	$10^{-5} < K_H < 10^{-3}$
Volatile in soluzione acquose	$> 10^{-3}$



# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## Rapporto ottanolo/acqua ( $K_{ow} = P_{ow} = P_{oc}$ )

- ▶ Uno dei parametri fisici più utilizzati nel caratterizzare il pericolo delle sostanze chimiche

$$K_{ow} = \frac{\text{concentrazione in ottanolo}}{\text{concentrazione in fase acquosa}}$$

Questa partizione imita il comportamento del rapporto grasso biotico /acqua.

- ▶ l'ottanolo ( $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_7\text{-OH}$ ) è in vari modi simile ai lipidi contenuto nel compartimento biotico.
- ▶ **Questo parametro**
  - ▶ **indica** la tendenza di un prodotto chimico a ripartirsi nella fase organica (pesci, suolo, ecc..) o nella fase acquosa.
  - ▶ **misura** l'idrofobicità di una sostanza

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

Rapporto ottanolo/acqua

## Valori di $K_{ow}$ bassi evidenziano

- ▶ alta solubilità,
- ▶ basso coefficiente di adsorbimento,
- ▶ basso fattore di bioconcentrazione nella vita in acqua.

Questo parametro viene molto usato per esprimere altri parametri

- ▶ l'adsorbimento, la bioaccumulabilità ed altri.

per valori di  $K_{ow}$  inferiori a 1000

- ▶ il composto non è bioaccumulabile.

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

Rapporto ottanolo/acqua

COMPOSTO	$K_{ow}$	$\log K_{ow}$
Etanolo	0,49	-0,31
2,4,5-T	3,98	0,60
2,4-D	37,20	1,57
Benzene	134,9	2,13
1,4-Diclorobenzene	3310	3,52
Atrazina	350	2,54
DDT	$2,29 \cdot 10^6$	6,36

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE: $K_{oc}$

$$K_{oc} = \frac{\mu\text{g adsorbito/gr di carbonio organico nel suolo}}{\mu\text{g/ml soluzione}}$$

**Rappresenta la tendenza di una sostanza ad essere assorbita in una fase solida,**

può essere usato per composti neutri fintanto che il contenuto di sostanza organica nel suolo sia maggiore di una quantità minima (2%).

la mobilità di una sostanza nel suolo

**la distanza percorsa** in una colonna di suolo saturata con acqua in rapporto alla distanza percorsa dall'acqua.

**Alta se** ha una bassa tendenza ad essere assorbita dal suolo e viceversa.

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE: $K_{oc}$

Può essere stimato utilizzando il coefficiente di ripartizione ottanolo/acqua

in questo caso la relazione è la seguente:

$$\log K_{oc} = a \cdot \log K_{ow} + b$$

I valori delle costanti  $a$  e  $b$  dipendono dal tipo di inquinante e dalla tipologia di suolo utilizzato.

La mobilità di un composto può essere espressa in termini di questo parametro.

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE: $K_{oc}$

MOBILITÀ NEL SUOLO	$K_{oc}$
Molto grande	0-50
Grande	50-150
Media	150-500
Bassa	500-2000
Molo bassa	2000-5000
Immobile	>5000

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## Coefficiente di partizione $K_d$

considera i fenomeni di adsorbimento-desorbimento

- ▶ indica la tendenza di un composto ad aderire alla matrice solida o a passare in soluzione.

Nel caso in cui il comportamento sia lineare e reversibile il fenomeno viene indicato come **coefficiente di distribuzione**

- ▶ ed è dato dal rapporto tra la concentrazione sul solido  $C_s$  e quella sul liquido  $C_w$

$$C_s = K_d \cdot C_w$$

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## Costante di dissociazione acida

- ▶ **L'impatto ambientale di molte sostanze chimiche**

è generalmente valutato con riferimento alla forma indissociata.

- ▶ **Una grande quantità di sostanze contengono un gruppo funzionale acido o basico,**

che governa le proprietà fisiche, chimiche, biologiche della sostanza.

Le proporzioni dei composti di una specie (neutra, anionica, cationica) dipenderanno dal valore del pH.

- ▶ **Non considerare questa dissociazione**

potrebbe portare ad una falsificazione dei risultati come sottostima dell'adsorbimento della sostanza se comparato con il valore della forma indissociata.



# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## PARAMETRI DI BIOACCUMULO

- ▶ **Nella valutazione del rischio delle sostanze chimiche sugli organismi**
- ▶ **diviene importante stimare la quantità del contaminante bioaccumulato nell'organismo.**
- ▶ **Bioaccumulo**
  - ▶ **l'accumulo netto di contaminante nell'organismo da tutte le sorgenti includendo l'acqua, l'aria e la fase solida.**
    - ▶ **La fase solida** a sua volta include il cibo, il suolo, i sedimenti e materiale fine sospeso in aria o acqua.

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## ▶ **Con Bioconcentrazione**

- ▶ si intende l'accumulo netto di contaminanti solo dalla sorgente acqua.

## ▶ **Con Biomagnificazione**

- ▶ si intende l'aumento della concentrazione del contaminante nell'organismo da un livello trofico al successivo dovuto all'accumulo di cibo.

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## PARAMETRI DI DEGRADAZIONE

### ▶ **Idrolisi e biodegradazione**

sono generalmente considerati i più importanti processi di degradazione per sostanze organiche in ambienti acquosi e nel suolo.

### ▶ **la fotolisi**

è importante per le sostanze chimiche in fase vapore o in fase gassosa; In acqua e nel suolo le sostanze sono poco soggette all'azione di degradazione della luce.

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## PARAMETRI DI DEGRADAZIONE

### Idrolisi

- ▶ L'idrolisi è un processo di degradazione molto importante.
- ▶ Normalmente il processo di idrolisi è espresso da una funzione del primo ordine:

$$\frac{dC}{dt} = -k_{idr} \cdot C$$

- ▶ Dove C è la concentrazione di inquinante e k è il coefficiente di primo ordine dell'idrolisi

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## PARAMETRI DI DEGRADAZIONE

GRUPPI ORGANICI GENERALMENTE RESISTENTI ALL'IDROLISI	GRUPPI ORGANICI POTENZIALMENTE SOGGETTI ALL'IDROLISI
Alcani	Alogenati alchilici
Alcheni	Ammidi
Alchini	Ammine
Benzeni/bifenili	Carbamati
Idrocarburi policiclici aromatici	Esteri dell'acido carbossilico
Alogeni aromatici/PCB	Epossidi
Dieldrina/aldrina e relative alogenati idrocarburi pesticidi	Nitrili
Composti azotati aromatici	Esteri dell'acido fosfonico
Ammine aromatiche	Esteri dell'acido fosforico
Alcoli	Esteri dell'acido solfonico
Fenoli	Esteri dell'acido solforico
Glicoli	
Eteri	
Aldeidi	
Chetoni	
Acidi carbossilici	
Acidi solfonici	

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

- ▶ **DESTINO AMBIENTALE DEI CONTAMINANTI**
- ▶ **I parametri analizzati fino ad ora**
  - ▶ permettono di determinare il destino ambientale di un contaminante,
  - ▶ ovvero come si distribuisce nell'ambiente.
- ▶ **Nota la concentrazione del contaminante nel compartimento biotico e la sua tossicità**
  - ▶ si possono studiare gli effetti determinati.

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## DESTINO AMBIENTALE DEI CONTAMINANTI

**Per uno studio dettagliato di come una sostanza chimica pericolosa si distribuisce nell'ambiente si dovrebbero considerare almeno 6 fasi:**

**Aria**

**Acqua**

**Suolo**

**Solidi sospesi**

**Sedimenti**

**Organismi biologici.**

# PERICOLOSITÀ E DESTINO AMBIENTALE SOSTANZE CHIMICHE

## DESTINO AMBIENTALE DEI CONTAMINANTI

### Alcuni parametri che indicano il destino di una sostanza chimica

la volatilizzazione (aria/acqua), l'adsorbimento (suolo/acqua) e la bioconcentrazione (biota/acqua).

**Se una sostanza chimica è introdotta in un sistema così complesso e se si assume una situazione di equilibrio tra tutte le fasi,**

invece di introdurre tutte le equazioni di equilibrio tra le fasi e i bilanci di massa

**si può utilizzare il concetto di fugacità**

per determinare la distribuzione della fase della sostanza interessata.