



**APAT**

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

**Rapporto conclusivo dei lavori svolti  
dal Gruppo misto APAT/ARPA/CNVVF  
per l'individuazione di una metodologia  
speditiva per la valutazione del rischio  
per l'ambiente da incidenti rilevanti  
in depositi di idrocarburi liquidi**

---

### **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.sinanet.apat.it](http://www.sinanet.apat.it)

© APAT, RAPPORTI 57/2005

ISBN 88-448-0165-5

Riproduzione autorizzata citando la fonte

### **Elaborazione grafica**

APAT

*Grafica di copertina:* Franco Iozzoli

*Foto di copertina:* Paolo Orlandi

### **Coordinamento tipografico e distribuzione**

Olimpia Girolamo  
APAT - Servizio Stampa ed Editoria  
Ufficio Pubblicazioni

### **Impaginazione e stampa**

I.G.E.R. srl - Viale C. T. Odiscalchi, 67/A - 00147 Roma

Stampato su carta TCF

Finito di stampare maggio 2006

---

---

Questo rapporto costituisce il prodotto delle attività svolte negli anni 2003-2005 dal Gruppo di lavoro misto APAT-ARPA-Ministero dell'interno/CNVVF per approfondimenti tecnici sulle metodologie di valutazione delle conseguenze ambientali di incidenti rilevanti in depositi di idrocarburi liquidi pericolosi per l'ambiente.

La costituzione del Gruppo di lavoro trova origine dalla collaborazione in corso tra APAT e Corpo Nazionale dei vigili del fuoco nel campo del rischio industriale, avviata su base volontaria, ai sensi dell'Accordo stipulato nell'ottobre 2000, e successivamente riconfermata dalla Convenzione stipulata nell'ottobre 2004, ai sensi dell'art.10, comma 2 del DPR 207/2002 recante lo Statuto dell'APAT. Il Gruppo di lavoro ha costituito una preziosa occasione di mettere a comune ed integrare le esperienze maturate in questo ambito sia dal Gruppo di lavoro APAT/ARPA/APPA "Rischio industriale" sia dallo specifico Gruppo costituito presso il Ministero dell'interno –Dipartimento dei vigili del fuoco, del soccorso pubblico e della difesa civile – Direzione centrale per la prevenzione e la sicurezza tecnica, con il coordinamento dell'Area Rischi industriali.

Al riguardo si ringrazia il Dirigente dell'Area Rischi Industriali, ing. Concetto Aprile, per lo stimolo ed il supporto dato all'iniziativa.

Le attività sono state condotte con il contributo di:

Dott. Francesco Astorri – APAT/Servizio Osservatorio del Rischio nelle Aree Industriali  
Ing. Giampietro Boscaino – Ministero Interno/Comando VVF Brindisi  
Sig.ra Manuela Caparresi –APAT/Servizio Osservatorio del Rischio nelle Aree Industriali  
Ing. Gianfranco Capponi –APAT/Servizio Osservatorio del Rischio nelle Aree Industriali  
Ing. Raffaello Cerritelli – Ministero Interno/Direzione regionale VVF Emilia Romagna  
Ing. Giovanni Ciccorelli – Ministero Interno/Direzione regionale VVF Piemonte  
Ing Caterina Di Bitonto –ARPA Piemonte  
Ing. Marcella Imbrisco –Ministero Interno/Area Rischi industriali  
Ing. Maurizio Lombardi –ARPA Emilia Romagna  
Ing. Alberto Maiolo – Ministero Interno/Direzione regionale VVF Friuli Venezia Giulia  
Ing. Alberto Ricchiuti –APAT/Servizio Osservatorio del Rischio nelle Aree Industriali  
Ing. Angelo Robotto –ARPA Piemonte  
Ing. Alessandra Scalesse –APAT/Servizio Osservatorio del Rischio nelle Aree Industriali  
Dott. Glauco Spanghero –ARPA Friuli Venezia Giulia  
Ing. Romano Stefanelli –ARPA Emilia Romagna

---



---

## PRESENTAZIONE

La tutela dell'ambiente, inteso come bene della collettività da salvaguardare in tutti i suoi aspetti e, particolarmente, nel caso in cui possa essere minacciato da un evento incidentale, è un compito d'istituto del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.

Nel 1982, anno in cui l'Europa emanava la prima delle cosiddette "direttive Seveso", il decreto del Presidente della Repubblica 29 luglio 1982, n.577, fissava quale *obiettivo del servizio di prevenzione incendi la sicurezza della vita umana, l'incolumità delle persone e la tutela dei beni e dell'ambiente secondo criteri applicativi uniformi nel territorio nazionale.*

Da allora, l'impegno relativo all'esame, alla valutazione, al controllo delle attività a rischio di incidente rilevante, ha portato le strutture centrali e territoriali dei Vigili del Fuoco ad approfondire, tra le altre, anche le tematiche riguardanti la salvaguardia ambientale, in risposta al sempre più diffuso e condiviso interesse per tale materia individuato negli indirizzi comunitari e recepito nella normativa nazionale.

Al fine di perseguire i compiti istituzionali con competenza e qualificazione vengono, altresì, *promossi e svolti studi, ricerche, sperimentazioni e attività di normazione, anche in cooperazione con altre amministrazioni, istituti, enti ed aziende, come ribadito dall'emanando decreto legislativo concernente il riassetto delle disposizioni sulle funzioni ed i compiti del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.*

Il lavoro oggetto della presente pubblicazione costituisce il prodotto di una felice collaborazione avviata a seguito dell'accordo stipulato nell'ottobre 2000, e rinnovato nell'ottobre 2004, tra l'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici ed il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.

Si ritiene che i contenuti tecnici di seguito riportati possano costituire un valido supporto al lavoro di coloro che sono chiamati a valutare eventuali possibilità e conseguenze di rilasci incontrollati di sostanze suscettibili di inquinare la falda acquifera.

L'auspicio è quello di ulteriori futuri sviluppi nei rapporti di cooperazione tra le istituzioni pubbliche a beneficio della sicurezza delle persone e dell'ambiente antropizzato e naturale che le circonda.

*Roma, aprile 2006*

**Ing. Giorgio Mazzini**  
*Capo del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco*  
*Vice Capo Vicario del Dipartimento dei Vigili del Fuoco,*  
*del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile*  
*del Ministero dell'Interno*



---

## INTRODUZIONE

Tra i compiti istituzionali dell'APAT assume particolare rilevanza il supporto tecnico-scientifico agli organi preposti alla valutazione ed alla prevenzione dei rischi di incidenti rilevanti.

Tale compito viene svolto sia garantendo il supporto al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio sia nell'ambito delle attività di indirizzo e coordinamento tecnico delle Agenzie regionali per la protezione dell'ambiente.

In tale quadro è ormai collaudata la collaborazione con il Dipartimento dei vigili del fuoco, del soccorso pubblico e della difesa civile del Ministero dell'interno, prima avviata su base volontaria e poi resa istituzionale dallo Statuto dell'APAT, attraverso la previsione della stipula di una specifica Convenzione per il coordinamento delle rispettive attività nel settore del rischio industriale ed in altri settori di estrema rilevanza quali i controlli della radioattività ambientale e delle emergenze.

Questo rapporto tecnico rappresenta appunto il primo prodotto della nuova fase della collaborazione avviata con la stipula il 6 ottobre 2004 della Convenzione e riporta i risultati delle attività svolte dal Gruppo di lavoro costituito da qualificati esperti dell'Agenzia, di alcune Agenzie ambientali e del Ministero dell'interno-Dipartimento dei vigili del fuoco, del soccorso pubblico e della difesa civile, nelle sue articolazioni centrali e territoriali, per approfondire le metodologie di valutazione delle conseguenze per l'ambiente derivanti da incidenti rilevanti in depositi di idrocarburi liquidi.

I risultati ottenuti dal lavoro congiunto delle due Amministrazioni, che ha permesso di integrare al meglio le esperienze e competenze maturate nei rispettivi ambiti di intervento, vengono ora pertanto messi a disposizione dei tecnici coinvolti nelle attività di controllo sulle industrie a rischio di incidente rilevante per l'opportuna sperimentazione ed applicazione in campo, con l'obiettivo di fornire ad essi adeguati strumenti metodologici e proposte di indirizzi operativi, nel contempo speditivi ed oggettivi.

Questo rapporto, pur nella specificità dei suoi obiettivi e contenuti, assume pertanto a mio avviso la valenza di un esempio di sinergia ed ottimizzazione delle risorse da parte di componenti diverse ma dialoganti della Pubblica Amministrazione, nella prospettiva ormai ineludibile che essa si evolva compiutamente in una "rete" a disposizione dei cittadini.

Giorgio Cesari  
*Il Direttore Generale dell'APAT*





---

## INDICE

<b>1. Premessa</b> .....	11
<b>2. Obiettivi</b> .....	11
<b>3. Quadro normativo.</b> .....	11
<b>4. Concetti base e aspetti metodologici per la valutazione del rischio.</b> .....	15
<b>5. Il metodo sviluppato dal Gruppo di lavoro APAT-ARPA-CNVVF</b> .....	19
5.1. <i>L'indice di propensione al rilascio.</i> .....	29
5.1.1. 1ª Fase - Individuazione dei Fattori di Penalizzazione .....	40
5.1.2. Calcolo dell'indice di propensione al rilascio PR .....	50
5.1.3. 2ª Fase: Individuazione dei fattori di compensazione .....	50
5.1.4. Calcolo dell'indice di Propensione al Rilascio "compensato" PR' .....	61
5.1.5. Categorizzazione delle unità .....	62
5.2. <i>L'indice di propensione alla propagazione</i> .....	62
5.3. <i>Criterio di valutazione delle criticità ambientali.</i> .....	67
5.3.1. Fasi operative per la valutazione delle criticità ambientali. ....	73
<b>6. Esempi applicativi metodo</b> .....	76
6.1. <i>Indice di propensione al rilascio</i> .....	76
6.2. <i>Indice di propensione alla propagazione</i> .....	93
<b>7. Individuazione delle misure di prevenzione o protezione in funzione degli esiti della valutazione.</b> .....	100
<b>Note bibliografiche</b> .....	102
<b>ANNESSO A</b>	
<b>Rischio di contaminazione in aree industriali.</b> .....	104
A.1 <i>Cause e meccanismi di contaminazione del sottosuolo</i> .....	104
A.1.1 Caratteristiche del terreno .....	104
A.1.2. Caratteristiche dell'inquinante .....	105
A.2. <i>Comportamento degli inquinanti nel sottosuolo e nella falda.</i> .....	105
A.2.1. Comportamento nella zona satura .....	106
A.2.2 Comportamento nella zona insatura .....	107
A.3. <i>Processi chimico fisici e biologici</i> .....	108
A.3.1. Processi chimico fisici .....	109
A.3.2. Processi biologici .....	111

---

## **ANNESSE B**

<b>Tecniche di di valutazione della vulnerabilità degli acquiferi applicate all'analisi delle conseguenze ambientali di incidente rilevante</b> . . . . .	112
<i>B.1. Metodi di zonazione per aree omogenee</i> . . . . .	112
<i>B.2. Metodi parametrici</i> . . . . .	113
<i>B.3. Modelli numerici</i> . . . . .	120
<i>B.4. Il metodo predisposto dalla Direzione Generale della Protezione Civile della Spagna</i> . .	122

## **ANNESSE C**

<b>Parte 1</b> . . . . .	125
<i>C.1 Misure preventive impiantistico-gestionali</i> . . . . .	125
C.1.1 Generali . . . . .	125
C.1.2 Di dettaglio . . . . .	125
<b>Parte 2</b> . . . . .	126
<i>C.2. Strategie di intervento per il contenimento della propagazione di inquinanti nel comparto idrico sotterraneo</i> . . . . .	126
C.2.1. Presidi fissi di contenimento . . . . .	126
C.2.2 Presidi di pronto intervento e monitoraggio . . . . .	140
C.2.2.1 Sistemi di pronto intervento. . . . .	140
C.2.2.1 Sistemi di monitoraggio. . . . .	146

## **ANNESSE D**

<b>Metodi di calcolo e misura dei parametri idrogeologici attraverso al legge di Darcy</b> . . . .	148
--	-----

## **ANNESSE E**

<b>Rischi di origine naturale</b> . . . . .	152
<i>E1. Rischio sismico</i> . . . . .	152
<i>E1. Rischio inondazione</i> . . . . .	154

<b>GLOSSARIO</b> . . . . .	156
----------------------------	-----

---

## 1. PREMESSA

Gli incidenti rilevanti costituiscono un fattore di pressione ambientale completamente a se stante e sono fonte di particolare apprensione a causa di vari fattori: la potenziale portata dei loro effetti (da cui l'interesse dei media e del pubblico), la loro imprevedibilità (da cui la sensazione della mancanza di controllo e la difficoltà di garantire adeguate misure di emergenza) e l'incertezza riguardo alle loro conseguenze.

Spesso si dispone di scarse conoscenze riguardo ai percorsi che le sostanze eventualmente rilasciate potrebbero compiere nell'ambiente e al loro impatto su quest'ultimo e sulla salute, e tale incertezza è ulteriormente accresciuta dalle interazioni, talvolta imprevedute, che tali eventi possono avere con l'ambiente circostante nel momento in cui si verificano.

Sebbene i dati relativi agli eventi occorsi in passato possano fornire utili indicazioni riguardo le conseguenze ambientali di possibili eventi futuri, la complessità delle cause responsabili di questi episodi e la natura sito-specifica delle interazioni con l'ambiente rendono difficoltosa la formulazione di previsioni a riguardo.

## 2. OBIETTIVI

L'obiettivo del presente documento è quello di fornire, analizzando le cause e i meccanismi di contaminazione del sottosuolo nonché le tecniche di analisi di vulnerabilità degli acquiferi consolidate a livello internazionale e nazionale, uno strumento da applicare nella valutazione del rischio per l'ambiente causato dal rilascio incontrollato di sostanze eco-tossiche nelle matrici suolo, sottosuolo, acque sotterranee e superficiali, che costituisce una componente specifica dei rapporti di sicurezza predisposti dai gestori secondo quanto richiesto dal Decreto Legislativo 334/99 (Seveso II) "*Attuazione della direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose*" come novellato dal Decreto Legislativo 238/05 (Seveso III) "*Attuazione della direttiva 2003/105/CE che modifica la direttiva 96/82/CE sul controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose*". Le risultanze del presente lavoro scaturite nell'ambito di uno specifico gruppo di lavoro APAT/ARPA/CNVVF vengono proposte come supporto per l'individuazione delle azioni più efficaci atte a prevenire e/o ridurre la probabilità e l'entità di un "inquinamento" e di danni ai ricettori ambientali in caso d'incidente, nonché per la pianificazione urbanistica ai sensi del D.M. 9 maggio 2001 "*Requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante*" (emanato ai sensi dell'articolo 14, comma 1 del D.Lgs 334/99).

## 3. QUADRO NORMATIVO

Per introdurre i principi ai quali si ispira il presente lavoro è necessario focalizzare il quadro normativo che disciplina la prevenzione degli incidenti rilevanti.

Prevenire gli incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose e limitarne le conseguenze per l'uomo e per l'ambiente, al fine di assicurare un elevato livello di protezione in tutta la Comunità è infatti lo scopo delle direttive "SEVESO".

Il D.Lgs 334/99 ha recepito la direttiva 96/82/CE in sostituzione del DPR 175/88 (82/501/CEE SE-

---

VESO I), introducendo per la prima volta nel campo di applicazione le sostanze/ preparati classificati come pericolosi per l'ambiente.

In tal senso infatti il D.Lgs 334/99, come modificato dal D.Lgs 238/05, disciplina la vigilanza ed il controllo sulle attività svolte in insediamenti industriali/stabilimenti in cui sono presenti, o in cui si reputa possano essere generate in caso di incidente, sostanze pericolose in quantità uguali o superiori a quelle indicate nell'allegato I, ivi comprese le valutazioni dei rischi connessi con le attività produttive effettuate dai gestori.

Tale valutazione è finalizzata all'adozione delle misure atte a prevenire i rischi e limitare le conseguenze di incidenti a tutela della salute umana e dell'ambiente ivi compresa la contaminazione delle falde acquifere.

In sostanza la normativa attuativa in materia di incidenti rilevanti estende l'oggetto di tutela all'ambiente in sé per sé, anche ponendosi in collegamento con le norme che disciplinano le bonifiche, fermo restando che tali norme intervengono a valle dell'incidente, il loro campo di applicazione si fonda su principi sostanzialmente diversi e le relative attività istruttorie sono gestite da autorità diverse da quelle competenti nella materia oggetto del presente documento.

Lo strumento che consente al gestore di dimostrare in qualsiasi momento all'autorità competente di aver preso tutte le misure necessarie è, come detto, il rapporto di sicurezza. Tale rapporto deve contenere informazioni sufficienti e attendibili in materia di:

- Politica di prevenzione degli incidenti rilevanti e un sistema di gestione della sicurezza;
- Individuazione dei pericoli di incidenti rilevanti e di tutte le misure necessarie volte a prevenirli e limitarne le conseguenze;
- Sicurezza e affidabilità della progettazione, costruzione, esercizio e manutenzione di qualsiasi impianto, deposito, attrezzatura e infrastruttura connessi con il funzionamento dello stabilimento, che hanno un rapporto con i pericoli di incidente rilevante nello stesso.
- Predisposizione dei piani di emergenza interni;
- Elementi che consentono l'elaborazione di un piano di emergenza esterno;

Il rapporto di sicurezza deve quindi contenere anche informazioni in merito alla valutazione dei rischi connessi con il rilascio incontrollato di sostanze eco-tossiche nelle matrici suolo, sottosuolo, acque superficiali e sotterranee ed alle misure per prevenire e limitare gli incidenti (Allegato II Punto II e Allegato V Sezione 3 del D.Lgs 334/99 come modificato dal D.Lgs 238/05)

Al fine di comprendere meglio i criteri con cui eseguire tale valutazione è necessario riflettere su alcuni concetti in materia di rischio, pericolosità e danno ambientale prodotto da un incidente rilevante.

In primo luogo è necessario chiarire che la normativa in materia, nelle fattispecie del D. Lgs. 334/99 e del D.M. 9 maggio 2001, non chiarisce in modo esaustivo il concetto di incidente rilevante per l'ambiente e fornisce elementi che permettono definizioni solo di tipo qualitativo.

Nell'allegato VI al D.Lgs 334/99 "*Criteri per la notifica di un incidente alla Commissione*" vengono presentati i criteri secondo i quali è necessario notificare alla Commissione Europea un incidente rilevante. Tra i vari criteri riportati quelli che richiamano il concetto di conseguenze immediate per l'ambiente (punto 3 dell'allegato suddetto) prevedono la notifica alla Commissione se in sede di valutazione delle conseguenze immediate dell'incidente si siano verificati:

a) danni permanenti o a lungo termine causati agli habitat terrestri

- *0,5 ha o più di un habitat importante dal punto di vista dell'ambiente o della conservazione e protetto dalla legislazione;*

- 
- 10 ha o più di un habitat più esteso, compresi i terreni agricoli;  
danni rilevanti o a lungo termine causati a habitat di acqua superficiale o marini
  - 10 km o più di un fiume o canale;
  - 1 ha o più di un lago o stagno;
  - 2 ha o più di un delta;
  - 2 ha o più di una zona costiera o di mare;  
danni rilevanti causati a una falda acquifera o ad acque sotterranee  
1 ha o più.

Altri criteri che figurano in allegato VI sono:

b) al punto 1, quantità di sostanza coinvolta > del 5% della soglia indicata in allegato I (sostituito dall'allegato A del D.Lgs 238/05), colonna 3

c) al punto 2, conseguenze per persone o beni

- Evacuazione o confinamento per oltre due ore  
(persone moltiplicate per ora > 500)
- Interruzione servizi acqua potabile  
(persone moltiplicate per ora > 1000)

d) al punto 4, danni materiali

- Danni interni allo stabilimento  
Oltre 2 milioni di ECU
- Danni esterni allo stabilimento  
Oltre 0.5 Milioni di ECU

Mentre la valutazione di cui ai punti b, c, d è di facile comprensione, più difficile è l'individuazione di quelli che sono "danni rilevanti" e "a lungo termine" ai bersagli ambientali indicati sopra.

Il concetto di incidente rilevante per l'ambiente e di valutazione del rischio viene ulteriormente ripreso in considerazione nel successivo D.M. 9 maggio 2001, anche conosciuto come "Decreto per il controllo dell'Urbanizzazione".

Tale decreto, al fine di stabilire la compatibilità di industrie a rischio di incidente rilevante con il territorio circostante, stabilisce una soglia di rischio tollerabile basata sulla valutazione del danno o della severità dell'impatto a cui sono potenzialmente soggetti a seguito di un evento incidentale bersagli ambientali ritenuti sensibili.

La definizione: "soglia di rischio tollerabile" è particolarmente importante nell'ambito delle attività di programmazione e prevenzione attivate in un territorio. Questa soglia consente di individuare le priorità d'intervento e di decidere i criteri di gestione del rischio e di adeguamento degli strumenti urbanistici.

Il D.M. 9 maggio 2001, in effetti, sembra chiarire il concetto di danno rilevante a lungo termine per l'ambiente, non ben definito nell'allegato VI del D.Lgs 334/99, distinguendo due categorie di danno:

- Danno significativo: Danno prodotto dal verificarsi di quell'evento per cui gli interventi di bonifica richiedono un tempo presumibilmente inferiore ai due anni
- Danno Grave: Danno prodotto dal verificarsi di quell'evento per cui gli interventi di bonifica richiedono un tempo presumibilmente superiore ai due anni.

Si stabilisce l'incompatibilità ambientale per nuovi stabilimenti e, di conseguenza, il ricorso a misure di protezione e prevenzione del rischio per le situazioni di danno grave.

Il D.M. 9 maggio 2001 fornisce indicazioni sulle fasi del processo di adeguamento degli strumenti ur-

---

banistici in relazione alla valutazione dell'interazione degli stabilimenti a rischio d'incidente rilevante con la pianificazione esistente sulla base delle informazioni ottenute dal gestore (artt. 6, 7 e 8 e Allegati III e V del Dlgs 334/99) e i risultati delle valutazioni dell'autorità (art. 21 Dlgs 334/99).

- Fase 1 - Identificazione degli elementi ambientali vulnerabili
- Fase 2 - Determinazione delle aree di danno e sovrapposizione delle medesime con gli elementi ambientali vulnerabili
- Fase 3 - Valutazione della compatibilità territoriale e ambientale

Per quanto riguarda la fase 1 il decreto fornisce indicazioni su quali siano gli elementi ambientali vulnerabili (beni ambientali o bersagli) su cui effettuare la valutazione del rischio il tutto in relazione all'esigenza di assicurarne un'adeguata protezione.

Con particolare riferimento al pericolo per l'ambiente che può essere causato dal rilascio accidentale di sostanze pericolose vengono individuati i seguenti elementi ambientali, raggruppati in base alle diverse matrici ambientali vulnerabili potenzialmente interessate da un rilascio accidentale di sostanze pericolose:

- Beni paesaggistici e ambientali (*decreto legislativo 29 ottobre 1999, n.490*)
- Aree naturali protette (*es. parchi naturali e altre aree definite in base a disposizioni normative*)
- Risorse idriche superficiali (*es. acquifero superficiale; idrografia primaria e secondaria; corpi d'acqua estesi in relazione al tempo di ricambio ed al volume del bacino*)
- Risorse idriche profonde (*es. pozzi di captazione ad uso potabile o irriguo, acquifero profondo non protetto o protetto, zona di ricarica della falda acquifera*).
- Uso del suolo (*es. aree coltivate di pregio, aree boscate*)

Si osserva, peraltro, come l'art. 14 del D.Lgs 334/99, ai sensi del quale è stato emanato il D.M. 9 maggio 2001, sia stato integrato dall'art.8 del D.lgs 238/05 con l'introduzione di elementi riguardanti la tutela del paesaggio e dei beni culturali ai sensi del D.Lgs 22 gennaio 2004, nonché di "aree ricreative, e aree di particolare interesse naturale o particolarmente sensibili dal punto di vista naturale vicine a stabilimenti esistenti".

Il gestore deve fornire inoltre (fase 2) tutte quelle informazioni volte a permettere l'identificazione delle categorie di danno attese (involuppo spaziale) in relazione agli eventi incidentali che possono interessare gli elementi ambientali vulnerabili sopra citati. Sarà cura delle autorità competenti, in sede di valutazione, esprimersi sul giudizio di compatibilità e sulla efficacia delle eventuali misure di mitigazione del rischio (fase 3).

In conclusione, secondo quanto prevede la normativa, il gestore deve effettuare una analisi delle conseguenze ambientali di un incidente rilevante e sulla base dei risultati di questa fornire indicazioni sulle misure di prevenzione e mitigazione del rischio.

Tale valutazione è correlata con la dispersione di sostanze pericolose e si basa sulla stima della magnitudo delle conseguenze o del grado di severità dell'impatto o del danno prodotto dal verificarsi dell'evento, intesi come grado di perdita di fruibilità o valore degli elementi esposti provocato dal verificarsi di un rilascio.

La valutazione della vulnerabilità o danno potenziale a cui sono soggetti tali elementi deve essere effettuata tenendo conto del danno specifico che può essere arrecato all'elemento ambientale, della rilevanza sociale ed ambientale della risorsa considerata, della possibilità di mettere in atto interventi di ripristino susseguentemente ad un eventuale rilascio e viene espresso, sia pur in modo qualitativo, in termini di tempo necessari per restituire il bene alla sua completa fruibilità (bonifica). Il criterio del-

---

la stima economico-qualitativa (presumibilmente) delle conseguenze così come viene proposto dalla normativa vigente è legittimato dal fatto che l'attuale stato dell'arte, in merito alla valutazione dei rischi per l'ambiente derivati da incidenti rilevanti, non permette l'adozione di un approccio analitico efficace che conduca a risultati esenti da cospicue incertezze.

Il decreto non fornisce espressamente indicazioni sulla modalità con cui deve essere eseguita la valutazione della compatibilità ambientale degli stabilimenti a rischio ma solo elementi che portano a considerare un incidente rilevante per l'ambiente quell'evento che produce un danno per dispersione di contaminante la cui magnitudo, espressa in termini di tempo di rimozione della sostanza dalla matrice ambientale supera i due anni. La valutazione del rischio ambientale e il giudizio di compatibilità, in analogia con i criteri di valutazione del rischio d'incendio, esplosione e rilascio tossico, dovrebbe comunque realizzarsi sulla base di una matrice di probabilità/conseguenze associata agli eventi incidentali ipotizzabili negli stabilimenti in esame.

#### **4. CONCETTI BASE E ASPETTI METODOLOGICI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO**

La previsione del rischio connesso con la presenza di aziende a rischio d'incidente comprende, quindi, tutte quelle attività dirette allo studio dei fattori che causano un evento la cui intensità può determinare un danno grave per l'ambiente nell'accezione di cui al D.M. 9 maggio 2001.

Risulta chiaro da questa affermazione che tale studio ha un carattere multidisciplinare in quanto non si limita all'analisi dei processi che producono il rilascio accidentale (legati al layout impiantistico) ma anche allo studio di quei fenomeni o situazioni legati al sistema ambiente (geologici, idrogeologici, idrografici) che contribuiscono a incrementare la dispersione delle sostanze e la possibilità di danno ad elementi ambientali sensibili (acque sotterranee e superficiali e acque superficiali in connessione con acque sotterranee).

Gli strumenti di valutazione del rischio di contaminazione disponibili a livello internazionale sono molteplici, ma non soddisfano del tutto le esigenze operative dei soggetti coinvolti nella fase di verifica dei documenti forniti dal gestore e i vincoli imposti dalla normativa, causando frequentemente incertezze nella scelta della migliore tecnica che deve essere tale da soddisfare le seguenti esigenze:

- Rapidità di calcolo
- Numero ridotto di parametri di valutazione
- Massima oggettività di risultati
- Ridotto aggravio di costi per l'acquisizione dei dati

I concetti di rischio e pericolosità, come di danno e vulnerabilità sono spesso sovrapposti e confusi, in relazione alle diverse scuole di pensiero cui si fa riferimento per la loro definizione.

In linea di massima il concetto di rischio è il risultato della combinazione di due fattori:

**P = Probabilità che un evento accada (pericolo)**

**M = Magnitudo del danno conseguente all'evento**

Con valutazione del rischio, nella comune accezione, s'intende la valutazione del danno legato a fenomeni di pericolo cui è associata una forte componente di aleatorietà (incertezza) il che, da un punto di vista matematico equivale a trovare una funzione  $f$  del rischio che lega i due fattori precedentemente elencati.

$$f = (P, M)$$

---

La probabilità **P** o pericolo che si verifichi un EVENTO di una data intensità in un periodo di tempo assegnato *t* (generalmente l'anno) è collegata con la frequenza o con il tempo di ritorno **T**:

$$P = 1 - (1 - 1/T)$$

La valutazione del danno **M** è legata alla stima del grado di perdita atteso quale conseguenza dell'evento incidentale.

La determinazione quantitativa matematica della funzione di rischio *f* connesso ad un rilascio accidentale presuppone di definire un modello dell'esposizione di elementi ambientali a quel dato pericolo, che consenta di porre in relazione l'entità del danno atteso con la probabilità del suo verificarsi, tenendo conto del fattore di incertezza.

Per i rischi di incendio ed esplosione la valutazione in chiave probabilistica-quantitativa del rischio è resa possibile dal fatto che la propagazione del calore nell'ambiente aereo, l'irraggiamento, e gli effetti prodotti da questo sugli individui sono noti sia in virtù di una casistica consolidata sia per la relativa semplicità con cui si riesce, attraverso dei modelli, a simulare le varie situazioni. Il rischio infatti viene valutato in chiave probabilistica attraverso una matrice probabilità/conseguenze che pone in relazione le classi di probabilità dei top-event (o comunque di indici associati al rischio) con le curve di danno suddivise per classi di categorie in relazione agli effetti prodotti. Dopodiché in funzione degli effetti e delle probabilità di accadimento vengono stabiliti i criteri di compatibilità.

La valutazione in chiave probabilistica-quantitativa delle conseguenze di un incidente rilevante per l'ambiente presenta, viceversa, diversi ordini di problemi in ragione del fatto che a tutt'oggi, anche per la mancanza di statistiche consolidate, non sono ben definiti i criteri con cui effettivamente definire quantitativamente l'effetto negativo sull'ambiente indotto da un evento di contaminazione incidentale.

Un approccio di questo tipo richiederebbe l'uso di un elevato numero di informazioni che se dal lato impiantistico consentirebbero la stima quantitativa delle frequenze di rilascio di una determinata quantità di sostanza, dall'altro lascerebbero comunque larghi margini di incertezza nel definire la correlazione tra entità dello sversamento, magnitudo della contaminazione e degli effetti sull'ambiente ancorché si faccia riferimento alle definizioni di danno contenute nel D.M. 9 maggio 2001 e nell'All.VI al Dlgs 334/99.

Ciò in quanto esistono difficoltà oggettive nel valutare ex-ante:

- l'entità del rilascio
- il grado e l'estensione della contaminazione provocata dal rilascio
- gli effetti della contaminazione sulle matrici ambientali (analisi tossicologiche su organismi acquatici)
- il tempo di bonifica
- il contributo al danno provocato dall'incremento di contaminazione prodotto dall'evento incidentale rispetto all'eventuale presenza di un inquinamento pregresso

A tale proposito si sottolinea che l'eventuale applicazione, nel contesto della valutazione dei rischi di incidente rilevante, dei modelli che fanno capo a protocolli consolidati come l'RBCA (Risk Based Corrective Action) dell'ASTM o il ROME (ReasOnable Maximum Exposure) dell'APAT, finalizzati alla valutazione del rischio sanitario associato ad un evento di contaminazione o dei modelli per la gerarchizzazione del rischio per i siti contaminati (RISICO, ecc.), non sembra rispondere agli obiettivi



---

che tale valutazione si propone dal momento che i suddetti modelli presuppongono che gli eventi di contaminazione siano già accaduti e non forniscono indicazioni pratiche sulle misure di prevenzione e mitigazione del rischio incidentale.

Alla luce di quanto detto sopra si può ragionevolmente asserire che uno strumento generale di valutazione dei rischi deve necessariamente rifarsi, almeno in prima istanza, a criteri operativi semplificati (qualitativi o semi-quantitativi) che in virtù della mancanza di informazioni dovrà soddisfare tre requisiti fondamentali come:

1. assumere ipotesi ragionevolmente cautelative
2. garantire comunque risultati nel loro complesso congruenti con una eventuale stima probabilistica-quantitativa.
3. mantenersi coerente con le linee di indirizzo riconosciute in materia di approccio semplificato all'analisi del rischio, ovvero:

- Individuazione e caratterizzazione delle **fonti potenziali di pericolo** (sostanze, unità logiche, ecc...). Questa fase deve consentire di conoscere le evidenze oggettive di tipo tecnico ed organizzativo che possono generare rischio di rilascio;
- Individuazione e caratterizzazione degli elementi ambientali esposti: esame di ciascun gruppo di **elementi esposti** alla fonte di pericolo ed individuazione del tipo di esposizione in funzione di una molteplicità di parametri, che vanno rilevati (fattori di prevenzione e protezione degli elementi esposti al rischio, caratteristiche del mezzo di propagazione, sensibilità del bene esposto, numero degli elementi esposti);
- **Valutazione dei rischi** per ciascuno dei rischi individuati: ciò significa poter emettere un giudizio di gravità del rischio in base al potenziale di rilascio e di propagazione, confrontando conformità ed adeguatezza della situazione in essere, rispetto alle esigenze di prevenzione e protezione dai rischi;
- consentire di individuare, ove esistano, quelle situazioni di rischio per le quali sono necessarie valutazioni più approfondite, di tipo matematico-quantitativo;
- consentire l'**Individuazione delle Misure di Prevenzione e Protezione** da attuare in conseguenza degli esiti della Valutazione e stabilire il **Programma di Attuazione** delle stesse in base ad un ordine di priorità.

Un approccio che consente di conciliare obiettivi di un'analisi del rischio per l'ambiente in sé per sé, evitando di appesantire le procedure di calcolo e l'acquisizione di un numero elevato di informazioni, può essere costituito dall'applicazione combinata dei metodi speditivi semi-quantitativi utilizzati per la valutazione della pericolosità di un rilascio accidentale (vedi nella normativa nazionale il D.M. 20/10/98) e delle tecniche per la valutazione della *vulnerabilità intrinseca degli acquiferi*, visto il ruolo importante che giocano quest'ultimi sia come veicolo della contaminazione sia come bersaglio sensibile.

Da un punto di vista concettuale, si definisce *vulnerabilità intrinseca* o *passiva la suscettività specifica dei sistemi acquiferi nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni idrodinamiche e geometriche di ingerire e diffondere anche mitigandone gli effetti un inquinante fluido o idro-veicolato tale da indurre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea nello spazio e nel tempo* (Civita, 1994). Il concetto di vulnerabilità in questo senso è riferito a generiche sostanze presenti nel ciclo produttivo di un'attività industriale, aventi la caratteristica di essere in fase liquida o essere vei-

colate dall'acqua, il che comporta una maggior facilità di diffusione nel sottosuolo e un probabile rischio di contaminazione (danno) della falda acquifera e dipende esclusivamente dalle caratteristiche idrogeologiche (idrodinamiche, di ricarica chimico-fisiche) del sistema acquifero (caratteristiche intrinseche).

### Parallelismo tra possibili approcci

FASE LOGICA	APPROCCIO MATEMATICO	APPROCCI SEMPLIFICATI
<b>Identificazione dei rischi</b>	Identificazione di tutti i possibili scenari ed eventi associati	Identificazione sorgenti potenziali di pericolo percorsi e bersagli.
<b>Valutazione dei rischi</b>	Calcolo di $R = f(P,M)$ Stime matematica delle frequenze di rilascio e modellazione matematica degli effetti da calibrare per ciascun scenario ed evento associato	Esame dei parametri correlati con la probabilità <b>P</b> di accadimento e con la magnitudo del danno <b>M</b> <b>P:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologie applicate</li> <li>• Sistemi di gestione (manutenzione, addestramento, procedure operative, ispezioni ecc.)</li> </ul> <b>M:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caratteristiche delle sostanze (tossicità mobilità ecc.)</li> <li>• Caratteristiche del mezzo di propagazione</li> <li>• Esposizione</li> <li>• Sensibilità, valore del bene e numero degli elementi esposti.</li> <li>• Elaborazione Scale semiquantitative di gravità (es. alto, medio, basso)</li> </ul> Stima conservativa di ciascuna situazione a rischio al fine di valutarne la gravità.
<b>Determinazione misure prevenzione e/o protezione</b>	Identificazione della soglia di rischio accettabile $R_a$ Confronto: $R > R_a$ ? Priorità Misure di prevenzione e mitigazione	Identificazione cautelativa delle soglie di accettabilità stabilite in base a fattori che tengano conto della rilevanza del danno desunti dalla legislazione o da parametri fissati: <b>Ra</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definizione di incidente rilevante (All. VI D.Lgs 334/99)</li> <li>• Definizione di danno (DM 9 maggio 2001)</li> <li>• Tutele ambientali stabilite per legge (nazionali regionali, provinciali e comunali)</li> <li>• Criteri legislativi per la tutela delle acque potabili.</li> <li>• Criteri di protezione suggeriti da necessità locali</li> </ul>

Se alla *vulnerabilità intrinseca* si associano però informazioni connesse con la presenza di *centri di pericolo*, nella fattispecie impianti/stabilimenti, che tengano conto di fattori intrinseci correlati con il la probabilità di dispersione di sostanze pericolose (posizione, tipologia e quantità di sostanze tossiche stoccate, modalità di gestione ecc.) e si stabilisce un criterio di reciproca interazione, si fa esplicito riferimento alle tecniche per il calcolo della *vulnerabilità integrata*, citata in letteratura anche come *pericolosità* o *rischio intrinseco*. Quando alla stima della *vulnerabilità integrata* si aggiungono elementi correlati con il valore della risorsa o del bene ambientale potenzialmente soggetto a subire danno si rientra in questo caso nel campo dell'analisi, sia pur qualitativa, del *rischio di contaminazione* ( $P \cdot M$ ).

Per comprendere il concetto di vulnerabilità intrinseca e di rischio di contaminazione nei siti industriali è necessario tuttavia approfondire le cause ed i meccanismi che, in generale, presiedono alla propagazione di una sostanza ed i fattori correlati con il rischio stesso. Tali fattori sono riportati in una sezione specifica del presente documento (cfr. Annesso A).

---

## 5. IL METODO SVILUPPATO DAL GRUPPO DI LAVORO APAT-ARPA-CNVVF

L'elaborazione del metodo per l'analisi delle conseguenze ambientali di un incidente rilevante è stata eseguita in diverse fasi dove il denominatore comune era rappresentato dalla necessità di un continuo scambio di informazioni tecniche tra i soggetti istituzionali coinvolti nel processo di valutazione della documentazione fornita dai gestori, nella fattispecie ARPA e CNVVF, e dalla necessità di affrontare le varie problematiche di natura impiantistica, chimica, tossicologica e idrogeologica che sarebbero inevitabilmente scaturite durante il processo di analisi, secondo un approccio multidisciplinare.

Le fasi del processo di sviluppo della metodologia sono di seguito elencate e riportate con maggior dettaglio nella schema della pagina successiva.

- 1) Definizione del Gruppo di lavoro
- 2) Definizione del modello concettuale
- 3) Definizione delle misure
- 4) Test del Modello
- 5) Presentazione dei risultati

### *Analisi degli obiettivi*

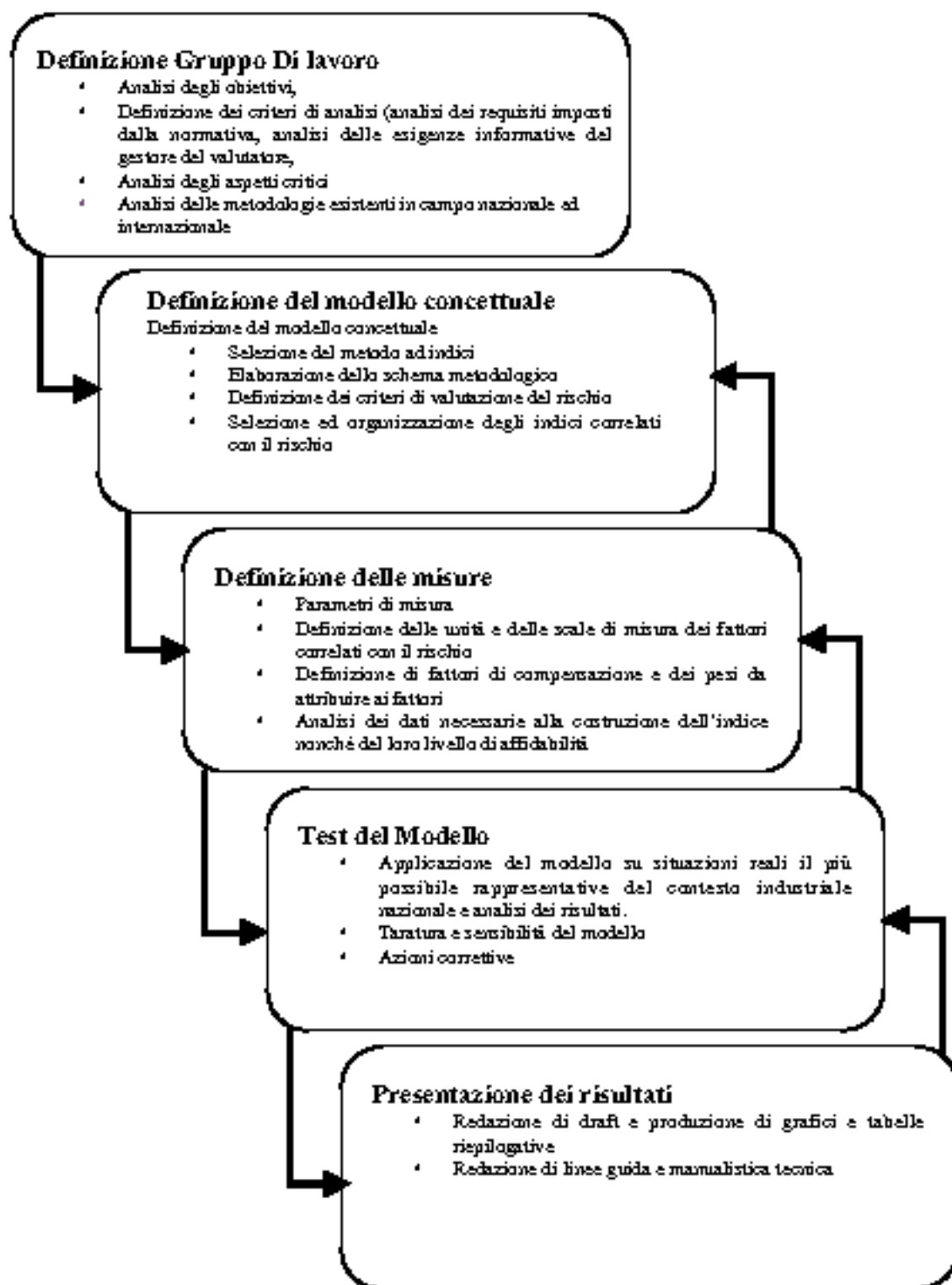
L'obiettivo principale del Gruppo di Lavoro è stato quello di delineare un metodo di valutazione semplificato delle conseguenze e degli effetti negativi che può generare il rilascio incontrollato di sostanze eco-tossiche nelle varie matrici ambientali presenti al di sotto un sito industriale.

Lo scopo è quello di fornire *agli organi tecnici coinvolti nelle fasi di verifica dei rapporti di sicurezza presentati dai gestori ai sensi del D.lgs. 334/99, e successive modifiche ed integrazioni, uno strumento di valutazione speditivo e oggettivo* finalizzato ad una facile individuazione di quelle situazioni critiche che, per aspetti impiantistici e geo-ambientali, necessitano l'adozione di metodi di analisi più sofisticati (Advanced Risk Assessment) e/o la predisposizione di interventi di prevenzione/protezione (riduzione del rischio). In tal senso la metodologia può risultare utile anche per i gestori, pur non prefigurandosi come sostitutiva delle analisi richieste dalla normativa vigente.

Il metodo qui proposto è limitato alla sola valutazione delle conseguenze ambientali indotte da rilasci incontrollati di idrocarburi liquidi che interessano il comparto ambientale sottosuolo, acque sotterranee ed elementi ambientali sensibili in continuità idraulica con esse. Non sono state prese in considerazione almeno in questa fase gli scenari di rischio che implicano il rilascio diretto nei vari ricettori ambientali, argomento che necessita approfondimenti e che sarà eventualmente integrato in tempi successivi nella metodologia proposta.

---

## Fasi di lavoro



---

### *Valutazione delle esigenze e definizione dei criteri di analisi*

Propedeutica all'elaborazione della metodologia è stata l'analisi dei requisiti imposti dalla normativa e l'analisi delle esigenze operative degli organi competenti coinvolti nella fase di verifica. A tale proposito si è rivelato utile il confronto tra i vari componenti del Gruppo di Lavoro ciascuno dei quali, nell'ambito delle proprie competenze ed esperienza, ha potuto fornire uno specifico contributo.

Tale analisi ha permesso di calibrare il metodo in modo da poter soddisfare i seguenti requisiti:

- Congruenza con la normativa vigente (D.Lgs 334/99, D.Lgs 238/05, D.M. 9 maggio 2001)
- Ridotto numero di parametri di valutazione e rapidità di procedura
- Oggettività dei risultati
- Semplicità di calibrazione
- Semplicità di utilizzo e chiarezza nell'interpretazione dei risultati

### *Analisi degli aspetti critici*

Ai fini della scelta del miglior approccio metodologico è stato tenuto debitamente conto di alcuni aspetti critici emersi preliminarmente. Tra questi, hanno richiesto un'attenzione particolare:

1. La necessità di adottare una definizione di rischio per l'ambiente e ricercare criteri di valutazione dello stesso che implementino un metodo semplificato, basato su ipotesi conservative, e che consentano di superare le incertezze e le difficoltà insite nell'approccio probabilistico-quantitativo a causa dell'oggettiva mancanza o delle difficoltà di reperimento delle informazioni necessarie.

Ciò è possibile se all'approccio probabilistico-quantitativo per la stima del rischio si sostituisce un approccio fondato sulla valutazione della minore o maggiore possibilità che possano verificarsi danni di una certa magnitudo, in relazione alla presenza di determinate caratteristiche impiantistiche e ambientali.

In tale senso si assume che sia possibile individuare situazioni di maggiore o minore pericolo (o classi di pericolo), attraverso l'analisi di una serie di "indicatori" (vedi oltre).

L'importanza di eseguire una classificazione di pericolo è giustificata dalla necessità di individuare zone o situazioni caratterizzate da maggiore propensione a causare danni di magnitudo tale da richiedere o una valutazione più approfondita o un immediato intervento di mitigazione del rischio; ciò comporta la necessità di individuare prioritariamente gli indicatori che contribuiscono ad incrementare o a ridurre la magnitudo del danno stesso.

Al fine di individuare gli indicatori correlati con la possibilità di danno grave, integrando il riferimento previsto dalla normativa attuale, vale a dire la considerazione esclusiva del tempo di bonifica, si propone di considerare l'insieme dei fattori da cui dipende la magnitudo delle conseguenze di un incidente, tra cui la tipologia ed estensione della contaminazione, la facilità di rimozione di questa dalle matrici ambientali coinvolte, nonché la rilevanza sociale del bene potenzialmente danneggiato.

Tali fattori forniscono quindi l'input per l'individuazione di indicatori in grado di consentire una misura della propensione o meno a generare un danno di una certa magnitudo.

Sarà necessario distinguere tra fattori impiantistici associati alla generazione dell'evento e alla sua pericolosità per l'ambiente (componenti impiantistiche, presenza di sistemi di protezione, quantità, mobilità, persistenza e tossicità della sostanze coinvolta) e fattori associati alle caratteristiche del territorio e legati alla suscettibilità (vulnerabilità) del sistema ambientale a subire danni di una certa magnitudo (attitudine di una matrice ambientale a disperdere una sostanza, l'attitudi-

---

ne di un elemento ambientale sensibile ad essere colpito da una sostanza, o anche l'attitudine di una matrice ambientale a recuperare la fruibilità ovvero ad essere bonificata). Per completare il quadro del rischio, nella sua accezione classica, è necessario poi aggiungere fattori più propriamente legati al valore del bene ambientale; in questo caso l'individuazione appare più problematica in quanto è difficile stabilire oggettivamente quale siano i fattori più rappresentativi dell'effettivo valore del bene ambientale e soprattutto definirne una misura. Anche in questo caso si può superare tale difficoltà discriminando elementi meno vulnerabili (ad esempio: falde a basso potenziale di sfruttamento, usi del suolo agricoli non di pregio, aree marginali), da elementi più vulnerabili (parchi e riserve, aree naturali protette laghi, ecc.) in ragione della rilevanza sociale che questi ultimi assumono.

2. La formulazione di criteri alternativi di criticità del rischio, a fronte della difficile applicazione delle definizioni qualitative di danno rilevante all'ambiente riportata sul DM 9 maggio 2001, in grado di esprimere più efficacemente la "rilevanza" o magnitudo dei danni recati all'ambiente in base ad elementi oggettivi desunti dalla normativa vigente e che tengano comunque conto dei fattori sopra indicati (quantità di sostanza fuoriuscita, estensione, persistenza e magnitudo della contaminazione e rilevanza sociale degli elementi ambientali sensibili). La criticità di tale aspetto ha una duplice componente:

La prima, riguarda l'evidenza oggettiva che il tempo di bonifica non può essere stabilito a priori in quanto la sua valutazione scaturisce dalle risultanze di un progetto che fonda la sua validità sulla raccolta sistematica e sullo sviluppo di informazioni, acquisite attraverso una indagine suddivisa in fasi cronologicamente correlate tra di loro, finalizzate a conoscere grado ed estensione di una contaminazione che si presuppone già avvenuta.

La seconda riguarda la definizione di criteri che permettano la discriminazione delle situazioni di inquinamento ordinario da quelle gravi (rilevanti).

#### *Analisi delle tecniche esistenti a livello nazionale ed internazionale e selezione delle metodologie di riferimento*

Fissati i requisiti normativi, delineate le esigenze operative nonché identificati gli aspetti critici, è stato necessario effettuare una ricognizione preliminare finalizzata alla verifica dell'esistenza di metodologie conosciute e utilizzate a livello nazionale ed internazionale in linea con i criteri e le esigenze precedentemente indicati.

Le informazioni scaturite da tale ricognizione, le cui risultanze sono riportate nell'annesso B hanno messo in evidenza non solo l'assenza di una vera e propria metodologia di riferimento adottata a livello internazionale ma anche una certa discordanza sul tipo di approccio metodologico (matematico o semplificato) da seguire.

L'oggetto di tale ricerca si è inevitabilmente focalizzato sulla protezione delle acque sotterranee, a causa del ruolo importante che giocano sia come vettore di propagazione sia come bersaglio sensibile, e per gli stretti legami che possiedono con altri ricettori ambientali, soprattutto le acque superficiali, considerati anch'essi bersagli dalla normativa e oggetto di valutazione.

Tale ricognizione ha permesso di porre le basi per la formulazione di una metodologia di valutazione in linea con l'esigenza di giungere, in modo rapido e con impiego contenuto di risorse, a conclusioni attendibili.

---

### *Metodologia di riferimento per l'analisi delle conseguenze sul comparto idrico sotterraneo e superficiale*

Per quanto concerne la protezione delle acque sotterranee si è scelto di fare riferimento ai metodi semi-quantitativi ad indici proposti da De Luca e Verga ed ai criteri con cui vengono definite le aree di salvaguardia dei punti di captazione con particolare riferimento al criterio cronologico (vedi Annesso B). Le motivazioni di tale scelta risiedono principalmente nel fatto che tali tecniche, a differenza di altre, forniscono strumenti pratici e di facile comprensione per la immediata individuazione delle situazioni critiche basata su i tempi di sicurezza o di arrivo di sostanze contaminanti al bersaglio e sulla costruzione di aree di rispetto attorno agli stabilimenti. Per bersaglio si intende la falda e tutti i corpi idrici superficiali in continuità idraulica (connessi) con questa.

Escluse da questa rassegna, perché ritenute a priori non in linea con tale obiettivo e per le motivazioni ampiamente descritte, le tecniche che implicano l'utilizzo di modelli finalizzate all'analisi del rischio sanitario nei siti contaminati.

I modelli numerici simulano molto bene le modalità di propagazione dell'acqua permettendo di valutare la magnitudo degli effetti di una contaminazione ma garantiscono un risultato esente da incertezze cospicue solo in situazioni ideali; in realtà complesse, viceversa, necessitano di un numero troppo elevato di parametri e di punti di campionamento e trovano difficile applicazione in Italia dove alla molteplicità di tipologie industriali si somma la naturale complessità idrogeologica del territorio. Essi possono comunque esser utilizzati laddove la presenza di eventuali situazioni critiche individuate con il metodo semplificato giustifica l'onere dell'acquisizione di ulteriori informazioni e quindi l'esecuzione di una valutazione avanzata del rischio (Advanced Risk Assessment).

### *Metodologia di riferimento per l'analisi della propensione al rilascio*

Per quanto concerne gli aspetti impiantistici si è fatto riferimento, in analogia con i riferimenti normativi e con il criterio di analisi dei fattori sul quale si basa il calcolo della vulnerabilità intrinseca al metodo indicizzato utilizzato nel D..M. 20/10/1998 appositamente tarato per lo studio delle caratteristiche di pericolosità intrinseca di un impianto indotta dalla propensione di questo a generare un rilascio di sostanze pericolose.

L'incrocio in una matrice di indici correlati con la pericolosità e la vulnerabilità, può consentire, in ragione di quanto anticipato nei capitoli precedenti, una valutazione del rischio anche svincolata dalle stime quantitative delle probabilità di accadimento degli scenari incidentali capaci di produrre un danno grave al sistema ambiente.

Tale scelta appare giustificata per la tipologia di stabilimenti/depositi oggetto delle attività del Gruppo di Lavoro caratterizzati da sequenze incidentali fortemente dipendenti dall'errore umano la cui valutazione quantitativa è generalmente affetta da cospicue incertezze.

### *Elaborazione dello schema metodologico e del modello concettuale*

La procedura di analisi del rischio mediante l'utilizzo di un metodo indicizzato è stata predisposta secondo il seguente schema metodologico:

1. Suddivisione dello stabilimento in aree afferenti alle diverse unità logiche per ciascuna delle quali eseguire l'analisi.
2. L'individuazione dei fattori diagnostici (impiantistici-gestionali) e geognostici (sistema ambiente) o indici correlati con il rischio.
3. Assegnazione a ciascun fattore di una misura che esprima il grado di correlazione con il rischio
4. Identificazione di fattori di compensazione o riduzione del rischio

5. Integrazione delle informazioni finalizzata ad identificare per ciascuna unità logica le criticità in relazione alla presenza di elementi vulnerabili, gli eventuali livelli successivi di approfondimento e le eventuali azioni di mitigazione del rischio.

I fattori da individuare dovranno permettere di stabilire una correlazione con il rischio nell'accezione più vicina possibile a quella prevista dalla normativa come:

- Danno rilevante ad elementi ambientali sensibili o alterazione del loro stato qualitativo oltre certe estensioni
- Danno rilevante alle acque sotterranee o alterazione del loro stato qualitativo oltre certe estensioni

E' necessario quindi discriminare:

1. Fattori Diagnostici legati ad aspetti impiantistico-gestionali che concorrono ad aumentare il pericolo di rilascio di sostanze eco-tossiche, mobili e persistenti nell'ambiente.
2. Fattori Geognostici che concorrono ad aumentare il grado di vulnerabilità intrinseca del sito o fattori intrinseci del territorio che concorrono ad aumentare la propagazione di un contaminante nel sottosuolo e nelle acque sotterranee.
3. Fattori di compensazione che concorrono a ridurre la rilevanza e/o magnitudo del danno e quindi il livello di rischio

La scelta di questi fattori deve anche consentire l'eventuale confronto spaziale o geografico tra sorgente della contaminazione ed elemento ambientale vulnerabile.

La combinazione dei fattori dovrà permettere di identificare le situazioni critiche oltre le quali l'incidente possa assumere caratteristiche di rilevanza e per il quale è necessario o il ricorso a metodi più sofisticati o l'adozione di misure di prevenzione o riduzione del rischio (Advanced Risk Assessment).

In tale caso è necessario stabilire criteri di criticità del rischio che tengano conto del tempo di migrazione delle sostanze contaminanti, della distanza dell'unità logica da elementi ambientali sensibili, della efficacia delle operazioni di messa in sicurezza d'emergenza in relazione con determinate caratteristiche ambientali del territorio circostante.

***Matrice generica di rischio per la identificazione dei livelli di criticità delle compagini ambientali interessate da un evento e azioni di intervento***

<b>Probabilità</b>	<b>Conseguenza</b>	<b>Conseguenza</b>	<b>Conseguenza</b>	<b>Conseguenza</b>
	<b>M. Basso</b>	<b>Basso</b>	<b>Significativa</b>	<b>Grave</b>
<b>M. Improbabile</b>	Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4
<b>Improbabile</b>	Livello 2	Livello 3	Livello 4	Livello 5
<b>Probabile</b>	Livello 3	Livello 4	Livello 5	Livello 6
<b>M.Probabile</b>	Livello 4	Livello 5	Livello 6	Livello 7

*Definizione dei criteri di identificazione del rischio- Selezione e organizzazione degli indici correlati con il rischio*

In relazione a quanto premesso sopra e ai fini dell'applicazione del metodo sono stati definiti due indici che esprimono la propensione di un determinato impianto e della porzione di territorio ove



---

questo insiste a causare, a seguito di rilascio, danni o conseguenze negative all'ambiente di elevata magnitudo.

Tali indici sono:

L'Indice di propensione al rilascio, esso esprime la propensione di una unità tecnica o impianto al rilascio di una certa quantità di sostanze tossiche, mobili e persistenti nell'ambiente sub-aereo. A questo scopo si fa riferimento al DM 20/10/98 "*Criteri di Analisi e valutazione dei rapporti di Sicurezza relativi ai depositi di liquidi facilmente infiammabili e/o tossici*" avendo cura di considerare i soli fattori pertinenti al danno ambientale e aggiungendo, dove applicabile, opportuni fattori integrativi (anche compensativi). Tale componente esprime la pericolosità dell'impianto e tiene conto di fattori quali:

- Quantità e caratteristiche intrinseche delle sostanze (tossicità, mobilità e persistenza nei comparti ambientali)
- Grado di Tecnologia applicato (Impianti di processo, Sistemi di controllo o contenimento)
- Sistemi di gestione (manutenzione, procedure operative, ispezioni)

L'Indice di propensione alla propagazione, esso descrive l'attitudine della porzione di terreno ove insiste l'unità/impianto a diffondere la contaminazione nel sottosuolo. Essa dipende dalle caratteristiche intrinseche del mezzo di propagazione che contribuiscono ad incrementare o a ridurre la capacità di trasferimento di una sostanza dalla generica sorgente al bersaglio e quindi la probabilità di esposizione di questo in relazione alle caratteristiche intrinseche delle sostanze interessate.

Ne risulta che fattori come "*Velocità, Direzione e Tempo di Propagazione*" sono le variabili fondamentali per la valutazione dell'intensità della propagazione (che poi possono rappresentare la propensione a produrre danno) poiché sono necessari per determinare:

- i raggi/distanze di danno, rispetto alla sorgente di rilascio (mappa delle conseguenze), nel tempo e quindi
- i tempi disponibili ad attuare gli interventi diretti a ridurre l'infiltrazione nel terreno ed evitare che l'inquinante percorra la distanza e raggiunga i ricettori ambientali vulnerabili da proteggere.

I criteri di identificazione del rischio attraverso i quali sono stati successivamente costruiti i fattori e i relativi parametri di misura fanno riferimento, per quanto concerne la propensione al rilascio, a:

1. Pericolosità delle sostanze in termini di quantità rilasciabili dall'unità logica
2. Pericolosità intrinseca delle sostanze (caratteristiche chimico-fisiche).
3. Pericolosità legata alle soluzioni impiantistiche adottate per il processo.
4. Pericolosità legata alle soluzioni impiantistiche adottate per il lay-out dell'impianto.
5. Riduzione del rischio attraverso la considerazione degli elementi che determinano la diminuzione del numero di incidenti. Essa comprende le configurazioni di sicurezza e le misure preventive rivolte ad evitare incidenti e che, presumibilmente, possono comportare una riduzione del numero degli stessi. Le caratteristiche compensative che possono condurre ad una diminuzione del numero di incidenti sono il tipo di progettazione meccanica, le strumentazioni di controllo e di sicurezza, le procedure di esercizio e di manutenzione, l'addestramento del personale, la buona conduzione e il buono stato di manutenzione degli impianti (tutte caratteristiche costituenti il Sistema di Gestione della Sicurezza complessivo dello stabilimento/deposito). Alcune di queste caratteristiche agiscono direttamente per la compensazione del potenziale di rischio, mentre altre, come l'addestramento del personale, agiscono indirettamente, in quanto assicurano che le previsioni di progetto siano adottate correttamente e non vengano eluse o eliminate.

---

6. Riduzione del rischio attraverso la considerazione degli elementi che diminuiscono l'entità potenziale degli incidenti. Esso comprende le caratteristiche di sicurezza e le misure preventive che contribuiscono a ridurre l'entità di qualsiasi incidente che possa verificarsi e sono intese a minimizzare i danni conseguenti ad un rilascio accidentale. Tale compensazione risulta ovviamente indispensabile, in quanto è impossibile eliminare completamente il rischio che un incidente si verifichi.

Per quanto concerne la propensione alla propagazione i criteri di identificazione del rischio possono essere così schematizzati:

1. Possibilità di compromettere le qualità di elementi ambientali sensibili oltre certe estensioni in relazione ad efficacia e tempistica d'intervento. Essa tiene conto della distanza che intercorre tra sorgente inquinante e determinate categorie di elementi ambientali sensibili e della possibilità o propensione di questi ad essere colpiti entro un tempo di 6 mesi, intervallo che corrisponde al tempo in cui si può assumere con ragionevole certezza che un inquinante non giunga più al bersaglio nel caso in cui:

- siano state messe in atto le prime azioni di messa in sicurezza d'emergenza
- ne sia stato verificato il corretto funzionamento
- sia stato ricalibrato il sistema in funzione delle prime risultanze delle indagini di caratterizzazione.

2. Possibilità di compromettere la qualità della sola falda oltre certe estensioni in relazione a fattori di compensazione e tempistica di intervento. Essa prende in considerazione il rischio per la sola falda a prescindere dalla presenza/assenza di bersagli in base alla possibilità di comprometterne lo stato qualitativo oltre l'estensione di 1 ha (tempo occorrente per coprire una distanza di 50 metri che corrisponde circa al raggio di un'area di 1ha) in relazione ai tempi d'intervento.

Ai fini della criticità della sola falda si considerano come fattori che possono incrementare (o ridurre) la probabilità di danno, anche in assenza di bersagli, e quindi la necessità o meno di adottare misure di protezione ovvero passare ad un livello di indagine più dettagliato quelli di seguito elencati:

- *Uso del suolo dei terreni adiacenti;*
- *Potenziale di sfruttamento della risorsa;*
- *Propensione alla bonifica.*

Essi sono correlati nel complesso con il danno economico che può derivare da un rilascio incontrollato, con l'efficacia degli interventi in emergenza e con le difficoltà oggettive di ripristino della qualità della falda.

Nella tabella seguente vengono schematizzati i criteri di identificazione del rischio, i fattori/indici di correlazione, i parametri di misura, le modalità di acquisizione e il relativo livello di affidabilità delle informazioni.

## Indice di propensione alla propagazione

### Criteri

#### Possibilità di compromettere la qualità della sola falda oltre certe estensioni in relazione ai tempi d'intervento

Prende in considerazione il rischio per la sola falda a prescindere dalla presenza/assenza di bersagli ed è correlato con la possibilità di compromettere lo stato qualitativo oltre l'estensione di 1 ha (tempo occorrente per coprire una distanza di 50 metri che corrisponde al raggio di un'area di 1 ha) in relazione ai tempi d'intervento  
 Ai fini della criticità della sola falda si considerano come fattori che possono incrementare (o ridurre) la probabilità di danno, anche in assenza di bersagli, e quindi la necessità o meno di adottare misure di protezione ovvero passare ad un livello di indagine più dettagliato (ARA) quelli di seguito elencati:

Uso del suolo dei terreni adiacenti

Propensione alla bonifica

Potenziale di sfruttamento della risorsa

Essi sono correlati, nel complesso, con il danno economico che può derivare da un rilascio incontrollato di sostanze ecotossiche, con l'efficacia degli interventi e con le difficoltà oggettive di ripristino della qualità della falda.

## Fonte dei dati di affidabilità

Fattori	P. Misura	1	2	3
<b>Vulnerabilità verticale</b>	<p>Legge di Darcy:  <math>V = Ki/h</math></p> <p>K: Conduttività idraulica                      I: Gradiente idraulico  <math>\eta</math>: porosità efficace</p> <p><b>Velocità di propagazione verticale <math>V = K</math> perché <math>I = 1</math></b></p> <p><b>Tempo di arrivo in falda <math>S/K</math></b></p> <p>K Permeabilità                      S Soggiacenza</p>	<p>Derivazione indiretta di V mediante la legge di Darcy e il parametro K</p> <p><math>V = K</math></p> <p>Carte idrogeologiche o geologiche a scala 1:10000 con datazione non superiore ai 5 anni</p> <p>Tablelle di riferimento</p> <p>Dati provenienti da pubblicazioni scientifiche articoli ecc. non superiori ai 5 anni</p> <p>o da indagini preesistenti effettuate sul sito con datazione non superiore ai 5 anni</p>	<p>Derivazione di S e K mediante studio idrogeologico alla scala dello stabilimento e effettuazione di misure su opere esistenti</p> <p>S: Rilievo piezometrico su pozzo esistente</p> <p>K: Prova di permeabilità in pozzetto</p>	<p>Derivazione di S e K mediante studio idrogeologico alla scala dello stabilimento e effettuazione di misure su opere da realizzare</p> <p>Esecuzione di sondaggio allestito a piezometro, rilievo topografico della quota del boccapozzo</p> <p>S: Rilievo piezometrico                      K: Prova di assorbimento in fase di esecuzione del piezometro su zona insatura (Le-franc)                      K Prove di permeabilità in pozzetto</p>
<b>Vulnerabilità orizzontale</b>	<p>Legge di Darcy:  <math>V = Ki/\eta</math></p> <p>K: Conduttività idraulica                      I: Gradiente idraulico  <math>\eta</math>: porosità efficace</p> <p><b>Velocità effettiva di migrazione orizzontale:  <math>V_{eff} = Vapp/\eta</math></b></p>	<p>Derivazione di V mediante la legge di Darcy</p> <p><math>V_{app} = V_{eff}/\eta</math></p> <p>Carte idrogeologiche o geologiche a scala 1:10000 con datazione non superiore ai 5 anni</p> <p>Tablelle di riferimento</p> <p>Dati provenienti da pubblicazioni scientifiche articoli ecc. non superiori ai 5 anni</p> <p>o da indagini preesistenti effettuate sul sito con datazione non superiore ai 5 anni</p>	<p>Derivazione di Ki e h mediante studio idrogeologico alla scala dello stabilimento e effettuazione di misure su opere esistenti</p> <p>K: Prove pompaggio in foro esistente (Test di risalita)</p> <p>I: Rilievo piezometrico da rete esistente mediante tre piezometri</p> <p>h porosità efficace anche da dati pregressi o prove di laboratorio</p> <p>V: Misura diretta direzione con flussimetro o traccianti su rete esistente</p>	<p>Derivazione di Kih mediante studio idrogeologico alla scala dello stabilimento e effettuazione di misure su opere da realizzare</p> <p>Esecuzione di almeno 3 sondaggi allestiti a piezometro</p> <p>Determinazione di:                      I o gradiente idraulico tramite rilievo piezometrico,                      K o conduttività idraulica attraverso prova di ricarica in risalita e in discesa su zona saturata (Slug test, Le-franc),                      h o porosità efficace anche da dati pregressi o prove di laboratorio,                      Veff o velocità effettiva attraverso misura diretta di velocità e direzione con flussimetro o traccianti su rete esistente.</p>
<b>Uso suolo</b>	Destinazione d'uso	Carta uso suolo (più recente)	Carta uso suolo (più recente)	Carta uso suolo (più recente)

Vulnerabilità ambientale

## Indice di propensione alla propagazione

		Fonte dei dati di affidabilità		
Criteri		1	2	3
		Fattori		
		P. Misura		
		<p><b>Propensione alla bonifica o alla efficacia di intervento</b></p> <p>Tipologia Acquifero</p> <p>Carte idrogeologiche o geologiche a scala 1:10000 con datazione non superiore ai 5 anni</p> <p>Dati provenienti da pubblicazioni scientifiche articoli ecc. non superiori ai 5 anni</p> <p>o da indagini preesistenti effettuate sul sito di con datazione non superiore ai 5 anni</p>	<p>Esame di stratigrafie da pozzi esistenti o da profili idrogeologici eseguiti sull'area</p>	<p>Esecuzione di almeno un sondaggio</p> <p>Esame colonna stratigrafica dell'opera</p>
		<p><b>Potenziale di sfruttamento</b></p> <p>Spessore strato acquifero</p> <p>Trammissività <math>T = K \cdot b</math></p> <p>K: Coeff. permeab.</p> <p>B= Spessore dell'acquifero</p>	<p>Profili idrogeologiche o geologiche a scala 1:10000</p> <p>Dati provenienti da pubblicazioni scientifiche articoli ecc. non superiori ai 5 anni o da indagini preesistenti effettuate sul sito di con datazione non superiore ai 5 anni</p>	<p>Esecuzione di un sondaggio allestito a piezometro</p> <p>b: Esame colonna stratigrafica dell'opera</p> <p>K come sopra</p> <p>Misura diretta di T: Prova di pompaggio di lunga durata sull'opera</p>
Vulnerabilità ambientale	<p><b>Possibilità di compromettere la qualità di elementi ambientali sensibili oltre certe estensioni in relazione ai tempi di intervento</b></p> <p>Tiene conto della distanza che intercorre tra sorgente inquinante e determinate categorie di elementi ambientali sensibili ed è correlato con la possibilità o la propensione di quest'ultimi ad essere colpiti entro un tempo di 6 mesi, intervallo che corrisponde al tempo in cui si può assumere con ragionevole certezza che un inquinante non giunga più al bersaglio nel caso in cui</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>siano state messe in atto le prime azioni di messa in sicurezza d'emergenza</li> <li>ne sia stato verificato il corretto funzionamento</li> <li>sia stato ricalibrato il sistema in funzione delle prime risultanze delle indagini di caratterizzazione.</li> </ol>	<p>Categorie di Elementi ambientali vulnerabili</p> <p>ABC</p> <p>Misure di distanza</p>	<p>Mappe tematiche di base Scala 1:10000</p> <p>Carte Tecniche Regionali</p> <p>Foto Aeree</p>	<p>Carte Tecniche Regionali</p> <p>Foto Aeree</p> <p>Sistemi GIS</p> <p>Verifica su campo degli elementi vulnerabili</p>
		<p><b>Elementi ambientali sensibili</b></p>	<p>Carte Tecniche Regionali</p> <p>Foto Aeree</p>	<p>Carte Tecniche Regionali</p> <p>Foto Aeree</p> <p>Sistemi GIS</p> <p>Verifica su campo degli elementi vulnerabili</p>
		<p><b>Distanza</b></p>	<p>Cartografia di base Scala 1:10000</p> <p>Carte Tecniche Regionali</p> <p>Foto Aeree</p>	<p>Cartografia di base Scala 1:10000</p> <p>Carte Tecniche Regionali</p> <p>Foto Aeree</p> <p>Sistemi GIS</p> <p>Verifica su campo degli elementi vulnerabili</p>

Indice di propensione al rilascio			Fonte dei dati
	Criteri	Fattori	P.Misura
Pericolosità d'impianto	Pericolosità sostanze	Tossicità	Fattore B basato sulle Frasi di rischio
		Persistenza	
		Mobilità	
	Pericolosità impianto	Quantità rilasciata	Parametro Q
		Rischi di Processo	Parametro P
		Rischi particolari di processo	Parametro S
		Rischi connessi al layout	Parametro L
	Compensazione dei Rischi	Contenimento	Fattore K 1
		controllo del processo	Fattore K2
		Atteggiamento nei riguardi della sicurezza	Fattore K3 Fattore K4
		Isolamento ed eliminazione delle sostanze	Fattore K5
		Assistenza in emergenza	Fattore K6
			Informazioni contenute nel Rapporto di Sicurezza predisposto dal gestore

### 5.1. L'indice di propensione al rilascio

#### *Valutazione dell'indice di Propensione al Rilascio*

Il metodo ad indici descritto nel seguito deve essere inteso come strumento per definire il livello di approfondimento della valutazione del rischio ambientale associato alle attività dei depositi di idrocarburi liquidi, attraverso la correlazione tra la propensione al rilascio della sostanza nello stabilimento e la propensione alla propagazione dalla stessa nell'ambiente circostante.

Viene definito un indice, Propensione al Rilascio "PR", individuato sulla base di una ricognizione delle caratteristiche del deposito in relazione alle dotazioni impiantistiche ed alla gestione delle attività rilevanti ai fini della sicurezza. Le informazioni raccolte in merito alle caratteristiche del deposito, necessarie per l'applicazione del metodo ad indici, possono altresì consentire di stabilire, in via preliminare le eventuali misure di tipo tecnico e gli accorgimenti gestionali aggiuntivi opportuni per il miglioramento del livello di sicurezza del deposito nei riguardi del rischio di inquinamento ambientale. La necessità di tali misure ed accorgimenti dovrà essere confermata a fronte dei risultati dell'analisi complessiva del rischio ambientale condotta sulla base della valutazione della propensione alla propagazione, con l'obiettivo della valutazione delle conseguenze ipotizzabili in termini di effetti dannosi per le matrici ambientali e gli elementi vulnerabili eventualmente coinvolti.

Laddove nell'unità vi fosse un liquido con caratteristiche di infiammabilità, l'applicazione della presente metodologia non deve essere considerata esaustiva per la valutazione del rischio di incendio. Per tale sostanza la presente metodologia deve essere applicata in aggiunta al metodo indicizzato per la categorizzazione delle unità nei depositi di liquidi infiammabili e/o tossici, riportata nell'Appendice II del D.M. 20 ottobre 1998.

Le indicazioni in parentesi nei titoli dei paragrafi seguenti sono i riferimenti ai paragrafi corrispondenti nell'allegato II del DPCM del 31 marzo 1989 "Analisi preliminare per l'individuazione delle aree critiche dell'attività industriale".

#### *Descrizione del metodo*

Il deposito viene inizialmente suddiviso in un certo numero di unità logiche che saranno analizzate singolarmente.

---

Ciascuna unità viene successivamente valutata con una procedura a due fasi.

- Nella 1<sup>a</sup> fase si individuano i fattori di penalizzazione
- Nella 2<sup>a</sup> fase si individuano i fattori di compensazione

Il confronto tra i valori degli indici prima e dopo la “compensazione” indica l’entità dei benefici apportati e quindi il grado di efficacia delle misure di sicurezza adottate. I benefici apportati con la compensazione dipendono anche dalla manutenzione delle parti meccaniche ed in generale dal rispetto delle procedure di gestione: trascurare l’una o le altre può condurre ad una riduzione del grado di sicurezza del deposito.

#### *Il fattore sostanza per la valutazione del rischio ambientale (fattore **B**)*

Il fattore sostanza B rappresenta, mediante un valore numerico, la pericolosità intrinseca della sostanza, o miscela di sostanze, per l’ambiente.

Per la sua determinazione si è stabilito di adottare di una definizione in accordo con quanto indicato nel lavoro “Soil & Groundwater protection” (Classification System of the substances Endangering Subsoil and Groundwater Quality-Criteria for the Notification of Major Accidents and Hazardous Installations, 1997; Commission of the European Communities Joint Research Centre of Ispra), effettuato su mandato della Commissione Europea.

In accordo con tale lavoro si definisce il fattore sostanza secondo la relazione:

$$B=T*M*P$$

Nella relazione, i tre parametri, T (tossicità), M (mobilità) e P (persistenza), sono legati a quelle proprietà delle sostanze che maggiormente influiscono nella determinazione del rischio nei confronti del suolo e delle acque sotterranee.

#### **TOSSICITA’ (T)**

L’Unione Europea si è data dal 1967 (Direttiva 67/548/CEE), una normativa riguardante la classificazione, l’imballaggio e l’etichettatura di sostanze e preparati pericolosi, all’interno della quale è stato sviluppato un sistema di frasi di rischio – frasi R – che copre i vari aspetti del rischio dovuto all’utilizzo di sostanze chimiche pericolose, nonché dei preparati che le contengono. Le categorie di pericolo prese in considerazione sono quelle legate a:

- proprietà chimico-fisiche (es. pericolo di incendio o di esplosione);
- pericolo di tossicità (obiettivo in questo caso è la protezione della salute umana);
- altri rischi specifici per l’uomo;
- pericolo per l’ambiente (principalmente tossicità per gli organismi acquatici).

Nel valutare l’ecotossicità di una sostanza, ai fini dell’applicazione di questa metodologia, l’obiettivo principale è classificarla rispetto alla pericolosità per l’acqua e per il suolo. Per fare ciò correttamente non si devono però trascurare sia la stretta correlazione esistente tra le acque superficiali e quelle sotterranee, sia la possibilità di generazione, come sottoprodotti di eventuali reazioni della sostanza in esame o con l’acqua stessa o con altri composti presenti in essa, di altre sostanze più tossiche di quella che le ha generate. In quest’ultimo caso per la determinazione del rischio devono essere valutate tossicità, mobilità e persistenza dei prodotti delle reazioni.

Di conseguenza, rispetto alla pericolosità intrinseca delle sostanze, le frasi di rischio considerate per la sua stima sono riportate nella tabella seguente (tabella A).

---

## **Tabella A - Frasi di rischio relative alla pericolosità intrinseca delle sostanze per acqua e suolo**

### Frasi di rischio concernenti l'ambiente acquatico:

- R 50 Altamente tossico per gli organismi acquatici (può essere usata in combinazione con R 53)  
R 51 Tossico per gli organismi acquatici (spesso usata in combinazione con R 53)  
R 52 Nocivo per gli organismi acquatici  
R 53 Può provocare a lungo termine effetti negativi per l'ambiente acquatico (può essere usata in combinazione con le frasi R 50, R51, R 52)

### Frasi di rischio concernenti la salute umana (tossicità, cancerogenicità, etc.)

- R 22 Nocivo per ingestione  
R 25 Tossico per ingestione  
R 28 Molto tossico per ingestione  
R 29 A contatto con acqua libera gas tossici  
R 33 Pericolo di effetti cumulativi  
R 39 Pericolo di effetti irreversibili (usata in connessione con le frasi R 23-24-25 oppure R 26-27-28 per indicare la via di esposizione)  
R 40 Possibilità di effetti irreversibili (può essere usata in connessione con le frasi R 20-21-22 per indicare la via di esposizione)  
R 43 Può provocare sensibilizzazione per contatto con la pelle  
R 45 Può provocare il cancro  
R 46 Può provocare alterazioni genetiche ereditarie  
R 48 Pericolo di gravi danni per la salute in caso di esposizione prolungata (può essere usata in connessione con le frasi R 20-21-22 oppure R 23-24-25 per indicare la via di esposizione)  
R60 Può ridurre la fertilità  
R 61 Può danneggiare i bambini non ancora nati  
R 62 Possibile rischio di ridotta fertilità  
R 63 Possibile rischio di danni ai bambini non ancora nati  
R 64 Possibile rischio per i bambini allattati al seno

### Frasi di rischio concernenti la salute umana (tossicità per contatto con la pelle)

- R 21 Nocivo a contatto con la pelle  
R 24 Tossico a contatto con la pelle  
R 27 Molto tossico a contatto con la pelle  
(l'acqua può essere utilizzata anche per l'igiene personale etc.)

- Alla sostanza viene quindi attribuito un sistema di “indice di eco-tossicità” (tabella B) attraverso l'individuazione delle frasi di rischio R sopra elencate;
- viene attribuito un punteggio ad ogni sostanza sommando i singoli punteggi di ogni frase di rischio associata alla sostanza stessa;
- ogni sostanza avrà il proprio indice T stimato sulla base del punteggio totale.

---

**Tabella B – Sistema di attribuzione punteggi per la valutazione del fattore sostanza**  
**In funzione delle frasi di rischio R, associate alle sostanze, sono assegnati i seguenti punteggi:**

**Ecotossicità**

<b>Frase:</b>	<b>Punteggio:</b>
• R 50	6
• R 51	4
• R 52	2
• Ecotossicità non ancora determinata	6

**Degradazione/accumulo**

<b>Frase:</b>	<b>Punteggio:</b>
• R 53	2
• Degr./Acc.non ancora determinati	2

**Tossicità acuta (Orale/pelle)**

<b>Frase:</b>	<b>Punteggio:</b>
<i>Orale</i>	
• R 22	1
• R 25	3
• R 28	5

Pelle (soltanto se non c'è alcuna frase riguardante il rischio per via orale)

• R 21	1
• R 24	3
• R 27	5
• R 43	3
• Tossicità acuta non ancora determinata	5

**Effetti irreversibili**

<b>Frase:</b>	<b>Punteggio:</b>
• R 33	1
• R 39	3
• R 48	5

**Cancerogenicità, Mutagenicità, Effetti sulla riproduzione**

<b>Frase:</b>	<b>Punteggio:</b>
• R 40	2
• R 62	2
• R 63	2
• R 46	3
• R 60	3
• R 61	3
• R 45	8



---

### Altri rischi

<b>Fraasi:</b>	<b>Punteggio:</b>
• R 64	2
• R 29	3

### **TOSSICITA' PER PREPARAZIONI CON PIU' DI UNA SOSTANZA**

Preparazioni e miscele di più di una sostanza dovrebbero essere classificate in accordo alla loro tossicità, ecotossicità ecc...attraverso uno dei seguenti metodi:

- *Metodo diretto:* Gli esperimenti necessari per l'attribuzione delle frasi di rischio R dovrebbero essere fatti sulle preparazioni stesse. Questo metodo dovrebbe essere più accurato di quello indiretto e potrebbe occasionalmente condurre a classificazioni più basse.
- *Metodo indiretto:*
  - le diverse sostanze contenute nelle preparazioni devono essere classificate individualmente secondo il loro indice di tossicità T;
  - le sostanze vengono raggruppate in base al loro indice di tossicità;
  - un gruppo di sostanze con stesso indice di tossicità non vengono considerate se presenti (come gruppo) nel preparato in quantità inferiore allo 0.1%;
  - un preparato viene classificato con un indice di tossicità pari al valore più alto degli indici di tossicità dei suoi componenti presenti nel preparato (considerati anche i gruppi di componenti con stesso indice di tossicità) in percentuale superiore al 1%;
  - se non è soddisfatta la condizione precedente, un preparato viene classificato con un indice di tossicità pari al valore più alto degli indici di tossicità dei suoi componenti presenti nel preparato (considerati anche i gruppi di componenti con stesso indice di tossicità) in percentuale maggiore (superiore allo 0,1% ma inferiore al 1%).

### **MOBILITA'**

**Gas.** Un gas entrerà nel suolo specialmente se più pesante (più denso) dell'aria.

A causa delle loro proprietà fluidodinamiche i gas sono generalmente molto mobili nella zona vadosa, ma nel sottosuolo la loro densità relativa ha solo un'influenza minore sulla loro penetrazione e propagazione nelle falde acquifere.

La pericolosità per l'acqua dipende principalmente dalla loro solubilità in essa. Per esempio il propano è più pesante dell'acqua, ma non velocemente solubile e quindi poco pericoloso, mentre i gas di ammoniaca sono densi come l'aria, ma molto solubili in acqua e quindi possono contaminarla velocemente. La mobilità dei gas può essere classificata come mostrato nella tabella seguente:

<b>Solubilità in acqua a 20°C e condizioni normali [mg/l]</b>	
< 100	Poco mobile
≥ 100	Moderatamente mobile

**Solidi e fluidi organici miscibili con l'acqua.** La mobilità di solidi organici è determinata in funzione dei valori di solubilità e del coefficiente di adsorbimento del suolo, che determina la quantità di sostanza che rimane fissata al terreno e di conseguenza quella che rimane disponibile per la successiva miscelazione con acqua. Il coefficiente di adsorbimento, in prima approssimazione, non dipende dalla concentrazione della sostanza in acqua e, inoltre, per le sostanze organiche è possibile normalizzare tale coefficiente per ottenere una costante basata sul carbonio organico (Koc) essenzialmente indipendente dal tipo di suolo e facilmente determinabile sperimentalmente.

In sostanza, si ipotizza che il trasporto in discesa dalla superficie attraverso la zona vadosa fino alla falda acquifera ed il seguente movimento all'interno di questa avvengano tramite l'acqua in cui la sostanza viene disciolta in partenza.

Per definizione un fluido è miscibile con l'acqua se la sua solubilità è maggiore di 10000 mg/l.

La mobilità di solidi e fluidi organici solubili in acqua viene quindi determinata come mostrato nella seguente tabella:

Solubilità in acqua (20°C, condizioni normali) [mg/l]	Log(Koc)		
	<2.0	[2.0;3.0]	>3.0
	Classificazione		
Solido; < 1	Poco mobile	Poco mobile	Poco mobile
Solido; <100	Moderatamente mobile	Poco mobile	Poco mobile
Solido; <10000	Moderatamente mobile	Moderatamente mobile	Poco mobile
Solido o fluido; ≥10000	Molto mobile	Molto mobile	Moderatamente mobile

Se il Koc non è noto, in prima approssimazione, sfruttando la sua inversa proporzionalità con la solubilità, si potrebbe utilizzare solo quest'ultima per la stima della mobilità. Tale semplificazione è di tipo conservativo.

Solubilità [mg/l]	Classificazione
< 1	Poco mobile
<10000	Moderatamente mobile
≥10000	Molto mobile

**Fluidi non miscibili con acqua.** Al fine di stabilire uno schema di classificazione per le caratteristiche di mobilità di questo tipo di sostanze, vengono presi in considerazione i seguenti parametri: viscosità cinematica; tensione di vapore; densità e solubilità. Basandosi sui valori di tali parametri vengono definiti degli indici parziali la cui somma verrà usata per la determinazione del valore di M.

Per un fluido non miscibile con l'acqua, la velocità di penetrazione dalla superficie del suolo fino alla falda acquifera dipende in primo luogo dalla *viscosità cinematica* del fluido stesso (rapporto tra viscosità dinamica e densità). Questi fluidi sono, di conseguenza, divisi in tre gruppi ad ognuno dei quali viene assegnato un primo indice numerico parziale.

	Viscosità cinematica a 20°C [mm <sup>2</sup> /s]		
	< 2	[2;30]	> 30
Indice parziale per viscosità cinematica	3	2	1

La *volatilità* del fluido viene considerata come valore addizionale in quanto fumi e vapori possono entrare nella falda acquifera più velocemente della stessa fase fluida e quindi diffondersi nelle acque sotterranee. In base alle caratteristiche di volatilità di una sostanza che, a sua volta, è funzione della tensione di vapore, vengono definiti due gruppi:

	Tensione di vapore a 20°C [hPa]	
	< 10	≥10
Indice parziale per tensione di vapore	1	2

La velocità con cui un fluido non miscibile con l'acqua penetra nella falda acquifera e si distribuisce in essa deve essere considerato ai fini dell'assegnazione del rischio potenziale. Tale distribuzione dipende dalla *solubilità* della sostanza considerata e dalla sua *densità* relativa all'acqua:

Densità a 20°C [kg/l]		Solubilità a 20°C [mg/l]	
		<100	[100; 10000]
≤1	Indice parziale per densità e solubilità	1	3
>1	Indice parziale per densità e solubilità	2	4

Determinati gli indici parziali, al fluido in questione viene assegnato un valore di mobilità secondo la seguente tabella:

Indice numerico	Mobilità
3 o 4	Poco mobile
5, 6, 7	Moderatamente mobile
8 o 9	Molto mobile

**Composti ionici solubili in acqua.** Un composto ionico si considera solubile in acqua se la sua solubilità è maggiore di 100 mg/l.

Il movimento di un composto ionico nel sottosuolo attraverso e all'interno di una falda acquifera è determinato da un insieme di complesse interazioni tra il suolo e le acque sotterranee.

---

In generale, tutti i composti ionici solubili in acqua vengono considerati “molto mobili”, a meno che:

- è stato dimostrato, attraverso diversi test, che il composto in questione non è molto mobile;
- il composto è normalmente molto diffuso in natura (e.s.: NaCl).

Se un composto ionico non è velocemente solubile (solubilità minore di 100 mg/l) sarà considerato come “poco mobile”.

### ***Determinazione dell'indice di mobilità***

Alle classi di mobilità precedentemente determinate qualitativamente viene assegnato un valore numerico secondo la seguente tabella:

<b>Mobilità</b>	<b>Indice di mobilità M</b>
Poco mobile	1.0
Moderatamente mobile	1.5
Molto mobile	2.0

### ***Indice di Mobilità per preparazioni con più di una sostanza***

Per semplicità, il valore dell'indice di mobilità di una preparazione, è pari al valore dell'indice assegnabile al componente presente in quantità maggiore.

## **PERSISTENZA**

Una sostanza può essere definita persistente se non subisce processi di degradazione abiotica o biologica se non dopo alcuni anni. La persistenza è relazionata alla reattività chimica di una sostanza.

Se una sostanza tossica o comunque pericolosa è persistente e non si decompone velocemente (o viene degradata da organismi terrestri o acquatici) causerà l'inquinamento del suolo e delle acque per un tempo molto lungo (in accordo con la sua mobilità), ma se decade o viene degradata prima che possa percolare dalla superficie verso le acque sotterranee e muoversi nella falda acquifera percorrendo anche lunghe distanze, comunque sarà causa di un minore rischio rispetto alla stessa sostanza non decomposta. Quindi la persistenza deve essere considerata come un elemento addizionale a tossicità e mobilità.

Un veloce decadimento delle sostanze non è, però, sempre positivo in quanto i prodotti della degradazione in alcuni casi potrebbero essere più pericolosi di quelli che li hanno generati. Comunque questo aspetto deve essere considerato, come già detto, nel calcolo dell'indice di tossicità della sostanza.

Il decadimento di una sostanza può avvenire attraverso processi puramente fisicochimici, puramente biologici o una combinazione dei due. Per quanto riguarda la biodegradabilità verranno considerate principalmente quella aerobica e anaerobica, anche se all'interno del suolo e delle falde acquifere prevalgono i processi anaerobici.

Quindi l'indice di persistenza P risulterà dalla combinazione dei seguenti sotto indici:

- $P_1$  riferito alla degradabilità abiotica;
- $P_2$  riferito alla biodegradabilità aerobica;
- $P_3$  riferito alla biodegradabilità anaerobica.

La Comunità Europea (92/69/EEC 31 luglio 1992) raccomanda dei test per la determinazione della degradazione abiotica e della biodegradazione delle sostanze, ma, per alcune sostanze, tali dati non sono disponibili in letteratura o nei database e vengono ricavati attraverso diversi tipi di test che forniscono valori difficilmente paragonabili. Per questo i risultati degli esperimenti di degradabilità necessitano spesso di interpretazioni da parte di esperti.

### ***Degradazione abiotica***

I principali processi di degradazione fisica o chimica delle sostanze disciolte in acqua sono la fotolisi e l'idrolisi.

La fotolisi è la decomposizione fotochimica di una sostanza (processi fisici di assorbimento di quanti di luce che inducono reazioni chimiche) e può avvenire in maniera diretta o indiretta. In quest'ultimo caso altre molecole assorbono la luce e per conseguenza reagiscono con la sostanza in questione generandone il decadimento.

La velocità di decadimento è generalmente riportata in termini di vita media  $t_d$ , e dipende alle proprietà della sostanza e da fattori ambientali quali l'intensità di radiazione della luce etc....

Il decadimento fotolitico è importante per sostanze esposte alla luce e quindi può essere trascurato nel momento in cui si parla di sottosuolo o di falde acquifere in cui i raggi luminosi non arrivano.

L'idrolisi è il processo di separazione di una molecola dall'acqua ed è funzione di proprietà specifiche della sostanza (struttura molecolare, legami chimici....). Anche in questo caso la velocità di decadimento è data da una vita media  $t_{1/2}$  che, essendo funzione del pH, è una buona misura della degradabilità abiotica della sostanza solubile in acqua.

$t_d$	Degradabilità abiotica	$P_1$
$\leq 28$ gg	Alta	1.0
$\leq 1$ anno	Media	2.0
$> 1$ anno	Bassa (persistente)	3.0

I composti ionici o altri composti dissociati, devono essere considerati come persistenti ( $P_1=3$ ), la loro tossicità, etc...., generalmente non è una proprietà della molecola originaria, ma degli ioni che si formano e che generalmente non sono degradabili.

Se non sono disponibili dati affidabili sull'idrolisi di alcune sostanze, in accordo con gli esperimenti fatti, queste vengono considerate persistenti.

### ***Biodegradabilità aerobica***

Una sostanza è biodegradabile se ha proprietà fisicochimiche e strutturali tali da renderla attaccabile da specifici micro organismi o da un sistema costituito da alcune specie di essi. La biodegradabilità è molto importante per i composti organici e può costituire il loro principale meccanismo di decadimento in natura.

Il potenziale specifico di decadimento di una sostanza viene generalmente determinato attraverso il cosiddetto "screening test" per l'esecuzione del quale sono stati proposti diversi metodi che misurano la domanda biochimica di ossigeno. La comunità europea fa riferimento alla seguente lista:

- test DOC die-away; screening test OECD modificato;
- test evoluto del diossido di carbonio (Sturm test modificato);

- respirometria monometrica;
- test “close bottle”;
- test MITI.

Per questi test esistono delle regolamentazioni riconosciute a livello internazionale; sono semplici ed efficienti e i risultati sono riportati in letteratura per numerose sostanze.

Molti dei risultati riportati in letteratura per la biodegradabilità aerobica sono stati fatti utilizzando il metodo MITI-I (OECD 301 C) o quello closet bottle OECD 301 D). I test durano 28gg e i risultati sono dati come “velocemente biodegradabile” o “non velocemente biodegradabile”. Una sostanza velocemente biodegradabile nell’ambiente verrà completamente distrutta dai microrganismi in breve tempo e per avere questo tipo di risultato il decremento della sostanza deve essere tale da dare una domanda teorica di ossigeno (ThOD) o una produzione teorica di diossido di carbonio (ThCO<sub>2</sub>) maggiore o uguale al 60% e, dopo 28 gg il decremento di carbonio organico disciolto deve essere maggiore o uguale al 70%.

Decremento di DOC	ThOD	ThCO <sub>2</sub>	Biodegradabilità aerobica	Indice parziale P <sub>2</sub>
≥70%	≥60%	≥60%	Velocemente degradabile	1.0
<70%	<60%	<60%	Non velocemente degradabile	2.0

Questi test verificano il potenziale di decadimento specifico di una sostanza sotto definite condizioni in laboratorio. I microrganismi usati non devono essere adattati in modo specifico alla sostanza prima delle prove. I risultati dovrebbero essere proprietà specifiche delle sostanze.

Molti dei risultati riportati in letteratura, comunque, provengono da ricerche in ecosistemi reali dove le proprietà specifiche delle sostanze si combinano con quelle del luogo. I microrganismi potrebbero essere adattati alla sostanza dando risultati di migliore biodegradabilità o grandi quantità di sostanza potrebbero essere tossici per loro e, quindi, si otterrebbero risultati di non biodegradabilità. Comunque, se non sono disponibili dati relativi a test MITI-I o close bottle o altri con essi comparabili, possono essere presi in considerazione altri metodi tra cui quello basato sul tempo di vita medio della sostanza:

t <sub>1/2</sub> trovato con altri metodi abiotici	Biodegradabilità aerobica	Indice parziale P <sub>2</sub>
≤28 gg	Alta	1.0
≤1 anno	Media	2.0
>1 anno	Bassa (persistente)	3.0

Se non sono disponibili dati attendibili sulla biodegradabilità aerobica della sostanza viene cautelativamente preso un valore dell'indice parziale  $P_2$  pari a 3.

### **Biodegradabilità anaerobica**

Molti microrganismi importanti per la degradazione di sostanze organiche vivono in condizioni anaerobiche o miste. Le condizioni anaerobiche potrebbero prevalere nel sottosuolo o essere causate da una precedente biodegradazione aerobica.

Non sembrano esserci raccomandazioni della comunità europea a riguardo. L'EMPA svizzera ha sviluppato un semplice screening test che è stato proposto come uno standard internazionale ISO/DIS 11734 nel 1994. In un sistema chiuso l'incremento di pressione dovuto allo sviluppo di  $CH_4$  durante la biodegradazione anaerobica viene misurato e confrontato con quello dovuto allo sviluppo di  $CO_2$ . I dati vengono confrontati con il massimo sviluppo teorico di  $CH_4$ . La durata dei test può variare, ma in genere si aggira intorno alle tre settimane.

<b>Sviluppo di metano</b>	<b>Biodegradabilità anaerobica</b>	<b>Indice parziale <math>P_2</math></b>
$\geq 60\%$	alta	1.0
$< 60\%$	media	2.0
$< 15\%$	bassa (persistente)	3.0

Può essere applicato anche un metodo simile come nei casi precedenti, riferito alla vita media della sostanza:

<b><math>t_{1/2}</math> trovato con altri metodi anaerobici</b>	<b>Biodegradabilità anaerobica</b>	<b>Indice parziale <math>P_2</math></b>
$\leq 28$ gg	alta	1.0
$\leq 1$ anno	media	2.0
$> 1$ anno	bassa (persistente)	3.0

Se non sono disponibili dati sulla biodegradabilità anaerobica della sostanza viene cautelativamente preso un valore dell'indice parziale  $P_3$  pari a 3.

### **Determinazione dell'indice di Persistenza**

L'indice di persistenza P viene calcolato come segue:

$$P = (i \sum P_i) / 6 \quad i=1,2,3$$

Utilizzando questa conversione il valore di P potrà variare tra 0.5 e 1.5. Valori minori di 1 riflettono il fatto che una bassa persistenza (alta degradabilità) è desiderabile per la protezione del suolo e delle acque sotterranee, mentre valori maggiori dell'unità influiscono negativamente nella determinazione della classe di rischio della sostanza.

*Se ad una sostanza è attribuita una frase di rischio R53 e non sono disponibili dati per la determi-*

---

nazione dell'indice di persistenza  $P$ , ad essa può essere attribuito il valore  $P=1.5$ .

### **Indice di Persistenza per Preparazioni con più di una sostanza**

Per semplicità e procedendo in maniera cautelativa, a preparazioni contenenti più di una sostanza, viene attribuito il valore dell'indice  $P$  della sostanza più persistente.

#### **5.1.1 1ª Fase - Individuazione dei Fattori di Penalizzazione**

##### **SUDDIVISIONE DEL DEPOSITO IN UNITÀ LOGICHE (RIF. 2.1)**

L'unità si definisce come una parte del deposito che può essere logicamente caratterizzata come entità fisica separata. Indipendentemente dall'essere separata fisicamente (o potenzialmente separabile) dalle unità adiacenti, una unità si distingue per la natura del processo condotto, per le sostanze contenute in essa o per le sue condizioni operative.

Per i depositi devono essere individuate almeno le seguenti unità logiche (ove applicabili):

- Aree di stoccaggio in serbatoi fissi (UNITÀ STOCCAGGIO);
  - Aree di stoccaggio in recipienti mobili (UNITÀ FUSTI);
  - Aree di carico/scarico da vettori stradali, ferroviari o navali (UNITÀ TRAVASO);
  - Aree di additivazione/denaturazione (UNITÀ ADDITIVAZIONE/DENATURAZIONE);
  - Aree di pompaggio per movimentazione (UNITÀ POMPE);
  - Aree di infustamento da serbatoi o vettori (UNITÀ INFUSTAMENTO);
  - Aree tubazioni per ricezione/spedizione prodotti (UNITÀ SISTEMI DI INTERCONNESSIONE).
- Ciascuna unità logica può suddividersi in più sotto unità, qualora sia possibile caratterizzarle come unità fisicamente separate.

##### **SCELTA DELLA SOSTANZA PREDOMINANTE (RIF. 2.2)**

Per ciascuna unità logica precedentemente individuata deve essere scelta la sostanza predominante in termini di quantità di un potenziale rilascio e di ecotossicità.

A questo fine la scelta può essere fatta, per ciascuna delle Unità logiche, sulla base del valore del prodotto:

$$(Q \times B)$$

dove:

$Q$  è una grandezza da valutare, come di seguito indicato, espressa in kg

$B$  è il fattore sostanza

La sostanza predominante sarà quella caratterizzata da una netta prevalenza del valore dell'espressione sopra indicata, rispetto alle altre.

##### **Determinazione del valore $Q$**

I valori del parametro  $Q$  da utilizzare nella relazione per la individuazione della sostanza predominante vengono valutati, secondo i casi, come segue:

#### **TUBAZIONI e MANICHETTE**

$$Q = 2,66 \times d^2 \times r \times (Dh)^{0.5} / 1000$$

dove:



---

d = parametro determinato secondo quanto indicato nella tabella successiva

$\rho$  = densità del liquido alla temperatura di rilascio: kg/m<sup>3</sup>

$\Delta h$  = carico (espresso in altezza di colonna di liquido) a monte della sezione di efflusso m

**Valori del parametro d.** Per le tubazioni, si ipotizza la rottura della tubazione di maggior diametro nella Unità considerata (a parità di pressione di esercizio):

Massimo diametro del tubo interessante la sostanza chiave	d
fino a 4"	50
6"	70
8"	90
10"	110
12"	140
16"	180

Per le manichette si assume d pari al diametro in millimetri della manichetta.

## SERBATOI

Il valore da attribuire a Q è il maggiore tra Q' e Q'' introdotti di seguito:

$$Q' = t \times PAI$$

$$Q'' = 2,66 \times d^2 \times r \times (\Delta h)^{0.5} / 1000$$

dove:

- PAI = Portata della pompa di alimentazione kg/s

- t rappresenta un tempo indicativo per la durata dell'efflusso legato ai tempi medi di intercettazione come segue:

- Per tempi medi di intercettazione minori di 5 minuti, in presenza di sistema di rilevamento di fluidi pericolosi con allarme, ovvero nel caso di operazioni presidiate in continuo, e di pulsanti di emergenza per fermata pompe e chiusura valvole, installati in più punti del deposito: t = 300
- Per tempi medi di intercettazione intorno a 10 - 15 minuti, in presenza di sistemi di rilevamento di fluidi pericolosi con allarme, ovvero nel caso di operazioni presidiate in continuo, ed in presenza di valvole manuali: t = 900
- Per tempi medi di intercettazione intorno a 20 - 30 minuti: t = 1800.

Per i valori da utilizzare per il parametro d vedi tabella precedente con riferimento alla tubazione di maggior diametro connessa al fasciame.

## FUSTI

Il valore da attribuire a Q è pari alla quantità di liquido complessivamente contenuto nei fusti, di cui si può ipotizzare il coinvolgimento contemporaneo in caso di incidente (ad esempio numero di fusti trasportati da carrello elevatore o una determinata frazione di quelli presenti nell'unità in esame).

---

**RISCHI GENERALI DI PROCESSO: P (RIF. 2.4.2)**

**Manipolazione delle sostanze (Rif. 2.4.2.1)**

Il fattore è pari a 10 per le aree di stoccaggio separate dalle aree di travaso (carico/scarico).

Tale fattore si applica anche all'unità deposito fusti; è applicabile anche all'unità infustamento, qualora sia sede di deposito di fusti pieni, per un quantitativo superiore a 3000 kg.

Per le unità di stoccaggio e miscelazione si possono applicare i seguenti fattori:

<b>UNITÀ STOCCAGGIO - ADDITIVAZIONE/DENATURAZIONE</b>	<b>FATTORE</b>
Operazioni di carico/scarico effettuate nell'area di stoccaggio	30
Miscelazione di additivi/denaturanti	30
Stoccaggio in serbatoi riscaldati con vapore	50

**Trasferimento delle sostanze (Rif. 2.4.2.3)**

I fattori associati ai vari metodi di riempimento, scarico ed altri trasferimenti sono i seguenti:

<b>METODI DI TRASFERIMENTO</b>	<b>FATTORE</b>
Sistema di tubazioni permanenti e continue	0
Operazioni che comportano allacciamento e distacco di tubazioni	25
Operazioni di riempimento o svuotamento attraverso un boccaporto, un coperchio o uno scarico di fondo aperti	100
Impiego di tubazioni flessibili o amovibili e nel caso di impiego di tubi di connessione aggiuntivi per il contemporaneo sfiato o la bonifica con inerte Fattore aggiuntivo	50

**Contenitori trasportabili (Rif. 2.4.2.4)**

Il fattore da attribuire si desume dalla seguente tabella:

<b>TIPOLOGIA DEI CONTENITORI</b>	<b>FATTORE</b>
Deposito di fusti vuoti non bonificati	25
Presenza di fusti pieni	40
Serbatoi mobili nelle aree di travaso (carico/scarico)	100
Deposito di fusti vuoti bonificati	10

*RISCHI PARTICOLARI DI PROCESSO: S (RIF. 2.4.3)*

Alta pressione p (Rif. 2.4.3.2)

Il fattore pressione  $p$  è ricavabile dai diagrammi di Figura A e B, di cui il primo specificatamente predisposto per pressioni di esercizio comprese tra 0 e 3 bar relativi.

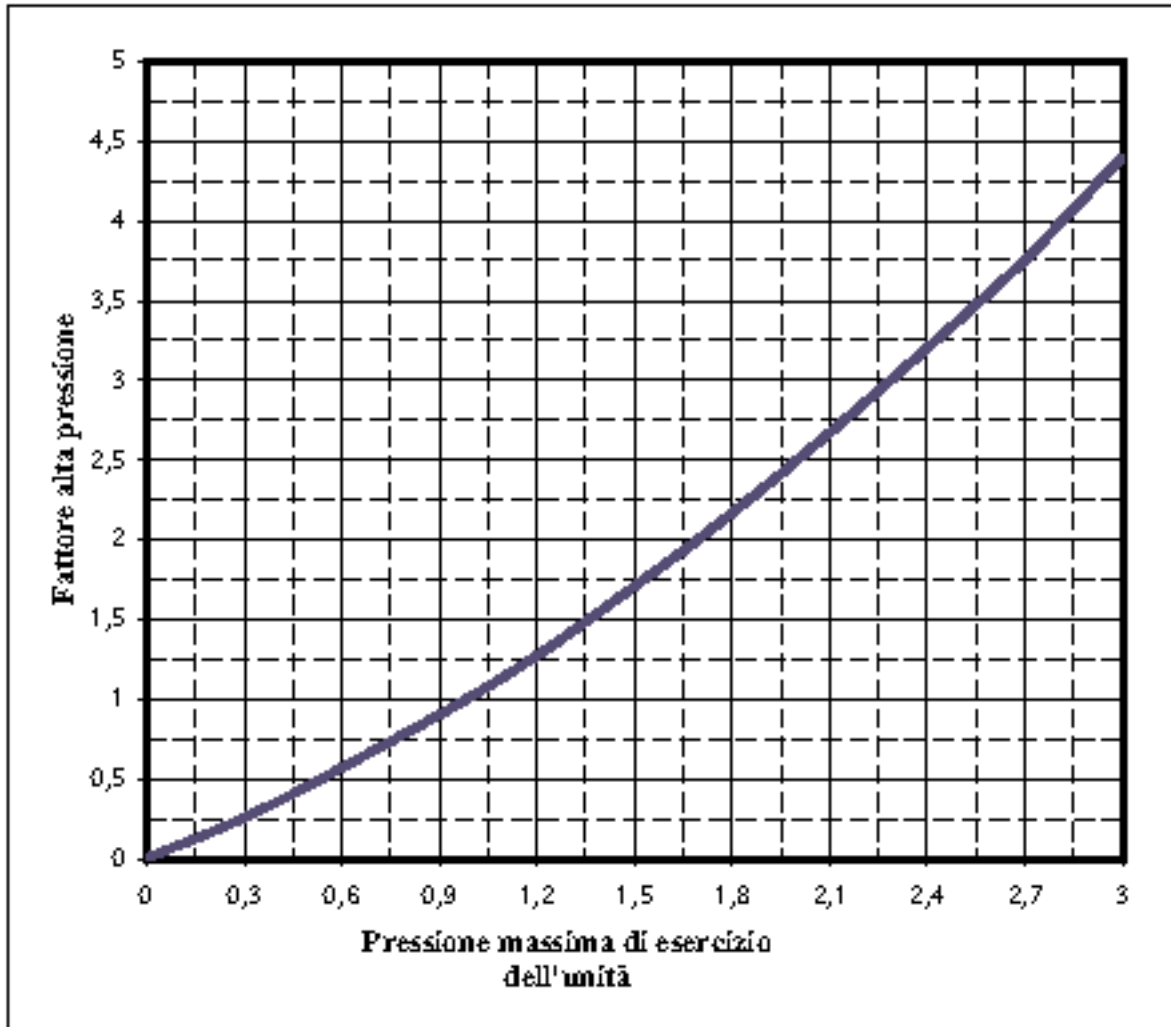


Figura A

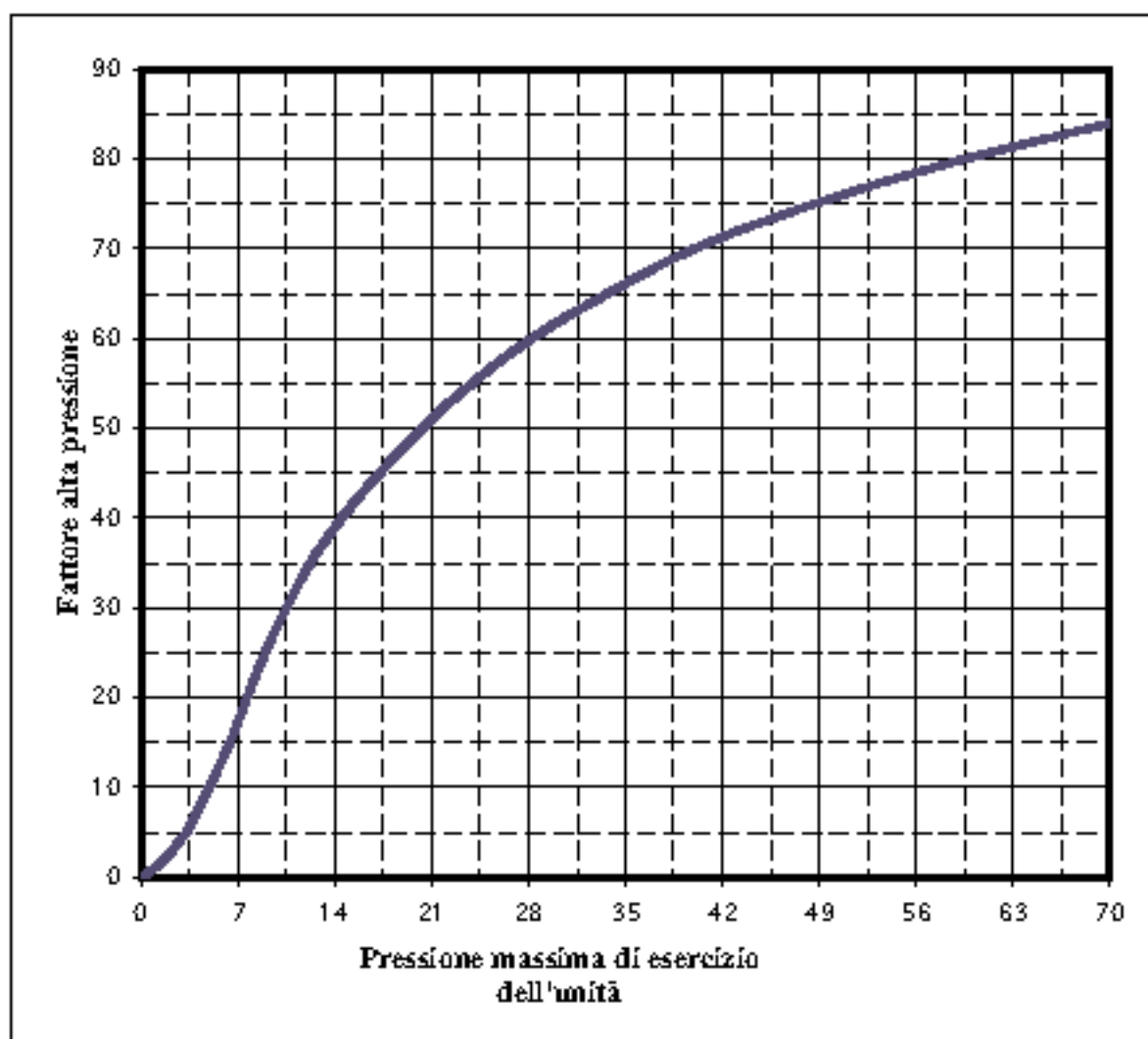


Figura B

Rischi di corrosione (Rif. 2.4.3.5)

- Corrosione interna (Rif. 2.4.3.5.1)

Nel valutare gli effetti della corrosione interna assegnare i seguenti fattori:

a) Serbatoi o tubazioni non rivestiti:

TASSO SI CORROSIONE	FATTORE
Inferiore a 0,1 mm/anno	0
Inferiore a 0,5 mm/anno con un certo rischio di "pitting" o erosione localizzata	10
Circa 1 mm/anno	20
Maggiore di 1 mm/anno in assenza di altri effetti	50
Maggiore di 1 mm/anno con effetti di erosione	100

---

Nel caso di elevato rischio di formazione di incrinature per corrosione sotto tensione, impiegare un fattore pari a 150.

Nel caso di impiego di tubi saldati a spirale, che non siano soggetti a controlli tali da garantirne l'equivalenza rispetto a quelli trafilati o saldati longitudinalmente, aggiungere il fattore 100.

b) Materiali rivestiti

E' appropriata l'attribuzione di un fattore per la bassa resistenza al danneggiamento meccanico, all'abrasione o alla erosione quando il materiale di rivestimento è sotto forma di placcatura, incamiciatura o rivestimento stratificato e lo spessore del rivestimento chimicamente resistente è inferiore a 0,5 mm. Il fattore deve essere scelto in un campo compreso tra 50 e 150, in funzione dello spessore e della resistenza all'urto del rivestimento chimicamente resistente.

• Corrosione esterna (Rif. 2.4.3.5.2)

Per quel che riguarda la corrosione esterna, tenendo conto delle normali caratteristiche ambientali e gli effetti sui materiali generalmente utilizzati, i fattori di penalizzazione applicabili sono:

a) Serbatoi o tubazioni fuori terra non rivestiti:

Attribuire un fattore 20 in assenza di un idoneo programma di manutenzione periodica della superficie esterna del serbatoio, ivi compresi i fondi, la cui efficacia dovrà essere verificata e documentata.

b) Serbatoi fuori terra coibentati:

Attribuire un fattore 50 per tenere conto della non ispezionabilità delle superfici ricoperte.

c) Serbatoi interrati o tumulati:

Attribuire un fattore da 50 a 100. Per i serbatoi protetti con impianto di protezione catodica, attribuire il fattore 50.

d) Unità di travaso ed infustamento

Il fattore è attribuito in conformità al punto a).

I fattori di cui alle lettere b) e c) possono essere trascurati o ridotti in presenza di ispezioni programmate utilizzanti, ad esempio, metodologie di controlli non distruttivi che permettono di individuare l'insorgere di eventuali fenomeni corrosivi.

Perdite dai giunti ed attraverso le guarnizioni (Rif. 2.4.3.6)

Per le varie UNITÀ, ove applicabile, il fattore è scelto tenendo conto del tipo di progettazione e dei materiali di costruzione adoperati, con le seguenti modalità:

DESCRIZIONE	FATTORE
Costruzione saldata per la maggior parte dei giunti, con accoppiamenti flangiati tali da garantire un'adeguata tenuta e valvole a tenuta stagna e in presenza di tenute delle pompe di tipo meccanico singola o di livello superiore	0
Tenuta delle pompe a premistoppa presumibilmente soggetta a qualche perdita di lieve entità	20
Accoppiamenti flangiati noti per essere soggetti periodicamente a perdite di lieve entità	30
Indicatori di livello a vetro o in materiale plastico trasparente non protetti, senza valvole manuali di intercettazione o di eccesso di flusso	100
Indicatori come sopra, ma con valvole tenute normalmente chiuse ed aperte solo per la misurazione	50
Indicatori di livello a vetro corazzati	20

Rischi dovuti a fatica per vibrazioni e carichi ciclici di origine impiantistica o a cause naturale (Rif. 2.4.3.7)

• Vibrazioni e carichi ciclici di origine impiantistica

Questo fattore tiene conto dell'usura cui sono sottoposti gli organi rotanti o dotati di moto alternativo, nonché dell'aumento di rischio per dispositivi ed apparecchiature soggette a movimentazione e manipolazione. Il fattore è attribuito come segue :

– STOCCAGGIO: 0

– TRAVASO:

50 se in presenza di manichette flessibili sia sulla fase liquida che sulla fase gassosa

30 se in presenza di un braccio rigido per la fase liquida e manichetta flessibile per la fase gassosa.

– UNITÀ TRAVASO VETTORI VIA TERRA:

50 Movimento incontrollato dei vettori al carico/scarico o brusche e frequenti variazioni di velocità del flusso nelle linee di travaso

10 Se in presenza di bracci rigidi sia per la fase liquida che per la fase gassosa.

– UNITÀ TRAVASO VETTORI NAVALI, SISTEMI DI INTERCONNESSIONE:

100 Possibilità di intercettazione veloce del flusso nella tubazione con rischio di colpo d'ariete in assenza di dispositivi di attenuazione del fenomeno.

– DEPOSITO FUSTI: 20

– POMPE: 20

– POMPE ALTERNATIVE: 50

Qualora il serbatoio sia montato su celle di carico o attrezzature similari, o nelle operazioni di posa container su vettori stradali o ferroviari, quando si possano verificare condizioni di instabilità del serbatoio o recipiente, assegnare un fattore pari a 50.

---

### *Rischi di origine naturale*

Rischi di origine naturale, sono associati in particolare a zone ben delimitate. In funzione dell'aumento prevedibile del rischio utilizzare un fattore come di seguito indicato.

#### Rischio Sismico

Per depositi costruiti con criteri antisismici relativi alla zona (vedi Annesso D) o staticamente verificati adeguati:

Zona Classificata sismica	4	penalità 60
Zona classificata sismica	3	penalità 40
Zona classificata sismica	2	penalità 20
Zona classificata sismica	1	penalità 10

Per depositi costruiti con criteri antisismici relativi ad una classe superiore a quella della zona, i fattori precedenti vengono ridotti del 50%.

Nei casi in cui il deposito è costruito con criteri antisismici non adeguati alla zona (per mutata classificazione o adeguamento dei criteri antisismici in corso):

Zona classificata sismica	4	penalità 300
Zona classificata sismica	3	penalità 200
Zona classificata sismica	2	penalità 100
Zona classificata sismica	1	penalità 50

#### Rischio alluvioni

Riferirsi alla posizione dello stabilimento rispetto alla delimitazione delle fasce fluviali effettuate dell'autorità di Bacino nell'ambito dei piani stralcio delle Fasce Fluviali (vedi Annesso D).

Deposito in fascia	A	Non ipotizzabile
“	B	penalità 300
“	C	penalità 200

In caso di adozione di specifiche misure impiantistico-gestionali atte a prevenire rilasci rilevanti in caso di eventi alluvionali si applica una riduzione fino al 20%. (sistemi di ancoraggio, paratie stagne, pompe per la rimozione dell'acqua, ecc.).

### *Rischio derivante da utilizzazione intensiva*

#### **Unità STOCCAGGIO**

Tale fattore è relativo al rischio associato all'operazione di travaso in e dai serbatoi di stoccaggio fisso.

Esso viene valutato, secondo la tabella seguente, in relazione al rapporto tra la Movimentazione Annuale (t/a) e la Quantità Massima Stoccabile (t), entrambe relative all'intero deposito. Il prodotto entrato e uscito con travaso sfuso deve essere computato per il 100% della quantità movimentata, quello entrato sfuso e uscito confezionato deve essere computato per il 50% della quantità movimentata. Il rapporto è unico e valido per tutte le unità stoccaggio del deposito.

<b>MOVIMENTAZIONE ANNUA (T/A) QUANTITÀ MAX STOCCATA (T)</b>	<b>FATTORE</b>
≤ 5	-30
6 - 10	1
> 10	25

I valori dei fattori in tabella dovranno essere moltiplicati (se negativi) e divisi (se positivi) per il fattore ricavabile dalla seguente espressione:

$$1 + \frac{(K'_j + K'_u)}{(K_j + K_u)}$$

dove:

$K_i$  e  $K_u$  rappresentano il quantitativo annuo complessivo di prodotto in ingresso e in uscita dal deposito, e

$K'_i$  e  $K'_u$  rappresentano il quantitativo annuo di prodotto in ingresso e in uscita dal deposito a mezzo navi cisterna, ferrocisterne o tubazioni.

#### *RISCHI CONNESSI AL "LAY-OUT": (L) (RIF. 2.4.5)*

Le varie configurazioni di progetto e di lay-out dell'unità da valutare possono introdurre rischi ulteriori. Questo paragrafo prende in considerazione, in dettaglio, tali caratteristiche e fornisce una guida per i fattori da impiegare.

#### Fattore di penalizzazione di "lay-out": L

Progettazione della struttura (Rif. 2.4.5.3)

##### **a) UNITÀ STOCCAGGIO (Rif. 2.4.5.3.2)**

a1) Per i soli serbatoi "fuori terra": attribuire i seguenti fattori in funzione della singola capacità massima dei serbatoi presenti nell'unità:

<b>Capacità m<sup>3</sup></b>	<b>Fattore da adottare</b>
≤ 2000	- 20
2000-15000	0
> 15000	20



- a2) serbatoi interrati a doppia parete: fattore -20
- a3) serbatoi interrati in vasca di contenimento in cemento in presenza di adeguati ancoraggi alle fondazioni per tener conto del potenziale rischio di allagamento: fattore -10
- a4) serbatoi interrati a parete semplice: fattore 20

### c) UNITÀ TRAVASO

Per le unità travaso attribuire un fattore variabile da -20 a +50 in funzione delle caratteristiche di viabilità interna.

Il fattore -20 è applicabile ai casi in cui il sistema di circolazione interna è regolato da apposite procedure, ed inoltre il deposito sia dotato di varchi distinti per l'accesso e l'uscita dei vettori.

Il fattore 0 è applicabile in assenza di uno solo dei sopracitati requisiti.

Il fattore pari a 50 si riferisce al caso in cui i percorsi di andata e ritorno siano praticamente coincidenti, si estendano ciascuno per oltre 100 m all'interno del deposito, senza procedure scritte ben definite e con segnalazione stradale mancante o poco visibile.

#### Conformazione sotto il livello del suolo

Il fattore di penalizzazione tiene conto di eventuali zone situate a livello più basso del suolo nelle quali possono raccogliersi liquidi

#### **Per le UNITÀ STOCCAGGIO:**

Il fattore da attribuire in presenza di zone situate sotto il livello del suolo (pozzetti adiacenti a bacini di contenimento) dipende dalla loro distanza dalla proiezione in pianta del serbatoio più vicino e si desume dalla seguente tabella:

DISTANZA	FATTORE
< 5 m	80
5 - 10 m	20
> 10 m	0

#### Drenaggio di superficie (Rif. 2.4.5.6)

Nessuna penalità va attribuita se il punto di drenaggio si trova all'esterno dell'area normale di lavoro e se la pendenza del suolo è già di per sé sufficiente a trasportare le sostanze versate lontano dall'unità.

Per gli spandimenti all'interno dell'area normale di lavoro non va assegnato alcun fattore ove la sostanza sia convogliata verso una rete di raccolta separata.

La rete di raccolta ed il punto di drenaggio devono essere tali da consentire il convogliamento del liquido in zona non critica (ad es. vasca di raccolta in zona relativamente isolata, vasca di raccolta a monte del trattamento acque ecc.). In caso contrario si assegna una penalità pari a 50.

Impiegare un fattore pari a 50 se la rete di raccolta interseca l'area normale di lavoro (ad esempio, canaletta grigliata)

---

### **Per le UNITÀ di STOCCAGGIO, TRAVASO, INFUSTAMENTO e POMPE:**

In assenza di pavimentazioni con pendenze di almeno l'1% per il drenaggio all'esterno dell'area verso un apposito punto di raccolta dedicato, applicare il fattore 100.

In assenza di pavimentazione e/o di punto di drenaggio, applicare il fattore 150.

#### ***5.1.2 Calcolo dell'indice di propensione al rilascio PR***

Ai fini della valutazione dell'indice di propensione al rilascio sulla base delle caratteristiche di pericolosità per l'ambiente della sostanza trattata e delle dotazioni impiantistiche, si utilizza la seguente relazione:

$$PR = Q \times B \times (1+P/100) \times [1+(S+L)/100]$$

#### ***5.1.3 2ª Fase: Individuazione dei fattori di compensazione***

Le caratteristiche di sicurezza e le misure preventive incorporate in un'unità di un determinato deposito possono essere suddivise in due grandi aree, tendenti rispettivamente alla:

- riduzione del rischio attraverso la riduzione del numero degli incidenti;
- riduzione del rischio attraverso la riduzione dell'entità potenziale degli incidenti.

La prima area comprende le configurazioni di sicurezza e le misure preventive, in particolare, rivolte ad evitare incidenti e che, presumibilmente, possono comportare una riduzione del numero degli stessi. Le caratteristiche compensative che possono condurre ad una diminuzione del numero di incidenti sono il tipo di progettazione meccanica, le strumentazioni di controllo e di sicurezza, le procedure di esercizio e di manutenzione, l'addestramento del personale, la buona conduzione e il buono stato di manutenzione degli impianti. Alcune di queste caratteristiche agiscono direttamente per la compensazione del potenziale di rischio, mentre altre, come l'addestramento del personale, agiscono indirettamente, in quanto assicurano che le previsioni di progetto siano adottate correttamente e non vengano eluse o eliminate.

La seconda area comprende le caratteristiche di sicurezza e le misure protettive che contribuiscono a ridurre l'entità di qualsiasi incidente che possa verificarsi e sono intese a minimizzare i danni conseguenti ad un rilascio accidentale. Tale compensazione risulta indispensabile, in quanto è impossibile eliminare completamente il rischio che un incidente si verifichi.

Alla prima area si riferiscono i fattori di compensazione K1, K2 e K3, alla seconda i fattori K4, K5 e K6.

Ciascun fattore è dato dal prodotto dei singoli fattori assegnati entro la voce pertinente per ciascuna unità.

Quanto proposto nei paragrafi seguenti, in tema di fattori di compensazione, fa riferimento a soluzioni costruttive, operative e gestionali derivate da esperienze e pratiche di progettazione applicate in diversi settori industriali; l'assegnazione di un determinato fattore di compensazione dovrà essere effettuata coerentemente alla tecnologia consolidata per il settore industriale in cui ricade il deposito in fase di analisi. Potrà essere valutata la possibilità di introdurre nuovi fattori per soluzioni differenti da quelle prospettate.

L'indice di Propensione al Rilascio dovrà essere compensato con i fattori pertinenti, relativi alle misure preventive e protettive efficaci per la prevenzione e riduzione del rischio di danno ambientale.

---

### *CONTENIMENTO (K1)*

Questo paragrafo tratta della riduzione del rischio risultante dall'adozione di standard di progetto elevati per gli apparecchi e le tubazioni, nonché dalla loro protezione da effetti di danneggiamento o di urto accidentale. Il principale scopo della riduzione del rischio, sotto questa voce, è quello di minimizzare il numero delle perdite che si verificano.

#### Serbatoi di stoccaggio verticali (Rif. 3.1.1.2)

##### *UNITÀ DI STOCCAGGIO*

Qualora per i serbatoi si adottino criteri più stringenti rispetto a quelli stabiliti dalle normative vigenti in Italia, si attribuiscono i seguenti fattori di compensazione, cumulabili, nei casi sotto specificati:

- 0,80 per serbatoi progettati in accordo a norme riconosciute a livello più severo di quelle nazionali;
- 0,80 per serbatoi con tetto galleggiante a tenuta doppia;
- 0,90 per serbatoi con diametro minore di 10 metri;
- 0,80 se vi sono solo due linee di connessione in fase liquida; non rientrano nel computo le linee di immissione del liquido, se collegate alla parte superiore e dotate di rompispina e di pescante che permette lo scarico in prossimità del fondo;
- 0,80 se vi sono solo tre linee di connessione in fase liquida sul mantello del serbatoio e la linea di ingresso è posizionata in modo tale da evitare il fenomeno di splash-down (applicabile per liquidi infiammabili);
- 0,70 se le tubazioni di ingresso/uscita sono collegate sulla sommità del serbatoio e lo scarico avviene tramite pressurizzazione con azoto e pescante, che giunge in prossimità del fondo del serbatoio, oppure pompe autoadescanti;
- 0,90 se le linee collegate con il fondo del serbatoio sono dotate di valvola automatica a comando remotizzato, montata immediatamente vicino al serbatoio, che, nel caso di liquidi infiammabili o tossici ed infiammabili, dovrà essere anche di tipo Fire-safe;
- 0,90 se tale valvola remotizzata è posta sulla linea di uscita del liquido in caso di scarico dall'alto mediante pressurizzazione con azoto.

##### *UNITÀ TRAVASO*

- 0,90 uso di manichette flessibili di tipo corazzato o rinforzato, omologato per pressioni almeno doppie di quella massima di esercizio;
- 0,80 uso esclusivo di bracci di tipo metallico con snodi per la fase liquida;

##### **UNITÀ POMPE**

Per evitare il surriscaldamento a seguito di funzionamento della pompa a mandata chiusa, può essere prevista una linea di ricircolo tra la tubazione di mandata e il serbatoio.

In tal caso si applica il seguente fattore:

- 0,90 Se la pompa è dotata di linea di ricircolo tale da garantire una portata di liquido non inferiore al minimo prescritto nella specifica della pompa;

---

Condotte di trasferimento (Rif. 3.1.1.3)

**UNITÀ DI STOCCAGGIO, TRAVASO e INFUSTAMENTO**

Le condotte saranno, ove possibile, del tipo senza saldatura longitudinale e con le saldature circonferenziali ridotte al minimo possibile, e dovranno essere progettate e costruite secondo le norme di buona tecnica e comunque di categoria non inferiore a PN 10.

Le stesse caratteristiche devono essere possedute da tutti gli accessori connessi all'unità.

E' adottabile uno dei seguenti fattori di compensazione:

0,85 per condotta realizzata in categoria più elevata rispetto a quella richiesta;

0,75 per realizzazione totalmente saldata.

Ed inoltre, cumulabile:

0,90 se tutte le saldature sono radiografate al 100%;

I requisiti previsti al presente comma sono da intendersi riferiti:

**Per lo stoccaggio:** ai serbatoi ed al tratto di tubazione a monte della prima valvola posta all'esterno del bacino.

**Per il travaso:** a tutto il tratto di tubazione a monte della prima valvola automatica o telecomandata di intercettazione a partire dal vettore in travaso ivi compresi i bracci di carico.

**UNITÀ POMPE**

La configurazione minima da adottare contro i trafileamenti di liquido deve prevedere una tenuta meccanica singola.

0,80 Se la pompa è dotata di tenuta meccanica doppia o in tandem e sono installati dispositivi di allarme sul circuito del fluido intermedio di tenuta, in grado di evidenziare eventuali anomalie in essere.

0,70 se la pompa è a trascinamento magnetico o a rotore immerso o del tipo sommerso interna al serbatoio (per liquidi tossici).

Sistemi di contenimento supplementari (Rif. 3.1.1.4)

Il contenimento di un serbatoio o di una condotta può essere migliorato realizzando un ulteriore involucro di contenimento. Un fattore di compensazione si giustifica però solo se questo involucro costituisce un'ulteriore barriera destinata a tenere prima che possa verificarsi una perdita. I fattori consigliati per gli involucri supplementari sono:

<b>SERBATOI DI STOCCAGGIO</b>	<b>FATTORE</b>
Stoccaggio a pressione atmosferica di liquidi con seconda parete di contenimento estesa a tutta l'altezza del serbatoio ed in grado di resistere al carico dovuto al cedimento della parete principale, provvisto di allarme.	0,50
Stoccaggio in serbatoi interrati a doppia parete, con allarme di alta/bassa pressione dell'azoto in camicia (o sistema equivalente di segnalazione di una perdita di contenimento da uno dei due involucri).	0,60
Serbatoi interrati, contenuti in una vasca di contenimento in cemento, con raccolta del liquido fuoriuscito in corrispondenza di un pozzetto di ispezione.	0,75
Serbatoi a pressione atmosferica con doppio fondo e sistema di rilevazione delle perdite con allarme, o dotati di sistema di pari efficacia atto ad impedire il contatto diretto tra il fondo del serbatoio stesso ed il terreno sottostante.	0,60

<b>SERBATOI DI STOCCAGGIO CON BACINI DI CONTENIMENTO</b>	<b>FATTORE</b>
Il bacino di contenimento ha capacità pari a quella del serbatoio più grande in esso ubicato	0,80
Bacino di contenimento di altezza superiore a quella di normale standard per tener conto di un possibile traboccamento di schiume.	0,90
Bacino di contenimento a perfetta tenuta tale che la sostanza versata non possa disperdersi o permeare il terreno (cumulabile).	0,60

<b>CONTENITORI TRASPORTABILI</b>	<b>FATTORE</b>
Se provvisti di ripari di protezione dagli urti, con resistenza equivalente ad uno spessore di 12 mm di acciaio dolce.	0,75

<b>CONDOTTE DI TRASFERIMENTO</b>	<b>FATTORE</b>
Seconda parete esterna a tenuta, con resistenza equivalente ad almeno 6 mm di acciaio dolce.	0,60
Seconda parete esterna a tenuta, di categoria almeno pari a quella del tubo interno.	0,70
Giunti di tubazioni in pressione dotati di collari paraspruzzo o sistemi equivalenti.	0,90

<b>UNITA TRA VASO- VETTORI NA VALI</b>	<b>FATTORE</b>
Impiego di panne galleggianti o di sistema equivalente di contenimento attorno alle navi durante le operazioni di carico/scarico. La compensazione è attribuita ai casi di prodotti non solubili in acqua.	0,80

<b>UNITA DEPOSITI FUSTI E INFUSTAMENTO</b>	<b>FATTORE</b>
Contenimento e raccolta delle acque di lavaggio	0,85
Se il pavimento è anche a completa tenuta mediante idonei investimenti impermeabili (aggiuntivo)	0,95

Sistemi di rilevamento perdite (Rif. 3.1.1.5)

**Per tutte le UNITÀ.**

Il fattore può essere scelto tra i seguenti:

- 0,70      esistenza di rilevatori di perdite in corrispondenza di tutti i punti critici, con blocco automatico delle valvole di intercettazione ed allarme riportato in sala controllo, costantemente presidiata;
- 0,75      come sopra, ma con chiusura delle valvole remotizzate affidate all'operatore di sala controllo;
- 0,85      come sopra, ma con presenza di allarmi riportati in zona di manovra delle valvole remotizzate;
- 0,90      esistenza di rilevatori di perdite in corrispondenza di tutti i punti critici, senza blocco automatico ma con allarme;
- 0,95      esistenza di rilevatori di perdite, non estesa a tutti i punti critici.

Scarichi di emergenza e funzionali (Rif. 3.1.1.6)

**UNITÀ TRAVASO e INFUSTAMENTO**

L'eventuale residuo del sistema di carico/scarico deve essere raccolto senza provocare perdite, anche di lieve entità, che possano spandersi nell'area di lavoro.

Adottare il seguente fattore:

- 0,90      se il convogliamento dei liquidi residui è effettuato ad un recipiente chiuso o ad una rete di raccolta compatibile;

Può essere adottato uno dei seguenti fattori, cumulabile con il precedente:

- 0,80      se il travaso avviene in circuito chiuso;
- 0,80      se è presente un sistema di abbattimento o recupero.

**Per tutte le altre UNITÀ**

Se lo scarico da valvole di respirazione, dischi di rottura, valvole di sicurezza, sfiati di emergenza è convogliato con tubazioni ad una torcia o ad un sistema chiuso di abbattimento si adotta una compensazione pari a 0,80.

*CONTROLLO DEL PROCESSO (K2) (RIF. 3.1.2)*

Per le unità interessanti i depositi, si intende per processo l'operazione di trasferimento di prodotto.

Si presuppone che le unità siano dotate di strumentazione minima di controllo.

In questo paragrafo sono trattati gli aspetti relativi ai sistemi di allarme e di blocco, al controllo computerizzato, alle istruzioni operative ed alla sorveglianza durante il funzionamento.

Sistemi di allarme e di blocco (Rif. 3.1.2.1, 3.1.2.2 e 3.1.2.5)

### UNITÀ STOCCAGGIO

Ammesso che sia presente un sistema di controllo del riempimento su ciascun serbatoio, si può adottare uno dei seguenti fattori di compensazione:

<b>CONTROLLO DEL LIVELLO</b>	<b>FATTORE</b>
I segnali di livello e di allarme sono riportati in zona presidiata.	0,95
Indicatore con soglia di allarme e livello stato indipendente per altissimo livello, con allarmi inviati a zona presidiata.	0,90
I segnali di livello e di allarme sono riportati nella zona di comando centralizzato delle valvole comandate a distanza e dei sistemi di pompaggio.	0,85
Segnale di livello ed allarme come sopra, integrato da sistema indipendente per allarme per altissimo livello (al valore pari al massimo grado di riempimento consentito).	0,80
Come sopra, con blocco automatico per altissimo livello, che comanda la chiusura delle valvole automatiche di isolamento.	0,75
Esiste un secondo sistema indipendente per il controllo del livello (cumulabile con i precedenti).	0,80
Se il dispositivo di blocco automatico agisce anche sull'arresto dei sistemi di pompaggio (cumulabile con i precedenti).	0,95

<b>CONTROLLO DELLA TENUTA</b>	<b>FATTORE</b>
Se il serbatoio viene utilizzato con strato d'acqua sul fondo ed è dotato di allarme per basso livello acqua.	0,80

<b>CONTROLLO DELLA PRESSIONE</b> (solo per serbatoi inertizzati)	<b>FATTORE</b>
Se il serbatoio è dotato di un allarme locale per alta/bassa pressione.	0,95
Se il serbatoio è dotato di un allarme in sala controllo o in sala quadri (presidiata) per alta/bassa pressione.	0,90
Se il serbatoio è anche dotato di un sistema di blocco automatico della pompa di estrazione per bassissima pressione.	0,85

### UNITÀ TRAVASO

Si può adottare uno dei seguenti fattori di compensazione:

- 0,95 controllo del riempimento mediante predisposizione volumetrica da inserire manualmente ed arresto automatico o mediante spie di massimo riempimento;
- 0,90 controllo del riempimento mediante sistemi di pesatura durante le operazioni di travaso ed arresto automatico;
- 0,90 serbatoi sui vettori di trasporto inertizzati prima del carico o durante lo scarico.

Fattori cumulabili:

- 0,90 se i bracci di carico sono dotati di valvole ad intercettazione rapida a comando a distanza attuabile da luogo sicuro;

- 0,85 come sopra, se in più esiste sistema di blocco che comanda le valvole di intercettazione sui bracci in caso di movimento accidentale del veicolo;
- 0,80 come sopra, se il sistema di blocco ferma anche i sistemi di pompaggio;
- 0,85 se esiste un sistema di blocco che, in caso di mancanza di consenso dal dispositivo di collegamento a massa del veicolo, mantiene chiuse le valvole di intercettazione sui bracci;
- 0,80 come sopra, se il sistema di blocco ferma anche i sistemi di pompaggio.

### UNITÀ INFUSTAMENTO

Si può adottare uno dei seguenti fattori di compensazione:

- 0,95 controllo del livello nei fusti con sistemi di pesatura o di predeterminazione del carico;
- 0,90 come sopra, ma con un secondo controllo indipendente del livello;
- 0,80 le linee principali di alimentazione sono dotate di valvole ad intercettazione rapida a comando a distanza attuabile da luogo sicuro.

### UNITÀ POMPE

Fattori di compensazione:

TIPO DI STRUMENTAZIONE	FATTORE
Allarme di bassissimo livello nel serbatoio con livello stato indipendente.	0,90
Come sopra, con arresto pompa.	0,80

### Per tutte le UNITÀ

Fattori cumulabili con i precedenti:

TIPO DI STRUMENTAZIONE	FATTORE
Se i sistemi automatici di blocco e di controllo sono verificati in modo documentato con frequenze almeno semestrali.	0,80
Se la funzionalità dei sistemi di attuazione delle valvole telecomandate, nonché l'alimentazione elettrica dei sistemi di blocco, è garantita con doppia fonte di energia, con possibilità di commutazione automatica ovvero se le valvole telecomandate sono di tipo pneumatico con azione "mancanza aria-chiude"	0,90

Controllo centralizzato (Rif. 3.1.2.6)

### UNITÀ STOCCAGGIO, TRAVASO e INFUSTAMENTO

Può adottarsi uno dei seguenti fattori:

- 0,70 il complesso delle operazioni di movimentazione del prodotto è gestito a livello centrale con sistema computerizzato;
- 0,80 i parametri d'interesse sono riportati a video in sala controllo costantemente presidiata ed in comunicazione con gli operatori di campo;
- 0,95 i parametri d'interesse sono riportati su quadro sinottico in zona che consente la manovra delle valvole remotizzate d'isolamento o di fermata delle pompe di isolamento.

Fattore cumulabile:

- 0,90 per la gestione centralizzata delle logiche di blocco.



---

Istruzioni operative (Rif. 3.1.2.8)

**Per tutte le UNITÀ**

Se, per l'esercizio di ogni deposito in condizioni di sicurezza, esiste un manuale operativo comprendente istruzioni chiare, esaurienti e specifiche per il deposito e che comprenda l'avviamento, il funzionamento normale, l'arresto e messa in sicurezza del deposito e se, in aggiunta, sono previste anche le condizioni di seguito elencate, il fattore di compensazione potrà essere calcolato con la seguente espressione:

$$\text{Fattore compensativo} = 1 - (\text{somma dei fattori ponderali} / 100)$$

utilizzando i fattori ponderali pertinenti riportati nella tabella successiva.

Condizione prevista dalle istruzioni operative	Fattore ponderale
Procedure specifiche e dettagliate per ogni singola operazione; per depositi fusti delimitazione e marcatura delle zone di stoccaggio e delle aree libere per i passaggi, le ispezioni, gli interventi in emergenza; procedure per la movimentazione all'interno del magazzino con carrelli elevatori; programmazione e registrazione delle ispezioni.	5
Procedure per arresto di emergenza e successiva rimessa in marcia.	4
Procedure di rimessa in marcia dopo manutenzione; per depositi fusti istruzioni per svuotamento o invio a utilizzatori.	4
Procedure per bonifica di tubazioni e serbatoi; per depositi fusti procedure di manutenzione, permessi di lavoro e decontaminazione.	4
Procedure di controllo per modifica di apparecchi o linee; per depositi fusti procedure per la variazione delle zone di stoccaggio e presenza dell'elenco merci immagazzinate e verifica dello stato di aggiornamento dello stesso (record keeping).	3
Procedure di controllo per modifica di istruzioni operative; per depositi fusti procedure per separazione o segregazione di sostanze incompatibili.	3

Si deve rilevare che le istruzioni operative risultano di solito più complete in casi in cui sia stato effettuato uno studio dei rischi approfondito, del tipo Analisi di Operabilità, FMEA, ecc..

Sorveglianza dell'impianto (Rif. 3.1.2.9)

**Per tutte le UNITÀ**

Per i sistemi di comunicazione impiegare uno dei fattori seguenti:

- 0,98 sistema di comunicazione acustico dalla sala controllo principale non bidirezionale;
- 0,95 sistema di comunicazione acustico che consente comunicazioni bidirezionali da ciascun altoparlante.

Gli ulteriori fattori cumulabili sono:

- 0,97 sistema cercapersone in dotazione ad operatori chiave e telefoni o altre apparecchiature di comunicazione sull'impianto;
- 0,90 ove tutti gli operatori possano comunicare con la sala controllo mediante radio bidirezionale da qualunque parte del complesso;
- 0,95 l'impianto viene regolarmente presidiato, giorno e notte, con l'impiego di televisione a circuito chiuso per l'osservazione da vicino delle parti principali;
- 0,90 sistema di sicurezza dell'impianto efficace e presidio del suo perimetro per impedirne l'accesso alle persone non autorizzate;

0,90 efficaci sistemi antiaccensione e controllo accurato del movimento di veicoli in zone pericolose.

#### ATTEGGIAMENTO NEI RIGUARDI DELLA PREVENZIONE E PROTEZIONE AMBIENTALE (K3, K4)

Per l'accesso ai fattori del presente paragrafo è necessaria esplicita dichiarazione del gestore, nonché idonea documentazione a sostegno dei fattori utilizzati.

Questo paragrafo si occupa della riduzione del rischio attribuibile all'impiego di specifiche misure e procedure di prevenzione e protezione specificatamente predisposte contro i potenziali danni all'ambiente. Sono considerati fattori che derivano sia da elementi gestionali specifici (analisi incidentale, pianificazione dell'emergenza, formazione e addestramento) sia dall'adozione di procedure di verifica e controllo specifiche per prevenire o minimizzare i danni conseguenti a rilasci nell'ambiente.

I fattori di compensazione K3 e K4 potranno essere calcolati con la seguente espressione:

$$\text{Fattore compensativo} = 1 - (\text{somma dei fattori ponderali} / 100)$$

utilizzando i fattori ponderali pertinenti riportati ripetutamente nelle tabelle successive.

Tabella per il calcolo di K3

Procedure di verifica/controllo	Fattore ponderale
Le verifiche strutturali sui serbatoi fuori terra comprendono le seguenti considerazioni: <ul style="list-style-type: none"><li>- sollecitazione a collaudo</li><li>- sollecitazione di esercizio</li><li>- sollecitazione di schiacciamento delle viti di base</li><li>- sollecitazione sulla saldatura sul fondo</li><li>- verifica della verticalità (secondo standard API 653)</li></ul> con frequenza commisurata all'anno di installazione ed annotazione dei risultati su apposito registro.	5
Per i serbatoi a tetto galleggiante sono previste le seguenti verifiche aggiuntive: <ul style="list-style-type: none"><li>- sollecitazione del tetto per peso proprio, carichi accidentali e inefficienza delle casse d'aria</li><li>- sollecitazione sulla lamiera inferiore dei cassoni del tetto sotto la spinta idrostatica</li><li>- possibilità di fuoriuscita delle scalette dalle guide in caso di risalita irregolare del tetto (possibile perforazione ed affondamento del tetto)</li></ul> con frequenza commisurata all'anno di installazione ed annotazione dei risultati su apposito registro.	5
Per i serbatoi a tetto fisso sono previste le seguenti verifiche aggiuntive: <ul style="list-style-type: none"><li>- sollecitazione del tetto per peso proprio, carichi accidentali</li><li>- funzionalità delle valvole di respirazione (esclusione di eventi di implosione)</li></ul> con frequenza commisurata all'anno di installazione ed annotazione dei risultati su apposito registro.	5
Ispezioni programmate per i depositi fusti	5

Tabella per il calcolo di K4

Procedure di analisi/monitoraggio	Fattore ponderale
E' stata condotta una specifica analisi degli scenari incidentali che possono dare origine a danni ambientali e relative misure di contenimento congruente con la realtà del deposito.	5
L'analisi degli scenari è stata effettuata mediante un sistema GIS dove è possibile visualizzare su base cartografica in scala reale le componenti impiantistiche e geoambientali coinvolte (impianti elementi ambientali vulnerabili, posizione dei presidi di contenimento ecc.). Cfr. all. C.2.2.1	5
Nell'ambito del Sistema di Gestione della Sicurezza è predisposto ed attuato un programma specifico di informazione e formazione sui potenziali danni ambientali e relative misure di contenimento.	5
Il piano di emergenza interno prevede specificatamente le azioni richieste per fronteggiare le emergenze ambientali identificate nella analisi di sicurezza (presidi di pronto intervento cfr All. C.2.2.1).	10
E' presente nello stabilimento un presidio di monitoraggio (rete di piezometri, cfr All. C.2.2.2) per il controllo della qualità delle acque sotterranee.	10
E' presente nello stabilimento un presidio fisso di contenimento di eventuali sostanze contaminanti in falda (barriere idrauliche, barriere statiche, cfr All. C.2.1)	10

#### ISOLAMENTO ED ELIMINAZIONE DELLE SOSTANZE (K5)

I fattori adottati in questo paragrafo tengono conto delle caratteristiche che consentono il controllo delle perdite di prodotto durante un evento incidentale.

#### Sistemi di drenaggio e raccolta

##### UNITÀ STOCCAGGIO con serbatoi fuori terra:

Nel caso l'area circostante i serbatoi sia delimitata da cordolatura, muri o dighe i fattori di compensazione sono:

- 0,80 se la pendenza è pari o superiore all'1% in direzione di una fossa di raccolta, distante almeno 10 m dalla proiezione in pianta dei serbatoi stessi, e capacità adeguata per trattenere il contenuto del più grosso dei serbatoi;
- 0,80 nel caso in cui la fossa di raccolta è di dimensioni più limitate, ma vi è anche una pompa fissa con portata adeguata che consenta di recuperare il liquido fuoriuscito ed inviarlo ad un serbatoio sempre vuoto;
- 0,70 se, in caso di incidente su un serbatoio, è garantita la possibilità di spiazzamento del prodotto in un serbatoio sempre vuoto, avente la capacità sufficiente per contenere tutto il liquido trasferibile.

##### UNITÀ TRAVASO

Qualora l'area sottostante i serbatoi o le autobotti sotto movimentazione abbia una superficie impermeabile e compatta e sia dotata di pendenza per il drenaggio degli eventuali rilasci in zona non critica, il fattore di compensazione è:

- 0,95 per pendenze inferiori all'1%;

---

0,85 se la pendenza è almeno dell'1%.

### **Per tutte le UNITÀ**

Se tutta l'unità è dotata di pavimentazione che consente il contenimento della sostanza rilasciata e/o dell'acqua antincendio contaminata in un bacino impermeabile e/o il convogliamento ad una vasca di raccolta o ad un sistema di trattamento in grado di trattenere o depurare l'acqua erogata in un'ora nello scenario più gravoso (ad esempio, incendio nel bacino di contenimento di maggiori dimensioni), il fattore di compensazione è pari a 0,8.

In alternativa, se l'impermeabilizzazione interessa tutta l'unità, utilizzare 0,7.

#### Sistemi a valvole

#### **UNITÀ STOCCAGGIO:**

Le condutture principali possono essere dotate di valvole di isolamento elettriche a comando anche a distanza, con linee di servizio protette dall'incendio, e/o di valvole pneumatiche con azione "manca-aria-chiude".

Applicare il seguente fattore:

0,95 se le valvole sono dotate di sistema di teleindicazione del proprio stato (chiusa/aperta) e per liquidi infiammabili o tossici infiammabili sono anche di tipo Fire-safe;

#### **UNITÀ TRAVASO**

Le condutture principali possono essere dotate di valvole di isolamento elettriche a comando anche a distanza, con linee di servizio protette dall'incendio, e/o di valvole pneumatiche con azione "manca-aria-chiude".

I fattori cumulabili utilizzabili sono:

0,80 se i collegamenti mobili sono realizzati con unità di accoppiamento autosigillanti in caso di strappo;

0,70 se sono previsti metodi e procedure per l'intercettazione a distanza di eventuali rilasci del vettore in travaso.

#### *OPERAZIONI DI ASSISTENZA IN EMERGENZA (K6) (RIF. 3.2.3)*

##### Assistenza dei Vigili del fuoco (Rif. 3.2.3.6)

#### **Per tutte le UNITÀ:**

Per le squadre di emergenza di stabilimento, utilizzare un fattore pari a

$$1 - (0,05 \times n)$$

dove n è il numero dei componenti delle squadre di emergenza di stabilimento (sino ad un max di 5).

Fattori adottabili per intervento del Corpo Nazionale VVF:

0,90 se esiste una sede operativa VVF entro il raggio di 3 km dallo stabilimento;

0,70 se nel raggio di 3 km dallo stabilimento esiste più di una sede operativa VVF.

##### Cooperazione e risorse di stabilimento (Rif. 3.2.3.7)

Se le esercitazioni all'uso delle apparecchiature disponibili per le emergenze ambientali sono effettuate, per i lavoratori interni, con le modalità indicate nel piano di emergenza interna e documentate su apposito registro, si attribuiscono i seguenti fattori cumulabili:

### Per tutte le UNITÀ

0,90 se sono effettuate esercitazioni periodiche, specifiche, con richiesta di partecipazione al personale del Corpo Nazionale VVF;

0,90 se sono previste per tutti gli operatori anche prove periodiche presso appositi campi di istruzione.

La partecipazione a tali prove deve essere certificata.

### Recupero e bonifica

	<b>Fattore ponderale</b>	
Le dotazioni di sicurezza, le attrezzature ed i materiali utili per il recupero della sostanza accidentalmente sversata (da destinare a smaltimento autorizzato) sono disponibili in loco, in posizione facilmente accessibile ed in quantità congruenti con le analisi effettuate. (cfr. all.C.2.2.1)	0.90	
L'azienda è convenzionata con una ditta di pronto intervento ambientale qualificata con dotazioni (personale, attrezzature, mezzi) rispondenti ai requisiti per l'iscrizione all'Albo delle imprese che effettuano la gestione dei rifiuti "categoria 9: bonifica di siti" (cfr. all.C.2.2.1)	Classe A	0.85
	B	0.87
	C	0.89
	D	0.91
	E	0.93
	Non è iscritta	0.97

#### 5.1.4 Categorizzazione delle unità

Per ciascuna sotto unità di suddivisione del deposito si esegue il calcolo dei fattori globali di compensazione, da K1 a K6, partendo dai singoli fattori forniti nei paragrafi da 4.1 a 4.6. Ciascun fattore è dato dal prodotto dei fattori singoli assegnati entro la voce pertinente.

Qualora non sia stato impiegato alcun fattore, il valore di K è pari a 1.

L'indice di Propensione al Rilascio compensato PR' sarà calcolato a partire dal valore intrinseco, già determinato, secondo la seguente relazione:

$$PR' = PR \times (K1 \times K2 \times K3 \times K4 \times K5 \times K6)$$

---

### 5.1.5. Categorizzazione delle unità

Ai fini di questo metodo, la Categorizzazione delle unità si ottiene inserendo i valori degli indici di Propensione al Rilascio PR e PR', calcolati per ogni unità, nei campi forniti dalle tabelle seguenti:

INDICE DI PROPENZIONE AL RILASCIO	CATEGORIA
0 - 10	Molto Basso
10 - 1000	Basso
1000 - 10000	Medio
> 10000	Alto

Alle unità possono quindi essere associate, ove pertinenti, due categorie relative alla loro "propensione al rilascio" rappresentanti, in modo sintetico, rispettivamente la massima situazione di pericolosità per l'ambiente nelle condizioni di rischio "intrinseco" e di rischio "compensato", determinato dal livello di qualità delle soluzioni impiantistiche e gestionali adottate.

### 5.2. L'indice di propensione alla propagazione

Per esprimere in modo quantitativo l'indice di propensione alla propagazione si è proposto di utilizzare i parametri velocità di flusso verticali e orizzontali di un acquifero ottenute per mezzo della legge di Darcy.

$$V = Ki (I)$$

La legge Darcy mette in relazione le velocità di filtrazione dell'acqua in un mezzo saturo con la differenza di carico idraulico tra 2 punti (gradiente idraulico  $i$ ). In altre parole la variazione di carico  $\Delta h$  induce un moto di filtrazione e la velocità con cui avviene il moto risulta espressa con la (1) dove  $K$  è un parametro che viene denominato conducibilità idraulica o coefficiente di permeabilità.

Il coefficiente di permeabilità  $K$  dipende dalla dimensione dei pori nel terreno; al diminuire della dimensione diminuisce anche la permeabilità. In generale tale coefficiente dipende da una frazione granulometrica, cioè dalla frazione più fina che compone il terreno.

Si noti che  $k$  ha le dimensioni di una velocità e che per gradienti unitari  $v=K$

Nel terreno il moto di filtrazione avviene tra gli spazi presenti tra un granello e l'altro, quindi, dal momento che la velocità viene calcolata come rapporto tra la portata e la sezione di passaggio, l'espressione (1) non rappresenta una velocità effettiva ma una velocità media (apparente).

Se la velocità apparente, è data dal rapporto tra la portata e l'area totale della sezione entro cui avviene il moto di filtrazione:

$$v_{app} = q/A$$

---

allora la velocità effettiva è data dal rapporto tra la portata e l'area della sezione, attraverso la quale avviene il moto di filtrazione, che non è occupata dai grani di terreno ( $nA$ )

$$v_{eff} = q/nA$$

che risulta essere superiore alla velocità apparente:

$$V_{eff} = V_{app}/\eta$$

dove  $\eta$  è la porosità efficace.

Da quanto detto sopra emerge che nel calcolo delle velocità è necessario tenere conto del fattore porosità efficace e pertanto alla sola velocità effettiva si farà riferimento nel seguito per l'applicazione della procedura di valutazione del rischio.

Per l'applicazione della legge di Darcy si deve tuttavia partire dal presupposto che:

1. l'acquifero sia poroso
2. l'acquifero sia omogeneo e isotropo (permeabilità e porosità costanti lungo tutte le direzioni),
3. gradiente costante e non troppo elevato (moto laminare e non turbolento)

Si sottolinea che la legge di Darcy descrive il moto di filtrazione di una particella d'acqua, per tale ragione tale relazione può considerarsi cautelativa se si considera che le sostanze presenti nel mezzo acquoso, con particolare riferimento agli idrocarburi liquidi, sono soggette ad una serie di meccanismi chimico-fisici che ne rallentano il moto rispetto al vettore di trasporto.

L'indice di propensione alla propagazione esprime la correlazione con il rischio di contaminazione generata dalla combinazione e interazione di due fattori

- La velocità di filtrazione verticale
- La velocità di filtrazione orizzontale

Le velocità di filtrazione verticale espressa in funzione dei tempi di arrivo in falda (vulnerabilità verticale), e la velocità di filtrazione orizzontale sono parametri che permettono di definire una condizione di rischio crescente all'aumentare del loro valore.

Pertanto se suddivisi secondo intervalli proporzionali al rischio e inseriti all'interno di una matrice è possibile stabilire per ciascuna zona ove insiste un'unità impiantistica la combinazione che esprime la situazione a cui è associato un livello di rischio basso, intermedio o alto

Tempo di arrivo verticale o IPV (Indice di propagazione verticale)

Il tempo di arrivo verticale esprime di fatto la vulnerabilità verticale dell'acquifero tenuto conto del tempo impiegato da una particella d'acqua a percorrere un determinato spazio in un determinato tempo. Esso viene valutato mediante la conoscenza della soggiacenza  $S$  della falda (profondità della falda rispetto al piano campagna) e della velocità di filtrazione nella zona insatura, ovvero della per-

meabilità. Il grado di vulnerabilità è, quindi, funzione del tempo di arrivo di un potenziale inquinante in falda, espresso come rapporto fra soggiacenza e velocità di filtrazione verticale:  $t = S/v$  dove  $v$ , la velocità, è espresso dalla permeabilità, nelle ipotesi cautelative di un gradiente idraulico unitario e di completa saturazione.

Le velocità di filtrazione verticale possono essere stimate sulla base di dati di letteratura o di indagini in situ finalizzate alla misura diretta del parametro velocità oppure attraverso la misura del coefficiente di permeabilità; va comunque sottolineato che necessiterebbero approfonditi studi in merito, allo scopo di definire meglio il range di variabilità all'interno dei singoli complessi geologici, in funzione del relativo grado di porosità e fessurazione (Cfr, Tab. I).

**Tab. I**

**Valori di permeabilità riscontrati in litotipi caratteristici della Regione Lazio.**

Terreni permeabili per porosità	Terreni permeabili per fessurazione
permeabilità medio-bassa $k = 6 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ (alluvioni lacustri) $k = 6,5 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ (dep. vulcano-sedimentari)	permeabilità medio-bassa $k = 2 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ (peperino)
permeabilità medio-alta $k = 5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ (piroclastici, ignimbriti, etc.)	permeabilità alta $k = 4 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ (travertini) $k = 2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ (lave)
permeabilità alta $k = 8,5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ (alluvioni fluviali) $k = 8,5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ (depositi costieri) $k = 3 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ (sabbie, conglomerati, etc.)	

Dal rapporto tra le velocità d'infiltrazione e la profondità della falda, si ricava in Tab. II la distribuzione dei tempi di arrivo in falda ( $t$ ) elaborata prendendo spunto dalla metodologia proposta da De Luca e Verga – 1991 modificata.

**Tab. II**

Tempo di arrivo ( $t$ )	
Alto	> 6 mesi
Medio	1 mese - 6 mesi
Basso	96h - un mese
Molto Basso	< 96h

Dall'esame della tabella si evidenzia l'assenza delle condizioni sul lungo periodo (> 1 anno) e la presenza di intervalli confrontabili con le tempistiche previste dalla normativa in materia di Bonifiche (D.M. 471/99) e con i tempi di sicurezza previsti per la delimitazione della zona di rispetto allargata di cui all'Accordo del 12 Dicembre 2002 stipulato nell'ambito della Conferenza permanente per i rapporti tra Stato, Regioni e Province Autonome:

- a) 96 h, tempo necessario per avvisare le autorità della messa in atto del sistema di messa in sicurezza d'emergenza,
- b) 30 gg, tempo necessario per presentare il piano di caratterizzazione e dare avvio alle indagini ed, eventualmente, eseguire una calibrazione del sistema di messa in sicurezza,
- c) 6 mesi (180 giorni), tempo oltre il quale si presume ragionevolmente che non sussistano comunque pericoli per elementi sensibili posti ad una certa distanza dalla sorgente inquinante.



---

Le ragioni di tale scelta risiedono nel fatto che metodologia proposta in questa sede si applica per la stima della magnitudo degli effetti sul breve e medio periodo e, soprattutto, nelle situazioni in cui si presuppone che il tempo  $t_0$  (inizio dell'evento) coincida con l'avvio delle misure di messa in sicurezza d'emergenza pianificate a seguito dell'effettuazione di specifica analisi di sicurezza.

Velocità di migrazione orizzontale o IPO Indice di propagazione orizzontale

Le velocità orizzontale di un acquifero esprime la tendenza alla propagazione orizzontale di un inquinante che non subisca effetti di ritardo rispetto all'acqua e che non venga sottoposto ad azioni di degradazione chimico-fisica o biologica.

La selezione degli intervalli di tabella III è stata fatta considerando le velocità medie riscontrate in diverse tipologie di acquiferi presenti nel contesto nazionale.

**Tab. III**

<i>Vulnerabilità orizzontale</i>	<i>Velocità orizzontale m/g</i>
<i>Molto bassa</i>	<i>&lt; 0.5</i>
<i>Bassa</i>	<i>0.5 - 1</i>
<i>Media</i>	<i>1 - 3</i>
<i>Elevata</i>	<i>&gt; 3</i>

Il parametro velocità orizzontale può essere desunto dalla formula di Darcy  $V = Ki/h$  oppure attraverso misurazioni dirette di velocità effettuate con speciali strumentazioni denominate flussimetri. Nel primo caso si presuppone la conoscenza dei parametri  $K$  permeabilità,  $i$  gradiente idraulico ed  $h$  porosità efficace i quali possono essere desunti da tabelle di riferimento, oppure da prove in situ.

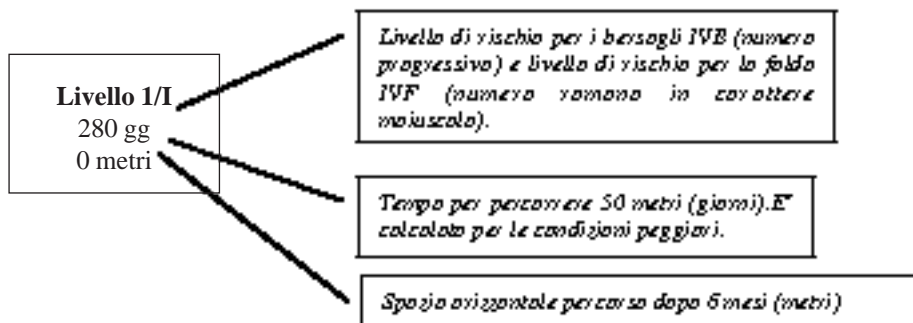
A tale proposito si ricorda che la legge di Darcy non è applicabile per gli acquiferi fessurati; in tali casi si consiglia di eseguire la misurazione diretta della velocità rispettivamente, verticale e orizzontale, mediante prove di campo.

La matrice di tempi di arrivo/velocità orizzontali permette di identificare i livelli di vulnerabilità raggruppando le varie celle in cluster di valori in funzione di:

- distanza percorsa in 6 mesi
- tempo necessario per percorrere 50 metri in orizzontale (tenuto conto anche dei tempi d'arrivo)

Tab. IV

	Velocità effettiva di migrazione orizzontale (metri/giorno) IPO			
	Molto Bassa	Bassa	Media	Alta
	<0.5	0.5- 1	1-3	>3
Tempo di arrivo in falda IPV	Tempo per percorrere 50 metri (gg)			
	> 100 gg	100-50	50 -15	<15
Alto: > 6 mesi	Livello 1/I $>180+100 = 280$ gg almeno 280 gg 0 metri	Livello 1/II $180+100$ gg = 280 gg $180 + 50 = 230$ gg almeno 230 gg 0 metri	Livello 2/I $180 + 50 = 230$ gg $180 + 15 = 195$ gg almeno 195 gg 0 metri	Livello 2/II $>180$ gg $<180+15 = 195$ gg almeno 6 mesi 0 metri
Medio: 1 mese - 6 mesi	Livello 3/II $30+100 = 130$ gg $180+100 = 280$ almeno 130 gg 75 metri	Livello 4/II $30+100$ gg $30 + 50 = 80$ gg $180+100 = 280$ gg $180+50 = 230$ gg almeno 80 gg 150 metri	Livello 5/II $30+50 = 80$ gg $30+15 = 45$ gg $180+50 = 230$ gg $180+15 = 195$ gg almeno 45 gg 450	Livello 5/III $>30+0$ gg = 30 gg $<30 + 15 = 45$ gg $>180+0$ gg = 180 gg $<180 + 15 = 195$ gg almeno 30 gg > 450
Basso: 96 ore - 1 mese	Livello 3/II $4+100 = 104$ gg $30+100 = 130$ almeno 104 gg 66 metri	Livello 4/III $4+50$ gg = 54 $4+100 = 104$ gg $30+100 = 130$ gg $30+50 = 80$ gg almeno 54 gg 176 metri	Livello 5/IV $4+50 = 54$ $4+15 = 19$ $30+50 = 80$ gg $30+15 = 45$ gg almeno 19 gg 516 metri	Livello 5/IV $>4$ gg $<4+15 = 19$ gg > 30 gg $<30+15 = 45$ gg almeno 4 gg sicuramente meno di 19 gg > 516 metri
Molto Basso: < 96 ore	Livello 3/II $>100$ gg almeno 100 gg 90 metri	Livello 4/III $>50$ gg almeno 50 gg 180 metri	Livello 5/IV $>15$ gg $50-54$ gg almeno 15 gg 540 metri	Livello 5/IV $>0$ gg $<15$ gg > 540 metri



---

Ciò conduce ad una distinzione di due diversi tipi di livelli di vulnerabilità intesa come danno potenziale:

- Il primo, I.V.B. o Indice di Vulnerabilità intrinseca del Bersaglio, tiene conto della presenza di bersagli in connessione idraulica con la falda e della propensione di questi ad essere colpiti entro un tempo massimo di 6 mesi;
- il secondo, I.V.F. o Indice di Vulnerabilità intrinseca della Falda, prende in considerazione il rischio per la sola falda a prescindere dalla presenza/assenza di bersagli in base alla possibilità di comprometterne lo stato qualitativo oltre l'estensione di 1 ha (per regioni conservative è stato considerato il tempo necessario per percorrere una distanza di 50 metri da una generica particella d'acqua; distanza che corrisponde al raggio di un'area di 1ha circa).

Questa distinzione si è resa necessaria per discriminare le situazioni in cui a seguito di rilascio accidentale è possibile sia un coinvolgimento di elementi ambientali sensibili oppure della sola falda in ragione del fatto che indipendentemente dalla presenza di bersagli lontani, le combinazioni della velocità verticale/orizzontale sono comunque tali da non escludere un danno rilevante.

### 5.3. Criterio di valutazione delle criticità ambientali

I livelli di vulnerabilità/danno per bersagli e falda I.V.B e I.V.F. identificati con la Tab. IV costituiscono l'input per le 2 matrici di criticità (tabelle VI e VIII) attraverso le quali, considerando la categoria di appartenenza dello stabilimento per l'indice di propensione al rilascio, è possibile individuare i livelli di criticità (o di intervento) I.R.F. e I.R.B., rispettivamente Indice di Rischio per i Bersagli e Indice di Rischio per la Falda, vale a dire le condizioni che rendono necessario adottare misure di prevenzione e/o protezione, ovvero approfondire ulteriormente le indagini e utilizzare metodi di analisi più sofisticati (ARA Advanced Risk Assessment).

In Tab. V, vengono riportate le categorie ambientali che verranno prese in considerazione ai fini dell'applicazione del metodo.

Tab. V

<b>Categoria</b>	<b>Risorsa ambientale (proposta)</b>
<b>A</b>	Beni Paesaggistici e ambientali, aree naturali protette, parchi, riserve, ecc.
<b>B</b>	Laghi, stagni, punti di captazione (pozzi e sorgenti), Zone ricarica falda.
<b>C</b>	Delta, Zone costiere o di mare, Fiumi o canali.

**Tab. VI Matrice per la definizione della criticità del rischio per i bersagli IRB**

Indice di Propensione al rilascio.	Livelli di vulnerabilità/danno per i bersagli IVB				
	1	2	3	4	5
M.Basso	ABC	ABC	A> 200 m BC> 100 m	A>400 m BC>200 m	A>1500 m BC>500 m
Basso	ABC	ABC	AB> 200 m C> 100 m	AB>400 m C>200 m	AB>1500 m C>500 m
Medio	ABC in caso di depositi esistenti; altrimenti ARA	ABC In caso di per depositi esistenti; altrimenti ARA	AB> 200 m C> 100 m	AB>400 m C>200 m	ARA
Alto	ARA	ARA	ARA	ARA	ARA

Nota: Nelle casella della matrice sono indicate:

-Le categorie di bersagli non critiche

-Le distanze dalla sorgente di rilascio che consentono di considerare le categorie non critiche

-La necessità di analisi più approfondite (ARA o Advanced Risk Assessment)

**Tab. VII**

**Criteri di identificazione della vulnerabilità/danno per i bersagli**

**Distanza percorsa (verticale e orizzontale) considerando un tempo di sicurezza di 6 mesi\***

Livello	Descrizione
1	Il tempo di arrivo in falda è superiore al tempo di sicurezza
2	Il tempo di arrivo in falda è superiore al tempo di sicurezza. Questo livello di rischio apparentemente simile al livello 1 si discosta da questo per il fatto che è indice di condizioni di velocità orizzontale comunque elevate.
3	Il tempo di arrivo in falda e le velocità di migrazione orizzontale permettono di intervenire nei tempi previsti per distanze non inferiori ai 100 metri
4	Il tempo di arrivo in falda e le velocità di migrazione orizzontale permettono di intervenire nei tempi previsti per distanze non inferiori ai 200 metri
5	Il tempo di arrivo in falda e le velocità di migrazione orizzontale permettono di intervenire nei tempi previsti per distanze non inferiori ai 500 metri

(\*) 6 mesi corrispondono al tempo in cui si è ragionevolmente sicuri che un inquinante non giunga mai al bersaglio dopo che:

1. siano state messe in atto le prime azioni di messa in sicurezza d'emergenza

2. ne sia stato verificato il corretto funzionamento

3. sia stato ricalibrato il sistema in funzione delle prime risultanze delle indagini di caratterizzazione.

**Tab. VIII Matrice per la definizione della criticità del rischio per la falda IRF**

Indice di propensione al rilascio	Livello di rischio per la falda IVF				
	I	II	III	IV	V
M.Basso	<b>F</b>	<b>F</b>	<b>F</b>	<b>F</b>	<b>F</b>
Basso	<b>F</b>	<b>F</b>	<b>F</b>	<b>F</b>	<b>F(0-1)*</b>
Medio	<b>F</b>	<b>F</b>	<b>F</b>	<b>F(0-1)*</b>	<b>F(0)**</b>
Alto	<b>F</b>	<b>F</b>	<b>F(0-1)*</b>	<b>F(0)**</b>	<b>F(0)**</b>

*Nota: Le caselle individuano la situazione di non criticità per la falda o la necessità di analisi più approfondite (ARA)*

*(\*) Situazione non critica per la falda se sussistono solo situazioni 1 o 0; altrimenti ARA*

*(\*\*) Situazione non critica per la falda se sussistono solo condizioni 0; altrimenti ARA*

Per la falda si considera la presenza concomitante di condizioni per le quali il rischio può risultare critico/non critico. Tali condizioni sono espresse da fattori che possono incrementare (o ridurre) la probabilità di danno e identificano la necessità, quindi, di adottare misure di prevenzione e/o protezione ovvero di passare ad un livello di indagine più dettagliato anche in assenza di bersagli. Tali condizioni sono espresse da un indice numerico progressivo (0, 1, 2), (vedi Tab. IX) che identifica un livello crescente di correlazione con il rischio associato ai seguenti fattori:

Uso del suolo dei terreni adiacenti

Potenziale di sfruttamento della risorsa o spessore

Propensione alla bonifica

Nella tabella seguente vengono presentate le chiavi di lettura per l'utilizzo dei fattori suindicati.

**Tab.IX**

<u>Uso del suolo dei terreni adiacenti (*)</u>	<u>Potenziale di sfruttamento della risorsa o spessore</u>	<u>Propensione alla bonifica</u>
2 Residenziale, Commerciale, Agricolo di peggio	2 Alto Potenziale	2 Basso: Rocce fessurate o carsiche
1 Agricolo non di peggio	1 Medio Potenziale	1 Medio: Acquifero multistrato omogeneo e/o monostrato eterogeneo
0 Industriale	0 Basso Potenziale	0 Alto: Acquifero monostrato omogeneo

Il criterio di selezione di tali fattori deriva dalle seguenti considerazioni:

1. *La complessità della struttura idrogeologica in relazione alla facilità di bonifica.* Tale condizione presuppone l'esistenza di una correlazione diretta tra la complessità della struttura idrogeologica e la minore propensione alla bonifica della stessa a prescindere dalla tecnica utilizzata. In rocce porose fortemente eterogenee o in rocce fratturate dove il flusso idrico sotterraneo è fortemente condizionato dalla presenza di vie preferenziali la bonifica e/o l'intercettazione delle sostanze inquinanti è sicuramente più difficoltosa. In acquiferi omogenei caratterizzati da scarsa variabilità delle caratteristiche granulometriche l'efficacia delle azioni di ripristino o di messa in sicurezza d'emergenze aumenta notevolmente. Per l'eventuale distinzione tra le varie tipologie di acquiferi fare riferimento al Glossario

---

## 2. La presenza di acquiferi produttivi

In questo caso per stabilire un valore dell'acquifero in relazione alla possibilità di sfruttamento è possibile avvalersi, in assenza di dati oggettivi provenienti da prove di emungimento, di valutazioni di tipo qualitativo derivate dallo studio idrogeologico che tengano conto dell'estensione delle aree di ricarica, del grado di circolazione idrica nell'acquifero e della presenza o meno di manifestazioni sorgentizie. Laddove esistano informazioni precise in merito alla struttura idrogeologica locale si può prendere in considerazione il parametro numerico trasmissività (T) dell'acquifero dato dalla relazione  $K*b$ , dove  $K$  è la conducibilità idraulica e  $b$  è lo spessore dell'acquifero (zona satura).

Di seguito si propongono due criteri da utilizzare per l'assegnazione della classe. Il primo fa riferimento all'uso di parametri descrittivi connessi con il contesto idrogeologico dell'area dove insiste lo stabilimento, mentre il secondo fa riferimento all'utilizzo di parametri numerici direttamente collegati con il parametro T trasmissività:

### *Criterio Descrittivo*

#### **Classe 0**

Sono stati fatti rientrare in questa classe gli scenari relativi ad acquiferi caratterizzate anche da permeabilità elevata ma da ridotte volumetrie del litotipo di limitata estensione areale e spessore (inferiore ai 5 metri) e prive di sorgenti o punti di captazione.

#### **Classe 1**

Rientrano in questo secondo scenario gli acquiferi a medio/bassa permeabilità globale caratterizzati da ridotte estensioni e spessori (5-10 metri) e/o bacini di alimentazione fra di loro separati, scarse possibilità di alimentazioni, modesti valori di permeabilità dovute ad alternanze di litologie con caratteristiche idrauliche diverse. In generale questi acquiferi possono fornire risorse utili a ridotti centri di domanda in quanto i volumi delle risorse disponibili sono generalmente limitati. Litotipi caratterizzati normalmente da bassa permeabilità con superfici di affioramento sviluppate dove si osservano modesti fenomeni sorgentizi comunque sempre a carattere locale.

#### **Classe 2**

Idrostrutture caratterizzate da ridotte volumetrie del litotipo comunque superiori ai 10 metri di spessore e da permeabilità da elevata a molto elevata talvolta caratterizzata dalla presenza di sorgenti con portata anche consistente.

Zone di accumuli detritici di notevole estensione e spessore al piede di esotici calcarei con i quali si presuppone la possibilità di contatti idraulici.

Formazioni normalmente a permeabilità bassa, ma che nelle zone molto tettonizzate si presentano molto fratturate e possono dare luogo ad una discreta circolazione idrica, a volte permettere il collegamento idraulico con le formazioni sottostanti, oppure dar luogo a manifestazioni sorgentizie di portata notevole.

Formazioni ad elevata permeabilità secondaria per fessure e canali con fenomeni carsici di una certa rilevanza, circolazione veloce delle acque di infiltrazione, acquiferi estesi e potenti che alimentano poche manifestazioni sorgentizie, ma di consistente portata.

Formazioni caratterizzate al loro interno da circolazione da veloce a molto veloce con brevi tempi di permanenza delle acque nel sottosuolo; che alimentano generalmente numerose manifestazioni sorgentizie di discreta portata e generalmente captate ad uso acquedottistico.

Nelle pianure alluvionali si inseriscono in questa classe le aree di ricarica dell'acquifero di subalveo e le zone di drenaggio preferenziale e le porzioni di pianura alluvionali con falde più o meno consistenti utilizzate a fini idropotabili, le zone principali di ricarica diretta dell'acquifero di subalveo.

Acquiferi caratterizzati da forti superfici di affioramento, spessori alti della formazione satura, buone caratteristiche di permeabilità, presenza di scambi idraulici con altre strutture acquifere e continuità idraulica della formazione. Con queste caratteristiche idrogeologiche le formazioni possono rendere disponibili volumi interessanti di risorse annualmente rinnovabili e potenzialmente approvvigionare più centri di domanda importanti.

*Criterio parametrico*

Sulla base dei valori di Permeabilità e Spessore, che esprimono la trasmissività, si può fare riferimento alla tabella X:

**Tab X**

Spessore dell'acquifero (metri)	Coefficiente di permeabilità (conducibilità idraulica) metri/s		
	$<10^{-6}$	$10^{-6}/10^{-3}$	$>10^{-3}$
$\leq 5$	0	0	1
5-10	0	1	2
$>10$	1	2	2

3. *L'Uso del suolo dei terreni adiacenti* riflette, solo nell'ottica degli obiettivi della metodologia qui proposta il valore potenziale della risorsa idrica sottostante e la potenziale rilevanza del danno conseguente ad una sua eventuale contaminazione. In questo caso per stabilire la classe si potrà fare riferimento alla carta di destinazione d'uso del suolo prendendo in considerazione le aree confinanti con l'impianto che si trovano sottogradiante rispetto alla direzione di flusso della falda; nell'impossibilità di stabilire una direzione di flusso si farà riferimento alla destinazione d'uso prevalente.

**Tab. XI**  
**Criteria di identificazione delle criticità del rischio per la falda**

<b>Livello</b>	<b>Tempi (gg) **</b>	<b>Descrizione</b>
I	>180	Il tempo di arrivo in falda è superiore al tempo necessario affinché le azioni di intervento d'emergenza siano completamente a regime.
II	>80	Il tempo di arrivo in falda e le velocità di migrazione orizzontale sono compatibili con tempo necessario per mettere a regime sistemi di recupero. Un limitato contenimento nelle prime fasi di intervento può risultare accettabile anche in presenza in condizioni idrogeologiche e territoriali complesse e di pericolosità d'impianto elevate dal momento che i tempi permettono di effettuare controlli finalizzati al corretto funzionamento del sistema ed eventualmente eseguirne una prima calibrazione in funzione delle prime risultanze del piano di caratterizzazione.
III	>30	Il tempo di arrivo in falda e le velocità di migrazione orizzontale sono compatibili con l'esecuzione di azioni di contenimento o messa in sicurezza d'emergenza che permettano anche una verifica degli interventi stessi e una loro prima calibrazione in tempi ragionevolmente sufficienti. Si consideri a tale proposito che il fronte di contaminazione nei casi in cui i tempi di arrivo verticali siano bassi impiega almeno 50 giorni per migrare oltre i 50 metri ancorché i tempi di arrivo verticali bassi favoriscano l'incremento dell'aliquota di contaminante che arriva in falda. In situazioni idrogeologiche complesse può sussistere un margine d'incertezza sul completo contenimento della contaminazione in ragione del fatto che per condizioni di alta velocità orizzontale potrebbe risultare problematico ubicare i sistemi di recupero in modo efficace rendendo necessaria l'esecuzione di un maggiore numero d'indagini con conseguente incremento dei tempi di messa a regime del sistema di sicurezza. L'insorgenza di situazioni critiche può ancora essere evitata ad esclusione dei casi in cui gli indici di propensione al rilascio risultino alti e in condizioni idrogeologiche territoriali incerte o sfavorevoli. Eventuali criticità dovranno essere risolte individuando sulla matrice il caso specifico ed eventualmente provvedere all'adozione di idonee misure di protezione o effettuare uno studio più approfondito.
IV	>15	Il tempo di arrivo in falda e le velocità di migrazione potrebbero risultare inferiori ai tempi di messa in opera delle prime misure di messa in sicurezza d'emergenza anche in condizioni idrogeologico territoriali non particolarmente complesse. Il tempo di migrazione verticale riduce nella situazione limite di <96 h l'aliquota di sostanza recuperabile in superficie spostando i margini d'intervento solo sulla falda. In tal caso il tempo necessario per raggiungere i 50 metri risulta essere di 15 gg nella peggiore delle ipotesi e comunque inferiore a 50gg nella migliore. Nel primo caso anche in situazioni di pericolosità d'impianto medie e/o alte unite a condizioni idrogeologiche incerte o sfavorevoli potrebbero ritardare un contenimento efficace del contaminante entro i 50 metri e favorirne ancora la migrazione. L'insorgenza di situazioni critiche può ancora essere evitata per indici d'impianto bassi e in condizioni idrogeologiche e territoriali afferenti ad un danno lieve anche per quelle situazioni in cui le velocità di propagazione sono > 3m/g. In tale caso il tempo di propagazione orizzontale, nella migliore delle ipotesi sarebbe di 15 gg mentre, nella peggiore delle ipotesi, potrebbe essere istantaneo. Tuttavia poiché quest'ultima possibilità appare piuttosto remota e possibile in particolari contesti idrogeologici (rocce carsiche o velocità di filtrazione molto elevata indotta dalla stratificazione della compagine litoide del substrato), per valori di IPR più elevati si rende necessario un approfondimento d'indagine che viene espressamente richiamato dalla imposizione della condizione di esclusione per suddette condizioni idrogeologiche.
V	<15	Il tempo di arrivo in falda e le velocità di migrazione lasciano pochissimi margini temporali d'intervento e un ampio margine d'incertezza anche sulla possibilità di rimuovere il contaminante in quanto nella migliore delle ipotesi il tempo di migrazione va da 0 a 15 gg. Valgono in questo caso le stesse condizioni previste per livello IV con l'estensione anche nei casi in cui le condizioni di indice di propensione al rilascio risultino basse. Si rileva che in questa condizione esiste solo una possibilità di non intervenire per la falda vale a dire che l'indice di propensione al rilascio risulti molto basso. Eventuali criticità dovranno essere risolte effettuando direttamente un'analisi più approfondita.



---

Il metodo qui proposto rappresenta un utile riferimento comparativo ad uso del valutatore di un rapporto di sicurezza per il calcolo delle distanze di sicurezza e dei livelli di criticità rispettivamente per i bersagli e la falda (IVB e IVF) in condizioni conservative, anche in ragione del basso livello d'informazione presente sul sito. In tal senso è ammissibile che le determinazioni del gestore possano portare a risultati diversi, purché ciò avvenga a seguito di precisi e circostanziati motivi razionali che potrà essere richiesto al gestore di giustificare sul piano tecnico scientifico. Risultati diversi possono essere principalmente causati dallo scostamento che può ragionevolmente sussistere tra le distanze di sicurezza calcolate in base ai valori effettivi di tempo di arrivo in falda e velocità orizzontale di filtrazione, utilizzati dal gestore, e le distanze di sicurezza riportate nella tabella V calcolate rispetto ai termini estremi degli intervalli di tempo e velocità utilizzati per definire i livelli di criticità. Dal momento che tali livelli sono stati calcolati e raggruppati tenendo conto, per ciascun intervallo, delle condizioni più critiche tale scostamento può generare una sovrastima del livello di criticità. Ci si riferisce nella fattispecie ai casi in cui la distanza di sicurezza individuata con le tabelle sia superiore all'effettiva distanza percorsa da una particella d'acqua dopo 180 giorni. Nella comparazione delle risultanze analitiche espresse nel rapporto di sicurezza con il metodo qui proposto, sarà necessario tenere conto quindi delle particolari situazioni che, se supportate da un livello elevato di qualità dei dati (misurazioni dirette di velocità, prove in situ, stratigrafie aggiornate), possono ridurre, nei casi di accertamento di situazioni critiche e nel rispetto dei criteri generali di compatibilità, il livello di criticità per bersagli e falda senza necessariamente dover ricorrere all'ARA.

Un aspetto importante ai fini dell'applicazione del metodo riguarda infine il rischio per la falda. Analizzando la tabella VIII si può osservare come si configuri una situazione di criticità della falda in particolare nei casi in cui determinate situazioni idrogeologiche o territoriali "sfavorevoli" possano, alla luce delle forti velocità verticali e orizzontali:

- rallentare l'efficacia degli interventi di indagine e le operazioni di ripristino;
- generare un potenziale di danno elevato rendendo difficoltosa la bonifica o compromettendo la qualità di notevoli estensioni (superiori ad 1 ha) di acquiferi dalle elevate potenzialità di sfruttamento.

### **5.3.1. Fasi operative per la valutazione delle criticità ambientali**

La valutazione delle dei livelli di criticità del rischio per gli elementi ambientali vulnerabili e la falda si ottiene combinando le risultanze dell'analisi dell'indice di propensione al rilascio e l'analisi dei livelli di rischio per i bersagli e la falda IRBe IRF da svolgersi nelle seguenti fasi (cfr. diagrammi in allegato):

#### *- Fase 1*

Raccolta delle informazioni sul sito e se necessario esecuzione di studio idrogeologico su scala locale (dello stabilimento) finalizzato alla definizione dei parametri caratteristici necessari alla costruzione dell'indice di propagazione:

- 1) Velocità di propagazione verticale
- 2) Velocità di propagazione orizzontale
- 3) Stima dei tempi di arrivo in falda e velocità di propagazione orizzontale.

$T(\text{vert}) = \text{Soggiacenza}/\text{velocità (permeabilità)}$  considerando in condizioni di gradiente unitario

$V(\text{orizz}) = K_i/\text{porosità efficace}$

---

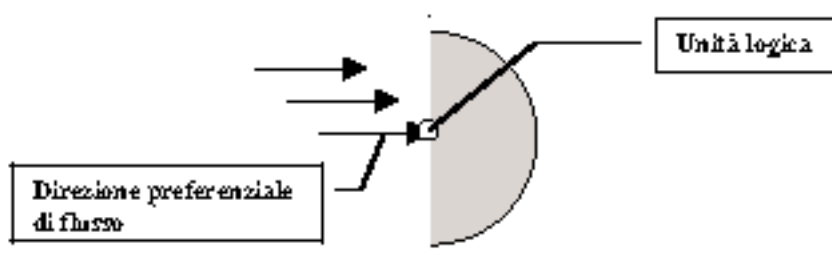
**Parametri necessari:**

- 1) Permeabilità K dei terreni
- 2) Gradiente idraulico
- 3) Porosità efficace

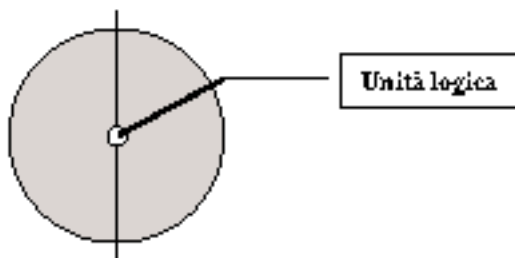
In alternativa misura diretta di:

- V (orizzontale)
- V (verticale)
- 4) Soggiacenza della falda
- 5) Tipologia acquifero
- 6) Spessore dell'acquifero
- 7) Uso del suolo
- 8) Individuazione dei bersagli e della distanza dall'unità logica

A tale proposito si sottolinea che qualora dalle risultanze degli studi sia nota la direzione del gradiente della falda e venga verificato nell'arco dell'anno l'assenza di inversioni dovute a variazione delle condizioni di drenanza della falda rispetto all'elemento ambientale in continuità idraulica (oscillazione delle maree o variazioni del livello di base dei corsi d'acqua), la valutazione del rischio sarà riferita solo a quei bersagli che sono localizzati a valle dell'unità logica, ovvero individuati dal fronte della semicirconferenza perpendicolare alla direzione di flusso.



In mancanza di tale informazione o qualora avvengono inversioni di gradiente, la valutazione sarà effettuata considerando un direzione di flusso radiale.



Nell'annesso D vengono riportate alcune formule empiriche ed alcune metodologie di indagine diretta per la stima dei parametri sopra descritti. Si ricorda che nello schema riportante i criteri di identificazione del rischio vengono individuati anche i livelli di affidabilità delle informazioni di input. Tali livelli costituiscono un importante riferimento per verificare la qualità del dato utilizzato nella procedura di valutazione.

- Fase 2

Determinazione dell'indice di propensione al rilascio e individuazione del livello di rischio per i bersagli (IVB) e per la falda (IVF) sulla base del valore degli indici IPV e IPO ricavati dai risultati emersi nella fase 1.

- Fase 3

Individuazione di livelli di criticità per le categorie ambientali e per la falda rispettivamente IRB e IRF attraverso il confronto dei livelli di rischio (IVB) e (IVF) con l'indice di propensione al rilascio

- Fase 4

L'analisi di criticità termina con un responso di criticità sintetizzato in una scheda attraverso la quale:

- a) si riportano i risultati ottenuti per ciascuna unità logica;
- b) si identificano le criticità;
- c) si individuano le azioni correttive (approfondimenti dell'analisi, misure di prevenzione/protezione) finalizzate alla mitigazione del rischio.

**Responso di criticità e intervento per falda e bersagli**

Unità Logiche	Responso di criticità e intervento					
	Falda	Bersagli			Tipologia intervento	
		A	B	C	Prevenzione	Protezione
Aree di stoccaggio in serbatoi fissi	ARA	ARA				
Aree di carico e scarico						
Aree di pompaggio			ARA			
Aree dove sono presenti additivi pericolosi		ARA				
Aree di tubazioni e condotte di trasferimento						

- Fase 5

Nei casi in cui le risultanze scaturite nella fasi precedenti dovessero evidenziare situazioni critiche sarà necessario, per detti casi, acquisire ulteriori dati sito-specifici, e utilizzare modelli di simulazione della migrazione di inquinanti in falda più esaustivi e riconosciuti a livello nazionale/internazionale (cfr. annesso B). Con tali modelli, la velocità/tempi/distanze di migrazione dell'inquinante vengono determinati tenendo conto delle caratteristiche chimico/fisiche dello inquinante stesso e viene inoltre valutato l'effetto del carico inquinante (quantità di sostanza rilasciata), la posizione/raggio del NAPL e l'andamento delle concentrazioni di inquinante attese nel tempo ed in funzione dalla distanza dalla sorgente del rilascio.

L'obiettivo principale di questi approfondimenti è quindi di fornire informazioni supplementari che permettano di supportare o confutare il rischio stimato nelle precedenti fasi.

Nello stabilire l'entità degli eventuali ulteriori approfondimenti richiesti e/o modelli previsionali da utilizzare è importante tener presente che l'obiettivo principale della Valutazione di Rischio "Seveso", è di individuare i potenziali "Incidenti Rilevanti" con la stima "ex-ante" dei danni, per prevenirli e per predisporre gli opportuni piani d'emergenza. E' quindi importante l'utilizzo di dati storici locali

---

o dei risultati d'eventuali indagini similari pregresse o da condursi se dell'uopo.

Si rileva che, comunque, non è richiesto in questo tipo di valutazione di Rischio porre in atto una laboriosa caratterizzazione dell'area ai sensi della normativa delle bonifiche. Sarà in ogni caso a cura dell'autorità preposta porre, in fase di valutazione, il giusto peso alla qualità e alla completezza delle informazioni raccolte (vedi paragrafo 7, Sezione: “Definizione dei criteri di identificazione del rischio- Selezione e organizzazione degli indici correlati con il rischio”).

Un esempio di ARA, può prevedere la valutazione quantitativa, per ogni scenario incidentale della propensione alla propagazione attraverso la simulazione dell'evoluzione spazio-temporale del fronte contaminante. La simulazione permetterà di re-iterare il processo di analisi e calibrarlo in funzione dei percorsi effettivi sorgente-bersaglio e del fattore di ritardo dovuto alle caratteristiche intrinseche delle sostanze.

Nel caso che il confronto tra i risultati della simulazione e la propensione al rilascio con i criteri generali di compatibilità confermasse la presenza di situazioni critiche, sarà necessario adottare misure di mitigazione del rischio che nella fattispecie debbono comportare o una riduzione della propensione al rilascio (adozione di misure di prevenzione) o la riduzione della propensione alla propagazione (adozione di misure di protezione come ad esempio barriere, canalizzazioni, intercettazioni del flusso, impermeabilizzazioni del bacino di contenimento etc; Cfr. Annesso C).

## **6. ESEMPI APPLICATIVI DEL METODO**

### **6.1. Indice di propensione al rilascio**

Al fine di tarare il metodo di valutazione dell'indice di propensione al rilascio, è stata effettuata una prima serie di simulazioni per individuare l'intervallo di variabilità atteso per l'indice. Innanzitutto è stato calcolato il valore del fattore sostanza B per benzina e gasolio come indicato nel paragrafo 5.1.

Secondo il metodo, per il calcolo del fattore, vengono considerate non solo le caratteristiche di tossicità nei riguardi dell'ambiente, ma anche altri fattori legati al comportamento della sostanza nell'ambiente stesso, ovvero mobilità e persistenza della sostanza. Questo approccio si dimostra adeguatamente sensibile, in particolare, nel caso di valutazioni di sostanze con stesse caratteristiche di tossicità, proprio per la considerazione aggiuntiva delle caratteristiche di mobilità e persistenza che caratterizzano ulteriormente la diffusione delle sostanze nell'ambiente.

Relativamente al metodo nel suo complesso, sono state effettuate simulazioni considerando delle unità “tipo” con dotazioni tali da poterle considerare caratteristiche di “unità stoccaggio tipo scarso” oppure “unità stoccaggio tipo buono”; è stata, inoltre, testata l'applicabilità del metodo nel suo complesso a casi reali di serbatoi a tetto galleggiante contenenti benzina e di punti di travaso di un deposito di oli minerali localizzati in zona costiera (tab. 1).

In riferimento al caso di serbatoi a tetto galleggiante contenenti benzina o gasolio, è stato poi calcolato il valore dell'indice di propensione al rilascio, considerando i due casi di penalizzazione minima e massima dell'impianto e quindi, analogamente, i due casi di valore minimo e massimo per l'insieme dei fattori di compensazione dell'impianto stesso (K) (tab. 2). Sono stati considerati serbatoi di diversa capacità e, quindi, per ognuno di essi, sono stati calcolati i valori dell'indice di propensione al rilascio compensato (PR') corrispondenti alle possibili condizioni ipotizzabili per le penalizzazioni e le compensazioni. Indicando con “m” la condizione di penalizzazione minima, “M” la condizione

---

di penalizzazione massima, “C” la condizione di compensazione minima e, infine “c” la condizione di compensazione massima<sup>1</sup>, si sono quindi valutati gli indici di propensione al rilascio per i casi combinati di penalizzazione minima – compensazione minima (PR’mC), penalizzazione minima – compensazione massima (PR’mc), penalizzazione massima – compensazione minima (PR’MC) e penalizzazione massima – compensazione massima (PR’Mc). I valori ordinati in ordine crescente hanno consentito l’individuazione di quattro fasce di pericolosità (molto bassa, bassa, media, alta) come riportato in tabella 2.

Dall’analisi della tabella si evidenzia anche il peso rilevante dei fattori di compensazione in quanto si ottiene un indice di propensione al rilascio inferiore per un impianto con massimo fattore di penalizzazione e massima compensazione dei rischi (c) rispetto ad un impianto con minimo fattore di penalizzazione e con minima compensazione dei rischi (C).

---

<sup>1</sup> La scelta di caratterizzare, per i valori di compensazione, le condizioni di compensazione massima e compensazione minima rispettivamente con le lettere “c” e “C” è dettata dalla considerazione che la condizione di compensazione massima è caratterizzata dal valore numerico minimo (lettera c minuscola) del fattore, viceversa, la condizione di compensazione minima è caratterizzata dal valore numerico massimo (lettera C maiuscola) del fattore.

Tab. 1

Serbatoi	Capacità	Sostanza
Serbatoio A	1100 m <sup>3</sup>	Benzina
Serbatoio B	13163 m <sup>3</sup>	Benzina
Serbatoio C	6700 m <sup>3</sup>	Benzina
Serbatoio D	36668 m <sup>3</sup>	Benzina

<b>SERBATOIO A TETTO GALLEGGIANTE</b>						
<b>CONTENENTE BENZINA</b>						
<b>PRESSIONE ATMOSFERICA</b>						
<b>TEMPERATURA 40°</b>						
<b>benzina B=27</b>						
Pericoli di processo	valore minimo	valore massimo	serb. A	serb. B	serb. C	serb. D
	Manipolazione sostanze	10	50	10	10	10
Trasferimento sostanze	0	50	0	0	0	0
Contenitori trasportabili			0	0	0	0
Somma	10	100	10	10	10	10

S: rischi particolari di processo	valore minimo	valore massimo	parb. A	parb. B	parb. C	parb. D
Alla pressione	0	0	0	0	0	0
Corrosione interna	0	100	0	0	0	0
Corrosione esterna	0	100	0	0	0	0
Perdite da giunti e guarnizioni	0	30	0	0	0	0
Vibrazioni e carichi ciclici impiantistici	0	0	0	0	0	0
Vibrazioni e carichi ciclici naturali	20	300	20	20	20	20
Rischio per utilizzazione intensiva	-60	25	-53	-53	-53	-53
Somma	-40	553	-33	-33	-33	-33

L: fattore di penalizzazione di "lay-out"	valore minimo	valore massimo	parb. A	parb. B	parb. C	parb. D
Progettazione della struttura	-20	20	-20	0	0	20
Conformazione sotto il livello del suolo	0	80	0	0	0	0
Drenaggio di superficie	100	150	100	150	150	150
Somma	80	250	80	150	150	170

	valore minimo	valore massimo	serb. A	serb. B	serb. C	serb. D
<b>K1: fattore di contenimento</b>						
Serbatoi verticali	0,415	0,9	0,64	0,64	0,64	0,64
condotte di trasferimento	0,675	1			1	
sistemi di contenimento supplementare	0,24	0,75	0,8	0,8	0,8	0,8
Sistemi di rilevamento perdite	0,7	0,95	1	1	1	1
Scarichi di emergenza e funzionali	0,8	0,8			1	
<b>totale</b>	<b>0,0376488</b>	<b>0,513</b>	<b>0,512</b>	<b>0,512</b>	<b>0,512</b>	<b>0,512</b>

	valore minimo	valore massimo	serb. A	serb. B	serb. C	serb. D
<b>K2: controllo del processo</b>						
Sistemi di allarme e di blocco	0,31	0,76	0,6	0,6	0,72	0,6
Controllo centralizzato	0,63	0,96	0,63	0,63	0,63	0,63
Istruzioni operative	0,7	0,97	0,73	0,73	0,73	0,73
Sorveglianza dell'impianto	0,672	0,98	0,693	0,693	0,693	0,693
<b>totale</b>	<b>0,09186912</b>	<b>0,686333</b>	<b>0,19122642</b>	<b>0,191226</b>	<b>0,229472</b>	<b>0,191226</b>

	valore minimo	valore massimo	serb. A	serb. B	serb. C	serb. D
<b>K3, K4: atteggiamento nei riguardi della protezione ambientale</b>						
K3	0,7	0,96	1	1	1	1
K4	0,5	0,96	1	1	1	1
<b>totale</b>	<b>0,63</b>	<b>0,902</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

	valore minimo	valore massimo	serb. A	serb. B	serb. C	serb. D
<b>K5: isolamento ed eliminazione delle sostanze</b>						
sistemi di drenaggio e raccolta	0,7	0,8	1	0,7	0,7	0,7
sistemi a valvole	0,96	0,96			1	
<b>totale</b>	<b>0,666</b>	<b>0,76</b>	<b>1</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>

	valore minimo	valore massimo	serb. A	serb. B	serb. C	serb. D
<b>K6: operazioni di assistenza in emergenza</b>						
assistenza Vigili del fuoco	0,525	0,9	0,766	0,766	0,756	0,766
Cooperazione di stabilimento	0,81	0,9	0,81	0,81	0,81	0,81
<b>totale</b>	<b>0,42525</b>	<b>0,81</b>	<b>0,61966</b>	<b>0,61966</b>	<b>0,61236</b>	<b>0,61966</b>



	valore minimo	valore massimo	ser b. A	ser b. B	ser b. C	ser b. D
K1	0,098	0,513	0,512	0,512	0,512	0,512
K2	0,092	0,686	0,194	0,194	0,229	0,194
K3-K4	0,63	0,902	1	1	1	1
K5	0,666	0,76	1	0,7	0,7	0,7
K6	0,425	0,81	0,619	0,619	0,619	0,619
Ktot	0,00062248	0,19541	0,06148402	0,043079	0,050804	0,043079

unită tehnica	capacită geometrică (m <sup>3</sup> )	diametro medio (m)	altezza geometrică (m)	P	S+L	K	PR	B	Q	PR'	PRb	PRb'
serb A	1100	11,58	10,85	10	47	0,0615	1,617	27	32,268	0,092	1408,789	86,25236
serb B	13163	36,58	13,26	10	117	0,043	2,387	27	142,806	0,105	9203,639	397,1407
serb C	6700	24,38	14,5	10	117	0,061	2,387	27	61,772	0,121	3981,144	201,8091
serb D	36668	57,96	13,9	10	137	0,043	2,607	27	241,903	0,112	17027,31	731,5143
valore minimo				10	40	0,00062	1,54	27		0,000655	41,58	0,02578
valore massimo				100	806	0,19641	18,1	27		3,536921	488,7	96,49687

unită tehnica	capacită geometrică (m <sup>3</sup> )	diametro medio (m)	altezza geometrică (m)	PRb	PRb'
serb A	1100	11,58	10,85	1408,789	86,25236
serb B	13163	36,58	13,26	9203,639	397,1407
serb C	6700	24,38	14,5	3981,144	201,8091
serb D	36668	57,96	13,9	17027,31	731,5143
valore minimo				41,58	0,02578
valore massimo				488,7	96,49687

## Punti di travaso ATB

P: rischi di processo	valore minimo	valore massimo	Punto di travaso a 5,6 bar	Punto di travaso a 4,8 bar
Manipolazione sostanze				
Trasferimento sostanze	0	100	25	25
Contenitori trasportabili	100	100	100	100
Somma	100	200	125	125

S: rischi particolari di processo	valore minimo	valore massimo	Punto di travaso a 5,6 bar	Punto di travaso a 4,8 bar
Alta pressione	0	0	8	6
Corrosione interna	0	200	0	0
Corrosione esterna	0	20	0	0
Perdite da giunti e guarnizioni			0	0
Vibrazioni e carichi ciclici impiantistici	30	50	30	50
Vibrazioni e carichi ciclici naturali	20	300	20	20
Rischio per utilizzazione intensiva	0	0	0	0
Somma	50	570	58	76

L: fattore di penalizzazione di "lay-out"	valore minimo	valore massimo	Punto di travaso a 5,6 bar	Punto di travaso a 4,8 bar
Progettazione della struttura	-20	50	0	30
Conformazione sotto il livello del suolo			0	0
Drenaggio di superficie	0	100	100	100
Somma	-20	150	100	130

	min	max	Punto di travaso a 5,6 bar	Punto di travaso a 4,8 bar
<b>P</b>	100	200	125	125
<b>S</b>	50	570	50	76
<b>L</b>	-20	150	100	130
<b>S+L</b>	30	720	150	206
<b>PR</b>	2,06	24,6	5,625	6,883

<b>K1: fattore di contenimento</b>	valore minimo	valore massimo	Punto di travaso a 5,6 bar	Punto di travaso a 4,8 bar
Serbatoi verticali	0,8	0,9	0,9	0,9
condotte di trasferimento	0,675	1	1	1
sistemi di contenimento supplementare	1	1	1	1
Sistema di rilevamento perdite	0,7	0,95	1	1
Scarichi di emergenza e funzionali	0,72	1	1	1
<b>totale</b>	<b>0,27216</b>	<b>0,855</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>

<b>K2: controllo del processo</b>	valore minimo	valore massimo	Punto di travaso a 5,6 bar	Punto di travaso a 4,8 bar
Sistemi di allarme e di blocco	0,5184	0,95	0,855	0,81
Controllo centralizzato	0,63	0,95	0,63	0,63
Istruzioni operative	0,7	0,97	0,73	0,73
Sorveglianza dell'impianto	0,672	0,98	0,693	0,693
<b>totale</b>	<b>0,153625</b>	<b>0,857917</b>	<b>0,2724976</b>	<b>0,258156</b>

K3, K4: atteggiamento nei riguardi della protezione ambientale	valore minimo	valore massimo	Punto di travaso a 5,6 bar	Punto di travaso a 4,8 bar
K3	1	1	1	1
K4	1	1	1	1
<b>totale</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

K5: isolamento ed eliminazione delle sostanze	valore minimo	valore massimo	Punto di travaso a 5,6 bar	Punto di travaso a 4,8 bar
sistemi di drenaggio e raccolta	0,85	0,95	0,665	0,665
sistemi a valvole	0,7	0,8	0,7	0,7
<b>totale</b>	<b>0,595</b>	<b>0,75</b>	<b>0,4655</b>	<b>0,4655</b>

K6: operazioni di assistenza in emergenza	valore minimo	valore massimo	Punto di travaso a 5,6 bar	Punto di travaso a 4,8 bar
assistenza Vigili del fuoco	0,525	0,9	0,765	0,765
Cooperazione di stabilimento	0,81	0,9	0,81	0,81
<b>totale</b>	<b>0,42525</b>	<b>0,81</b>	<b>0,61965</b>	<b>0,61965</b>

	valore minimo	valore massimo	Punto di travaso a 5,6 bar	Punto di travaso a 4,8 bar
K1	0,272	0,855	0,9	0,9
K2	0,154	0,858	0,272	0,258
K3-K4	1	1	1	1
K5	0,595	0,75	0,4655	0,4655
K6	0,425	0,81	0,62	0,62
<b>Ktot</b>	<b>0,010592</b>	<b>0,451598</b>	<b>0,0706517</b>	<b>0,067015</b>

	FR	Q	E	FR'	FRb	FRb'
punto di travaso a 5,6 bar	5,625	600	27	0,397	91125	6431,4
punto di travaso a 4,8 bar	6,885	600	27	0,46	111537	7452
Valore minimo	2,06		27	0,0218	55,62	0,5886
Valore Massimo	24,6		27	11,1093	664,2	299,9611

Tab. 2

B benzina=27  
B gasolio= 12

	Benzina		Gasolio	
	valore minimo	valore massimo	valore minimo	valore massimo
IC1: fattore di contenimento	0,415	1	0,415	1
Scrubber verticali	0,675	1	0,675	1
condotte di trasferimento	0,216	0,8	0,24	0,8
sistemi di contenimento supplementare	0,7	0,95	0,7	0,95
Sistemi di cileva minimo per colte	0,8	1	0,8	1
Scarichi di emergenza e funzionali	0,094	0,76	0,098	0,76
<b>totale</b>				

	Benzina		Gasolio	
	valore minimo	valore massimo	valore minimo	valore massimo
IC2: controllo del processo				
Sistemi di allarme e di blocco	0,41		0,95	0,41
Controllo centralizzato	0,68		0,95	0,65
Istruzioni operative	0,77		1	0,77
Sorveglianza dell'impianto	0,638		1	0,638
<b>totale</b>	0,127		0,902	0,127

	Benzina		Gasolio	
	valore minimo	valore massimo	valore minimo	valore massimo
IC3, IC4: atteggiamento nei riguardi della protezione ambientale				
IC3 - IC4	0,45		1	0,45

	Benzina		Gasolio	
	valore minimo	valore massimo	valore minimo	valore massimo
K5: bolimento ed eliminazione delle sostanze sistemi di preriscaldamento e raccolta	0,392	1	0,392	1
sistemi a valvole	0,95	1	0,95	1
bolle	0,372	1	0,372	1

	Benzina		Gasolio	
	valore minimo	valore massimo	valore minimo	valore massimo
K6: operazioni di assistenza in emergenza				
assistenza Vigili del fuoco	0,523	0,9	0,523	0,9
Cooperazione di stabilimento	0,81	1	0,81	1
bolle	0,423	0,9	0,423	0,9

	Benzina		Gasolio	
	valore minimo	valore massimo	valore minimo	valore massimo
K1	0,094	0,76	0,093	0,76
K2	0,127	0,902	0,127	0,9
K3-K4	0,43	1	0,43	1
K5	0,372	1	0,372	1
K6	0,423	0,9	0,423	0,9
Ktot	0,0009079	0,616963	0,00094335	0,6496



unità tecnica	capacità geometrica (m <sup>3</sup> )	diametro medio (m)	altezza geometrica (m)	Q' benz.	Q' gas.	Q' benz. Min	Q' benz. Max	Q' gas. Min	Q' gas. Min
Caso 1	1100	11,28	10,83	32,3	35,74				
Caso 2	6700	24,38	14,5	61,8	65,32				
Caso 3	10000		13,26	88,2	97,57				
Caso 4	13167	36,28	13,26	142,8	165,6				
Caso 5	20000		14	151,9	162,4				
Caso 6	30000		15	251,2	267,5				
Caso 7	36668	57,96	13,5	241,9	277,5				
Caso 8	40000		15			313,5	1881	347	2081
Caso 9	30000		15						

unità tecnica	Q' benz.	Q' gas.	K min		K max		PR min	PR max	FR me benz.	PR me gas	PR mC benz.	PR Me benz.	PR mC gas	PR Me gas
			Benzina	Gasolio	Benzina	Gasolio								
Caso 1	32,3	35,74	0,00031	0,00034	0,610	0,65	1,54	18,1	0,00048	0,00032	0,93018	0,005611	1,001	0,006154
Caso 2	61,8	65,32	0,00031	0,00034	0,610	0,65	1,54	18,1	0,00048	0,00032	0,93018	0,005611	1,001	0,006154
Caso 3	88,2	97,57	0,00031	0,00034	0,610	0,65	1,54	18,1	0,00048	0,00032	0,93018	0,005611	1,001	0,006154
Caso 4	142,8	165,6	0,00031	0,00034	0,610	0,65	1,54	18,1	0,00048	0,00032	0,93018	0,005611	1,001	0,006154
Caso 5	151,9	162,4	0,00031	0,00034	0,610	0,65	1,54	18,1	0,00048	0,00032	0,93018	0,005611	1,001	0,006154
Caso 6	251,2	267,5	0,00031	0,00034	0,610	0,65	1,54	18,1	0,00048	0,00032	0,93018	0,005611	1,001	0,006154
Caso 7	241,9	277,9	0,00031	0,00034	0,610	0,65	1,54	18,1	0,00048	0,00032	0,93018	0,005611	1,001	0,006154
Caso 8	313,5	2081	0,00031	0,00034	0,610	0,65	1,54	18,1	0,00048	0,00032	0,93018	0,005611	1,001	0,006154
Caso 9	313,5	2081	0,00031	0,00034	0,610	0,65	1,54	18,1	0,00048	0,00032	0,93018	0,005611	1,001	0,006154

Uniti benzina	Q'' benz.	Q'' gas.	B benz.	B gas	FR min benz.	FR min gas	FR' mc benz.	FR' mc gas
baseo 1 m e	32,3	35,74	2	12	1343,034	660,4732	0,204747312	0,224561368
baseo 2 m e	61,8	65,32	2	12	2589,644	1207,1136	0,374203216	0,410418624
baseo 3 m e	88,2	97,27	2	12	3667,356	1803,0936	0,538839016	0,613031824
baseo 4 m e	142,8	165,6	2	12	5937,624	3060,288	0,94688928	1,04049792
baseo 5 m e	151,9	162,4	2	12	6316,002	3001,132	0,92033712	1,02039168
baseo 6 m e	251,2	267,5	2	12	10444,896	4943,4	1,532454	1,680756
baseo 7 m e	241,9	277,9	2	12	10038,202	5135,392	1,59203332	1,74610128
baseo 8 m e	313,5	347	2	12	13033,33	78211,98	4,0409323	24,24571
baseo 9 m e	313,5	347	2	12	13033,33	78211,98	4,0409323	24,24571

Uniti benzina	Q'' benz.	Q'' gas.	B benz.	B gas	FR max benz.	FR max gas	FR' MC benz.	FR' MC gas
baseo 1 M C	32,3	35,74	2	12	13783,01	7762,728	9739,35117	3045,7732
baseo 2 M C	61,8	65,32	2	12	30201,66	14187,204	18634,42422	9221,8776
baseo 3 M C	88,2	97,27	2	12	43103,34	21192,204	26394,76078	13774,9326
baseo 4 M C	142,8	165,6	2	12	69786,36	33968,32	43038,18412	23379,408
baseo 5 M C	151,9	162,4	2	12	74233,33	35273,28	45902,08801	22927,632
baseo 6 M C	251,2	267,5	2	12	122761,44	58101	75743,80848	37765,65
baseo 7 M C	241,9	277,9	2	12	118216,33	60339,88	72939,39901	39233,922
baseo 8 M C	313,5	347	2	12	153207,45	408333,2	94528,99665	232077,3
baseo 9 M C	313,5	347	2	12	153207,45	408333,2	94528,99665	232077,3

Uniti benzina	Q'' benz.	Q'' gas.	K max		K min		FR' Mc benz.	FR' mC benz.	FR' mC gas
			Benzina	Gasolio	Benzina	Gasolio			
baseo 1	32,3	35,74	0,610	0,63	0,00031	0,00034	2,63932732	628,631978	429,30888
baseo 2	61,8	65,32	0,610	0,63	0,00031	0,00034	4,82375136	1383,470348	784,62384
baseo 3	88,2	97,27	0,610	0,63	0,00031	0,00034	7,20344936	2262,738632	1172,01084
baseo 4	142,8	165,6	0,610	0,63	0,00031	0,00034	12,2292288	3663,514008	1989,1872
baseo 5	151,9	162,4	0,610	0,63	0,00031	0,00034	11,9929132	3896,973234	1930,7488
baseo 6	251,2	267,5	0,610	0,63	0,00031	0,00034	38,0560464	6444,300832	3213,21
baseo 7	241,9	277,9	0,610	0,63	0,00031	0,00034	36,6471943	6203,910634	3338,1348
baseo 8	313,5	347	0,610	0,63	0,00031	0,00034	47,4843095	153,6777	8042,79861
baseo 9	313,5	347	0,610	0,63	0,00031	0,00034	47,4843095	153,6777	8042,79861

**TRA VASO**

	PAI [kg/h]	t	Y	B benz	P <sub>min</sub>	PR max	K min	K max	ms	MC	ME	mC
T min		20	300	6000	27	2,6	0,010392	0,451398	24,4	4461,3304	1799708,3	42211,2384
T med		20	900	18000	27	2,6	0,010392	0,451398	24,4	13384,0512	5399123	126653,7152
T max		20	1800	36000	27	2,6	0,010392	0,451398	24,4	26768,1024	10798230	253267,4304

	PAI [kg/h]	t	Y	B gas	P <sub>min</sub>	PR max	K min	K max	ms	MC	ME	mC
T min		20	300	6000	12	2,6	0,010392	0,451398	24,4	1982,8228	799870,38	18760,5304
T med		20	900	18000	12	2,6	0,010392	0,451398	24,4	3948,4672	2399611,1	36281,6512
T max		20	1800	36000	12	2,6	0,010392	0,451398	24,4	11886,9344	4799222,3	112563,3024

unità benka	PR 'benz	log(PR')	log(PR)	PR' gas	unità benka
caso 1 me	0,205	-0,68825	-0,65	0,224	caso 1 me
caso 2 me	0,374	-0,42713	-0,387	0,41	caso 2 me
caso 3 me	0,539	-0,25239	-0,213	0,613	caso 3 me
caso 5 me	0,93	-0,09132	0,0086	1,02	caso 5 me
caso 4 me	0,949	-0,02273	0,017	1,04	caso 4 me
caso 6 me	1,332	0,18329	0,2256	1,681	caso 6 me
caso 7 me	1,392	0,201943	0,242	1,746	caso 7 me
caso 8 me - caso 9 me	4,04	0,605381	0,3385	2,18	caso 8 me - caso 9 me
caso 1 Me	4,89	0,689209	0,4214	2,639	caso 1 Me
caso 2 Me	9,36	0,971276	0,6833	4,823	caso 2 Me
			0,8376	7,205	caso 3 Me
	10	1	1	10	
caso 3 Me	13,36	1,123806	1,0789	11,993	caso 5 Me
caso 4 Me	21,63	1,333037	1,0874	12,229	caso 4 Me
caso 5 Me	23,01	1,361917	1,2937	19,734	caso 6 Me
caso 7 Me	36,65	1,564074	1,3122	20,322	caso 7 Me
caso 6 Me	38,06	1,580469	1,4087	25,625	caso 8 Me - caso 9 Me
caso 8 Me - caso 9 Me	47,49	1,676602	2,6338	429,309	caso 1 mC
zorb A	86,2526	1,933772	2,8947	784,623	caso 2 mC
zorb C	201,8091	2,304941			
zorb B	397,1407	2,598844			
zorb D	731,515	2,864223			
caso 1 mC	828,65	2,918371			

caso 2 m C	1295,47	3,200158				3,0689	1172,011	caso 3 m C
caso 3 m C	2262,76	3,354638				3,2802	1950,749	caso 5 m C
caso 4 m C	3663,51	3,583897				3,2973	1982,622	T min me
caso 5 m C	3896,97	3,590727				3,2987	1969,187	caso 4 m C
<b>MEDIA</b>								
T min me	4461,35	3,649466				3,3069	3213,21	caso 6 m C
caso 7 m C	6205,91	3,792805				3,5035	3538,135	caso 7 m C
Traveso a 2,6 bar	6483	3,808279				3,6199	4168,164	caso 8 m C - caso 9 m C
caso 6 m C	6444,5	3,800189				3,7029	7045,773	caso 1 MC
Traveso a 4,8 bar	7452	3,872276				3,7744	5948,467	T med me
caso 8 m C - caso 9 m C	8042,8	3,905407				3,9648	9021,878	caso 2 MC
caso 1 MC	9739,351	3,98853						
<b>10000</b>								
T med me	13394,05	4,126588				4,0754	11896,98	T max me
caso 2 MC	18634,424	4,270316				4,1391	15774,93	caso 3 MC
caso 3 MC	26594,761	4,424795				4,2732	18760,55	T min Me
<b>ALTA</b>								
T max me	26769,1	4,427619				4,5004	22927,63	caso 5 MC
T min Me	42211,24	4,625428				4,3688	23379,41	caso 4 MC
caso 4 MC	49058,194	4,654056				4,3979	24996,97	caso 8 bis m C - 9 bis m C
caso 5 MC	45932,089	4,660895				4,5771	37765,65	caso 6 MC
caso 8 bis m C - 9 bis m C	48256,79	4,680558				4,5937	39233,92	caso 7 MC
caso 7 MC	7939,599	4,862963				4,6901	48989,46	caso 8 MC - caso 9 MC
caso 6 MC	95748,808	4,879347				4,7504	56261,65	T med Me
caso 8 MC - caso 9 MC	94529,997	4,975565				4,9271	84539,15	T min m C
T med Me	126633,77	5,10255				5,0514	112563,3	T max Me
T min m C	190213,1	5,27924				5,4042	253617,4	T med m C
caso 8 bis MC-9 bis MC	250077,52	5,401584				5,468	295797,6	caso 8 bis MC-9 bis MC
T max Me	293267,4	5,403579				5,7052	507234,9	T max m C
T med m C	570639,2	5,756362				5,903	796670,4	T min MC
T max m C	1141278	6,037391				6,3601	2399611	T med MC
T min MC	1799709	6,295802				6,6812	4798222	T max MC
T med MC	3399125	6,732329						
T max MC	10798250	7,033333						

---

## 6.2 Indice di propensione alla propagazione

Ai fini della taratura dell'indice di propagazione sono state prese in considerazione informazioni di natura territoriale desunte dalla documentazione fornita dai gestori su stabilimenti ubicati in Italia Settentrionale, Centrale e Meridionale, anonimizzati per motivi di riservatezza.

Le schede che seguono illustrano i dati necessari per la costruzione dell'indice e i risultati che derivano dall'applicazione della matrice di criticità per quanto concerne gli intervalli di tempo di arrivo in falda e le velocità di propagazione.

In ciascuna scheda viene riportato il livello di rischio ottenuto per i bersagli e la falda e gli eventuali commenti in merito alla necessità di passare o meno ad una analisi avanzata del rischio (ARA)

I risultati ottenuti indicano nel complesso una buona distribuzione delle varie condizioni di criticità che appaiono comunque influenzate dai tempi di arrivo verticali che risultano, nella maggior parte dei casi molto bassi. Ciò è dovuto al fatto che molti insediamenti industriali sono ubicati nelle vicinanze della costa o in aree pianeggianti dove la superficie della falda è, in genere, molto vicina al piano campagna.

**Esempio applicativo: 1**  
**Stabilimento: A**  
**Unità A1**  
**Bersaglio di tipo C**

<b>Distanza da elementi ambientali vulnerabili di tipo C (m):</b>	<b>100</b>
Procedura di calcolo mediante l'utilizzo della formula di Darcy	
Gradiente idraulico (i)	0,048
Coefficiente di Permeabilità K zona satura (Permeabilità orizzontale, cm/s)	1,0E-02
Porosità efficace dell'acquifero (%)	41
Coefficiente di Permeabilità K zona non satura (Permeabilità verticale, cm/s)	1,0E-02
Soggiacenza della falda (m.)	1,5
Velocità Verticale (m/g)	8,64
Tempo Arrivo Verticale (Giorni)	0,17
Tempo Arrivo Verticale (h:mm))	4.10
Velocità apparente orizzontale m/g	0,41
Velocità effettiva orizzontale (m/g)	1,01
<b>Tempo totale per percorrere 50 metri in orizzontale (gg)</b>	<b>49</b>
<b>Distanza orizzontale percorsa dopo 6 mesi (metri)</b>	<b>181</b>
<b>Tempo totale per raggiungere bersaglio C (gg)</b>	<b>99</b>
Parametri relativi alla identificazione delle condizioni di criticità della falda	
Classe di tipologia Acquifero	1
<b>Spessore dell'acquifero(metri)</b>	<b>20</b>
<b>Coefficiente K (m/s)</b>	<b>1,0E-04</b>
Classe di potenziale di sfruttamento	2
Classe di Uso suolo terreni adiacenti in direzione della falda o prevalente	0
Direzione della falda	Sconosciuta

**LIVELLO DI CRITICITA' PER I BERSAGLI: 5**  
**LIVELLO DI CRITICITA' PER LA FALDA: IV**

Commenti:

I Livelli di rischio per i bersagli e la falda, individuati mediante le tabelle VI e VIII, sono rispettivamente 5 e IV. Tale condizione presuppone per un bersaglio di tipo C il passaggio immediato ad una valutazione di tipo avanzato (ARA) in caso di IPR da medio ad alto oppure distanze di sicurezza superiori ai 500 metri per IPR Molto Basso e Basso. In pratica non devono essere presenti bersagli di tipo C per un raggio di 500 metri dall'unità A1.

Il livello IV per la falda presuppone un'assenza di criticità per classi di IPR rispettivamente molto bassa e bassa. Per classi di IPR rispettivamente, medio ad alto, l'indice 2 per la classe di "potenziale di sfruttamento" valutato tramite la tabella X presuppone l'esecuzione di un ARA. Si consideri tuttavia che le classi di criticità sono state identificate nelle condizioni peggiori. La distanza di sicurezza effettiva infatti in applicazione della formula di Darcy, risulta essere in realtà di 181 metri (distanza percorsa in sei mesi) e che la falda in realtà si trova in livello III dal momento che il tempo effettivo per percorrere 50 metri è di 49 giorni.

Se tale valutazione preliminare è supportata da informazioni sufficientemente rappresentative del sito (es. desunti da prove di velocità effettuate in campo) sarà necessario eseguire un ARA solo per calcolare l'effettivo tempo che impiega l'inquinante a raggiungere il bersaglio C posto a 100 metri. Se dall'applicazione dei modelli risultasse che tale tempo è superiore a 180 giorni allora non sussisterebbe alcuna condizione di criticità (ad esclusione di IPR alti dove comunque sarà necessario verificare il tempo effettivo per inquinare una superficie di un ettaro di falda).

**Esempio applicativo: 2**  
**Stabilimento: A**  
**Unità A**  
**Bersaglio di tipo C**

<b>Distanza da elementi ambientali vulnerabili di tipo C (m):</b>	<b>100</b>
Procedura di calcolo mediante l'utilizzo della formula di Darcy	
Gradiente idraulico (i)	0,015
Coefficiente di Permeabilità K zona satura (Permeabilità orizzontale, cm/s)	1,7E-03
Porosità efficace dell'acquifero (%)	30
Coefficiente di Permeabilità K zona non satura (Permeabilità verticale, cm/s)	1,7E-03
Soggiacenza della falda (m.)	6
Velocità Verticale (m/g)	1,44
Tempo Arrivo Verticale (Giorni)	4,1
Tempo Arrivo Verticale (h:mm))	99.33.43
Velocità apparente orizzontale m/g	0,02
Velocità effettiva orizzontale (m/g)	0,07
<b>Tempo totale per percorrere 50 metri in orizzontale (gg)</b>	<b>695</b>
<b>Distanza orizzontale percorsa dopo 6 mesi (metri)</b>	<b>12,7</b>
<b>Tempo totale per raggiungere bersaglio C (gg)</b>	<b>1386</b>
Parametri relativi alla identificazione delle condizioni di criticità della falda	
Classe di tipologia Acquifero	0
<b>Spessore dell'acquifero(metri)</b>	<b>10</b>
<b>Coefficiente K (m/s)</b>	<b>1,7E-05</b>
Classe di potenziale di sfruttamento	1
Classe di Uso suolo terreni adiacenti in direzione della falda o prevalente	0
Direzione della falda	Sconosciuta

**LIVELLO DI CRITICITA' PER I BERSAGLI: 3**  
**LIVELLO DI CRITICITA' PER LA FALDA: II**

Commenti:

I Livelli di rischio per il bersagli e falda sono rispettivamente 3 e II. Tale condizione presuppone per un bersaglio di tipo C una distanza di sicurezza superiore a 100 metri. Dal momento che la distanza dal bersaglio è nella fattispecie 100 metri è necessario eseguire a scopo cautelativo un' analisi avanzata (ARA) volta a determinare l' effettivo tempo impiegato dalla sostanza per raggiungere il bersaglio.

Il livello II per la falda presuppone un' assenza di criticità per tutte le classi di IPR. Prima di effettuare l' ARA si consideri tuttavia il fatto che l' applicazione della formula di Darcy evidenzia che la distanza di sicurezza effettiva risulta essere di 12 metri (distanza percorsa in sei mesi) e che la falda in realtà si trova in livello I dal momento che il tempo effettivo per percorrere 50 metri è di 695 giorni.

Nel caso in cui tale valutazione scaturisca da informazioni sufficientemente rappresentative del sito (es. desunte da prove di velocità effettuate in campo) i risultati ottenuti con la sola applicazione delle tabelle possono essere ritenuti sufficienti per stabilire, con un ragionevole grado di certezza, l' assenza di criticità sia per bersagli che la falda.

**Esempio applicativo: 3**  
**Stabilimento: B**  
**Unità**  
**Bersaglio di tipo C**

<b>Distanza da elementi ambientali vulnerabili di tipo C (m):</b>	<b>65</b>
Procedura di calcolo mediante l'utilizzo della formula di Darcy	
Gradiente idraulico (i)	0,03
Coefficiente di Permeabilità K zona satura (Permeabilità orizzontale, cm/s)	1,0E-02
Porosità efficace dell'acquifero (%)	20
Coefficiente di Permeabilità K zona non satura (Permeabilità verticale, cm/s)	1,0E-02
Soggiacenza della falda (m.)	4
Velocità Verticale (m/g)	8,9
Tempo Arrivo Verticale (Giorni)	0,4
Tempo Arrivo Verticale (h:mm))	10.41.02
Velocità apparente orizzontale m/g	0,26
Velocità effettiva orizzontale (m/g)	1,34
<b>Tempo totale per percorrere 50 metri in orizzontale (gg)</b>	<b>37</b>
<b>Distanza orizzontale percorsa dopo 6 mesi (metri)</b>	<b>242</b>
<b>Tempo totale per raggiungere bersaglio C (gg)</b>	<b>74</b>
Parametri relativi alla identificazione delle condizioni di criticità della falda	
Classe di tipologia Acquifero	1
<b>Spessore dell'acquifero(metri)</b>	<b>7</b>
<b>Coefficiente K (m/s)</b>	<b>1,0E-04</b>
Classe di potenziale di sfruttamento	1
Classe di Uso suolo terreni adiacenti in direzione della falda o prevalente	0
Direzione della falda	

**LIVELLO DI CRITICITA' PER I BERSAGLI: 5**  
**LIVELLO DI CRITICITA' PER LA FALDA: IV**

Commenti:

I Livelli di rischio per il bersagli e falda sono rispettivamente 5 e IV. Tale condizione presuppone per un bersaglio di tipo C il passaggio immediato ad una valutazione di tipo avanzato (ARA) per IPR da medio ad alto oppure distanze di sicurezza superiori ai 500 metri per IPR molto basso o basso. La distanza del bersaglio è 65 metri pertanto dal momento che sussiste una stato di criticità sarà necessario eseguire comunque un' analisi avanzata (ARA) volta a determinare l'effettivo tempo impiegato dall'inquinante per raggiungere un bersaglio.

Il livello IV per la falda presuppone un'assenza di criticità per classi di IPR rispettivamente molto basso e basso. L'indice 1 scaturito dalla consultazione della tabella X rispettivamente per le condizioni "potenziale di sfruttamento" e "propensione alla bonifica" presuppongono l'esecuzione di un ARA solo nel caso in cui sussista una classe di IPR alta. Si consideri tuttavia che le classi di criticità sono state identificate nelle condizioni peggiori. La distanza di sicurezza effettiva infatti, in applicazione della formula di Darcy, risulta essere in realtà di 242 metri (distanza percorsa in sei mesi) e che la falda in realtà si trova in livello III di criticità dal momento che il tempo effettivo per percorrere 50 metri è di 37 giorni (vedi tab. XI).

Se le valutazioni preliminari scaturiscono da informazioni sufficientemente rappresentative del sito ovvero sono state desunte attraverso prove di velocità effettuate in campo, la falda non presenta alcun stato di criticità poiché per il livello III (vedi tab. VIII) qualsiasi condizione geoambientale in classe I risulta sempre accettabile. E' comunque necessario eseguire un' analisi avanzata per valutare l'effettivo tempo di arrivo dell'inquinante al bersaglio. Se attraverso l'ARA si dimostra che il tempo necessario per percorrere una distanza di 65 metri è superiore ai 180 giorni non è necessario attivare misure di protezione vale a dire non sussistono le condizioni per cui il rilascio possa assumere caratteristiche di rilevanza. In pratica qualsiasi sversamento può essere gestito con le normali procedure disciplinate dalla normativa sulle bonifiche.



#### Esempio applicativo: 4

Stabilimento: C

Unità

Bersaglio di tipo C

<b>Distanza da elementi ambientali vulnerabili di tipo C (m):</b>	<b>160</b>
Procedura di calcolo mediante l'utilizzo della formula di Darcy	
Gradiente idraulico (i)	0,0063
Coefficiente di Permeabilità K zona satura (Permeabilità orizzontale, cm/s)	1,0E-02
Porosità efficace dell'acquifero (%)	20
Coefficiente di Permeabilità K zona non satura (Permeabilità verticale, cm/s)	1,0E-02
Soggiacenza della falda (m.)	14
Velocità Verticale (m/g)	8,9
Tempo Arrivo Verticale (Giorni)	0,4
Tempo Arrivo Verticale (h:mm))	10.41.02
Velocità apparente orizzontale m/g	0,05
Velocità effettiva orizzontale (m/g)	0,28
<b>Tempo totale per percorrere 50 metri in orizzontale (gg)</b>	<b>177</b>
<b>Distanza orizzontale percorsa dopo 6 mesi (metri)</b>	<b>50</b>
<b>Tempo totale per raggiungere bersaglio C (gg)</b>	<b>565</b>
Parametri relativi alla identificazione delle condizioni di criticità della falda	
Classe di tipologia Acquifero	1
<b>Spessore dell'acquifero(metri)</b>	<b>8</b>
<b>Coefficiente K (m/s)</b>	<b>1,0E-04</b>
Classe di potenziale di sfruttamento	1
Classe di Uso suolo terreni adiacenti in direzione della falda o prevalente	0
Direzione della falda	Sconosciuta

**LIVELLO DI CRITICITA' PER I BERSAGLI: 3**

**LIVELLO DI CRITICITA' PER LA FALDA: II**

Commenti:

I Livelli di rischio per il bersagli e falda sono rispettivamente 3 e II. Tale condizione presuppone l'assenza di bersagli di tipo C per un raggio di 100 metri dall'unità logica. Poiché il bersaglio è ubicato ad una distanza superiore, nella fattispecie 160 metri, si può essere ragionevolmente sicuri che non sussistano condizioni di criticità per i bersagli e che qualsiasi evento di rilascio nel sottosuolo per qualsiasi classe di IPR può essere gestito con le normali procedure indicate nella disciplina delle bonifiche. Anche per la falda, il livello II di criticità non presuppone alcun tipo di valutazione aggiuntiva per tutte le classi di IPR.

**Esempio applicativo: 5**  
**Stabilimento: D**  
**Unità**

<b>Distanza da elementi ambientali vulnerabili di tipo C (m):</b>	<b>10</b>
Procedura di calcolo mediante l'utilizzo della formula di Darcy	
Gradiente idraulico (i)	0,0097
Coefficiente di Permeabilità K zona satura (Permeabilità orizzontale, cm/s)	1,5E-04
Porosità efficace dell'acquifero (%)	25
Coefficiente di Permeabilità K zona non satura (Permeabilità verticale, cm/s)	1,5E-04
Soggiacenza della falda (m.)	2
Velocità Verticale (m/g)	0,12
Tempo Arrivo Verticale (Giorni)	15
Tempo Arrivo Verticale (h:mm))	370.22.13
Velocità apparente orizzontale m/g	0,001
Velocità effettiva orizzontale (m/g)	0,005
<b>Tempo totale per percorrere 50 metri in orizzontale (gg)</b>	<b>9958</b>
<b>Distanza orizzontale percorsa dopo 6 mesi (metri)</b>	<b>0,8</b>
<b>Tempo totale per raggiungere bersaglio C (gg)</b>	<b>2004</b>
Parametri relativi alla identificazione delle condizioni di criticità della falda	
Classe di tipologia Acquifero	0
<b>Spessore dell'acquifero(metri)</b>	<b>2</b>
<b>Coefficiente K (m/s)</b>	<b>1,5E-06</b>
Classe di potenziale di sfruttamento	0
Classe di Uso suolo terreni adiacenti in direzione della falda o prevalente	0
Direzione della falda	Sconosciuta

**LIVELLO DI CRITICITA' PER I BERSAGLI: 3**  
**LIVELLO DI CRITICITA' PER LA FALDA: II**

Commenti:

I Livelli di rischio per il bersagli e falda sono rispettivamente 3 e II. Tale condizione presuppone una distanza di sicurezza per un generico bersaglio di tipo C superiore a 100 metri. Dal momento che nel caso specifico tale distanza è 10 metri è necessario eseguire un' analisi avanzata (ARA) volta a determinare l'effettivo tempo impiegato per raggiungere un bersaglio.

Il livello II per la falda presuppone un'assenza di criticità per tutte le classi di IPR.

Si sottolinea ancora una volta che sebbene la valutazione preliminare implichi l'esecuzione di un ARA per valutare l'effettivo tempo impiegato dalla sostanza per raggiungere il bersaglio, l'applicazione della formula di Darcy mette in evidenza come la distanza di sicurezza effettiva risulta essere in realtà di 0.8 metri. L'unità (un serbatoio) poggia infatti su un substrato quasi impermeabile. Se tale considerazione è supportata da informazioni sufficientemente rappresentative del sito (es. desunte da prove di velocità effettuate in campo) i risultati ottenuti con la sola applicazione dell'IRA possono essere ritenuti sufficienti per stabilire, con un ragionevole grado di certezza, l'assenza di criticità sia per bersagli che la falda.

Vista l'oggettiva vicinanza del bersaglio dall'unità logica (solo 10 metri) sarà comunque necessario analizzare lo scenario di uno sversamento diretto nel ricettore di tipo C.

**Esempio applicativo: 6**  
**Stabilimento: E**  
**Unità**

<b>Distanza da elementi ambientali vulnerabili di tipo C (m):</b>	<b>67</b>
Procedura di calcolo mediante l'utilizzo della formula di Darcy	
Gradiente idraulico (i)	0,006
Coefficiente di Permeabilità K zona satura (Permeabilità orizzontale, cm/s)	1,0E-02
Porosità efficace dell'acquifero (%)	40
Coefficiente di Permeabilità K zona non satura (Permeabilità verticale, cm/s)	1,0E-02
Soggiacenza della falda (m.)	1,5
Velocità Verticale (m/g)	8,64
Tempo Arrivo Verticale (Giorni)	0,17
Tempo Arrivo Verticale (h:mm))	4.10.00
Velocità apparente orizzontale m/g	0,05
Velocità effettiva orizzontale (m/g)	0,12
<b>Tempo totale per percorrere 50 metri in orizzontale (gg)</b>	<b>385</b>
<b>Distanza orizzontale percorsa dopo 6 mesi (metri)</b>	<b>23</b>
<b>Tempo totale per raggiungere bersaglio C (gg)</b>	<b>517</b>
Parametri relativi alla identificazione delle condizioni di criticità della falda	
Classe di tipologia Acquifero	2
<b>Spessore dell'acquifero(metri)</b>	<b>19,5</b>
<b>Coefficiente K (m/s)</b>	<b>1,0E-04</b>
Classe di potenziale di sfruttamento	2
Classe di Uso suolo terreni adiacenti in direzione della falda o prevalente	1
Direzione della falda	Sconosciuta

**LIVELLO DI CRITICITA' PER I BERSAGLI: 3**  
**LIVELLO DI CRITICITA' PER LA FALDA: II**

Commenti:

I Livelli di rischio per il bersagli e falda sono rispettivamente 3 e II. Tale condizione presuppone per un bersaglio di tipo C una distanza di sicurezza superiore a 100 metri. Dal momento che la distanza dal bersaglio è nella fattispecie 67 metri sarà comunque necessario eseguire a scopo cautelativo un' analisi avanzata (ARA) volta a determinare l'effettivo tempo impiegato dalla sostanza per raggiungere il bersaglio.

Il livello II per la falda presuppone un'assenza di criticità per tutte le classi di IPR.

Si sottolinea ancora una volta che sebbene la valutazione preliminare implichi l'esecuzione di un ARA per valutare l'effettivo tempo impiegato dalla sostanza per raggiungere il bersaglio, l'applicazione della formula di Darcy mette in evidenza come la distanza di sicurezza effettiva risulta essere in realtà di 23 metri (distanza percorsa in sei mesi) e che la falda in realtà si trova in livello I dal momento che il tempo effettivo per percorrere 50 metri è di 385 giorni.

Se tale valutazione preliminare è supportata da informazioni sufficientemente rappresentative del sito (es. desunti da prove di velocità effettuate in campo) i risultati ottenuti con la sola applicazione dell'IRA possono essere ritenuti sufficienti per stabilire con un ragionevole grado di certezza l'assenza di criticità sia per bersagli che la falda.

---

## 7. INDIVIDUAZIONE DELLE MISURE DI PREVENZIONE O PROTEZIONE IN FUNZIONE DEGLI ESITI DELLA VALUTAZIONE

Lo scopo di una metodologia speditiva per la valutazione delle conseguenze ambientali di incidente rilevante è quello di fornire elementi utili per individuare quelle situazioni impiantistico-gestionali e geo-ambientali la cui criticità impone l'utilizzo di metodi più sofisticati di analisi o direttamente la messa in atto di misure di riduzione del rischio.

Tali misure possono essere volte sia alla ricerca di soluzioni impiantistico-gestionali per riduzione della probabilità di rilascio (misure di prevenzione) sia alla pre-stituzione di sistemi d'intervento o di presidi finalizzati alla riduzione del pericolo di propagazione delle sostanze contaminanti. (misure di protezione).

Gli elementi proposti in questa sede si configurano nella fattispecie come preliminari e rivolti a garantire una protezione statica o vincolo (area di rispetto) attorno allo stabilimento, nel caso in cui i parametri di valutazione utilizzati per l'analisi richiedano la messa in atto di interventi tempestivi ed efficaci in grado di tenere sotto controllo la propagazione di un contaminante.

Ciò è conseguente al fatto che la concomitanza di fattori negativi, quali condizioni impiantistiche pericolose, elevate velocità di migrazione unite a condizioni idrogeologiche sfavorevoli tali da aumentare il tempo di intercettazione degli inquinanti (eterogeneità dei litotipi), può limitare l'efficacia dell'azione di contenimento ed il controllo della propagazione, incrementando il rischio di generare un danno di elevata magnitudo per le acque sotterranee e per i bersagli ambientali in continuità idraulica con esse.

Ciò non prefigura un giudizio immediato di incompatibilità tra insediamento industriale e territorio circostante, ma evidenzia la necessità, limitatamente a quelle situazioni critiche individuate con il metodo di valutazione semplificato proposto, di implementare direttamente misure di riduzione del rischio o di adottare un approccio di analisi più approfondito, dalle cui risultanze può emergere o meno la necessità di adottare tali misure.

I passi successivi alla valutazione speditiva possono configurarsi, in funzione dei relativi esiti della valutazione, come segue:

- Analisi sito specifica limitatamente alle unità logiche risultate critiche. Nella fattispecie acquisizione di un maggiore numero di informazioni volte a permettere l'applicazione di modelli di propagazione dei contaminanti. Re-iterazione della procedura di valutazione con i dati di propagazione tarati sui contaminanti specifici e sull'effettivo percorso di migrazione.
- Miglioramento dei sistemi impiantistico gestionali e re-iterazione della procedura di calcolo dell'indice di propensione al rilascio in ragione dei miglioramenti apportati.
- Nel caso di mantenimento delle condizioni di criticità, pianificazione di una strategia d'intervento, eventuale messa in atto di presidi fissi di contenimento o di monitoraggio volti a permettere il controllo efficace e in tempo reale della propagazione.

La pianificazione di una strategia d'intervento dovrà tenere conto dei diversi fattori territoriali che alla luce degli esiti critici dell'analisi delle conseguenze ambientali di un incidente rilevante risultano per la maggior parte già acquisiti o comunque da approfondire:

- Caratteristiche della sorgente di contaminazione (ubicazione ed estensione dell'area di pertinenza dell'unità logica, attività nuova od esistente), tipologia e quantitativi presunti delle sostanze contaminanti coinvolte;
- Tipologia, localizzazione e distanza del bersaglio sensibile;

- 
- Caratteristiche dell'acquifero: Soggiacenza della falda, escursione stagionale della falda (importante), conducibilità idraulica, direzione e velocità di flusso dei contaminanti, profondità dell'acquicludo;
  - Effetti di interferenza indotti alla realizzazione e/o all'efficacia dell'azioni di contenimento dalla complessità delle strutture impiantistiche (presenza di strutture interrato, linee tecnologiche, serbatoi, fondazioni ) e/o dal pompaggio da pozzi limitrofi.

La conoscenza di questi dati potrà fornire indicazioni dettagliate in merito alla selezione del miglior tipo di risposta ed alla tipologia di attrezzature necessarie per prevenire e/o fronteggiare una situazione di inquinamento che può condurre in breve tempo a danni rilevanti per l'ambiente; in sostanza tutti gli elementi che andranno a costituire le base informativa per la redazione dei piani di emergenza interni (prevenzione e protezione) ed esterni.

Si ricorda che la pianificazione di tale attività non si prefigura come una misura da adottare per fronteggiare tutte le situazioni di inquinamento (anche perché ciò è già disciplinato dalla normativa in materia di bonifiche), ma si rende necessaria (ed è quindi successiva) solo nei casi in cui gli esiti della analisi del rischio mettano in evidenza una combinazione di componenti di propensione al rilascio e alla propagazione tali da generare, in caso di incidente, una dispersione di sostanze contaminanti potenzialmente capace di produrre un danno rilevante per l'ambiente.

In linea con gli obiettivi del presente documento di seguito verranno illustrati una serie di misure preventive impiantistico gestionali (All. C, Parte 1) e di elementi utili per indirizzare le strategie di intervento mirate al contenimento o evitare la propagazione delle sostanze inquinanti nel caso di immissione nelle acque sotterranee. (All. C, Parte 2). Si sottolinea che per questo secondo aspetto in questa sede ci si limiterà a fornire indicazioni generali di supporto alla valutazione della fattibilità di un determinato intervento in relazione alla sua efficacia ed alla opportunità della sua applicazione in fase post-incidente (in emergenza) o come presidio fisso di protezione e non a fornire elementi progettuali per il suo dimensionamento (quantità di attrezzature o numero di opere necessarie) per i quali si rimanda nella sede appropriata. Il dimensionamento di un'opera di contenimento più o meno complessa, necessita nella fattispecie di un'attività di pianificazione e progettazione preceduta dalla determinazione di parametri idrogeologici e geotecnici acquisiti attraverso indagini di campo. In fase preventiva, la realizzazione di un presidio fisso di protezione garantisce requisiti di massima efficacia, ma può comportare investimenti considerevoli che possono essere giustificati solo da una concreta possibilità di arrecare un danno rilevante all'ambiente. In fase di emergenza conseguente ad uno sversamento appena verificatosi, in ragione di margini di tempo oggettivamente ristretti, il dimensionamento dovrà essere fatto in maniera empirica in base all'esperienza dei tecnici delle squadre d'intervento ed ai dati disponibili. In questo caso risulteranno determinanti le indicazioni fornite nel piano d'emergenza, in particolare la tempistica e l'efficacia dell'azione di primo contenimento, volta a limitare la migrazione verticale nelle acque sotterranee, nonché il supporto di una rete di monitoraggio, che permetta l'immediata individuazione dei percorsi effettivi di migrazione orizzontali.

---

## Note bibliografiche

1. Legenda Unificata per le carte della vulnerabilità dei corpi idrici sotterranei. Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, 1 (Append) Ed. Pitagora – Bologna Civita 1990 et al.
2. Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Teoria e Pratica. Civita 1994, Pitagora ed, Bologna
3. SINTACS - un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia degli acquiferi all'inquinamento Civita e De Maio (1997)
4. Provincia di Venezia - Archivio on-line
5. Provincia di Padova - Archivio on-line
6. Provincia di Alessandria - Archivio on-line
7. Comune di Modena - Archivio on-line
8. USEPA - Archivio on-line
9. MAHB - Archivio on-line
10. UNEP - Archivio on-line
11. Risk Assessment of Chemicals to the Environment, Federation of European Chemical Societies; Ed. M.L. Richardson, London UK 1988, CDCIR 627
12. Report of the workshop on practical approaches to the assessment of environmental exposure, OECD Organisation for Economic Co-operation and Development 1987, CDCIR 95
13. Updating of data concerning the impact on the aquatic environment of certain dangerous substances, European Commission, Luxembourg 1993, CDCIR 1825
14. Interpretation of Major Accident to the Environment for the Purposes of the CIMAH Regulations: a guidance note by the Department of the Environment, UK
15. Air pollution injury to vegetation, HSE, London SEI 041, UK , CDCIR 626
16. Sulphur Dioxide and Nitrogen Oxides in Industrial Waste Gases- Emission, Legislation and Abatement, Vol. 3, Eurocourses - JRC Ispra, Ed. Van Velzen D. 1991, CDCIR 2147
17. Anlagensicherheit und Umweltverträglichkeit IWS Institut für wassergefährdende Stoffe Symposium:, TU-Berlin Erich Schmidt Verlag GmbH, Berlin 1989
18. Umweltüberwachung Flüssiggaslagerung, Landesanstalt für Umweltschutz Baden Würtemberg, Referat 15 - Informationsdienste, Veröffentlichungen 1995, CDCIR 1503
19. Umweltprognosen: Methoden und Anwendungsprobleme der präventiven Umweltpolitik, KFK Karlsruhe, Dept.of System Analysis, Erich Schmidt Verlag GmbH, Berlin 90, CDCIR 729
20. Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. S.Fischer, R.Forsen, O. Hertzberg et.al. FOA Rapport D-9500099-4.9—SE, FOA , S-17290 Stockholm, (Sweden) 1995
21. VERIS- Computer System for Evaluation of Risk to the Surface Water from Chemical Sites, VROM - Risk Manag. Div.1992, The Netherlands CDCIR 1098
22. ENERO - Forum Européen - Consequences écologiques d'une pollution de cours d'eau suite à un incendie dans un entrepot de produits chimiques, ENERO - European Network of Environ. Associations / INERIS France 1994, CDCIR 1656
23. ECETOC - Emergency Exposure Indices for Industrial Chemicals, Eur.Chem.Industry Ecology & Toxicology Centre, Brussels 1991, CDCIR 1453
24. Livre vert sur la réparation des dommages causés à l'environnement. Communication de la Commission au Conseil et au Parlement Européen et au Comités économique et social, COM(93) 47 final, Commission des Comm. Eur., Public Rel. & Publ. Unit 1993
25. A study on the industrial installations presenting major hazards for the surface waters and the

- 
- groundwaters” , G.C.Bello et al., Eidos CDCIR 1400
26. Soil and groundwater protection, Criteria for the notification of major accidents and hazardous installations, G.C.Bello et al., IWS Berlin - Eidos Lodi Italy, May 1997, JRC EC
  27. Environmental Impact Assessment ( Ed A.G. Colombo), Kluwer Academic Press, 1992
  28. Indicators and Indices for Environmental Impact Assessment and risk Analysis, Proceedings of Workshop, CEC - JRC, Ispra, Italy (Eds. Colombo & Premazzi), EUR 13060 EN, 1990, CDCIR 1019
  29. An Analysis of Environmental Impact Studies of Installations for the treatment and Disposal of Toxic and Dangerous Waste in the EU (Ispra study on projects under Dir. 85/337/EEC) , A.G. Colombo, A.Artola, C.Gervasi, G.Haq, I.Melaki, JRC EC EUR 16389 EN August 1996
  30. REAL DECRETO 1131/1988 de 30 de septiembre por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986 de 28 de junio de Evaluación de Impacto Ambiental, Official State Bulletin 1988, CDCIR 281
  31. EEA, 2005. EEA Technical report “Towards an EEA Europe-wide assessment of areas under risk for soil contamination - Review and analysis of existing methodologies for preliminary risk assessment”
  32. Review of Environmental Accidents and Incidents, Lindgaard-Jorg.&K. Bender EUR 14002 EN (1992)
  33. A Risk assessment of Environmental Hazards : A Textbook of Case Studies, Editor: D.J.Pustenbach - Wiley - USA 1980, CDCIR 720
  34. INERIS - Rapport Annuel Scientifique 1995, INERIS (Institut National de l’Environnement Industriel et des Risques), France 1996, CDCIR 1708
  35. Rapporto APAT 36/2003 “Valutazione danno ambientale incidenti rilevanti”

---

## ANNESSE A

### Rischio di contaminazione in aree industriali

L'analisi del rischio inerente la natura e/o la tipologia delle attività produttive presenti in un sito industriale dipende sostanzialmente da tre classi di fattori:

- ◇ le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche del sito;
- ◇ le caratteristiche specifiche delle sostanze pericolose presenti;
- ◇ le caratteristiche del sito produttivo e la natura delle attività svolte.

I parametri geologici ed idrogeologici che controllano la vulnerabilità di un sito sono i seguenti:

- morfologia del terreno;
- caratteristiche chimico fisiche della copertura superficiale (struttura, tessitura, spessore contenuto in materia organica contenuto in minerali argillosi, permeabilità)
- stratigrafia del sottosuolo (profondità e spessore degli strati impermeabili)
- caratteristiche della zona insatura (spessore, litologia, granulometria, tempo di attraversamento dell'acqua)
- caratteristiche dell'acquifero (confinato, non confinato, semiconfinato, ricarica netta, conducibilità idraulica spessore, porosità effettiva, direzione di flusso)
- presenza di falde sovrapposte (profondità e spessori della/e falda/e);
- presenza di pozzi per l'approvvigionamento idrico;
- presenza di corpi idrici superficiali.

I parametri che identificano come "a rischio" una data sostanza sono fondamentalmente i seguenti:

- tossicità
- persistenza
- mobilità
- bioaccumulo

Per definire adeguatamente il rischio connesso ad una attività industriale è necessario considerare inoltre caratteristiche specifiche dell'insediamento produttivo e delle attività ivi svolte, quali:

- età insediamento
- dimensioni e superfici interessate dall'attività produttiva
- modalità di stoccaggio e/o di manipolazione delle sostanze pericolose presenti
- quantitativi di sostanze pericolose presenti
- modalità di stoccaggio, smaltimento, recupero rifiuti pericolosi
- caratteristiche della rete fognaria e/o modalità di stoccaggio, smaltimento, recupero reflui

Nel seguito verrà analizzata in dettaglio solo la prima classe di fattori, dal momento che risulta fortemente correlata con il rischio di propagazione di una sostanza nel sottosuolo e di contaminazione delle acque sotterranee e quindi con la vulnerabilità intrinseca.

#### A.1 Cause e meccanismi di contaminazione del sottosuolo

L'inquinamento del sottosuolo derivante da un'attività industriale può avere molteplici origini: perdite delle reti fognarie, perdite da condotte e serbatoi di stoccaggio, seppellimento di materiali di rifiuto nel terreno dello stabilimento, migrazione nel sottosuolo per effetto delle acque meteoriche, spandimenti occasionali e/o accidentali che possono verificarsi durante lo svolgimento delle attività.

##### A.1.1 Caratteristiche del terreno

Un terreno si presenta generalmente come un susseguirsi di strati di diverso spessore aventi caratte-



---

ristiche differenti (granulometria, permeabilità, ecc.). Troveremo quindi strati ad alta granulometria (sabbie, ghiaie) e ad elevata permeabilità, e strati a bassa granulometria (argille) a porosità inferiore e permeabilità notevolmente inferiore.

Le argille, proprio per le loro caratteristiche di bassa permeabilità costituiscono spesso il “fondo o letto” di una falda acquifera, la quale si muove generalmente in terreni a granulometria maggiore saturandoli con l’acqua.

Nel terreno possono quindi essere individuate due condizioni:

- Terreno saturo
- Terreno insaturo

Nel primo l’acqua è presente allo stato liquido mentre nel secondo è presente solo come umidità, essendo gli spazi interstiziali occupati da aria o vapori. La sede di una falda acquifera è quindi costituita da terreno saturo, mentre la zona soprastante (e/o sottostante) da terreno insaturo.

Nella zona di “tetto” della falda acquifera, vale dire nel livello intermedio in cui si passa da terreno insaturo a saturo, vi è una zona definita “frangia capillare” dove l’acqua è presente in modo discontinuo in quanto sottoposta alle tensioni capillari.

### ***A.1.2. Caratteristiche dell’inquinante***

Le principali classi di inquinanti di origine industriale, che rappresentano un rischio per le acque sotterranee, possono essere in genere ricondotte alle seguenti:

- Prodotti petroliferi
- Solventi
- Metalli pesanti

I contaminanti possono essere dispersi nel suolo mediante scarichi diretti, sversamenti accidentali, o rilascio per eluizione a seguito di dilavamento di solidi, ammassati sul suolo o nel sottosuolo, da parte di acqua piovana o contatto diretto con le acque di prima falda.

Il comportamento di una sostanza inquinante nel sottosuolo dipende notevolmente dalla fase in cui si trova. Si è soliti classificare le fasi in cui un si può trovare una sostanza inquinanti in:

- liquidi in fase acquosa
- liquidi in fase non acquosa a bassa densità (LNAPL - light nonaqueous phase liquids)
- liquidi in fase non acquosa ad alta densità (DNAPL - dense nonaqueous phase liquids)

Nel caso di liquidi in fase acquosa (es. contaminazione da metalli), il comportamento è molto semplice in quanto è influenzato solamente da fenomeni di tipo chimico e chimico-fisico, quali lo scambio ionico e l’adsorbimento, che saranno trattati in seguito.

Nel caso di inquinanti organici L e D-NAPL l’analisi risulta più complessa in quanto non sono totalmente miscibili con l’acqua e presentano comportamenti diversi a seconda della densità.

### **A.2. Comportamento degli inquinanti nel sottosuolo e nella falda**

Una sostanza inquinante nel terreno può essere presente in quattro forme diverse:

- Puro in massa
- Adsorbito sulla matrice solida del terreno
- Disciolto in acqua
- Presente nel terreno in fase vapore

L’attenuazione dei contaminanti durante la loro percolazione attraverso la zona insatura e quella satura dipende da un gran numero di processi naturali fisico-chimici e biologici che molto spesso provo-

---

cano una variazione dello stato fisico del contaminante e anche della sua composizione chimica fino a trasformare ed, a volte in particolari condizioni, eliminare completamente il contaminante stesso. Questi processi dipendono dalla natura del contaminante e dalle condizioni idrogeologiche dell'ambiente, ma è molto difficile prevederne il comportamento nel sottosuolo: in sostanza la capacità depurativa del suolo e del sottosuolo dipendono da:

- le caratteristiche fisiche e chimiche dell'inquinante: solubilità, viscosità, densità e strutture molecolari;
- le caratteristiche chimico fisiche del terreno;
- la superficie specifica del terreno;
- il tempo di contatto dell'inquinante con il terreno, cioè la sua velocità di percolazione;
- la lunghezza del flusso dell'inquinante nel sottosuolo.

La velocità di questi processi di trasformazione dipende in linea di massima dalla disponibilità di nutrienti inorganici, quali fosforo, azoto e metalli in tracce, e di ossigeno.

#### **A.2.1. Comportamento nella zona satura**

Il comportamento di contaminanti disciolti in un mezzo poroso saturo è controllato da meccanismi quali la *permeazione* e la *dispersione*. L'effetto combinato di questi meccanismi viene normalmente definito come *dispersione idrodinamica* e determina la caratteristica forma del "pennacchio" di diffusione degli inquinanti.

Con permeazione si intende il semplice movimento di un soluto nell'acquifero in direzione e con la stessa velocità del flusso della falda, (tenuto conto dei fattori di ritardo) mentre la dispersione è la responsabile del diffondersi di un inquinante in senso perpendicolare alla direzione di deflusso il quale giunge, dopo pochi metri, ad occupare un volume maggiore di quello che avrebbe se la distribuzione dello stesso dipendesse dalla sola permeazione.

La permeazione segue le leggi ed equazioni di trasporto di massa acquosa nel sottosuolo in mezzi porosi e dipende dalle caratteristiche idrodinamiche dell'acquifero che condizionano velocità effettiva e direzione di flusso dell'acqua.

La dispersione di un contaminante nel sottosuolo è il risultato di due processi: *dispersione meccanica*, ovverosia il risultato delle variazioni di direzione e di velocità dovuti alla tortuosità del mezzo poroso, e *diffusione molecolare*, il movimento casuale delle molecole in un fluido legato al gradiente di concentrazione.

Il fenomeno della diffusione in una falda acquifera è governata, con buona approssimazione dalla legge di Fick:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \nabla(D \cdot \nabla C)$$

dove            D = coefficiente di diffusione  
                  C = concentrazione del soluto  
                  t = tempo

da cui si osserva che la velocità di diffusione è proporzionale al gradiente di concentrazione. In zone a forte circolazione idrica (sabbia o ghiaia) la dispersione in direzione perpendicolare al flusso è molto limitata e quindi il "pennacchio" risulta stretto e allungato, mentre in zone a bassa

circolazione idrica, dove la migrazione del contaminante disciolto è governata essenzialmente dalla diffusione molecolare, risulta più ampio e corto (vedi Figura A1).

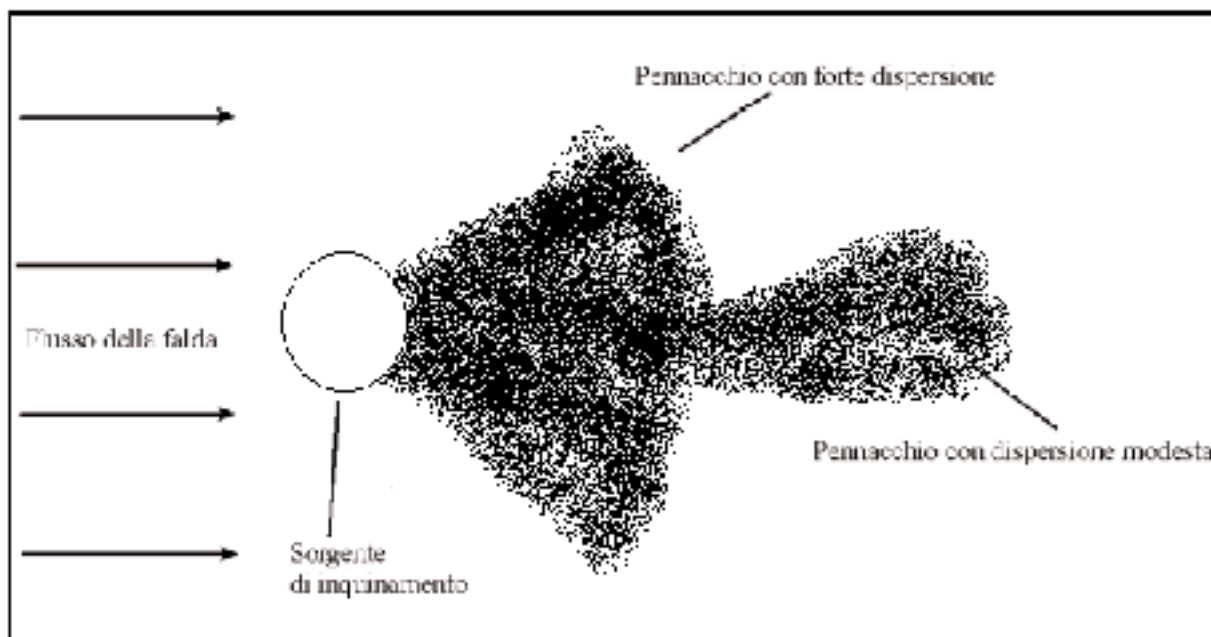


Fig. A1

### A.2.2 Comportamento nella zona insatura

Quando avviene uno spargimento accidentale di NAPL (nonaqueous phase liquids) essi cominciano a penetrare negli strati superficiali del terreno che costituiscono la zona insatura. Spesso i NAPL sono immiscibili o scarsamente miscibili con l'acqua e si viene a creare un sistema a tre fasi: aria, acqua e NAPL, disperse nella matrice terrosa.

Se i NAPL non incontrano nessuno strato impermeabile continuano a migrare verso il basso per gravità, occupando gli spazi vuoti, e possono dar luogo a quattro comportamenti diversi:

- ricoprire la matrice terrosa
- disciogliersi nella frazione umida del terreno
- volatilizzarsi
- venire intrappolati nei pori interstiziali in risposta alle forze capillari

Per avere un'entità della quantità di NAPL che un terreno può intrappolare si fa spesso riferimento al concetto di "saturazione residua"  $S_r$ , definita come:

$$S_r = \frac{\text{Volume di NAPL intrappolato}}{\text{Volume dei pori}}$$

$S_r$  è funzione di diversi parametri e può essere molto complessa da definire, ma in generale si osserva che al diminuire della permeabilità del mezzo poroso la saturazione residua  $S_r$  aumenta.

Un altro modo per esprimere la capacità del terreno di intrappolare una certa sostanza è correlare la saturazione residua con la porosità  $n$ , ottenendo la capacità di ritenzione  $R$  ( $l/m^3$ ):

$$R = (S_r)(n)(1000)$$

La capacità della zona di terreno insaturo di trattenere infiltrazioni di fasi liquide non acquose determina una diminuzione della frazione mobile di queste ultime, ed è possibile che, in condizioni di alta capacità di ritenzione del terreno e di bassi volumi di liquido infiltrato, quest'ultimo possa essere completamente immobilizzato nei primi strati del sottosuolo.

Nel caso in cui la quantità di liquido infiltrato ecceda la capacità di ritenzione del terreno si ha il raggiungimento della frangia capillare soprastante la falda. A questo punto la densità dei NAPL gioca un ruolo fondamentale nel determinare il comportamento successivo.

Se la densità dei NAPL è minore di quella dell'acqua ( $<1$ , LNAPL), come nel caso delle frazioni del petrolio, si osserva una dispersione sulla superficie della falda e i composti più solubili nell'acqua passano in soluzione all'interfaccia LNAPL-falda e seguono le leggi del moto dell'acqua nella falda.

La frazione separata tuttavia migra più lentamente a causa della presenza di acqua e aria nella zona della frangia capillare. Inoltre, prima che si abbia una dispersione laterale è necessario che si formi un certo spessore di LNAPL sul tetto della falda. Ciò significa che è necessario un quantitativo relativamente grande di LNAPL, prima di essere in grado di osservarne la presenza ad una certa distanza dalla sorgente.

Se la densità dei NAPL è maggiore di 1 (DNAPL), la fase liquida continuerà a migrare attraverso la zona satura sino a che non sia stata completamente assorbita dal terreno o solubilizzata dall'acqua della falda. Per vincere le tensioni capillari dell'acqua sul tetto della falda, i DNAPL hanno però bisogno di una certa pressione capillare di soglia che consenta loro di entrare nella zona satura del terreno e continuare la migrazione verso il basso.

I due comportamenti sopra descritti sono illustrati nella Figura A2.

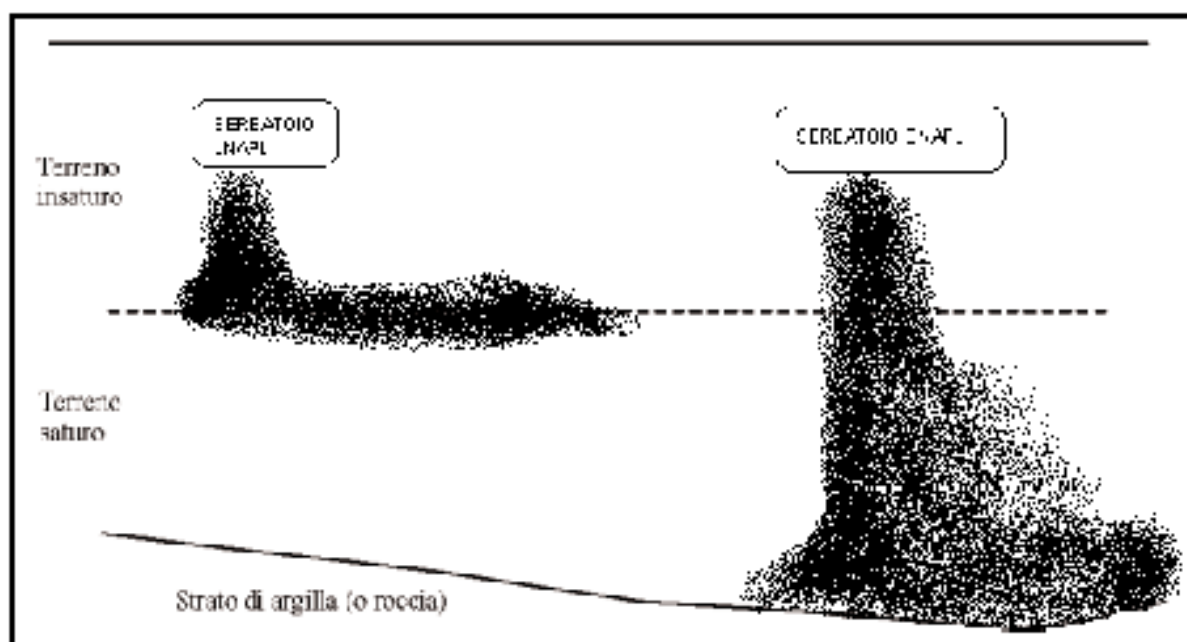


Fig. A2

### A.3. Processi chimico fisici e biologici

Le proprietà dei contaminanti o del mezzo poroso entro cui essi migrano può dare luogo ad interazioni che ne modificano la velocità di trasporto o di dispersione all'interno della falda.

Si usa dividere queste interazioni in due tipi: processi chimico fisici e processi biologici.

---

### A.3.1. Processi chimico fisici

I processi di tipo chimico fisico che generalmente influenzano il movimento di un contaminante nel terreno possono essere interazioni tra la fase mobile liquida e quella stazionaria solida (es. adsorbimento, scambio ionico), oppure reazioni che modificano la natura del contaminante (reazioni di idrolisi o di ossido-riduzione) in modo che questo interagisca successivamente con il mezzo poroso.

#### Volatilizzazione

Il fenomeno della volatilizzazione risulta abbastanza importante dal momento che la concentrazione di un contaminante sversato accidentalmente nel suolo e che penetra nel sottosuolo può subire una diminuzione a causa del passaggio diretto da una fase liquida alla fase vapore proporzionalmente alla sua tendenza a volatilizzarsi.

In condizioni di laboratorio la volatilizzazione dalla fase liquida dipende dalla temperatura ed è in relazione con la concentrazione in fase liquida e in fase gassosa secondo la costante di Henry. A parità di temperatura maggiore è la costante di Henry maggiore è la tendenza del composto a volatilizzarsi e a passare in fase gassosa. Si sottolinea il fatto che composti molto volatili come gli aromatici delle benzine e l'MTBE, presenti nei siti industriali anche in quantità notevoli, tendono subito a passare in fase vapore e a saturare i pori interstiziali del terreno riducendo le concentrazioni al momento dell'arrivo in falda. Tale fatto, se da un lato risulta a favore della protezione della falda dall'altro innesca ulteriori problematiche relative alla sicurezza e salute di lavoratori in edifici seminterrati o durante lo scavo di materiali contaminati.

#### Adsorbimento

Il fenomeno dell'adsorbimento può essere indotto sia dal substrato solido sia dal solvente.

Nel primo caso si ha un'attrazione tra la matrice solida e il contaminante (presente come soluto) con conseguente accumulo di quest'ultimo sulla superficie del mezzo poroso.

L'adsorbimento indotto dal solvente avviene invece quando si ha a che fare con un contaminante idrofobo (generalmente non-polare) che trova energeticamente più favorevole accumularsi sulle pareti del substrato poroso non-polare.

Si capisce quindi come in questo fenomeno la polarità delle due fasi giochi un ruolo determinante. Essa in particolare influisce sul *coefficiente di ripartizione*  $K_p$ , parametro che dà una misura dell'entità del fenomeno.

Il coefficiente di ripartizione dipende da molteplici fattori quali temperatura, pH, dimensione delle particelle, salinità dell'acqua, e con particolare riferimento agli idrocarburi al contenuto di materiale organico

La ripartizione dei composti che si viene a creare in seguito al fenomeno di adsorbimento determina un rallentamento nella migrazione dei contaminanti.

E' utile quindi introdurre il concetto di fattore di ritardo R, definito come segue:

$$R = \frac{\text{Concentrazione del composto disciolto} + \text{concentrazione composto adsorbito}}{\text{Concentrazione del composto disciolto}}$$

L'espressione può essere riscritta come:

$$R = \frac{(C_s \cdot n) + C_a \cdot \rho_b}{C_s \cdot n}$$

dove  $C_s$  = concentrazione del composto disciolto

---

$C_a$  = concentrazione del composto adsorbito  
 $n$  = porosità  
 $r_b$  = densità del suolo secco

Dal momento che  $K_p = C_a/C_s$  l'espressione diventa:

$$R = 1 + K_d \cdot \frac{\rho_b}{n}$$

Valori di R di 1-2 indicano un'elevata mobilità, mentre valori >100 una mobilità pressoché nulla. Da un punto di vista empirico il fattore di ritardo esprime il rapporto tra la velocità dell'acqua e quella della sostanza contaminante.

### Scambio Ionico

Quando la carica presente sulla superficie di un substrato poroso è di segno opposto rispetto a quella del contaminante ha luogo un'attrazione elettrostatica tra il soluto (inquinante) presente nella massa liquida e le particelle della fase solida, con conseguente accumulo del soluto nel film di acqua circostante le particelle.

Se sopraggiunge una specie chimica in grado di assicurare una maggiore efficienza di neutralizzazione della carica presente sul substrato stazionario, questa "sposterà" la specie presente precedentemente, sostituendosi ad essa.

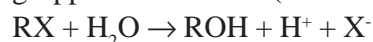
Questo fenomeno viene definito "scambio ionico".

Il terreno argilloso è in buona parte costituito da alluminosilicati, la cui carica superficiale è funzione del pH. A pH bassi presenta una carica positiva, mentre a pH alti una carica negativa.

Nel caso in cui nell'acqua siano presenti più specie ioniche disciolte è di fondamentale importanza conoscere la gerarchia delle preferenze mostrate da determinate superfici nei confronti dei singoli ioni.

### Idrolisi

L'idrolisi è la reazione chimica nella quale una molecola organica RX reagisce con acqua: si ha formazione di un nuovo legame covalente con il gruppo OH (entrante), e una rottura del legame con il gruppo funzionale X (uscente):



I composti normalmente reattivi all'idrolisi sono diversi: amidi, carbonati, epossidi, esteri, nitrili, composti alogenati, ecc.

Spesso l'idrolisi coinvolge specie chimiche non biodegradabili trasformandole in specie biodegradabili. Per questo l'idrolisi è di notevole importanza nel determinare il destino di sostanze inquinanti.

I fattori che influenzano la reazione di idrolisi sono normalmente parametri chimico-fisici quali pH, temperatura, carico organico, presenza di ioni metallici disciolti, ecc. ma può essere influenzata anche da attività enzimatiche o dalla presenza di una popolazione microbiologica nel terreno.

### Reazioni di ossido-riduzione

Per ossido-riduzione (redox) si intendono quelle reazioni che implicano un trasferimento di elettroni tra due specie chimiche. Il donatore di elettroni è la specie che si ossida (riducente) mentre l'accettore si riduce (ossidante).

---

Un contaminante può essere ossidato o ridotto a seconda dell'ambiente in cui si trova. Generalmente gli ambienti caratterizzati da assenza di aria (dove è limitato il ricambio di ossigeno) sono riducenti: il sottosuolo, i sedimenti acquatici, l'ambiente acquatico (sotto la superficie), ecc. In certi casi contaminanti definiti "persistenti" in condizioni aerobiche si rivelano reattivi e quindi degradabili in un ambiente riducente.

Nel sottosuolo sono tuttavia presenti diverse sorgenti ossidanti quali ossigeno molecolare, ozono, perossidi, radicali idrossilici, ossidi di Si, Al, Fe, Mn, Ti, ecc.

La probabilità che nel sottosuolo avvenga una reazione di ossido-riduzione è funzione del potenziale redox, definito spesso in termini di logaritmo negativo della attività degli elettroni liberi:

$$pE = \log(e^-)$$

Bassi valori di pE indicano una bassa attività degli elettroni e quindi un ambiente povero di elettroni (riducente) mentre alti valori di pE indicano che ci si trova in ambiente ossidante.

### Precipitazione e solubilizzazione

Nelle acque di falda un elemento o un composto possono esistere nelle seguenti forme:

- ioni liberi
- precipitati insolubili
- composti complessi
- specie adsorbite
- ioni trattenuti dal fenomeno di scambio ionico
- specie che differiscono per lo stato di ossidazione

Le condizioni del sottosuolo (pH, potenziale redox, temperatura, ecc.) possono influenzare la solubilizzazione o la precipitazione di composti inorganici. E' quindi molto importante conoscere lo stato delle singole specie presenti nel terreno per potere valutare lo stato di rischio e poter eventualmente attuare un piano di messa in sicurezza della zona.

### **A.3.2. Processi biologici**

I processi biologici sono un insieme di trasformazioni che modificano o degradano i composti inquinanti e avvengono ad opera dei microrganismi.

Molto spesso le reazioni discusse precedentemente, sebbene favorite termodinamicamente, sono sfavorite dal punto di vista cinetico, e quindi procedono molto lentamente.

I microrganismi permettono a tali processi di avvenire più velocemente, intervenendo in due modi:

- abbassando l'energia di attivazione di una reazione
- convertendo determinati composti in specie maggiormente reattive

Vi sono diversi tipi di reazioni microbiologiche, e, a seconda delle condizioni in cui avvengono (presenza o meno di ossigeno), possono essere definite *aerobiche*, *anossiche*, *anaerobiche*.

La reazione generalmente avviene nel biofilm che ricopre il substrato poroso, presente quando i microrganismi trovano condizioni favorevoli di nutrimento ed energia. I microrganismi attaccano le molecole organiche degradandole a composti più semplici: nel caso in cui i prodotti derivanti da biodegradazione siano composti inorganici (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e sali minerali) il processo viene definito *mineralizzazione*.

---

## **ANNESSE B**

### **Metodologie di valutazione della vulnerabilità degli acquiferi applicate all'analisi delle conseguenze ambientali di incidente rilevante**

Per la valutazione della vulnerabilità intrinseca di un acquifero, ossia l'evidenziazione delle zone in cui è maggiore la possibilità di contaminazione delle acque sotterranee da parte di un eventuale inquinante, sono state proposte varie metodologie che nel complesso conducono tutte ad una rappresentazione cartografica e suddivisione del territorio in base ai differenti gradi di vulnerabilità; tutte, considerano la vulnerabilità, legata essenzialmente alla possibilità di penetrazione e propagazione di un eventuale inquinante nell'acquifero e condizionata, quindi, dalla sovrapposizione di due macrofattori dipendenti sostanzialmente da:

- 1) caratteristiche del mezzo non saturo
- 2) caratteristiche idrodinamiche dello acquifero stesso (zona satura).

Alcune metodologie tengono conto anche dell'eventuale presenza di centri di pericolo (pericolosità potenziale intrinseca) e di bersagli sensibili e, analizzandone i rapporti reciproci con la vulnerabilità intrinseca, estendono l'obiettivo della metodologia ad una vera e propria analisi del rischio di contaminazione.

In base ai criteri di analisi dei fattori che concorrono a determinare la vulnerabilità dei corpi idrici sotterranei si usa generalmente suddividere i metodi di valutazione della vulnerabilità intrinseca in:

- Zonazione per aree omogenee
- Metodi parametrici
- Modelli numerici

#### **B.1. Metodi di zonazione per aree omogenee**

Il metodo qui descritto fa esplicito riferimento alla legenda unificata per le carte della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei prodotta in forma preliminare da diversi ricercatori nell'ambito del Progetto VAZAR del CNR-GNDCI (AA.VV, 1988) e quindi nella sua forma bilingue, nel 1990 (Civita, 1990-1994)

In questo tipo di metodo non vengono richiesti parametri numerici ma viene fornito un protocollo che riporta un buon numero di situazioni idrogeologiche collegate ai complessi idrogeologici riscontrabili in ambito nazionale, associando a ciascuna delle situazioni elencate la relativa valutazione della vulnerabilità intrinseca secondo una scala a sei livelli, da estremamente elevato a bassissimo o nullo.

Questo tipo di metodologia utilizza un certo numero di indici litologici, strutturali piezometrici e idrodinamici non rigorosamente quantizzati per descrivere le diverse situazioni idrogeologiche.

Le informazioni riportate riguardano oltre che le modalità di circolazione idrica all'interno dei litotipi, la presenza e il tipo di copertura superficiale, la soggiacenza della falda e la posizione della superficie piezometrica rispetto ai corsi d'acqua.

Inoltre è previsto l'utilizzo di numerose simbologie prestabilite da sovrapporre alla cartografia della vulnerabilità intrinseca in modo da completarla e trasformarla in una carta della vulnerabilità integrata e/o eventualmente del rischio.

Tali simbologie sono relative ad informazioni riguardanti:

- geometria dei corpi idrici deducibili da un approfondito studio idrogeologico della zona



---

stato d'inquinamento reale dei corpi idrici

- Produttori reali e potenziali d'inquinamento dei corpi idrici sotterranei potenziali ingestori e vieicoli d'inquinamento dei corpi idrici sotterranei
- Preventori e/o riduttori dell'inquinamento
- Principali soggetti ad inquinamento (bersagli)

In termini di analisi della vulnerabilità intrinseca questo tipo di metodo sicuramente supporta i pianificatori e i responsabili delle attività produttive, nonché le autorità preposte al controllo nella determinazione della suscettibilità delle risorse idriche sotterranee anche perché risulta calibrato su situazioni reali di contaminazione dei siti. Tuttavia si concorda con lo stesso autore (Civita 1990) nel sottolineare i limiti imposti dalla qualità dei dati geologici e idrogeologici di base, e dalla scala di rappresentazione; in tale metodo, infatti, le condizioni geoambientali di un specifico sito devono essere sempre ricondotte a situazioni idrogeologiche standard di carattere regionale e comunque valide in un contesto a grande denominatore di scala, di conseguenza l'estrapolazione su scala locale/puntuale, come ad es. uno stabilimento, può condurre a risultati discordanti.

A tale proposito si sottolinea che per ovviare a questo inconveniente esiste anche una tecnica chiamata "Metodica Unificata" che correla le classi di vulnerabilità ottenute con il metodo parametrico SINTACS (descritto nel paragrafo successivo) con la legenda del CNR-VAZAR, ridotta, per tale scopo, da 6 a 4 classi di vulnerabilità.

## **B.2. Metodi parametrici**

Sono i metodi più utilizzati; essi comprendono diversi metodi di calcolo quali sistemi a matrice semplice (MS), sistemi a punteggio semplice (RS) e sistemi a punteggi e pesi (PCSM).

Il principio è sempre lo stesso, vengono individuati e selezionati i parametri idrogeologici che influiscono sulla vulnerabilità tenendo conto della validità dei dati a disposizione, e a ciascun parametro, suddiviso per valori classi di appartenenza e/o tipologie dichiarate, viene attribuito un punteggio (solitamente compreso tra uno e 10) che varia in funzione dell'importanza del ruolo svolto dal singolo parametro nei confronti della vulnerabilità; i punteggi così ottenuti vengono o incrociati a matrice o sono tra loro sommati direttamente (sistemi a punteggi semplice), o sommati dopo essere stati moltiplicati per pesi o stringhe di pesi che esprimono la misura della importanza dei vari parametri con la vulnerabilità (sistemi a punteggi e pesi).

Elemento comune a questi metodi è la suddivisione del territorio in unità elementari o celle per ognuna delle quali si valuta il valore del parametro d'ingresso.

La scelta delle dimensioni delle celle varia in funzione della scala operativa e dal grado di dettaglio delle informazioni acquisite per ciascun parametro.

Esempi di metodi parametrici a punteggi e pesi sono il metodo GOD, il metodo DRASTIC e il metodo SINTACS.

Il metodo GOD di Foster (1987) consente di ottenere in maniera molto pratica una classificazione delle vulnerabilità operando su tre fattori.

- Tipo di acquifero (libero, confinato, semiconfinato)
- Grado di consolidazione e caratteri litologici della zona non satura
- Profondità della falda

### *Il metodo DRASTIC*

Il metodo DRASTIC proposto da Aller per l'USEPA (1987) tiene in considerazione sia le caratteri-

---

stiche della copertura che quelle dell'acquifero stesso suddividendole in 7 parametri. Il metodo infatti prende in considerazione:

**D**- Profondità della falda (Depth)- Una falda superficiale è molto più suscettibile alla contaminazione rispetto ad una falda profonda.

**R** -Ricarica netta- La ricarica di una falda è il meccanismo che determina la capacità di trasporto di un inquinante sulla superficie falda; maggiore è la ricarica netta maggiore è la probabilità che esso venga veicolato sulla superficie della falda.

**A** -Litologia dell'acquifero- Le caratteristiche delle terreno acquifero influisce sul grado di movimento e di attenuazione del contaminante.

**S** -Suolo- La tipologia e lo spessore della coltre superficiale di suolo condizionano la veicolazione dell'acqua e del contaminante sulla superficie dell'acquifero (zona satura); una coltre di suolo spessa e caratterizzata da materiali argillosi e siltosi incrementa notevolmente il tempo di arrivo in falda di un contaminante.

**T** -Topografia (pendenza)- Una forte pendenza favorisce il dilavamento della sostanza contaminante riducendo il tempo di accumulo sulla coltre di suolo e impedendo la penetrazione nella zona insatura e la migrazione nella zona satura.

**I** -Impatto della zona vadosa o insatura- Spessore e caratteristiche della zona insatura condizionano il tempo ed il quantitativo di contaminante veicolato sulla superficie della falda anche per l'innescarsi di fattori di attenuazione.

**C** -Conducibilità idraulica- La conducibilità idraulica condiziona la velocità di spostamento dell'acqua nell'acquifero.

Il risultato è una mappa tematica suddivisa in unità areali o "celle" per ciascuna delle quali si calcola l'indice di vulnerabilità "Drastic"  $I_D$  espresso come risultante dalla sommatoria del fattore  $i$ -esimo  $F$  moltiplicato per il relativo peso  $w_i$  secondo la relazione.

$$I_D = \sum w_i * F_i$$

*Il metodo SINTACS*

Il metodo SINTACS di Civita et al. (1990) è un adattamento del metodo DRASTIC alle complesse realtà idrogeologiche che si riscontrano sul territorio italiano.

L'acronimo SINTACS è rappresentativo di tutti i parametri che vengono considerati nella valutazione che sono:

1. Soggiacenza
2. Infiltrazione efficace
3. Non saturo (effetto di autodepurazione del)
4. Tipologia della copertura
5. Acquifero (caratteristiche del mezzo)
6. Conducibilità idraulica
7. Superficie Topografica (acclività della)

Per ciascun parametro utilizzato, suddiviso per intervalli di valori e e/o per tipologie dichiarate, viene attribuito un punteggio crescente in ragione dell'importanza che esso assume nella valutazione complessiva del rischio. I valori dei parametri possono essere ottenuti o attraverso abachi o attraverso campagne di misura in campo.

---

La struttura modulare del SINTACS è stata concepita per potere usare varie stringhe di pesi elaborate in modo tale da amplificare in maniera differenziata i diversi parametri a seconda del differente peso che essi possono avere in diversi contesti idrogeologici e situazioni d'impatto.

Per ciascuna cella della griglia con cui si suddivide il territorio d'interesse si calcolano i punteggi relativi ai parametri utilizzati, si identifica uno degli scenari idrogeologici e/o d'impatto e si assume la relativa stringa di peso in modo da ottenere l'indice di vulnerabilità SINTACS con la stessa relazione del prevista dal metodo DRASTIC:

$$I_{\text{SINTACS}} = \sum w_i * F_i$$

Al termine del calcolo si esegue la normalizzazione degli indici esprimendoli in percentuale e si procede alla classificazione del territorio in base ai 6 gradi di vulnerabilità intrinseca che vanno da molto basso a molto elevato a secondo del punteggio ottenuto.

I metodi parametrici a punteggi e pesi si rivelano particolarmente efficienti e forniscono informazioni complete con un grado di attendibilità direttamente correlato con l'accuratezza e con la scala di acquisizione delle informazioni. Un sufficiente grado di dettaglio delle misure è infatti necessario per poter giustificare l'applicazione di una maglia di calcolo di dimensioni idonee per rappresentare i vari livelli di vulnerabilità alla scala dello stabilimento, tenendo sempre presente, in quest'ultimo, caso l'incremento dei tempi e dei costi d'indagine.

Un notevole vantaggio di tali metodi risiede nella loro flessibilità. Infatti il criterio di analisi adottato per il calcolo della vulnerabilità intrinseca consente di inserire ulteriori parametri correlati con la presenza di sorgenti di inquinamento e con i bersagli sensibili; tali parametri opportunamente quantificati e pesati (ad esempio sulla base della tipologia e delle quantità di sostanza stoccata ovvero dell'importanza degli elementi vulnerabili) possono trasformare tali tecniche in vere e proprie analisi del rischio.

I metodi parametrici, ampiamente utilizzati in ambito nazionale e internazionale sollevano tuttavia alcune perplessità dovute sia alla discrezionalità con cui vengono assegnati i punteggi, sia perché generano carte tematiche dalle quali resta comunque difficile interpretare se la vulnerabilità di una area è bassa perché l'acquifero è ben protetto o perché possiede scarsa attitudine a diffondere un eventuale inquinante o, ancora, se si verificano entrambe queste condizioni.

Il metodo SINTACS tra quelli descritti riduce la soggettività fornendo stringhe di pesi "pronte all'uso" a seconda del tipo d'impatto e del contesto idrogeologico in cui si opera.

#### *Il metodo E.A.I.*

Un altro metodo che fornisce indicazioni preliminari per la valutazione della vulnerabilità potenziale di impianti di stoccaggio e trasporto di prodotti chimici è il metodo EAI Environmental Accidents Index proposto dalla *Divisione Difesa NBC del Defence Research Establishment della Svezia* nel 1998.

L'EAI è un metodo di valutazione preliminare del rischio di tipo parametrico che consente di definire, sulla base dei valori che assume l'indice, il livello di rischio associato a determinate situazioni ambientali presenti nel sito e decidere l'utilizzo o meno di tecnologie di analisi più sofisticate.

L'EAI prende in considerazione indicatori, quali il carico inquinante, le caratteristiche chimico fisiche e tossicologiche delle sostanze stoccate, alcune caratteristiche del suolo e la distanza dai ricettori sensibili (pozzi laghi corsi d'acqua con l'esclusione del comparto marino) che concorrono ad incrementare la magnitudo degli effetti di un incidente

La formula  $EAI = Tos \times Am \times (Con + Sol + Sur)$  prende infatti in considerazione i seguenti parametri:

---

Tos: Effetto Tossicità acuta delle sostanze stoccate/trasportate espressa in LC50 o EC50

Am: Quantità totale stoccata o circolante di prodotto espressa in tonnellate

Sol è il parametro che tiene conto dell'effetto solubilità del prodotto

Con è il parametro che tiene conto dell'effetto viscosità del prodotto

Sur è il parametro che tiene conto delle caratteristiche ambientali intrinseche della zona circostante vale a dire:

- Distanza in metri da pozzo, lago e corso d'acqua
- Soggiacenza della falda
- Direzione dell'acqua di falda: se verso il ricettore pozzo, lago, corso d'acqua o linea di costa.
- Litologia del suolo e spessore dello strato

Il punteggio ottenuto con la formula EAI consente di definire 3 livelli di approfondimento progressivo dell'analisi:

1. per valori EAI compresi tra 0 e 100 si realizza l' Hazard Analysis delle caratteristiche intrinseche del prodotto
2. » tra 100 e 500 si deve effettuare un Introductory Risk assessment
3. » > 500 Advanced Risk assessment

Il metodo EAI, diversamente dagli altri metodi di calcolo della vulnerabilità degli acquiferi, prende in considerazione anche aspetti associati alle caratteristiche della sorgente inquinante nella fattispecie quantità e natura delle sostanze stoccate. Viceversa non fornisce parametri di valutazione su aspetti di tipo gestionale o di manutenzione i quali risultano essere determinanti nell'incrementare la pericolosità di un incidente e sui quali è possibile intervenire preventivamente ai fini della riduzione del rischio.

Un'ulteriore lacuna del metodo EAI risiede nell'oggettiva difficoltà di calibratura del metodo stesso, che di fatto non fornisce elementi sufficienti per dimostrare un'effettiva correlazione tra l'indice e il rischio di propagazione nell'ambiente di sostanze tossiche.

Il tentativo di correlare il valore del parametro (Con+ Sol + Sur), cosiddetta *Spreading part* (parte dispersa), con la quantità di sostanza che rimane nell'ambiente (sottosuolo e acque sotterranee) dopo la bonifica non risulta tecnicamente fattibile in quanto l'inquinamento residuo dipende, oltre che dai numerosi fattori geo-ambientali visti in precedenza, anche dalla metodologia di bonifica.

#### *Il metodo V.O.C.*

Il metodo V.O.C. proposto da De Luca e Verga (1991), descritto di seguito, non è un vero proprio metodo parametrico ma sembra prestarsi meglio per una valutazione delle conseguenze ambientali immediate di un incidente rilevante in quanto consente di definire la vulnerabilità intrinseca sulla base delle velocità di propagazione verticali e orizzontali di una sostanza contaminante.

Il metodo si rivela particolarmente adeguato per l'analisi di rischio dal momento i parametri che intervengono, tempo di arrivo in falda e velocità di propagazione orizzontale, consentono di fornire indicazioni in merito alla definizione spaziale (localizzazione) e temporale (predizione) dello sviluppo e dell'intensità del rischio contaminazione con la possibilità quindi di individuare con relativa facilità le aree di danno.

Il metodo V.O.C. distingue la vulnerabilità degli acquiferi in due "vettori" distinti:

- *vulnerabilità verticale,*

---

• *vulnerabilità orizzontale*,  
per poi correlarli nel calcolo della *vulnerabilità complessiva*.

La vulnerabilità verticale di un acquifero rappresenta la facilità con cui quest'ultimo può essere raggiunto da un inquinante immesso dalla superficie del suolo e quindi la penetrazione avviene attraverso un tragitto prevalentemente verticale attraverso la zona non satura.

Il parametro più adatto per quantificarne il grado è rappresentato dal tempo teorico di arrivo di un eventuale inquinante dalla superficie del suolo all'acquifero espresso secondo la relazione:

$$t_{\text{v}} = S / V_i$$

dove

$t_{\text{v}}$  = tempo di arrivo

$S$  = soggiacenza

$V_i$  = velocità di infiltrazione in km/anno

Sulla base dei tempi di arrivo si possono distinguere tre classi di vulnerabilità:

Tempo di arrivo	Vulnerabilità verticale
> 10 anni	da bassa a molto bassa
1 - 10 anni	media
< 1 settimana	da alta ad elevata

La vulnerabilità orizzontale rappresenta la facilità con cui l'acquifero può diffondere un eventuale inquinante che l'abbia raggiunto; in tale fase la propagazione avviene essenzialmente attraverso un percorso prevalentemente orizzontale lungo la direzione di deflusso della falda.

Uno dei parametri che può quindi quantificare la vulnerabilità orizzontale è pertanto la velocità di deflusso delle acque sotterranee che può essere determinata sperimentalmente mediante prove in sito oppure attraverso la relazione valida per i mezzi porosi:

$$V = K * i / h$$

dove:

$V$  = velocità in Km/anno

$K$  = conducibilità idraulica (m/sec)

$i$  = gradiente idraulico

$h$  = porosità efficace

Analogamente alla vulnerabilità verticale anche per la vulnerabilità orizzontale si possono tentare di definire tre classi di vulnerabilità:

Velocità Orizzontale (Km/anno)	Vulnerabilità orizzontale
< 0,1	da bassa a molto bassa
1-10	media
>10-100	da alta ad elevata

La vulnerabilità complessiva, rappresenta infine la suscettività di un acquifero a ricevere ed a trasmettere un inquinante, tiene quindi conto sia della protezione offerta dalla zona non satura che della facilità con cui un inquinante può trasmettersi all'acquifero. Può quindi essere definita dalla relazione:

---

$$V_c = V / t_a$$

dove

$V_c$  = vulnerabilità complessiva

$V$  = velocità in Km/anno

$t_a$  = tempo di arrivo

Il metodo risulta particolarmente efficace in quanto consente di definire in maniera separata due dei principali fattori che concorrono alla vulnerabilità intrinseca di un acquifero, propagazione nel mezzo non saturo e nel mezzo saturo ponendoli in relazione alle velocità verticali e orizzontali.

Un limite del metodo può essere apparentemente costituito dal fatto che esso si basa sulla legge di Darcy e quindi sull'ipotesi di propagazione in un mezzo poroso, omogeneo e isotropo, non adattandosi bene alle rocce fratturate dove il flusso dell'acqua avviene per massima parte attraverso vie preferenziali come le fratture. Tale difficoltà può essere superata intervenendo con indagini volte alla misurazione diretta delle velocità di flusso verticale e orizzontale (prove di infiltrazione, uso dei traccianti, flussimetri ecc.).

#### *Metodo della perimetrazione delle aree di salvaguardia delle opere di captazione*

Un altro metodo che fornisce elementi utili per la definizione della vulnerabilità di elementi ambientali in prossimità di centri di pericolo è quello che permette di definire la perimetrazione delle aree di salvaguardia coinvolte nella tutela delle acque destinate all'approvvigionamento idrico potabile così come richiamato nell'accordo del 12 Dicembre 2002 stipulato nell'ambito della Conferenza permanente per i rapporti tra Stato, Regioni e Province Autonome "Linee Guida per la tutela delle acque destinate a consumo umano e criteri generali per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle risorse idriche di cui all'articolo 21 del Decreto Legislativo 11 maggio 1999 n° 152".

Essa può essere stabilita adottando uno dei seguenti criteri:

- a. criterio geometrico;
- b. criterio idrogeologico,
- c. criterio temporale.

Il criterio *geometrico* consiste nella realizzazione di fasce di rispetto circolari e concentriche alla sorgente. Tale metodo privilegia la tutela dalla contaminazione di tipo batterico, in quanto la riduzione degli inquinanti biologici è tanto maggiore quanto più elevato è il percorso sotterraneo compiuto dai microrganismi e quindi il tempo di permanenza nell'acquifero. Il pregio di questo criterio è dovuto essenzialmente alla facilità di esecuzione, ma poiché considera solo marginalmente gli aspetti idrogeologici la sua applicazione risulta insufficiente ai fini della salvaguardia in presenza di sostanze inquinanti non biodegradabili, pertanto non in grado di garantire dalla contaminazione (sottodimensionamento) e di contro può penalizzare troppo un'area (sovradimensionamento). Per tali motivazioni questo criterio è applicato solamente per la delimitazione della zona di tutela assoluta, nelle immediate vicinanze della fonte (cerchio di raggio pari a 10-20 metri).

Il criterio idrogeologico, a differenza del precedente, considera le relazioni intercorrenti tra la struttura idrogeologica ed il moto delle acque sotterranee. E' finalizzato alla protezione dell'intero bacino di alimentazione dell'opera di captazione ed è quello che consente la migliore tutela delle acque di falda, ma risulta di difficile attuazione a causa della complessità della struttura idrologica e della presenza nel territorio di varie attività antropiche.

Infine il criterio *temporale* consiste nella delimitazione delle aree utilizzando come elemento di individuazione il tempo di ritardo o tempo di sicurezza, ovvero, una volta determinata la velocità con

---

cui avviene il moto di filtrazione, si valuta lo spazio percorso da un inquinante in un tempo pari a quello necessario per predisporre ed attuare interventi di bonifica e di salvaguardia. E' da sottolineare che durante tale tempo di percorrenza si ha una diminuzione della concentrazione della sostanza contaminante.

Il tempo di sicurezza è dato dalla somma di due distinti tempi: di emergenza (indicato con  $t_1$ ) utilizzato per l'individuazione della zona di tutela assoluta, e di allarme (indicato con  $t_2$ ), impiegato invece per la definizione dell'area di rispetto.

Il criterio cronologico è, ovviamente, quello maggiormente consigliabile poiché consente una delimitazione delle zone con pari livello di rischio, ossia con un medesimo tempo di arrivo alla fonte. La prima difficoltà è quella di stabilire quale tempo di percorrenza delle particelle fluide debba essere considerato come tempo di sicurezza. Si possono infatti individuare: il tempo impiegato dalle acque inquinate per raggiungere la superficie della falda, il tempo occorso ad un inquinante per arrivare alle opere di captazione dall'istante in cui è pervenuto alla superficie della falda, ed il tempo impiegato per raggiungere le opere di captazione dall'istante in cui la sostanza contaminante è stata versata sul suolo (quest'ultimo, ovviamente, risulta essere la somma dei due tempi precedenti). Per la delimitazione delle zone di rispetto si adotta la seconda definizione, ovvero si ammette che l'inquinante sia direttamente immesso nella falda nella zona di saturazione (l'ipotesi non si allontana molto dalla realtà, nel caso si considerino falde alimentate da fiumi o interessate da pozzi perdenti) e si ritiene coerente l'assunzione di moto in falda prevalentemente orizzontale come schematizzazione del modello completamente saturo. Le ipotesi che comunemente sono assunte per lo studio risultano cautelative: si considera infatti che il mezzo poroso sia saturo e che la sostanza inquinante sia incapace di influenzare il campo di moto e di scambiare massa con le fasi fisse della matrice porosa (soluti non reattivi), al contrario non si tiene conto della capacità autodepurativa del terreno e dei meccanismi fisico-chimici, biochimici, radioattivi tra il contaminante e l'acqua e tra il contaminante ed il mezzo, poiché risulta praticamente impossibile la valutazione del grado di attenuazione del potere inquinante ed in generale i processi citati operano abbassando il colmo di concentrazione e ritardando il tempo di trasporto.

Secondo la normativa precedentemente richiamata le zone che devono essere definite sono quelle di tutela assoluta, di rispetto (ristretta e allargata) e di protezione. La perimetrazione delle fasce di *tutela assoluta* è realizzata secondo il criterio geometrico, ed è di 10 metri mentre *la zona di rispetto ristretta e allargata* può essere delimitata attraverso l'individuazione delle linee isocrone, ovvero il luogo dei punti caratterizzati da un uguale tempo di percorrenza. Scelto un valore caratteristico del tempo di percorrenza ogni particella posizionata sul perimetro di tali zone impiega il medesimo tempo per giungere alla captazione. Per la *zona di rispetto ristretta* è stato adottato un tempo di sicurezza di 60 giorni mentre per la *zona di rispetto allargata* è stato adottato un tempo di sicurezza di 180–360 giorni considerando il pericolo di contaminazione e la protezione della risorsa. Nel caso si adotti il criterio geometrico per la delimitazione delle zone di rispetto viene utilizzata una distanza non inferiore ai 200 metri. *La zona di protezione* viene definita in base a studi idrochimici ed idrogeologici che tengono conto dell'importanza dell'opera di captazione e della aree di ricarica. Questo metodo di protezione (basato sulla perimetrazione delle aree) è generalmente indicato con il termine di *protezione statica* ed i vincoli e le limitazioni che in tali zone vengono imposti hanno lo scopo di escludere l'insorgere di un processo di inquinamento all'interno delle suddette aree. Tuttavia non è assicurato che le fonti di inquinamento esterne possano esaurire i loro effetti prima di giungere alla captazione. Per ovviare a questo inconveniente e per potere limitare l'estensione delle zone soggette a rischio è spesso adottato un secondo criterio definito *protezione dinamica*. Tale metodo com-

---

porta l'utilizzo di un sistema di controllo lungo il perimetro delle aree delineate con il criterio statico, impiegando pozzi e piezometri esistenti o da realizzare, sui quali procedere a controlli della qualità delle acque, con una periodicità delle rilevazioni in relazione al tempo di sicurezza scelto. E' chiaro che una maggior frequenza dei controlli comporta un indubbio incremento dei costi di gestione per la tutela delle acque, ma permette una limitazione all'estensione della zona da sottoporre a restrizioni in quanto è possibile scegliere un tempo di sicurezza ridotto. Al contrario i controlli più diradati necessitano di tempi di sicurezza più elevati ed assegnano maggiore importanza alla protezione di tipo statico con il conseguente incremento delle aree oggetto di divieti e di regolamentazioni.

Un accenno particolare, in ragione degli obiettivi del presente documento, è rivolto alle aree urbanizzate dove spesso risultano presenti delle situazioni di incompatibilità tra gli insediamenti presenti ed i vincoli di tempo da imporre. In tale caso le zone di tutela vengono definite privilegiando il metodo dinamico, rispetto quello statico che risulta di minore efficacia.

### **B.3. Modelli numerici**

I modelli numerici descrivono in termini quantitativi il comportamento ed il destino di un inquinante nell'ambiente.

Quelli più validi e più utilizzati a livello nazionale e internazionale presuppongono la conoscenza di un grande numero di parametri d'ingresso relativi alle caratteristiche chimico-fisiche delle sostanze ed alle condizioni geo-ambientali del sito.

Tra questi, rispondono alle esigenze e obiettivi indicati nel presente documento:

- i modelli che simulano il flusso della falda in condizioni stazionarie (cautelative) introducendo condizioni a contorno come la ricarica dell'acquifero, limiti idrogeologici ecc.,
- i modelli che simulano, abbinandolo al flusso, il trasporto e le variazioni di concentrazione degli inquinanti.

Tra i modelli di flusso più utilizzati citiamo sicuramente:

- ✓ i codici WHPA, WHE, CZAEM, (semianalitici) di semplice utilizzo in quanto consentono di simulare il flusso bi-dimensionale di una falda senza ricorrere all'uso di una griglia prefissata inserendo semplici condizioni a contorno
- ✓ il MODFLOW, il MODPATH, e il GPTRAC perché consentono di eseguire l'analisi di flusso in 2-D ed in 3-D introducendo eterogeneità, anisotropie e condizioni a contorno anche complesse,

Tra i modelli di trasporto abbinati a quelli di flusso citiamo il MOC, il PATH 3D e l'MT3D che permettono di simulare le variazioni di concentrazione causate dalla dispersione dell'inquinante nell'acquifero.

Uno dei vantaggi dell'applicazione di tali modelli risiede nel fatto che consentono anche di simulare l'eventuale effetto indotto dalla presenza di barriere statiche (diaframmi impermeabili) e dinamiche (pozzi barriera) facilitando quindi la programmazione (in termini di posizionamento e dimensionamento) delle misure preventive a protezione della falda in caso di incidente.

Sebbene rappresentino un metodo di valutazione del rischio affascinante perché consentono di eseguire simulazioni che descrivono in modo quantitativo e ben visibile le caratteristiche di propagazione di un'inquinante, i metodi numerici hanno il grosso limite di richiedere nel calcolo un elevato numero di parametri che variano anche drasticamente nello spazio e nel tempo.

In pratica per ottenere un risultato attendibile è necessario disporre di un grande numero di punti di



---

misura e di più misurazioni nell'arco di tempo (almeno un anno), basti pensare alla variazioni della morfologia della superficie piezometrica della falda indotte dalle escursioni stagionali, dagli eventi meteorici, dalle maree nelle zone costiere, ecc..

E' da sottolineare a tale proposito che uno dei maggiori problemi comuni alla maggior parte dei modelli vi è proprio la descrizione dell'idrogeologia di un'area che non è mai assimilabile, soprattutto in complesse situazioni idrogeologiche come quelle presenti sul territorio nazionale, ad un sistema poroso omogeneo e isotropo. A ciò si aggiunge l'azione di disturbo indotta alla morfologia della falda dalla presenza di strutture interrato nelle aree dove l'acquifero è quasi a livello campagna (fondazioni, serbatoi interrati, condotte, ecc.).

Da quanto detto sopra emerge quindi la necessità di porre estrema attenzione nell'applicazione di tali modelli nella valutazione del rischio di contaminazione in un sito industriale, il che equivale a disporre di un elevato livello conoscenza del sito.

Alla luce di quanto detto e viste le finalità del presente lavoro il loro utilizzo risulta sicuramente più adatto in una successiva fase di approfondimento, laddove cioè l'eventuale criticità di una situazione identificata mediante un metodo semplificato, giustifica l'onere dell'acquisizione di ulteriori informazioni.

#### *Il modello HSSM dell'EPA*

Tale metodo fa riferimento al software HSSM sviluppato dall'EPA in collaborazione con il dipartimento di Ingegneria Civile del Texas.

HSSM è basato su una concettualizzazione semplificata del rilascio di una sostanza inquinante. Il rilascio riguarda esclusivamente sostanze più leggere dell'acqua nella fattispecie LNAPL (cfr. Annesso A).

Il modello è composto da tre moduli differenti.

KOPT, Kinetic Oily Pollutant Transport, modella il trasporto verticale dal suolo alla superficie della falda.

Le ipotesi che vengono assunte sono:

1. Il rilascio avviene in quantità tale da formare una fase fluida distinta dall'acqua;
2. Il flusso è mono dimensionale con direzione verticale;
3. la diffusione capillare laterale è trascurata (stima conservativa della quantità e tempo per raggiungere la falda);
4. Il terreno è omogeneo;
5. Il rilascio ha forma circolare e può avvenire in tre modalità:
  - Portata costante.
  - Volume noto posto ad una certa profondità.
  - Pozza di altezza costante per un tempo fissato.

OILENS modella la formazione e l'evoluzione della lente oleosa sulla superficie della falda.

Le ipotesi assunte sono:

1. La sorgente è circolare e con portata di inquinante variante con il tempo;
2. La dispersione del contaminante è radiale e non è influenzata dal gradiente idraulico;
3. La forma della lente è determinata dall'ipotesi di Dupuit dove il flusso è orizzontale ed il gradiente è approssimato dalla differenza in altezza della lente nello spazio;
4. Il terreno è omogeneo.

---

TSGPLUME, Transient Source Gaussian Plume, modella il trasporto e la dispersione del contaminante come miscela (es. benzina) e di uno dei componenti della miscela stessa (es. benzene)

Le ipotesi assunte sono:

1. La sorgente dell'inquinante è una curva gaussiana modellata con i dati di output forniti da OI-LENS in modo tale da mantenere costante il flusso di massa tra i due moduli;
2. Il flusso avviene in un piano orizzontale ed è mediato verticalmente sulla profondità di penetrazione stimata;
3. Il terreno è omogeneo.

Il modello HSSM predisposto dall'EPA, a differenza degli altri modelli matematici precedentemente descritti, non necessita di un elevato numero di parametri e pertanto si rivela particolarmente utile per introdurre, in fase di Advanced Risk Assessment, gli opportuni fattori di correzione alla stima del tempo di arrivo in falda e della velocità di migrazione orizzontale ottenuti dalle risultanze del metodo speditivo proposto in questa sede.

#### **B.4 Il metodo predisposto dalla Direzione Generale della Protezione Civile della Spagna**

Il metodo qui descritto merita una citazione in una sezione specifica in quanto contiene una proposta di metodologia di analisi di rischio che traduce e integra l'approccio probabilistico quantitativo per la valutazione delle frequenze associate agli scenari incidentali e l'utilizzo di modelli matematici per la valutazione delle conseguenze ambientali in una tecnica ispirata ai metodi parametrici a punteggi e pesi (metodi ad indici). In sostanza il principio del metodo si basa sull'assunto classico che il pericolo per l'ambiente indotto da incidenti rilevanti è una funzione del tipo probabilità/conseguenze ( $P \cdot M$ ) dove il fattore  $P$  è costituito dall'analisi delle frequenze degli scenari incidentali e il fattore  $M$  è ottenuto attraverso il calcolo di un indice, l'E.C.G.I. Environmental Consequence Global Index, costituito da una serie di componenti correlate con le sorgenti di rilascio, le vie di trasporto ed i bersagli, vedi tab B.I.:

Tab B.I.

FATTORI/COMPONENTI DI RISCHIO			PARAMETRI DI MISURA
Probabilità di Accadimento			Classi di Frequenza
E.C.G.I.	Sorgenti di rischio	Proprietà chimiche delle sostanze	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Tossicità Acuta (L(E)CS<sub>0</sub>)</li> <li>+ Mobilità (log P)</li> <li>+ Bioconcentrazione (log BCF)<sub>e</sub></li> <li>+ Adsorbimento (log K<sub>ow</sub>)</li> <li>+ Biodegradazione (BD)</li> </ul>
		Quantità di sostanza coinvolta Sistema di controllo Primario	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Quantità coinvolta</li> <li>+ Sistema di controllo Primario *</li> </ul> <p><i>* Azionato alla sorgente rischio alla quale si affonda una sub-componente che permette la correzione (primary control system) dei quantitativi di sostanze involontariamente coinvolti. E' un fattore di compensazione, da attribuire alla quantità di sostanze involontariamente coinvolte, che descrive l'efficienza dei sistemi per il controllo dei rischi accidentali.</i></p>
	Vie di migrazione (Trasporto)	Estensione del danno	Si ottiene dalle risultanze dell'applicazione di modelli di dispersione delle sostanze
	Bersagli	Vulnerabilità Ambientale	<p>Associazione correlativa di qualità degli elementi ambientali vulnerabili</p> <p>Prende in considerazione sia il rischio somario sia il rischio per l'ambiente.</p> <p>Per quanto concerne il rischio per l'ambiente si considerano come parametri correlati:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Le Aree Naturali protette</li> <li>+ Le specie Protette</li> <li>+ La reversibilità del danno</li> <li>+ L'impatto socio economico derivato dall'alterazione delle risorse naturali.</li> </ul>

L'elenco dei parametri di misura della probabilità e delle componenti che costituiscono e l'ECCI sono riportati nell'ultima colonna della tabella.

L'indice di Probabilità si ottiene mediante la suddivisione in cinque classi delle frequenze di accadimento associate a ciascun scenario.

L'indice ECGI viene calcolato mediante la sommatoria pesata dei punteggi, attribuiti a ciascuna delle componenti sopra elencate, successivamente normalizzata a 20.

Tab.B.II

COMPONENTE	PUNTEGGIO	PESO
Sorgenti di rischio	1-12	0.30
Trasporto	1-8	0.20
Bersagli	1-20	0.50

Il prodotto tra i due indici permette di definire l'E.R.I. Environmental Risk Index, dal cui valore da 1 a 100 è possibile stabilire la classe di rischio di appartenenza dello stabilimento:

- Zona di Rischio Accettabile,
- Zona di allarme,
- Zona di Rischio non tollerabile

L'approccio metodologico proposto dalla Direzione Generale della Protezione Civile spagnola non introduce sostanziali novità rispetto ad altri metodi descritti nelle sezioni precedenti. Molte sono, ad esempio, le analogie tra E.C.G.I. e l'E.A.I. proposto dalla *Divisione Difesa NBC del Defence Research Establishment della Svezia* nel 1998 e descritto nella sezione precedente. Entrambi, infatti, considerano come elementi principali correlati con il rischio gli effetti di tossicità acuta della sostanza, le quantità e le caratteristiche di mobilità delle sostanze nonché le caratteristiche geoambientali del territorio. L'approccio dalla Protezione Civile spagnola tuttavia non può considerarsi un vero approccio semplificato, a differenza del metodo proposto dalla scuola svedese, dal momento che affronta gli aspetti legati la valutazione delle probabilità d'incidente ed alla dispersione delle sostanze nell'ambiente da un punto di vista quantitativo facendo chiaro riferimento nel primo caso all'utilizzo delle frequenze di accadimento e nel secondo ai modelli matematici di dispersione degli inquinanti con tutte le incertezze che, come ampiamente spiegato nel presente documento, derivano dall'applicazione di questi metodi.

Valgono, inoltre, le considerazioni già riportate nella sezione precedente per i modelli numerici e per il metodo EAI, soprattutto, per ciò che concerne la soggettività nell'attribuzione dei punteggi e dei pesi non supportata, se non per il *case study* della miniera di Aznaicollar, da una statistica consolidata.

---

## ANNESSO C

### Parte 1

#### C.1 Misure preventive impiantistico gestionali

In riferimento agli scenari più comuni individuati dall'analisi storica relativa ad incidenti, quasi incidenti e anomalie sono state individuate alcune raccomandazioni per lo stoccaggio e la movimentazione di sostanze eco-tossiche, anche sulla base di prescrizioni impartite dalle Autorità di Controllo:

##### C.1.1 Generali

- Idonee aree di manovra (Norme per la circolazione interna e adeguata cartellonistica);
- Idonee aree di travaso (superfici adatte allo stazionamento dei mezzi, pavimentate e impermeabili, cordonate, con pendenze o grigliature verso serbatoi o vasche di raccolta non connessi direttamente con la rete fognaria; sensoristica per la rilevazione delle perdite);
- Dotazioni di sicurezza e attrezzature per il recupero (inerti, additivi, particolari, ecc..) in loco ed in posizione facilmente accessibile;
- Stoccaggi compartimentati;
- Serbatoi dotati di misuratore di livello collegato con allarmi di alto livello (locale e in sala quadro) con blocco automatico della pompa di trasferimento;
- Serbatoi interrati conformi ai contenuti tecnici del D.M. 246/99 (annullato con sentenza della Corte Costituzionale n. 266 del 19 luglio 2001);
- Tubazioni interrate conformi ai contenuti tecnici del D.M. 246/99 (annullato con sentenza della Corte Costituzionale n. 266 del 19 luglio 2001);
- Tubazioni interrate incamiciate o con sistema equivalente;
- Linee con valvole di sezionamento, guarnizioni in teflon e premistoppa, pressostati e blocco pompa per alta pressione nelle tubazioni;
- Pompe con pozzetti di raccolta e pressostati di massima e di minima a monte e a valle;
- Procedure operative di carico scarico e di emergenza in caso di sversamenti/rilasci;
- Procedure di manutenzione.

##### C.1.2. Di dettaglio

- Installazione di valvole motorizzate sulle linee di ricezione/aspirazione prodotto dai serbatoi;
- installazione di sistemi indipendenti di controllo automatico del livello del prodotto nei serbatoi per la segnalazione di alto livello e di altissimo livello con blocco del trasferimento del prodotto al serbatoio;
- Possibilità di travaso in emergenza del prodotto da un serbatoio all'altro, nonché verso altri impianti simili della zona, attraverso comandi remoti di apertura/chiusura valvole ed avviamento delle pompe. I sistemi motorizzati di manovra nonché le stesse valvole devono essere in grado di mantenere la propria efficienza anche se sottoposti al cimento termico collegato al massimo evento incidentale prevedibile;
- Installazione di un sistema di rilevatori di rilasci idrocarburi (benzina) nei bacini di contenimento dei serbatoi e nella trincea tubazioni;
- Attivazione degli impianti antincendio con comandi remoti direttamente dalla sala controllo, in assenza, le postazioni ad attivazione manuale dovranno essere opportunamente protette da eventuali irraggiamenti;
- Installazione di lance schiuma nei bacini dei serbatoi di categoria A;

- Installazione di un impianto di rivelazione incendi nelle aree destinate ai gruppi di pompaggio prodotti e sulle vasche di recupero prodotto che attivi in automatico l'impianto a schiuma;
- Verifica delle potenzialità delle risorse idriche antincendio atte a fronteggiare un incendio di serbatoio con raffreddamento di quelli esposti almeno in un raggio pari al doppio del diametro del serbatoio incendiato e per una durata corrispondente al rateo di combustione dell'intero serbatoio;
- Verifiche strutturali di tutti i serbatoi (sollecitazione di esercizio, sollecitazione a collaudo, sollecitazione sismica, sollecitazione di schiacciamento delle virole di base, sollecitazione sulla saldatura sul fondo);
- Verifica dei tetti galleggianti riferita all'affondamento del tetto per peso proprio e carichi accidentali, all'affondamento del tetto per inefficienza delle casse d'aria, alla verifica della sollecitazione sulla lamiera inferiore dei cassoni del tetto sotto la spinta idrostatica;
- Verifica dei tetti fissi riferita alla sollecitazione del tetto per peso proprio e carico accidentale nonché la verifica a sollecitazione sismica. Dovrà procedersi alla verifica di tutte le valvole di respirazione in modo da poter escludere eventi di implosione dei serbatoi di gasolio;
- Verifica di verticalità per tutti i serbatoi secondo standard API 653, indirizzata alla misura dello scartamento tra il punto inferiore e superiore del serbatoio;
- Verifica della possibilità di fuoriuscita delle scalette dalle guide in caso di risalita irregolare del tetto galleggiante dei serbatoi, circostanza che potrebbe comportare la perforazione ed il successivo affondamento del tetto;
- Adozione di idonei provvedimenti sia di tipo impiantistico che procedurali atti a ridurre il pericolo di danneggiamento delle tubazioni aeree che interessano in vari punti la viabilità interna, oltre a quelli già previsti a tale proposito al punto 3 dell'appendice III del D.M. 20/10/98;
- Prevedere, ove applicabile, un sistema di rilevamento idrocarburi per la chiusura automatica della valvola di drenaggio del tetto galleggiante; altrimenti prevedere la presenza dell'operatore durante lo svolgimento delle operazioni di drenaggio;
- Adozione di un sistema per l'identificazione ed il contenimento di eventuali perdite di prodotto dai serbatoi interrati (se questi non dovessero risultare installati in cassa di contenimento o essere dotati di doppia camera);
- Verifica della vulnerabilità a sisma dalla sala controllo e protezione della stessa sala da fenomeni di irraggiamento.

## **Parte 2**

### **C.2 Strategie di intervento per il contenimento della propagazione di inquinanti nelle comparto idrico sotterraneo**

#### ***C.2.1. Presidi fissi di contenimento***

Si fa riferimento nella fattispecie alle misure di protezione che possono essere adottate per limitare la propagazione verticale e orizzontale di un inquinante in falda. Esse sono sostanzialmente costituite dai bacini di contenimento, dalle barriere idrauliche (pozzi-barriera, trincee drenanti, well-point) e delle barriere statiche (diaframmi cemento-bentonite, palancole d'acciaio, ecc.).

#### ***Bacini di contenimento (Fattore K1)***

Nella accezione anglosassone sono anche denominati sistemi di "secondo" contenimento costituiti da una cintura muraria in c.l.s. armato finalizzata a contenere le perdite laterali accidentali di prodotto verificatesi dai sistemi di "primo" contenimento vale a dire i serbatoi stessi. Il fondo dei bacini di

---

contenimento in passato era costruito con materiale drenante, solitamente terra battuta o sabbia, al fine di evitare l'allagamento della struttura in occasione di eventi meteorici, dissipare l'espansione laterale e sottrarre al pericolo di incendio, agevolandone la penetrazione, le sostanze fuoriuscite.

L'irrigidimento delle norme ambientali o una maggiore consapevolezza dei rischi ambientali induce i gestori a prevedere la pavimentazione della superficie dei bacini con solette in cls armato eliminando così qualsiasi pericolo di penetrazione delle sostanze contaminanti nel sottosuolo.

Le caratteristiche costruttive di un bacino di contenimento, al fine di ridurre il rischio di danno ambientale dovrebbero soddisfare determinati requisiti minimi:

- altezza del muro di contenimento tale da permettere il contenimento di una quantità di sostanza pari a quella contenuta nel serbatoio o serbatoi più un surplus dovuto alla eventuale presenza di acqua meteorica;
  - consentire il rapido drenaggio dei liquidi fuoriusciti verso caditoie opportunamente dimensionate collegate alla rete fognaria a servizio del deposito e convogliate al sistema trattamento acque;
  - consentire l'accesso ai mezzi di pronto intervento per la rimozione delle sostanze fuoriuscite.
- assicurare il mantenimento dell'integrità della pavimentazione e dei muri di contenimento mediante verifiche periodiche.

#### *Barriere idrauliche (Fattore K4)*

Le barriere idrauliche sono opere che consentono, tramite il pompaggio dell'acqua sotterranea e la creazione della depressione della superficie piezometrica, un'inversione della direzione di flusso e un'interruzione del trasporto delle sostanze inquinanti nelle aree sotto gradiente. In condizioni idrogeologiche favorevoli e in presenza di sostanze contaminanti particolarmente solubili tali sistemi possono operare come mezzo di richiamo e rimozione delle sostanze contaminanti dalla falda (bonifica).

In Italia, prima dell'entrata in vigore del Decreto Ronchi e del regolamento tecnico di attuazione dell'art.17, vale a dire il D.M. 471/99, tale approccio era ampiamente utilizzato, data la relativa semplicità di progettazione e rapidità di esecuzione, come misura per la messa in sicurezza e bonifica (Pump & Treat) dei siti contaminati. Ora, la necessità di smaltire le notevoli quantità di acque che vengono prodotte durante il pompaggio prefigura il sistema solo come una buona soluzione a breve e medio termine volto ad arrestare la propagazione verso valle e agevolare al recupero del prodotto in fase libera (messa in sicurezza di emergenza) più che come opera finalizzata al risanamento vero e proprio della falda, da effettuarsi per quanto possibile con l'uso di tecnologie alternative. In ogni caso l'utilizzo delle barriere dinamiche è sempre vincolato dalla necessità di abbinare all'opera un idoneo impianto di trattamento delle acque nel rispetto delle norme vigenti (D.Lgs.152/99). In taluni casi, quando le condizioni logistiche e geo-ambientali lo permettono le barriere idrauliche possono essere anche realizzate in fase post-incidente. In tali condizioni d'emergenza l'acqua contaminata e l'eventuale prodotto estratto possono essere allocati all'interno di serbatoi provvisori di stoccaggio. Tra i vari sistemi in grado di operare come barriera idraulica citiamo:

- Il sistema delle trincee e dei dreni verticali
- Il Sistema dei pozzi barriera
- Il Sistema well-point

Le trincee drenanti sono sistemi che comportano l'esecuzione di un scavo generalmente stretto e lungo (Fig.C2) spinto ad una profondità superiore alla superficie libera della falda (la geometria delle aree di scavo può variare e assumere anche forme circolari o quadrate) che consentono l'intercettazione del flusso idrico sotterraneo mediante la rimozione o l'abbassamento della superficie del-

l'acqua che filtra all'interno dello scavo ottenuto con sistemi di pompaggio (pompe volumetriche centrifughe fisse o mobili, idrovore, auto-spurgo). Per limitare i problemi connessi con la stabilità delle pareti di scavo, con la viabilità del settore di stabilimento interessato dall'opera e, nel caso di venuta di idrocarburi, con la liberazione nell'aria di VOC (Volatile Organic Compounds), il sistema viene solitamente completato, garantendo prestazioni pressoché analoghe, con la posa in opera, all'interno dello scavo, di ghiaia grossolana previo inserimento a partire dal fondo fino a piano campagna di uno o più tubi filtro di grosso diametro opportunamente distanziati dai quali estrarre l'acqua (Fig.C3/4). In presenza di LNAPL, il sistema che tiene in depressione la falda, può essere integrato con l'installazione di apposite attrezzature denominate filter-scavenger (dual pump) in grado di aspirare acqua e richiamare e rimuovere solo il prodotto in galleggiamento. Tali attrezzature possono operare anche in profondità all'interno dei tubi filtro (Fig. C1).

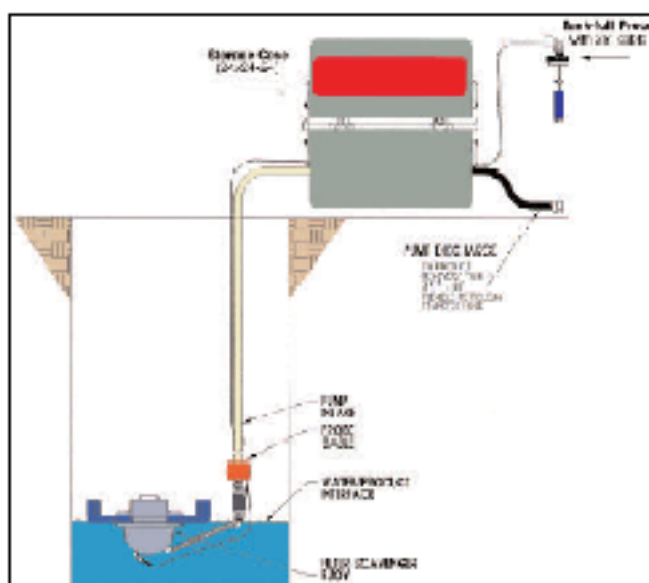


Fig. C1 Installazione di scavenger all'interno di una trincea aperta o di un tubo filtro di grande diametro

Per trincee aperte di larghe dimensioni o vasche drenanti dove la superficie della falda sia ubicata poco al di sotto del piano campagna si può far uso di appositi dispositivi di aspirazione di liquidi galleggianti (skimmers) capaci di funzionare anche su specchi d'acqua estesi (mare, fiume, lago ecc.). La capacità di recupero di tali attrezzature può variare, a seconda del modello e della potenza della pompa, dai 500 ai 1500 litri al minuto.

I vantaggi delle trincee drenanti sono diversi.

1. relativa rapidità dei tempi di esecuzione,
2. permette l'interruzione del flusso a valle delle acque per fronti estesi anche di 50-100 metri.
3. indicata in terreni eterogenei e/o fratturati per migliorare le caratteristiche di permeabilità dei terreni o per spessori di acquifero tali da non rendere funzionale l'uso di pozzi barriera.

Esse si sono rivelate particolarmente efficaci in situazioni di emergenza per contenere la propagazione di notevoli quantità di prodotto immesso accidentalmente in acquiferi costieri sabbiosi, laddove la scarsa profondità della falda, la ridotta distanza del comparto marino, le condizioni litologiche e di accessibilità del territorio rendevano più agevole lo sbarramento dei contaminanti su un ampio fronte di spiaggia mediante l'esecuzione di una trincea in luogo di intervento mediante pozzi.



---

L'impiego della trincea drenante risulta vincolata:

- dalle condizioni di accesso dell'area di intervento ai mezzi meccanici (pale escavatori)
- dalla presenza di strutture impiantistiche interrato,
- dalla soggiacenza della falda, la cui profondità rappresenta un limite per le manovre dei bracci meccanici che difficilmente superano i 6 metri;
- dalle caratteristiche litotecniche dei terreni (resistenza allo scavo in ammassi rocciosi o scarsa stabilità delle pareti di scavo in terreni incoerenti).



**Fig. C2. Esecuzione di uno scavo per trincea**



**Fig. C3. Inserimento di tubi filtro**



**Fig. C4. Riempimento e messa in esercizio**

---

I tempi di completamento di una sistema di sbarramento idraulico realizzato attraverso una trincea, variano, a seconda delle condizioni e dalle dimensioni dai 2-3 giorni ai 20-30 giorni.

### *Pozzi barriera*

Nel caso di eccessiva profondità delle acque di falda o oggettiva impossibilità ad operare nell'area interessata dalla fuoriuscita accidentale di prodotto, per produrre la depressione della superficie piezometrica è necessario adottare il sistema di perforazione dei pozzi. L'emungimento dell'acqua attraverso un pozzo determina l'abbassamento della superficie piezometrica della falda in corrispondenza di una zona più o meno concentrica rispetto al pozzo stesso denominata area di influenza o area di cattura. Nel caso di immissione di sostanze inquinanti in falda, per garantire la funzionalità dell'intervento è necessario che l'area di cattura del pozzo coinvolga tutto il fronte o pennacchio della contaminazione. In caso contrario si può prevedere la realizzazione di più pozzi localizzati in modo tale da permettere la sovrapposizione delle aree di cattura e operare quindi, allo stesso modo di una trincea, come sistema di sbarramento continuo (Fig.C5).

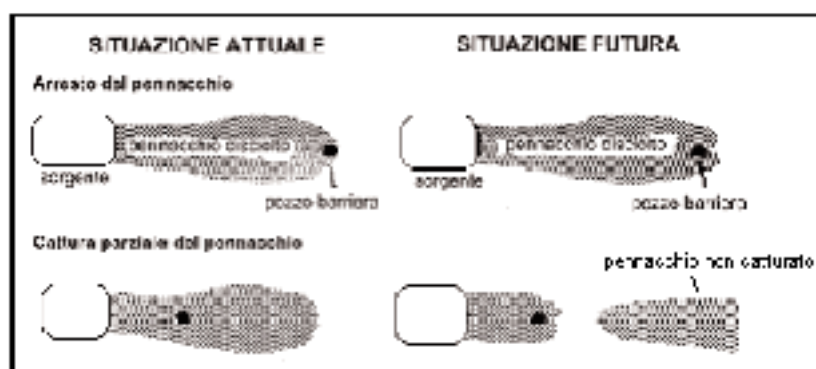


Fig C5. Schema applicativo di un pozzo barriera

Le prestazioni di un pozzo o di un sistema di pozzi dipendono dalle caratteristiche del mezzo saturo; litotipi eterogenei, (per la presenza di orizzonti o lenti di argille e limi) anche se caratterizzati da elevata permeabilità, possono limitare o rendere del tutto inefficace l'opera condizionando la geometria dell'area di cattura o rallentando il flusso in entrata dell'acqua nel pozzo.

La geometria dell'area di cattura, che si sviluppa secondo una semi-ellisse orientata con l'asse maggiore parallelo alla direzione di flusso e allungata in senso opposto a questa, è influenzata dalla portata estratta, dalla trasmissività dell'acquifero e dal gradiente idraulico (Figg.C6/7).

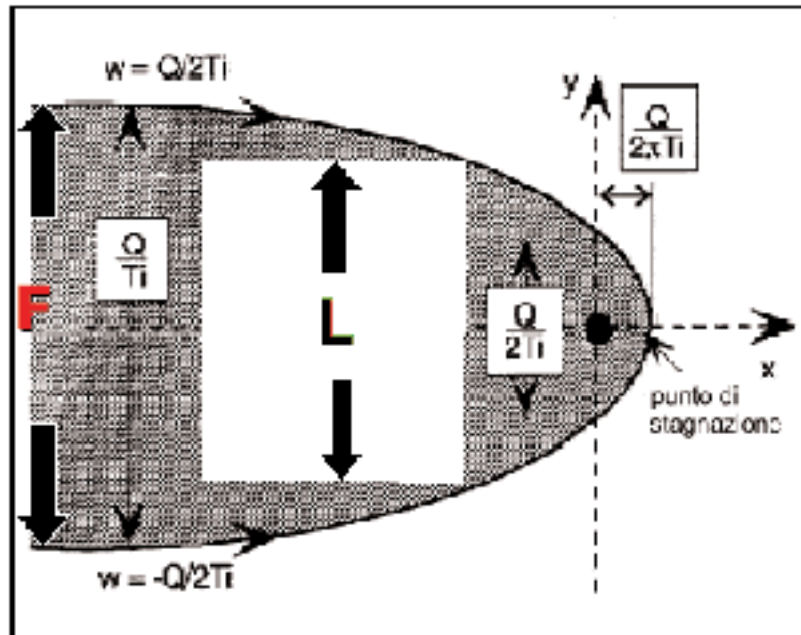


Fig. C6. Relazione tra area di cattura e parametri idrogeologici Bear J. 1972

Q: Portata (m<sup>3</sup>/sec)

T: Trasmissività (m<sup>2</sup>/s)

F: Fronte di alimentazione o di richiamo del pozzo (m)

L: Larghezza del fronte di contaminazione (m)

i: Gradiente idraulico

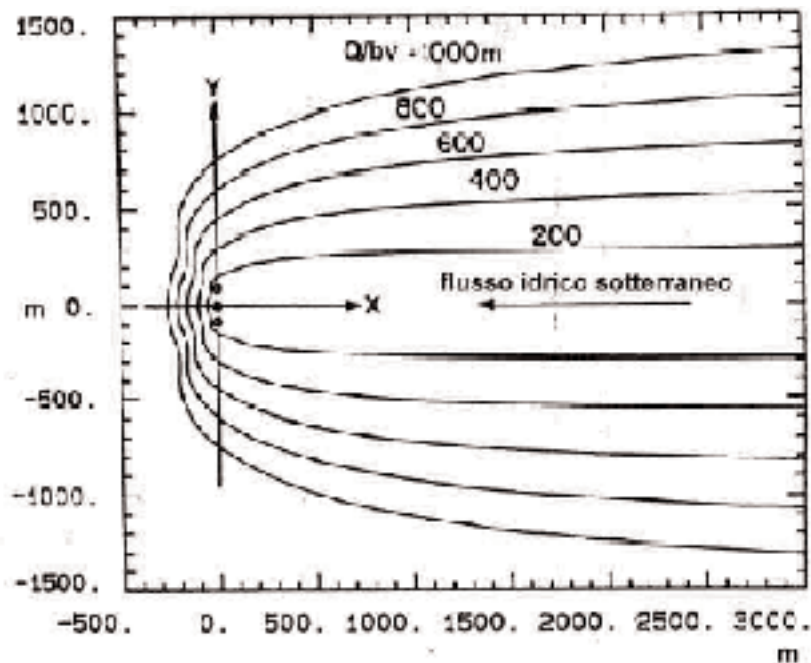


Fig. C7. Relazione tra parametri idraulici ed area di cattura: Curve-Tipo costruite per il parametro  $Q/bv$  per più pozzi (fino a 4) secondo Javandel e Tsang (1986)

Q: Portata (m<sup>3</sup>/sec)

b: Spessore acquifero

$v=Ki$  Velocità di filtrazione (m/s)

K: Conducibilità idraulica (m/s)

i: Gradiente idraulico

Per realizzare un idoneo sbarramento idraulico effettuato tramite i pozzi è necessaria, come già ricordato prima, una taratura del sistema mediante test in sito, modulando le portate e misurando gli abbassamenti su pozzi limitrofi (piezometri) al fine ottenere con precisione informazioni sulle dimensioni delle aree di cattura e ottimizzare eventualmente la localizzazione di altri pozzi. In fase di emergenza ciò può comportare tempi di messa a punto anche dell'ordine delle settimane, spesso insufficienti per circoscrivere in tempo utile la contaminazione. Per tale ragione, al fine di garantire comunque l'efficacia nel breve termine, la applicazione di tale sistema è preferibile come opera preventiva (in questo caso può operare anche come rete di sorveglianza della qualità delle acque sotterranee) ovvero, in fase d'emergenza, solo in presenza di terreni omogenei. La progettazione e realizzazione attorno all'unità logica di un presidio fisso di protezione costituito da un sistema di pozzi, opportunamente distanziati, dimensionati e sottoposti preventivamente ai test di collaudo, pronti ad entrare in esercizio in caso d'incidente con funzioni di sbarramento o correzione della piezometrica, può limitare se non eliminare del tutto il pericolo di conseguenze gravi per la falda e per gli elementi vulnerabili sensibili a costi relativamente accettabili.

In caso di venuta di prodotto è possibile installare all'interno dei pozzi sistemi combinati di pompaggio e recupero (dual-pump) adatti per diametri anche di ridotte dimensioni.

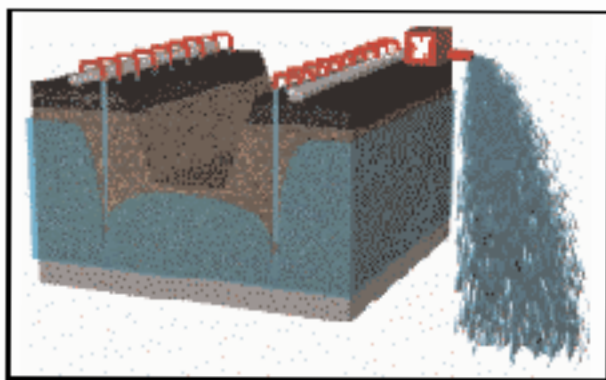
#### *Well Point*

Con "well point" si intende un sistema costituito da una batteria o gruppo di pozzi filtranti, di piccolo diametro, infissi o battuti, realizzati mediante un tubo, asta o condotto cavo verticale con una estremità perforata a punta e un filtro a rete metallica a maglia fine (Fig.C8). Tale sistema trova generalmente applicazione nei cantieri di scavo per la rimozione dell'acqua sotterranea con conseguente abbassamento del livello di falda per minimizzare il rischio di allagamento e migliorare la stabilità durante i lavori. Negli ultimi anni viene utilizzato con le stesse modalità per deprimere la piezometrica allo scopo di:

creare uno sbarramento per la migrazione delle sostanze inquinanti,

ridurre la generazione dei pennacchi di contaminazione su fronti anche molto estesi

impedire il contatto tra falda e terreni interessati dalla fuoriuscita di liquido consentendo la rimozione di questi in condizioni di sicurezza (a secco).



**Fig. C8. Schema di funzionamento di un sistema well-point**

geomeccaniche che rendono possibile l'infissione delle aste per battitura e in presenza di acquiferi la cui soggiacenza non risulti superiore ai 5-6 metri.

Il sistema well-point come anche i pozzi barriera sono in genere abbinati alla realizzazione di siste-

L'impiego di un sistema well-poin presenta modalità di realizzazione più agevoli rispetto ai pozzi barriera, pur tuttavia è soggetto anch'esso ai limiti di prestazione dettati dalla eterogeneità dei terreni (presenza di lenti argillose) con lo svantaggio di essere vincolato dalla resistenza alla penetrazione alla punta dei terreni coinvolti dallo sversamento e dalla profondità della falda (a causa delle notevoli perdite di carico che si generano lungo le tubazioni).

Per tale ragione il sistema si rivela molto efficace in terreni dalle caratteristiche

mi di contenimento statico o **barriere statiche** per impedire l'aggiramento dell'opera da parte delle acque sotterranee.

*Criteria di selezione del sistema più idoneo*

La selezione del sistema più idoneo per creare un contenimento dinamico per la migrazione orizzontale dei contaminanti in falda dipende da diversi fattori che possono variare a seconda delle condizioni sito-specifiche

Tali fattori possono essere così riassunti (Tab. C.I):

- La funzione della barriera (creazione di una depressione al fine di interrompere la migrazione del prodotto o deviarne la direzione e recupero surnatante).
- Soggiacenza della falda
- Permeabilità ed eterogeneità dei terreni
- Spessore della zona satura
- Oscillazione della falda
- Capacità di trattamento dei liquidi prodotti e costi di smaltimento
- Costi e difficoltà di installazione
- Gestione e mantenimento dell'opera.

**Tab.C.I Confronto delle caratteristiche delle barriere idrauliche**

Tecnologia	Profondità	Permeabilità	Spessore zona satura	Capacità di Contenimento	Treatmento superficiale	Costi difficoltà di installazione	Gestione e manutenzione
Trincee aperte	Max 5-6 metri	Terreni permeabili ed eterogenei	Qualsiasi	Elevata per fronti estesi	Limitato	Bassi, Bene in aree accessibili e terreni scavabili	Bassa in terreni stabili. Possibile liberazione di VOC in atmosfera
Trincee chiuse	Max 5-6 metri	Terreni permeabili ed eterogenei	Qualsiasi	Elevata per fronti estesi	Limitato-Medio	Bassi, Bene in siti accessibili e terreni scavabili	Bassa
Pozzi barriera	Oltre 6 metri	Terreni permeabili omogenei	Elevato	Medio bassa per fronti estesi Elevata per fronti indotti	Medio-Alto	Medio-Alti Bene in siti poco accessibili.	Medio-Alta
Well points	Max 6 metri	Terreni permeabili omogenei	Elevato	Elevata per fronti estesi	Medio alta	Medio Alti Bene in siti accessibili e in terreni ove è possibile infiggere aste.	Alta

### Barriere statiche

Si fa riferimento in questa sede ai sistemi di contenimento (cinturazione) impermeabili verticali o barriere perimetrali statiche volti ad assicurare la protezione di elementi ambientali a valle del flusso delle acque di falda. A scopi preventivi tali sistemi hanno trovato la loro maggiore applicazione nella protezione delle discariche e, nei siti contaminati (D.M. 471/99), come tecnologia di supporto alla *bonifica con sistemi di sicurezza* o nella *messa in sicurezza permanente* vale a dire nei casi in cui non sia possibile ricondurre le concentrazioni dei contaminanti al di sotto della CLA (Concentrazioni Limite Ammissibili) o l'intervento di rimozione di accumuli di rifiuti interrati dalle elevate estensioni orizzontali e verticali non sia economicamente fattibile.

Nel breve termine e in particolari condizioni possono essere utilizzati anche come intervento di messa in sicurezza d'emergenza a condizione che i tempi di realizzazione siano sufficienti per impedire la propagazione delle sostanze contaminanti. La realizzazione di tali opere presuppone comunque la risoluzione di problematiche di natura geotecnico-ingegneristica e di tecnologia dei materiali connesse con le caratteristiche dei terreni e degli inquinanti, le quali condizionano pesantemente le modalità costruttive e la tipologia di tecnica e di materiale di isolamento da utilizzare. In ragione di ciò ne appare plausibile l'applicazione come misura di mitigazione preventiva solo in presenza di situazioni ad elevata criticità sempre che non risulti sufficiente e conveniente realizzare la pavimentazione dell'area (es. impianti costruiti immediatamente a ridosso di una sponda fluviale o di una linea di costa).

Lo scopo di una barriera verticale è quello di creare una barriera fisica impermeabile per interrompere o deviare il flusso delle acque sotterranee. La configurazione verticale di una barriera impermeabile è condizionata dalla profondità del strato impermeabile (acquiclude) e dalle modalità di propagazione dei contaminanti.

Le barriere "immorsate" (Fig.C9a) interrompono completamente il flusso delle acque sotterranee per tutta la sezione interessata dall'acquifero. Esse si raccordano al substrato impermeabile e sono generalmente indicate per sostanze che possono migrare negli strati profondi dell'acquifero come i DNAPL. La propagazione del pennacchio contaminante determinato dall'immissione in falda di inquinanti meno densi dell'acqua come i LNAPL, raramente soggetti a fenomeni di "diving" (immersione), permette la realizzazione di barriere "sospese" (Fig.C9b) vale a dire caratterizzate da uno sviluppo che interessa in modo limitato la sezione dell'acquifero e non si innestano al substrato. In caso di acquiferi molto vicini alle superficie del piano campagna, tenuto conto delle oscillazioni stagionali, le barriere sospese possono anche spingersi a profondità relativamente ridotte (6-7) metri.

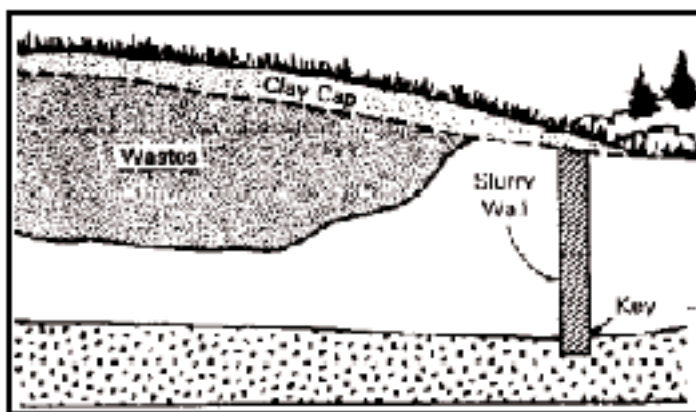


Fig. C9a. Schema di barriera immersa (fonte EPA)

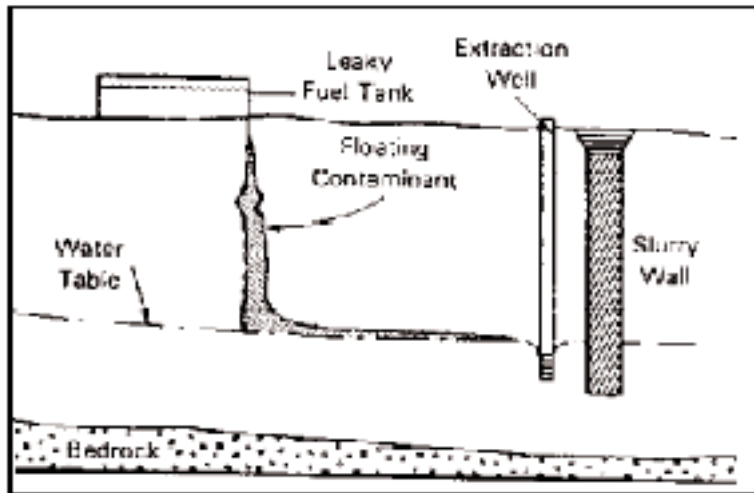


Fig. C9b. Schema di barriera sospesa (fonte EPA)

La configurazione orizzontale di una barriera verticale dipende dalla funzione che deve assolvere che può essere, a seconda dei casi, di deviazione o interruzione del flusso idrico o di completo isolamento di una struttura potenzialmente inquinante.

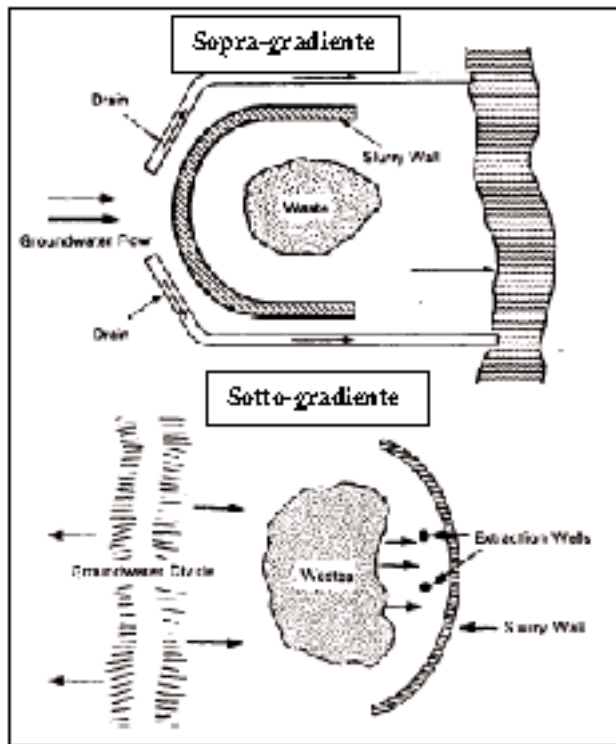
A seconda della funzione le configurazioni orizzontali si possono dividere in:

Sistemi aperti (Fig C10a)

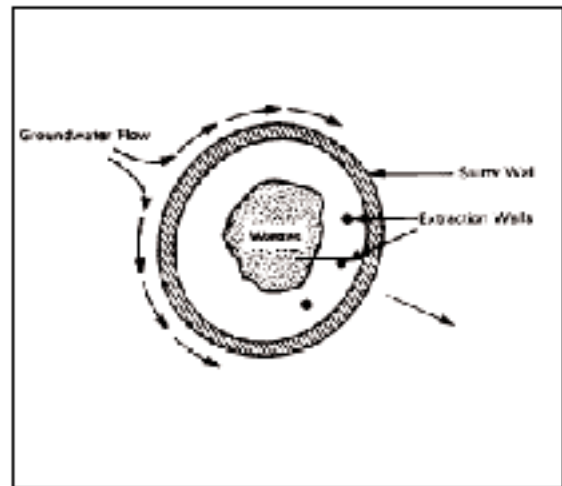
a) localizzati sopragradiante (a monte) rispetto alla potenziale sorgente dell'inquinamento che flettono il flusso idrico impedendo alle acque sotterranee di interessare le porzioni di terreni interessati dalla contaminazione,

b) posizionati sottogradiante (a valle) con la funzione di sbarramento del flusso idrico e conseguente interruzione della propagazione o accrescimento del pennacchio contaminante. Tali sistemi sono indicati per operare su fronti di flusso piuttosto estesi e gradienti poco elevati.

Sistemi chiusi (Fig C10b), a cinturare sia a valle e che a monte ovvero isolare completamente le porzioni di terreno contaminato o la sorgente potenziale di inquinamento.



SISTEMI APERTI (fonte EPA)  
Fig C10a



SISTEMI CHIUSI (fonte EPA)  
Fig C10b

Di seguito (Tab.C.II) si evidenziano alcune problematiche di tipo progettuale e ambientale connesse con la realizzazione di barriere verticali rimandando alla vasta letteratura esistente in merito ed alle note bibliografiche eventuali trattazioni più dettagliate.



Tab. C.II

Conf. verticale	Configurazione orizzontale		
	Sistema chiuso	Sopragradiente	Sottogradiente
<b>Immorsate</b>	Molto comune ma molto costoso. Assicura un completo isolamento. Impedisce o riduce la propagazione a 360°	Non comunemente utilizzato Si applica per deviare il flusso idrico sotterraneo in presenza gradienti molto elevati e alte velocità di filtrazione orizzontale Può impedire o ridurre la generazione di un pennacchio di propagazione. La verifica della compatibilità ambientale non è critica	Sistema utilizzato comunemente per impedire la propagazione del pennacchio contaminante lungo la direzione di flusso in presenza di sostanze che possono trasferirsi negli strati profondi dell'aquifero DNAPL. Può generare l'innalzamento della superficie piezometrica a monte dell'area di cultura e provocare l'aggiornamento laterale dell'opera. E' necessario verificare la compatibilità dell'opera con i flussi idrici sotterranei locali e con le sostanze contaminanti. In genere si abbina con un sistema di estrazione delle acque (pozzi o well-point) localizzati a monte.
<b>Sospese</b>	Utilizzato per contenere pennacchi di sostanze contaminanti in galleggiamento o LNAPL in aree dove le direzioni di flusso di falda sono variabili o divergenti.	Molto rare. Possono indurre un temporaneo abbassamento del livello della falda unitamente ad un rallentamento o stagnazione del flusso nell'area sottogradiente pur non determinandone l'arresto	Sistema utilizzato comunemente per impedire la propagazione del pennacchio contaminante lungo la direzione di flusso in presenza di sostanze che meno dense dell'acqua e che galleggiano sulla superficie libera della falda LNAPL.

Per la costruzione delle barriere verticali esistono varie metodiche che fanno capo in genere a tre diverse tipi di tecnologia:

- Scavo e asportazione del terreno e sostituzione con miscele di cemento bentonite (monofase e bifase)
- Spiazzamento del terreno e immissione di miscele impermeabilizzanti o infissione di pannelli di acciaio (palancolate) o manufatti prefabbricati.
- Sistemi volti a ridurre la permeabilità dei terreni (jet grouting, miscelazione in sito del terreno con additivi impermeabilizzanti)

La scelta della migliore tecnologia deve essere posto in relazioni alle funzioni che l'opera deve assolvere ed agli oneri tecnici ed economici richiesti. Molteplici sono i fattori che condizionano la scelta della migliore configurazione e della migliore tecnologia di realizzazione di una barriera verticale. In relazione alla tecnologia utilizzata si riportano in tabella C.III schematicamente alcune caratteristiche costruttive di barriere verticali (da Manassero 1999).

Oltre agli aspetti legati alla fattibilità tecnica-economica è soprattutto importante tenere conto delle problematiche connesse con la compatibilità ambientale dell'opera allo scopo di ridurre eventuali effetti negativi che a medio e lungo termine possono condizionarne il funzionamento o alterare gli equilibri soprattutto nel comparto idrico sotterraneo e superficiale.

La realizzazione di una barriera verticale si rivela particolarmente adatta ed è anche economicamente giustificata laddove si evidenzi, mediante l'analisi del rischio (qualitativa e quantitativa), un incompatibilità tra insediamento industriale e elementi ambientali vulnerabili, a causa dei ridotti margini di tempo necessari per tenere sotto controllo una dispersione nell'ambiente di sostanze pericolose.

---

Particolari criticità indotte dalla presenza di impianti ubicati sulla costa o localizzati nelle vicinanze di un fiume possono comportare la realizzazione di barriere verticali direttamente ai margini dei comparti marini o fluviali. In tal caso è da tenere presente che la creazione di una barriera di sponda impermeabile può alterare gli equilibri che sussistono tra i corpi idrici superficiali e sotterranei innescando situazioni di rischio idrogeologico da valutare attentamente:

- instabilità indotta dall'innalzamento della piezometrica;
- alterazione dei deflussi di piena;
- aumento delle velocità deflusso indotte dalla riduzione della sezione dell'alveo;
- alterazione delle regime di erosione;
- verificare che l'opera venga eseguita con gli opportuni accorgimenti progettuali per minimizzare eventuali effetti collaterali o, se del caso, rinviare il progetto alle valutazioni di compatibilità prescritte dalla normativa vigente o ai vincoli imposti dalle autorità competenti.

Altri due importanti aspetti per i quali si richiede attenzione nel caso di realizzazione di una barriera verticale sono:

- la valutazione della compatibilità chimica delle sostanze inquinanti con le sostanze che costituiscono la barriera medesima. L'aggressività e la reattività di alcune sostanze pericolose può compromettere la stabilità e la tenuta idraulica dell'opera soprattutto per i diaframmi costituiti da materiali plastici (cemento-bentonite). La miscelazione con additivi o catalizzatori volti a migliorarne nel tempo le caratteristiche di tenuta o a mantenerne la stabilità chimica durante il processo di maturazione deve essere sottoposta ad attenta verifica per evitare l'immissione nel comparto idrico di sostanze tossiche.
- le problematiche connesse con lo smaltimento dei materiali di scavo. La realizzazione di una barriera mediante scavo e asportazione dei terreni comporta lo stoccaggio temporaneo e lo smaltimento di notevoli quantità di terreni di risulta che dovranno comunque essere sottoposti a caratterizzazione per la classificazione e l'identificazione della destinazione finale. Ciò comporta l'insorgere di problematiche connesse con la protezione dell'area di stoccaggio provvisorio nel caso di rinvenimento di terreni contaminati e oneri economici aggiuntivi di smaltimento che possono variare in funzione degli esiti della classificazione.

Tab. C.III (da Manassero 1999)

Tecnologia	Denominazione convenzionale	Terreno	Materiale Impermeabilizzante	Dimensioni		
				L (m)	L <sub>g</sub> (m)	
Scavo, asportazione del terreno e sostituzione con miscela impermeabilizzanti	Diagramma plastico monofase	Possibili problemi in presenza di inquinanti	Miscela cemento-bentonite	0,4-1,6	100-170	
	Diagramma plastico bifase			0,4-1,6	40-70	
	Diagramma plastico con geomembrana		Miscela cemento bentonite e geomembrana	0,4-1,6	20-30	
	Diagramma plastico formato da pali secanti		Miscela cemento bentonite o calcestruzzo	0,4-1,5	20-40	
Spiazzamento del terreno ed immissione di miscela o iniezione di palancole e manufatti prefabbricati	Diagramma sottile con miscela plastica	Terreno dove è possibile indurre elementi per battitura e vibrazione	Miscela Cemento bentonite con inerti o additivi	0,05-0,5	10-35	
	Diagramma sottile con geomembrana		Miscela cemento bentonite e geomembrana	Geomembrana >0,002	10-40	
	Palancole		Acciaio	0,02	20-30	
	Diagramma ad elementi prefabbricati infissi		Calcestruzzo	>0,4	15-25	
Riduzione della permeabilità in situ	Iniezioni	Terreni iniettabili	Miscela Cemento bentonite silicati miscela cementizie con o senza filler	1,5-2,5	20-80	
	Jet-Grouting	Pannelli	Miscela bentonitiche con cemento	0,15-0,30	20-30	
		Colonne		0,4-2,5	30-70	
	Congelamento	Colonne di terreno miscelato con additivi impermeabilizzanti	Possibile esecuzione in terreni fini	Calce cemento bentonite	0,8-1,5	30-60
				Azoto liquido con impianto di congelamento	>0,7	50-100

---

### ***C.2.2.Presidi di pronto intervento e monitoraggio***

Si fa riferimento nella fattispecie alle procedure ed alle attrezzature di pronto intervento necessarie per ridurre la quantità di sostanza che penetra nel sottosuolo e che migra verticalmente nel comparto idrico sotterraneo ed ai sistemi di sorveglianza della qualità delle acque sotterranee costituiti da essenzialmente di pozzi allestiti a piezometro.

#### ***C.2.2.1 Sistemi di pronto intervento***

La procedura di valutazione delle conseguenze ambientali di un incidente rilevante descritta nel presente documento, oltre risultare uno valido strumento preliminare per individuare quelle situazioni critiche ove focalizzare ulteriori studi o mettere eventualmente in atto misure di riduzione del rischio, si prefigura anche come strumento di raccolta di elementi propedeutico alla pianificazione dei piani di prevenzione e protezione.

Come già precedentemente ricordato, il percorso di individuazione delle situazioni critiche ruota intorno alla consapevolezza che, in determinate condizioni sfavorevoli, i margini di tempo necessari per porre in atto misure di contenimento in caso d'incidente possono risultare insufficienti per garantire un controllo della propagazione dei contaminanti ed evitare un incidente rilevante per l'ambiente.

Appare comunque chiaro che quanto più si riduce l'aliquota di sostanza che può potenzialmente entrare in contatto con la dinamica delle acque sotterranee, meno impegnativo e complesso sarà l'intervento per bloccarne l'eventuale migrazione orizzontale e conseguentemente minore sarà la probabilità di avere effetti negativi per l'ambiente di elevata magnitudo; a tale proposito è necessario sottolineare che qualsiasi azione di primo contenimento si rivela efficace non solo in virtù dell'arrivo tempestivo dei mezzi di decontaminazione ma soprattutto dai criteri e dalle procedure con cui viene pianificata e condotta l'azione medesima.

La pianificazione dell'intervento deve rispondere ad una esigenza operativa fondamentale: fornire indicazioni in merito a cosa deve essere fatto, in caso di fuoriuscita incontrollata di sostanze pericolose, al fine di bloccare o tenere sotto controllo in tempo quasi reale la migrazione verticale delle sostanze contaminanti verso l'ambiente idrico sotterraneo. E ovvio che tali misure saranno anche mirate, nel caso di assenza di presidi fissi di contenimento, a limitare per quanto possibile ogni effetto di propagazione orizzontale (presidi di protezione provvisori).

Tali indicazioni dovranno riguardare:

- Gli esiti della valutazione del rischio.
- La localizzazione della/e unità logica risultate critiche con l'indicazione della quantità presunta di sostanza che può potenzialmente fuoriuscire.
- La descrizione delle caratteristiche e della capacità di contenimento dei bacini (se presenti).
- La localizzazione degli elementi ambientali sensibili compresa la falda.
- I percorsi di migrazione degli inquinanti sul suolo e nelle acque sotterranee, compresa la mappatura delle linee tecnologiche interrate e di tutti i pozzetti e caditoie esistenti.
- L'indicazione della posizione ove verranno posti in essere i presidi provvisori di protezione e l'indicazione dettagliata delle modalità d'intervento da adottare per ciascun presidio.
- Le modalità di controllo dell'efficacia operativa dei presidi di protezione provvisori posti in essere.
- L'elenco, le caratteristiche tecniche e la capacità operativa delle attrezzature che si intende utilizzare per rimuovere in sicurezza la porzione di contaminante non ancora penetrata nel sottosuolo o per costituire i presidi di contenimento provvisorio (muri provvisori di contenimento laterale, sistemi di aspirazione, materiali oleoassorbenti, barriere o tappeti oleoassorbenti, polveri granulari

---

per l'assorbimento delle sostanze pericolose, ecc.).

- La capacità di trattamento dell'impianto di depurazione reflui oleosi a servizio dello stabilimento.
- Il numero di unità e la qualifica professionale delle risorse umane che si intendono utilizzare per mettere in atto l'azione d'intervento.
- L'individuazione dei percorsi e delle aree più adeguati per garantire un agevole passaggio e manovra dei mezzi di intervento sia sul luogo dello sversamento che sui presidi provvisori di protezione.
- L'indicazione delle area ove si intende posizionare le attrezzature di intervento.
- La tempistica d'intervento vale a dire il tempo necessario alle squadre per giungere sul luogo dello scenario e per rendere operativi tutti i presidi provvisori in base ai percorsi individuati ed alle modalità d'intervento.
- I dispositivi di protezione individuale.
- La procedure operative.

Senza entrare nel merito dei punti precedentemente elencati è necessario comunque soffermarsi sull'importanza di alcuni aspetti ritenuti fondamentale per garantire l'efficacia di una azione di pronto intervento.

- La tempistica.
- Il dimensionamento (disponibilità e quantità) delle attrezzature necessarie per fronteggiare l'incidente e i requisiti professionali del personale che è chiamato ad utilizzare le attrezzature medesime.
- La capacità di contenimento dei presidi fissi di protezione, se presenti, la capacità di rimozione oraria e di stoccaggio provvisorio e/o trattamento delle sostanze pericolose fuoriuscite.

Molte aziende dovendo fronteggiare un pericolo di inquinamento grave si avvalgono per le situazioni di emergenza di convenzioni stipulate con imprese terze (contractors) in genere specializzate nello smaltimento dei rifiuti e nel pronto intervento bonifiche.

Tenuto conto di quanto detto sopra, appare ovvio che la selezione di un contractor deve rispondere a parametri di valutazione tali da soddisfare le esigenze operative che emergeranno dal piano di protezione o prevenzione.

Nella necessità di fornire alle autorità preposte al controllo un indicazione sui tali parametri di valutazione si può prendere come riferimento normativo la *deliberazione 12 dicembre 2001* emanata dal Comitato Nazionale dell'Albo delle imprese che effettuano la gestione dei rifiuti che, pur non disciplinando nella fattispecie gli incidenti rilevanti, si pone comunque in connessione con essi in quanto definisce i requisiti di idoneità tecnica e di capacità finanziaria che devono essere posseduti e dimostrati per l'iscrizione di un impresa nella "*categoria 9:bonifica di siti*" che si articola in 5 classi A, B, C, D, E, (vedi allegato D) in funzione dell'importo dei lavori di bonifica cantierabili (D.M. n. 406/1998 Albo Gestori dei Rifiuti):

Nel dettaglio, i requisiti per l'iscrizione nelle cinque classi riguardano, innanzitutto, i requisiti di idoneità tecnica e i criteri per dimostrare il possesso dei requisiti medesimi ai sensi del D.M. n. 406/1998.

Fermo restando che tali requisiti non si prefigurano come cogenti rispetto alle disposizioni della normativa vigente, o come limitazione alla libera scelta da parte del gestore nella selezione dei contractors a cui affidare servizi di emergenza o rimozione di sostanza pericolose fuoriuscite a seguito d'incidente, essi si rivelano comunque un utile riferimento volto a supportare il valutatore nell'esprimere un parere sull'adeguatezza della risposta offerta dal contractor per fronteggiare una determinata situazione critica o scenario incidentale.(vedi fattore K6 Par 7.1)

---

La *deliberazione 12 dicembre 2001* individua, infatti:

1. l'attrezzatura tecnica di cui l'interessato deve avere la disponibilità (Allegato A e art. 1, comma 1, lettera a), *deliberazione*);
2. a dotazione di personale ritenuta adeguata (Allegato C e art. 1, comma 1, lettera. c), *deliberazione*);
3. gli interventi di bonifica di siti contaminati che l'interessato deve avere eseguito per l'iscrizione nelle classi A, B, e C (Allegato B e art. 1, comma 1, lettera c), *deliberazione*);
4. i requisiti di qualificazione professionale e la capacità giuridica e d'agire del responsabile tecnico (Allegato F e art. 2, *deliberazione*).

Il punto 3, pur toccando un importante requisito che riguarda l'esperienza dell'impresa valutata in base agli interventi di bonifica di siti contaminati che l'interessato deve avere eseguito per l'iscrizione nelle classi A, B, e C, non fornisce indicazioni di tipo tecnico ma un criterio di selezione di tipo finanziario e pertanto non verrà sviluppato.

Viceversa, al punto 1, *Disponibilità di idonea attrezzatura*, la *deliberazione 12 dicembre 2001* stabilisce un elenco (Allegato A), a titolo esemplificativo, delle attrezzature idonee di cui l'interessato può disporre, prescrivendo, però, che le stesse devono soddisfare un valore economico minimo complessivo.

**ALLEGATO “A”**

<b>ELENCO ATTREZZATURE CATEGORIA 9</b>					
1. air-line	9. miniescavatore	17. filtri (per polveri, vapori, ecc.)	25. impianto di ventilazione termico dotato di misurazione di esplosività in linea	32. mezzi per movimento terra	39. stazione di stoccaggio provvisorio rifiuti e caricamento
2. apparecchi di comunicazione	10. campionatori	18. generatore portatile/carrellato	26. impianto fisso o mobile di disidratazione fanghi (comprensivo di sistema di dosaggio di polielettrolita	33. pompe	40. stazione fissa di trattamento
3. aspiratori	11. centrifugata portatile per rifiuti/disidratatrice	19. gru manuale	27. impianto mobile/fisso di trattamento rifiuti	34. protezioni individuali	41. trattenne per delimitazione
4. attrezzature per rilievi geofisici	12. compressori	20. gruppo di trattamento/filtraggio acque	28. laboratorio fisso o mobile per analisi chimiche o geologiche	35. quadri elettrici mobili	42. ultra doccia
5. attrezzature per escavazione	13. elettropompe	21. gruppo elettrogeno	29. lampade lampeggianti	36. reggettafide ad asta compressa per fusti	43. unità di decontaminazione
6. attrezzature per prelievo campioni e loro conservazione	14. esposimetri portatili	22. idropulitrice	30. misuratore di gas inerte/ossigeno nei terreni	37. sistema di triturazione fusti	44. unità di riscaldamento
7. autocarro	15. estintori	23. impianto di depurazione reflui gassosi	31. muletto	38. superfusti	45. vaglio
8. autospiratori	16. estrattore	24. impianto di inertizzazione trasportabile			

**VALORE ATTREZZATURE CATEGORIA 9**

	<b>CLASSE E</b>	<b>CLASSE D</b>	<b>CLASSE C</b>	<b>CLASSE B</b>	<b>CLASSE A</b>
<b>Bonifica siti</b>	Fino a € 51.645,69	Fino a € 413.165,52	Fino a € 1.549.370,70	Fino a € 7.746.853,49	Oltre € 7.746.853,49
	€ 92.962,00	€ 232.406,00	€ 413.166,00	€ 981.265,00	€ 1.136.205,00

Per quanto riguarda il punto 2, la disponibilità di personale tecnico, l'Allegato "C" si limita a indicare il solo personale tecnico del quale l'impresa deve disporre in relazione alle diverse classi di iscrizione e a precisarne la necessaria professionalità. Più precisamente

- per la classe E, l'impresa deve avere la disponibilità di almeno 2 unità di personale;
- per la classe D, l'impresa deve avere la disponibilità di almeno 6 unità di personale di cui almeno una deve essere un laureato in ingegneria o in chimica o in scienze geologiche;
- per la classe C, l'impresa deve avere la disponibilità di almeno 8 unità di personale, di cui almeno una deve essere un laureato in ingegneria o in chimica o in scienze geologiche;
- per la classe B, l'impresa deve avere la disponibilità di almeno 12 unità di personale, di cui almeno un laureato in ingegneria e un laureato in chimica o in scienze geologiche;
- per la classe A, l'impresa deve avere la disponibilità di almeno 15 unità di personale di cui almeno un laureato in ingegneria, un laureato in chimica e un laureato in scienze geologiche.

Inoltre, per ogni cantiere dove si eseguono interventi di bonifica deve essere prevista la figura del responsabile di cantiere.



**ALLEGATO “C”**

DOTAZIONE PERSONALE CATEGORIA 9				
<b>CLASSE E</b>	<b>CLASSE D</b>	<b>CLASSE C</b>	<b>CLASSE B</b>	<b>CLASSE A</b>
Fino a € 51.645,69	Fino a € 413.165,52	Fino a € 1.549.370,70	Fino a € 7.746.853,49	Oltre € 7.746.853,49
2	6	8	12	15

In merito al punto 4 (vedi allegato F della deliberazione), infine, si precisa la qualificazione professionale dei responsabili tecnici, che le imprese devono nominare a pena di improcedibilità della domanda. I responsabili tecnici delle imprese che intendono svolgere attività di bonifica di siti inquinati devono possedere titoli di studio, esperienza maturata nel settore di attività delle bonifiche e conoscenza acquisita tramite la partecipazione ad appositi corsi di formazione organizzati in conformità ai criteri stabiliti dal Comitato Nazionale, variamente articolati in relazione alle diverse classi di iscrizione.

**ALLEGATO “F”**

REQUISITI RESPONSABILE TECNICO CATEGORIA 9				
<b>CLASSE E</b>	<b>CLASSE D</b>	<b>CLASSE C</b>	<b>CLASSE B</b>	<b>CLASSE A</b>
Fino a € 51.645,69	Fino a € 413.165,52	Fino a € 1.549.370,70	Fino a € 7.746.853,49	Oltre € 7.746.853,49
CF aa 10/10	CF aa 10/10	CF aa 10/10	CF aa 10/10 o CF aa 10/10 + L	CF aa 10/10

**LEGENDA**

- D = Diploma di geometra o di Perito industriale o di Perito tecnico o di Perito chimico o di Perito edile.
- L = Diploma di laurea in Ingegneria o in Chimica o in Scienze Geologiche.
- D.U. = Diploma universitario o laurea breve in Ingegneria o in Chimica o in Scienze Geologiche.
- CF = Corso di formazione.
- aa = Anni di esperienza maturati nei settori di attività comprovati con idonee attestazioni di esecuzione di interventi di bonifica, rilasciate dal committente o dalla stazione appaltante per importo complessivo pari ad almeno il 40 % del limite inferiore della classe richiesta per l'iscrizione

---

### *Implementazione di un GIS (Geographical Information System)*

Un valido strumento di raccolta ed elaborazioni dei dati necessari alla redazione e gestione di un piano di protezione è costituito dai Geographical Information System o GIS.

Tali sistemi integrano in un unico sistema le capacità della grafica computerizzate e la gestione dei data-base rivelandosi uno strumento unico per organizzare gli elementi territoriali, pertinenti con il piano di intervento, su mappe elettroniche georeferenziate ed associarvi i dati alfanumerici.

La flessibilità e la capacità di analisi spaziale di tali strumenti inoltre permette l'implementazione di modelli di propagazione, la ricostruzione delle superfici di flusso e dei percorsi di migrazione degli inquinanti, la generazione di aree di rispetto attorno ad elementi geometrici e la verifica in automatico della distanza tra un elemento e l'altro.

Un classico esempio è la possibilità di eseguire interrogazioni interattive direttamente sulla mappa di elementi geometrici puntuali lineari e poligonali che rappresentano la geometria e la posizione di impianti, serbatoi, elementi ambientali sensibili, (habitat, parchi linee di costa, rete idrografica sorgenti), aree di allocazione delle attrezzature, i percorsi, l'ubicazione dei sistemi di monitoraggio. Le informazioni che possono essere ottenute sono molteplici: superficie di pertinenza dell'impianto, quantità e tipologia delle sostanze contenute nei serbatoi, quantità che possono potenzialmente fuoriuscire, tipologia di pavimentazione, reti tecnologiche interrato, caditoie ecc, percorsi più veloci ecc. (fattore K4 in Par. 7.1)

Organizzando i dati in un unico sistema e analizzando le caratteristiche degli elementi in relazione alla loro posizione, la pianificazione di un intervento in emergenza risulta più efficace al punto a tale da poter simulare scenari incidentali.

Tali sistemi possono rivelarsi particolarmente utili anche per ottemperare alle richieste di restituire adeguata rappresentazione cartografica del territorio di cui agli artt. 19 e 21 lettera d) del D.Lgs 238/05.

### ***C.2.2.2 Sistemi di monitoraggio***

Si riferisce nella fattispecie a reti pre-costituite di sorveglianza della qualità delle acque sotterranee realizzate per mezzo di piezometri o pozzi di diametro ridotto installati in posizioni e profondità idonee a valle della sorgente di contaminazione volti alla raccolta di campioni di acqua sotterranea o di gas interstiziali per la individuazione di concentrazioni anomale di sostanze pericolose.

#### *Piezometri di monitoraggio*

Un piezometro è un pozzo di diametro ridotto che permette l'inserimento di attrezzature (campionatori o sonde) finalizzati alla raccolta di campioni di acque di falda o alla misura diretta in foro della eventuale presenza di sostanze contaminanti.

In uno scenario incidentale che implica la fuoriuscita, la penetrazione in falda e la migrazione orizzontale di sostanze pericolose, un sistema di monitoraggio si rivela utile in quanto permette l'immediata individuazione del percorso effettuato delle sostanze contaminanti e, conseguentemente agevolare il posizionamento di presidi di contenimento, nella fattispecie l'esecuzione di trincee, pozzi barriera o l'istallazione e messa in esercizio all'interno di questi (se esistenti) di sistemi di pompaggio.

Una rete di monitoraggio costituisce una misura di riduzione del rischio di danni rilevanti per l'ambiente, nella fattispecie acque sotterranee, dal momento che riduce i tempi necessari per la realizzazione di un efficace sistema di sbarramento soprattutto laddove l'eterogeneità dei litotipi o la presenza di vie preferenziali di migrazione incrementa l'incertezza nell'individuazione della direzione di propagazione del fronte inquinante.

La configurazione orizzontale (planimetrica) e verticale (profondità) di una rete di monitoraggio co-

stituita da piezometri dipende dal grado di conoscenza della situazione idrogeologica presente al di sotto dell'impianto e dalle sostanze che si presume possano interessare il comparto idrico sotterraneo. La disposizione planimetrica dei piezometri deve poter coprire un'area tale da intercettare l'arrivo del pennacchio inquinante e dar luogo in tempo utile all'implementazione di un presidio di contenimento. Vedi esempio in fig C11. La profondità è dettata dalla soggiacenza e dalle oscillazioni stagionali della falda, nonché dalle caratteristiche di densità degli inquinanti. Per i LNAPL è sufficiente spingersi di poco al di sotto del livello minimo stagionale della falda (2-3 metri). Mentre per i DNAPL è necessario che la profondità del foro e del tratto fenestrato interessi l'intero spessore dell'acquifero (o max 20-30 metri). Si ricorda che in ambito Seveso (pre-incidente) la configurazione e le caratteristiche costruttive dei piezometri è a totale discrezione del gestore, pertanto esse devono soddisfare unicamente il requisito di permettere l'individuazione anche qualitativa dei contaminanti in falda e non necessariamente gli standard che sono richiesti in un piano di caratterizzazione effettuato ai sensi del DM 471/99. Ne consegue che per intercettare un pennacchio di LNAPL anche una configurazione come quella riportata a puro titolo esemplificativo nella figura 1 può rappresentare una misura di riduzione del rischio molto efficace e fattibile a costi relativamente bassi nel caso di diametri e profondità ridotti (es. 1,5 pollici, 4-5 metri dal p.c.)

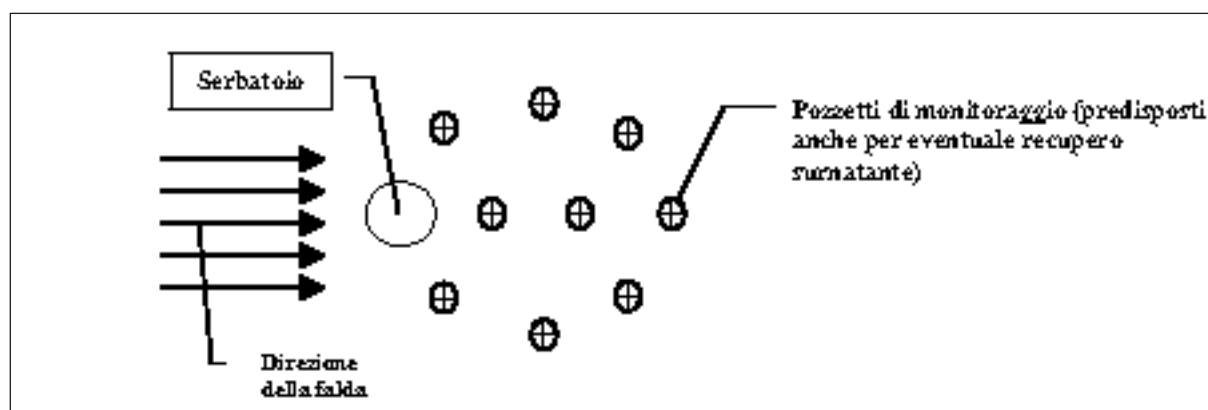


Fig.C.11 Schema di una rete ideale di micro-piezometri / pozzetti di monitoraggio a protezione di un parco serbatoi

Per l'intercettazione della direzione del pennacchio contaminante e per determinare quindi la presenza di sostanze è sufficiente effettuare misure in situ anche direttamente in pozzo o previo prelievo e di un campione di acqua. Nel caso di composti organici come gli idrocarburi è possibile disporre di apposite attrezzature portatili che permettono di misurare in falda con tempi di risposta immediati, attraverso una sonda anche multi parametrica (probe) di diametro ridotto (0,75") collegata ad una fettuccia metrica, lo spessore del surnatante o le concentrazioni dei composti disciolti in acqua mediante analizzatori portatili dotati di sensori dedicati (fibre ottiche, fotoionizzatori, infrarossi).

## ANNESSE D

### Metodi di calcolo e misura dei parametri idrogeologici attraverso la legge di Darcy

Di seguito vengono riportate, a titolo d'esempio, alcune formule empiriche d'uso comune e che permettono di ottenere i parametri necessari per l'applicazione del metodo:

*Formule, tabelle e abachi collegati alla calcolo dei parametri di input del metodo (Legge di Darcy)*

Portata $Q$	Velocità apparente	Velocità effettiva	C. di Permeabilità	Trasmittività
$Q = kAi$	$V = Q/A$	$V_e = Q/A\eta_e$	$K = Q/Ai$	$T = Kb$
$Q = kbLi$	$V = Ki$	$V_e = ki/\eta_e$		
$Q = Th$				

La portata  $Q$  di una falda può essere calcolata grazie alla formula  $Q = kAi$  considerando la sezione totale  $A$  dell'acquifero o mediante la sommatoria dei valori calcolati per sezioni elementari.

Il gradiente idraulico ( $i$ ) rappresenta il rapporto tra la differenza di carico idraulico misurata in due punti e l'interdistanza tra questi. Il parametro  $i$  può essere desunto dalla letteratura, dall'esame di carte delle isopieze o attraverso misurazioni di quota della falda eseguite su piezometri.

La determinazione del Coefficiente di Permeabilità, può essere effettuata attraverso tabelle di riferimento a partire dalla litologia del sito. Nella tabella seguente vengono indicati alcuni valori indicativi di permeabilità per terreni a diversa granulometria (da Castany, 1968, modificato) dai quali, considerando un gradiente unitario, è possibile ottenere le velocità di filtrazione verticale media.

Litologia	Permeabilità (m/sec)
Ghiaia pulita	$1,5 \cdot 10^{-1}$
Ghiaia e sabbia	$3,0 \cdot 10^{-3}$
Sabbia grossolana	$4,0 \cdot 10^{-3}$
Sabbia media	$8,5 \cdot 10^{-4}$
Sabbia fine	$6,2 \cdot 10^{-5}$
Sabbia limosa	$5,0 \cdot 10^{-6}$
Limo	$6,5 \cdot 10^{-7}$
Argilla	$3,2 \cdot 10^{-8}$

Si sottolinea che la permeabilità orizzontale è in genere maggiore della permeabilità verticale per mezzi omogenei e isotropi. Per acquiferi stratificati (multistrato) in genere si fa riferimento ad un  $K_{medio}$  risultante dal rapporto tra la sommatoria delle singole permeabilità moltiplicate lo spessore dei singoli strati e lo spessore complessivo.

La determinazione della velocità effettiva  $V_e$  può essere calcolata mediante la formula  $V_e = ki/\eta_e$  conoscendo la porosità efficace  $\eta_e$  (Tab. DI, da Castany).

Tab. D1

Acquifero	Porosità efficace %	Acquifero	Porosità efficace %
Ghiaia grossa	30	Sabbia grossa + silt	5
Ghiaia media	25	Silt	2
Ghiaia fine	20	Fanghi	0,1
Ghiaia + sabbia	15-20	Calcere fessurato	2-10
Alluvioni	8-10	Craie	2-5
Sabbia grossa	20	Arenaria fessurata	2-15
Sabbia media	15	Granito fessurato	0,1-2
Sabbia fine	10	Basalto fessurato	8-10
Sabbia molto fine	5	Scisti	0,1-2

La determinazione della trasmissività  $T$  viene effettuata tramite prove di emungimento in sito. In fig. D1 viene presentato un abaco per il calcolo empirico della trasmissività in base al valore di portata specifica  $Q_s$ , per falda libera (freatica) e artesianiana.

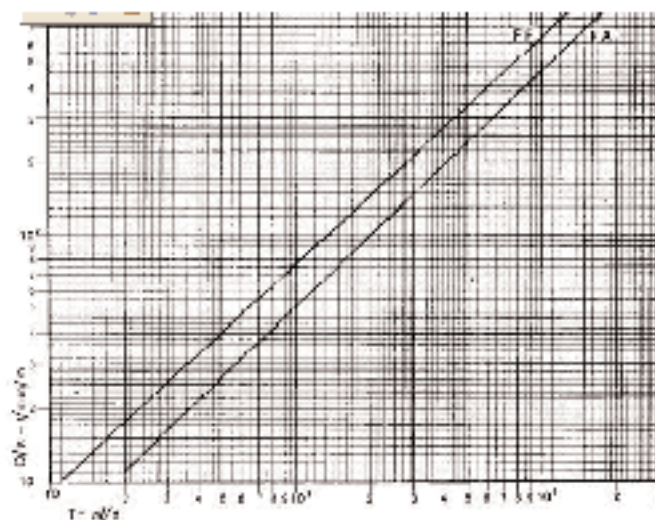


Fig D1. Abaco per il calcolo empirico della trasmissività in base al valore di portata specifica  $Q_s$  per falda libera (freatica) e artesianiana.

---

Se non si dispone di dati provenienti da prove di emungimento o da misure di portata della falda il valore di trasmissività può essere desunto dal prodotto della permeabilità e dello spessore dell'acquifero. Nella tabella X riportata nel paragrafo 5.3 si fa riferimento a questi due parametri per la determinazione delle classi di potenziale di sfruttamento della falda.

#### *Altre espressioni empiriche di uso comune*

Qui di seguito vengono riportate, a titolo informativo, alcune espressioni empiriche di comune utilità valide per stimare i volumi di suolo richiesto per immobilizzare un volume noto di idrocarburi rilasciati e per il calcolo della profondità massima di penetrazione di un NAPL nel mezzo non saturo:

$$V_s = 0,2 * V_{napl} / \eta_e * (S_r) \text{ (fonte American Petroleum Institute)}$$

Dove:

$V_s$  è il volume di suolo richiesto per raggiungere la saturazione residua,

$V_{napl}$  è il volume di idrocarburo rilasciato,

$\eta_e$  è la Porosità efficace,

$S_r$  è la Capacità di saturazione residua del mezzo non saturo (cfr Annesso A);

$$D = V_s / A \text{ (Formula di Van Dam e Dietz)}$$

$$D = k * V_{napl} / A \text{ (CONCAWE, 1974)}$$

$$D = 1000 * V_{napl} / AR \text{ (CONCAWE, 1979)}$$

Dove:

$D$  è la profondità massima raggiungibile dal liquido,

$V_s$  è il volume di suolo richiesto per raggiungere la saturazione residua,

$A$  è l'area interessata dal rilascio,

$K$  è una costante funzione della capacità di ritenzione del suolo per il liquido e della viscosità del liquido stesso.

$R$  è la capacità di ritenzione del suolo (cfr Annesso A)

#### *Metodologie per la determinazione diretta di alcuni parametri idrogeologici del terreno*

##### **Velocità di infiltrazione verticale $V_i$ :**

– Apparecchio di Muntz (in Tombesi, 1982)-

– Infiltrometro a doppio anello (ASTM D 3385-75, 1979)-

– Infiltrometro a doppio anello sigillato (derivazione dell'infiltrometro a doppio anello della serie ASTM)-

– Bat Porous Probe (Daniel D.E., 1987)

##### **Permeabilità Verticale ( $K_v$ ) -**

– Lisimetri di superficie

– Lisimetri a pesata

– Lisimetri sotterranei

##### **La permeabilità laterale profonda ( $K_o$ )**

Shallow well pump-in test (Boast C.W., Kirkham D., 1971; Bouwer H., Jacksons R.D., 1974; Tombesi L., 1982; Van Beers W.F.J., 1979;).

---

### **Velocità effettiva di propagazione orizzontale $V_e$**

- Metodo dei traccianti che consiste nell'immissione in falda di sostanze traccianti e nella misura del tempo impiegato da queste per percorrere la distanza tra un pozzo a monte ed uno a valle.
- Flussimetri per la misura di velocità e direzione della falda in pozzo.

---

## ANNESSE E

### Rischi di origine naturale

#### E.1. Rischio Sismico

Con l'emanazione del decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14 settembre 2005 sono entrate in vigore il 24 ottobre 2005 le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni. Tali norme sostituiscono, a tutti gli effetti, gli allegati 2, 3, e 4 delle norme tecniche di cui all'Ordinanza n° 3274 del 20-03-2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri, concernente *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*.

Il provvedimento innova profondamente l'approccio tecnico e metodologico alla protezione sismica delle strutture, sia per quanto riguarda le nuove costruzioni che per gli interventi di adeguamento del patrimonio esistente.

Tali norme di fatto non cancellano comunque l'allegato 1 dell'anzidetta OPCM 3274/03 in materia di Riclassificazione Sismica del Territorio ove sono stati introdotti nuovi criteri per la revisione della classificazione di rischio sismico del territorio nazionale. Tali criteri tra l'altro sono già stati recepiti dalle singole regioni per la effettuare la classificazione sismica del territorio a mezzo di appositi provvedimenti legislativi di competenza. A tal riguardo, assume particolare rilievo il superamento dell'approccio metodologico della precedente normativa, che distingueva tra comuni “a rischio sismico”, ordinati secondo tre livelli di rilevanza, e comuni “non classificati”, sostanzialmente considerati come non esposti a rischio sismico.

I nuovi criteri prevedono che l'intero territorio nazionale sia considerato esposto al rischio sismico, con individuazione di 4 livelli di rilevanza, numerati da 1 (rischio più elevato) a 4 (rischio meno elevato).

A tale nuova classificazione erano strettamente correlate le norme tecniche riportate negli allegati 2,3,4 dell'Ordinanza che riguardavano rispettivamente *“Progetto, valutazione ed adeguamento sismico degli edifici”* (in cls. armato, acciaio, muratura, legno), *“Progetto sismico dei ponti”*, *“Progetto sismico delle opere di fondazione e sostegno dei terreni”*.

relative a calcolo e verifica delle strutture. Tali allegati sono stati ripresi e sostituiti dalle Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni che, in relazione alla zona di rischio del sito, assegnano uno specifico parametro di “accelerazione di picco orizzontale del suolo da considerarsi nell'elaborazione di calcolo.

L'ordinanza OPCM 3274/03 disponeva anche modalità di prima applicazione e transitorie dell'ordinanza stessa che tuttavia sono state recepite dalla nuova normativa: in pratica per le opere i cui lavori sono già iniziati e per le opere pubbliche già appaltate o i cui progetti sono stati già approvati alla data di entrata in vigore delle nuove norme (24 ottobre 2005 ) possono continuare ad applicarsi le norme tecniche e la classificazione sismica ancora antecedenti all'ordinanza. Per il completamento degli interventi di ricostruzione in corso continuano ad applicarsi le norme tecniche vigenti. In tutti i restanti casi la progettazione potrà essere conforme a quanto prescritto dalla nuova classificazione, sismica come previsto da ogni singola regione, con la possibilità, per non oltre 18 mesi, di continuare ad applicare le norme tecniche vigenti (precedenti ancora all'ordinanza).

In pratica con l'entrata in vigore delle Nuove Norme (il 24 ottobre 2005) il suddetto termine di 18 mesi disposto dall'ordinanza è stato prorogato di altri 18 mesi.

In zona 4 è lasciata facoltà alle singole Regioni di introdurre o meno l'obbligo della progettazione antisismica”



---

Rimane comunque valida l'ordinanza per quanto concerne:

- gli edifici e le opere di cui al comma 3 dell'articolo 2 (edifici di interesse strategico ed opere infrastrutturali) la cui funzionalità, durante gli eventi sismici, assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, e gli edifici ed opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso per i quali si applicano la nuova riclassificazione sismica (adottate dalle singole regioni) e le nuove norme tecniche di cui al DM 14 settembre 2005 entrate in vigore il 24 ottobre 2005 ). Ciò comporta l'avvio, su tali edifici, di un'azione di ricognizione sullo stato di sicurezza che durerà cinque anni. (tale verifica non è necessaria qualora gli edifici siano stati progettati secondo le norme emanate successivamente al 1984). Con apposito decreto del 21 ottobre 2003, lo stato ha individuato in allegato 1, gli elenchi degli edifici la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile (Elenco I) e in particolare degli edifici ed opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso (Elenco II).

## **ALLEGATO I**

### *Elenco I*

Categorie di edifici ed opere infrastrutturali di interesse strategico di competenza statale, la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile.

#### 1. Edifici.

Edifici in tutto o in parte ospitanti funzioni di comando, supervisione e controllo, sale operative, strutture ed impianti di trasmissione, banche dati, strutture di supporto logistico per il personale operativo (alloggiamenti e vettovagliamento), strutture adibite all'attività logistica di supporto alle operazioni di protezione civile (stoccaggio, movimentazione, trasporto), strutture per l'assistenza e l'informazione alla popolazione, strutture e presidi ospedalieri, il cui utilizzo abbia luogo da parte dei seguenti soggetti istituzionali:

1) organismi governativi;2) uffici territoriali di Governo;3) Corpo nazionale dei Vigili del fuoco;4) Forze armate;5) Forze di polizia;6) Corpo forestale dello Stato;7) Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici;8) Registro italiano dighe;9) Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia;10) Consiglio nazionale delle ricerche;11) Croce rossa italiana;12) Corpo nazionale soccorso alpino;13) Ente nazionale per le strade e società di gestione autostradale;14) Rete ferroviaria italiana;15) Gestore della rete di trasmissione nazionale, proprietari della rete di trasmissione nazionale, delle reti di distribuzione e di impianti rilevanti di produzione di energia elettrica;16) associazioni di volontariato di protezione civile operative in più regioni.

#### 2. Opere infrastrutturali.

1. Autostrade, strade statali e opere d'arte annesse;
2. Stazioni aeroportuali, eliporti, porti e stazioni marittime previste nei piani di emergenza, nonché impianti classificati come grandi stazioni.
3. Strutture connesse con il funzionamento di acquedotti interregionali, la produzione, il trasporto e la distribuzione di energia elettrica fino ad impianti di media tensione, la produzione, il trasporto e la distribuzione di materiali combustibili (quali oleodotti, gasdotti, ecc.), il funzionamento di servizi di comunicazione a diffusione nazionale (radio, telefonia fissa e mobile, televisione).

### *Elenco II*

Categorie di edifici ed opere infrastrutturali di competenza statale che possono assumere rilevanza in

---

relazione alle conseguenze di un eventuale collasso.

#### 1. Edifici

Edifici pubblici o comunque destinati allo svolgimento di funzioni pubbliche nell'ambito dei quali siano normalmente presenti comunità di dimensioni significative, nonché edifici e strutture aperti al pubblico suscettibili di grande affollamento, il cui collasso può comportare gravi conseguenze in termini di perdite di vite umane.

1. Strutture il cui collasso può comportare gravi conseguenze in termini di danni ambientali (quali ad esempio impianti a rischio di incidente rilevante ai sensi del decreto legislativo 17 agosto 1999, n. 334 e successive modifiche ed integrazioni, impianti nucleari di cui al decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230, e successive modifiche ed integrazioni).
2. Edifici il cui collasso può determinare danni significativi al patrimonio storico, artistico e culturale (quali ad esempio musei, biblioteche, chiese).

#### 2. Opere infrastrutturali.

1. Opere d'arte relative al sistema di grande viabilità stradale e ferroviaria, il cui collasso può determinare gravi conseguenze in termini di perdite di vite umane, ovvero interruzioni prolungate del traffico.
2. Grandi dighe.

Si sottolinea che ogni regione, a sua volta, ha individuato, tramite proprio atto liberativo gli elenchi degli edifici di propria competenza la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile (Elenco I) e in particolare degli edifici ed opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso (Elenco II). (Vedi ad esempio l'allegato 2 della DGR Lazio 766/03)

## **E.2. Rischio Inondazioni**

### Fasce Fluviali A, B, C.

La determinazione delle fasce fluviali è di competenza dell'autorità di bacino ai sensi della legge nazionale n° 183/89.

Il piano di bacino idrografico è il principale strumento dell'azione di pianificazione e programmazione dell'Autorità, mediante il quale sono "pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo e alla corretta utilizzazione delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche e ambientali del territorio interessato" (**L.183/89 art.17 comma1**).

Il comma 6-ter dell'art.17 della **L.183/89** introduce quale strumento di pianificazione settoriale, in attesa dell'approvazione del piano di bacino, i Piani stralcio.

I piani stralcio dell'Autorità di bacino sono:

- **PS 45** - piano stralcio per la realizzazione degli interventi necessari al ripristino dell'assetto idraulico, alla eliminazione delle situazioni di dissesto idrogeologico e alla prevenzione dei rischi idrogeologici nonché per il ripristino delle aree di esondazione;
- **PSFF** - piano stralcio delle fasce fluviali;

Le fasce fluviali sono così definite:

- **fascia A**, denominata di "deflusso della piena", è costituita dalla porzione di alveo sede del deflusso della corrente, e la cui morfologia è riattivabile durante gli stati di piena;
- **fascia B**, denominata di "esondazione", è fatta coincidere con il piede esterno dell'argine maestro,

---

se adeguato al contenimento della piena di riferimento;

- **fascia C**, denominata di “inondazione per piena catastrofica”, è a volte molto ampia e considera quel settore di territorio di pertinenza fluviale che può essere interessata da eventi di piena più gravi di quello di riferimento.

**PAI** – piano stralcio per l’assetto idrogeologico.

Il “**Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico**” ha lo scopo di assicurare, attraverso la programmazione di opere strutturali, vincoli, direttive, la difesa del suolo rispetto al dissesto di natura idraulica e idrogeologica e la tutela degli aspetti ambientali a esso connessi, in coerenza con le finalità generali e indicate all’art. 3 della legge 183/89 e con i contenuti del Piano di bacino fissati all’art. 17 della stessa legge.

Il **PAI** rappresenta l’atto di pianificazione, per la difesa del suolo dal rischio idraulico e idrogeologico, conclusivo e unificante dei due strumenti di pianificazione parziale, il PS 45 e il PSFF.

Rispetto a questi Piani stralcio, il PAI contiene, per l’intero bacino:

- il completamento del quadro degli interventi strutturali a carattere intensivo, sui versanti e sui corsi d’acqua non individuati per carenze informative nel PS 45 e che non trovano copertura finanziaria nell’ambito delle leggi collegate all’evento di piena del ‘94 (leggi 22/95, 35/95, 185/92);
- l’individuazione del quadro degli interventi strutturali a carattere estensivo;
- la definizione degli interventi a carattere non strutturale, costituiti principalmente dagli indirizzi e dalle limitazioni d’uso del suolo nelle aree a rischio idraulico e idrogeologico:
  1. completamento della delimitazione delle fasce fluviali ai rimanenti corsi d’acqua principali del bacino, per i quali assume la normativa (relativa alla regolamentazione degli usi del suolo e degli interventi nei territori fluviali delimitati) già approvata nell’ambito del PSFF;
  2. con riferimento all’individuazione e alla perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico, nella restante parte del territorio collinare e montano, conformemente a quanto previsto dal testo del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180, coordinato con la legge di conversione 3 agosto 1998, n. 267.

---

## GLOSSARIO

Si riportano di seguito alcune definizioni utili per la comprensione del presente documento estratte dalla normativa in materia di protezione delle acque potabili (punti di captazione) e dalla letteratura tecnica.

### **Acquifero**

Corpo permeabile in grado di immagazzinare e trasmettere un quantitativo idrico tale da rappresentare una risorsa di importanza socio-economica ed ambientale

L'acquifero può essere considerato un complesso unico costituito da due componenti:

- la roccia permeabile o serbatoio
- le acque sotterranee circolanti in esso

Un sistema acquifero comprende tre parti principali:

- La zona di alimentazione, nella quale avviene l'infiltrazione verticale di acque meteoriche o da corpi idrici superficiali
- La zona di deflusso ove avviene la circolazione (acquifero propriamente detto)
- La zona di sbocco in cui le acque sotterranee confluiscono in un diverso sistema idrogeologico, in un corpo idrico superficiale (fiume, lago, mare ecc.) o emergono tramite una sorgente.

### **Acquifero non protetto**

Acquifero che non presenta le caratteristiche di protezione delle acque sotterranee descritte al punto successivo.

**Acquifero protetto** è separato dalla superficie di suolo o da una falda libera sovrastante mediante un corpo geologico con caratteristiche di conducibilità idraulica continuità laterale e spessore tali da impedire il passaggio dell'acqua per tempo dell'ordine dei quaranta anni.

La continuità areale del corpo geologico deve essere accertata per una congrua estensione tenuto conto dell'assetto idrogeologico locale e regionale.

Un acquifero si intende protetto quando i risultati delle indagini del sottosuolo e le prove idrogeologiche ed idrochimiche eseguite verificano appieno almeno una delle condizioni di cui sopra. Un acquifero protetto può essere localizzato anche al di sotto di un acquifero contaminato qualora siano rispettate le condizioni precedentemente illustrate.

### **Centri di pericolo**

Attività, insediamenti, manufatti in grado di costituire direttamente o indirettamente fattori certi o potenziali di degrado quali-quantitativo delle acque.

### **Coefficiente di Immagazzinamento (S),**

Adimensionale, rappresenta il volume d'acqua che si libera o che viene immagazzinato nel terreno per superficie unitaria dell'acquifero e per una variazione unitaria del carico idrostatico o pressione; esso è essenzialmente funzione della porosità del terreno, della compressibilità dell'acqua e della compressibilità verticale dovuta alla riduzione del volume dei pori. Nelle falde libere il coefficiente di immagazzinamento coincide con la porosità efficace.

### **Coefficiente di Immagazzinamento Specifico ( $S_s$ ),**

Si esprime in m-1, e si ottiene dividendo il Coefficiente di Immagazzinamento (S) per lo spessore (D) dell'acquifero.

### Coefficiente di permeabilità (K),

O conducibilità idraulica misurata in m/s o cm/s, rappresenta la quantità d'acqua che passa attraverso una sezione unitaria di terreno, nell'unità di tempo, sotto un gradiente idraulico unitario e ad una data temperatura.

Nel caso teorico di un mezzo poroso omogeneo e isotropo il moto di filtrazione dell'acqua avviene secondo la Legge di Darcy  $Q = K A i$ , dove  $Q$  è la portata per unità di tempo,  $A$  è la sezione perpendicolare alla direzione di flusso,  $i$  il gradiente idraulico che esprime la differenza di carico idraulico (altezza del livello piezometrico) rispetto ad un piano di riferimento tra due punti per unità di distanza.

### Falda

Le acque che si trovano al di sotto della superficie del terreno nelle zone di saturazione e in diretto contatto con il suolo sottosuolo, circolanti nell'acquifero e caratterizzate da movimento e presenza continua e permanente.

Essa può essere distinta secondo le condizioni idrauliche ed al contorno in libera, confinata, semiconfinata/semilibera/multistrato.

#### *Libera (freatica)*

falda delimitata solo inferiormente da terreni impermeabili e che può ricevere apporti laterali e dalla superficie.

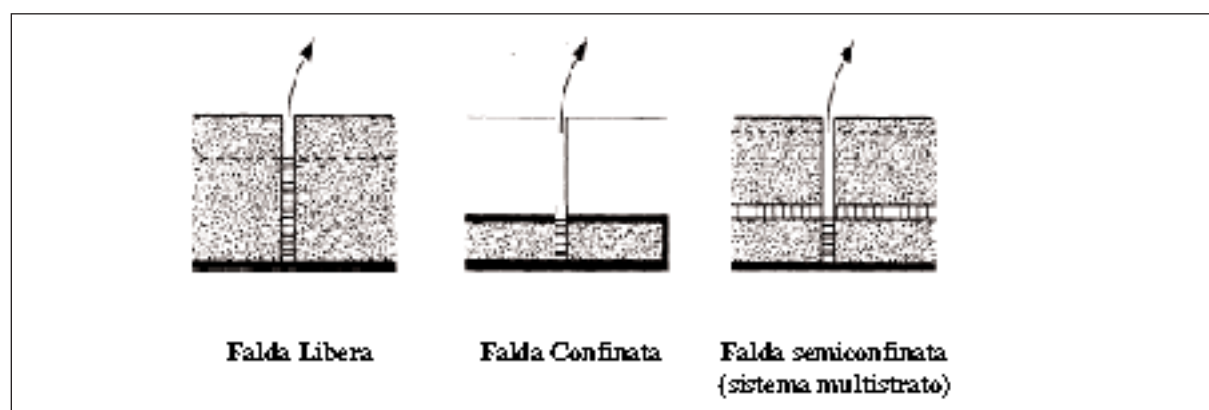
#### *Confinata*

Falda limitata inferiormente e superiormente da livelli impermeabili acquiccludi con acqua in pressione che può ricevere alimentazione solo lateralmente e nel caso sia abbia una risalienza dei livelli al di sopra del piano campagna si ha una **falda artesianiana**.

#### *Semiconfinata/Semilibera*

Falda limitata da livelli semipermeabili che permettono un debole passaggio da una falda all'altra e a seconda dell'oggetto dell'indagine si distinguono in falda semi/confinata o semi/libera o anche multistrato (vedi sotto).

Non costituiscono una falda i livelli discontinui e/o di *modesta* estensione presenti all'interno e al di sopra di una litozona a *bassa conducibilità idraulica*.



---

### *Multistrato*

In sintesi è formata da strati permeabili alternati a livelli impermeabili ad estensione più o meno limitata: gli orizzonti permeabili si possono considerare in comunicazione idraulica tra loro, e l'acquifero viene descritto come un sistema unico multistrato.

### *Monostrato*

Falda costituita da un unico livello o litozona che ne conferisce in genere caratteristiche di omogeneità nella direzione verticale.

### *Omogeneo/Isotropo*

Falda costituita da una litozona o più litozone dove le caratteristiche granulometriche si mantengono pressoché costanti sia in senso orizzontale che verticale nell'ambito di un singolo livello ovvero dove non si riscontrino variazioni delle caratteristiche idrauliche (conducibilità idraulica, gradiente idraulico) a seconda della direzione.

### *Eterogeneo/anisotropo*

Falda che non presenta le caratteristiche di omogeneità o isotropia di cui al punto precedente

## **Fattore sostanza B**

Rappresentazione numerica della pericolosità intrinseca della sostanza, o miscela di sostanza, nei riguardi dell'ambiente. Il suo calcolo tiene conto delle caratteristiche della sostanza relative ai possibili meccanismi di danno ambientale: tossicità, mobilità e persistenza.

## **Indice di Propensione al Rilascio PR**

Rappresentazione sintetica mediante un numero della possibilità per una unità di stabilimento di essere interessata da situazioni di perdita di contenimento della sostanza pericolosa, senza tener conto delle misure di riduzione del rischio, sia di tipo impiantistico che gestionale, implementate nell'unità.

## **Indice di Propensione al Rilascio Compensato PR'**

Equivale all'indice PR corretto per la considerazione della:

- riduzione del rischio attraverso la riduzione della frequenza degli incidenti che comprende le configurazioni di sicurezza e le misure preventive, in particolare, rivolte ad evitare incidenti e a determinare una riduzione del numero degli stessi (tipo di progettazione meccanica, le strumentazioni di controllo e di sicurezza, le procedure di esercizio e di manutenzione, l'addestramento del personale, la buona conduzione e il buono stato di manutenzione degli impianti);
- riduzione del rischio attraverso la riduzione dell'entità potenziale degli incidenti che comprende le caratteristiche di sicurezza e le misure protettive che contribuiscono a ridurre l'entità di qualsiasi incidente che possa verificarsi e sono intese a minimizzare i danni conseguenti ad un rilascio accidentale.

## **Isocrona:**

Linea che congiunge i punti di uguale tempo di arrivo delle particelle d'acqua ad una opera di captazione con un percorso attraverso il mezzo saturo.

---

## **Misure di protezione**

### *Protezione dinamica*

E' costituita dall'attivazione e gestione di un preconstituito sistema di monitoraggio delle acque in afflusso alle captazioni in modo di verificarne periodicamente i fondamentali parametri quantitativi e qualitativi e di consentire con sufficiente tempo di sicurezza la segnalazione di eventuali loro variazioni significative.

### *Protezione statica*

E' costituita da divieti vincoli e regolamentazioni che si applicano alle zone di protezione assoluta di rispetto e finalizzata alla prevenzione del degrado delle acque in afflusso alle opere di captazione. A tale scopo possono essere eventualmente realizzate opportune opere anche ad integrazione di quelle di captazione in grado di minimizzare o eliminare i problemi di incompatibilità tra uso del territorio e qualità delle risorse idriche captate.

## **Mobilità**

Riferita ad una sostanza, o miscela di sostanze, ai fini del calcolo del fattore sostanza B. Rappresenta la capacità del composto di "muoversi" nel suolo e nella falda. Il valore numerico che la rappresenta tiene conto sia della ripartizione, in condizioni di equilibrio chimico, tra materiale del suolo e fase liquida che delle caratteristiche di solubilità del composto nell'acqua. Per questo ultimo aspetto, a seconda delle caratteristiche del composto (gas, liquido, solido) sono considerate anche le caratteristiche di viscosità, tensione di vapore e densità.

## **Persistenza**

Riferita ad una sostanza, o miscela di sostanze, ai fini del calcolo del fattore sostanza B. Rappresenta, numericamente, la capacità del composto di decomporsi, ovvero di subire processi di degradazione abiotica o biologica. La persistenza è relazionata anche alla capacità reattiva del composto.

## **Piezometro**

Pozzo generalmente di diametro ridotto che filtra solo un tratto d'acquifero significativo ai fini della misura del livello piezometrico della falda in esame.

## **Porosità (h)**

Rappresenta il rapporto fra volume dei vuoti e volume totale del mezzo ed è misurata come valore percentuale.

## **Porosità Efficace ( $h_e$ )**

Rappresenta il rapporto fra il volume dei vuoti interconnessi e il volume totale del mezzo poroso.

## **Portata Specifica $Q_s$**

E' uguale a Q/metri di abbassamento max del livello piezometrico in pozzo. Al proposito occorre considerare che

- in un acquifero freatico è antieconomico operare con abbassamenti superiori al 70% del massimo, mentre in un acquifero in pressione è sconsigliabile operare con abbassamento vicino al tetto del primo livello permeabile filtrato (Chiesa, 1986, p. 273);
- abbassamenti notevoli possono provocare cedimenti nei manufatti e depauperare le opere di cap-

---

tazione circostanti;

- l'abbassamento massimo dovrà essere stabilito sulla base della curva caratteristica delle pompe che si intende installare;

### **Pozzo**

Struttura realizzata mediante una perforazione generalmente completata con rivestimento, filtri, dreno e cementazione e sviluppata al fine di consentire l'estrazione d'acqua dal sottosuolo.

### **Pozzo di monitoraggio.**

Pozzo che consente il prelievo di campioni di acqua rappresentativi della falda interessata da filtri. Per particolari condizioni del flusso idrico sotterraneo pozzo di monitoraggio e piezometro possono coincidere.

### **Soggiacenza**

In una falda libera è rappresentata dalla profondità della falda misurata in un pozzo o piezometro rispetto alla superficie del suolo, in una falda confinata la soggiacenza s'intende come la profondità del tetto dell'acquifero.

### **Tempo di sicurezza:**

Intervallo temporale rappresentato dal periodo necessario perché una particella d'acqua, durante il suo flusso idrico sotterraneo nel mezzo saturo, raggiunga il punto di captazione spostandosi lungo la superficie della falda.

Il valore numerico da attribuire a tale intervallo temporale deve tenere conto del tempo necessario per implementare misure di approvvigionamento idrico alternativo (nel caso sia calcolato per punti di captazione) o sistemi di disinquinamento delle acque sotterranee. Il tempo di sicurezza è utilizzato per la delimitazione delle zone di rispetto mediante la cartografia d'isocrone.

### **Tossicità**

Riferita ad una sostanza, o miscela di sostanze, ai fini del calcolo del fattore sostanza B. Il valore numerico è ottenuto sulla base della considerazione delle frasi di rischio attribuite che tengono conto della ecotossicità, delle caratteristiche di degradazione/accumulo e della pericolosità per l'uomo (ingestione, contatto, cancerogenicità, mutagenicità, effetti sulla riproduzione, effetti irreversibili, ecc.).

### **Tramissività (T),**

Misurata in  $m^2/s$ , rappresenta la portata attraverso una superficie di larghezza unitaria e di altezza pari allo spessore dell'acquifero sotto un gradiente idraulico unitario. Si ottiene moltiplicando la Conduttività Idraulica ( $k$ ) per lo spessore ( $b$ ) dell'acquifero.

### **Vulnerabilità dell'acquifero**

Suscettività di un acquifero ad ingerire e permettere la migrazione di una o più sostanze inquinanti che producono un impatto sulle caratteristiche qualitative delle acque sotterranee limitandone la disponibilità quantitativa.

Tale vulnerabilità è anche definita come vulnerabilità intrinseca.