



Ernst Basler + Partner AG

maggio 2015

Rischi derivanti dal trasporto di merci pericolose su ferrovia

Metodologia per lo screening dei rischi per l'ambiente su tutta la rete 2014

N. registrazione/dossier: 522.11





N. registrazione/dossier: 522.11

Premessa

I lavori relativi al presente rapporto sono stati accompagnati, sotto la direzione dell'Ufficio federale dei trasporti, dai seguenti rappresentanti delle autorità federali, delle imprese ferroviarie e dei Cantoni:

M. Ammann	UFT, Sezione Ambiente
B. Baumgartner	AfU Cantone di Turgovia
D. Bonomi	UFAM, Sezione Prevenzione degli incidenti rilevanti e mitigazione dei sismi
M. Flisch	Laboratorio cantonale di Berna
J. Hansen	AWEL Cantone di Zurigo
A. Kaufmann	UFT, Sezione Ambiente
P. Kuhn	FFS SA, Settore centrale Sicurezza (da luglio 2013 nella Divisione Infrastruttura)
T. Schaller	UFT, Sezione Ambiente (direzione del progetto fino a dicembre 2012)
S. Schnell	UFT, Sezione Ambiente (direzione del progetto da dicembre 2012)
J. Schöbi	FFS SA, Divisione Infrastruttura
H.P. Stoll	FFS SA, Settore centrale Sicurezza (da maggio 2013 nella Divisione Infrastruttura)
C. Troxler	AfU Cantone di Zugo
J. Vouillamoz	BLS SA, Gestione dei rischi e ambiente (fino ad aprile 2013), da maggio 2013 rappresentante delle FFS SA, Settore centrale Sicurezza
J. Gredig	BLS SA, Gestione della sostenibilità e della sicurezza (da agosto 2014)
R. Zürcher	BLS SA, Gestione della sostenibilità e della sicurezza (fino a luglio 2014)

I seguenti collaboratori della ditta Ernst Basler + Partner incaricata dall'UFT sono stati responsabili dell'elaborazione:

Ch. Graf	Elaborazione del progetto
P. Locher	Direzione ed elaborazione del progetto
Ch. Willi	Elaborazione del progetto
C. Zulauf	Garanzia e assicurazione della qualità



N. registrazione/dossier: 522.11

Sommario

1	SITUAZIONE DI PARTENZA, OBIETTIVI E DELIMITAZIONE.....	4
2	SOSTANZE RAPPRESENTATIVE E FATTORI DI PONDERAZIONE.....	5
3	FREQUENZA DI RILASCIO E RELATIVI SCENARI.....	7
4	VALUTAZIONE DELL'ENTITÀ DEI DANNI.....	12
4.1	BASI AI SENSI DEI CRITERI DI VALUTAZIONE CONCERNENTI L'OPIR.....	12
4.2	DELIMITAZIONE DEI PROCESSI.....	13
4.2.1	<i>Area d'intersezione tra acqua di falda e corpo d'acqua superficiale.....</i>	13
4.2.2	<i>Considerazione del drenaggio e delle misure di ritenuta.....</i>	13
4.3	METODOLOGIA DI VALUTAZIONE DELL'ENTITÀ DEI DANNI SUI CORPI D'ACQUA SUPERFICIALI.....	14
4.3.1	<i>Rete idrografica presa in considerazione.....</i>	14
4.3.2	<i>Panoramica dei processi presi in considerazione.....</i>	14
4.3.3	<i>Deflusso sulla superficie terrestre lungo la maggiore pendenza.....</i>	15
4.3.4	<i>Infiltrazione della sostanza liquida defluente nel suolo.....</i>	18
4.3.5	<i>Apporto nel corpo d'acqua superficiale.....</i>	20
4.3.6	<i>Determinazione dell'entità dei danni senza tenere conto dell'intervento.....</i>	22
4.3.7	<i>Considerazione dell'intervento nel caso della sostanza rappresentativa prodotti petroliferi</i>	24
4.4	METODOLOGIA DI VALUTAZIONE DELL'ENTITÀ DEI DANNI RELATIVI ALL'INDICATORE «ACQUE DI FALDA».....	30
4.4.1	<i>Delimitazione.....</i>	30
4.4.2	<i>Panoramica dei processi presi in considerazione.....</i>	31
4.4.3	<i>Infiltrazione o penetrazione nel suolo.....</i>	32
4.4.4	<i>Processo «intervento» (scavo/bonifica).....</i>	34
4.4.5	<i>Definizione dei raggi di contaminazione.....</i>	35
4.4.6	<i>Determinazione dell'indice di incidente rilevante.....</i>	36
5	DISCUSSIONE FINALE.....	38
6	BIBLIOGRAFIA.....	40
	ALLEGATO 1: SOSTANZE RAPPRESENTATIVE E FATTORI DI PONDERAZIONE.....	43
	ALLEGATO 2: ESTENSIONE DI UNA CONTAMINAZIONE E ZONA D'INFLUENZA DI UNA CAPTAZIONE.....	51



1 Situazione di partenza, obiettivi e delimitazione

Le vie di comunicazione sulle quali vengono trasportate merci pericolose sono sottoposte all'ordinanza sulla protezione contro gli incidenti rilevanti (OPIR) [OPIR, 1991]. Secondo l'OPIR si devono prendere, lungo le vie di comunicazione, tutte le misure di sicurezza necessarie per proteggere la popolazione e l'ambiente da danni gravi in seguito a incidenti rilevanti. L'elemento centrale dell'OPIR è una procedura di controllo e di valutazione articolata in due fasi che permette di verificare le misure di sicurezza adottate e di valutare la sopportabilità dei rischi di incidenti rilevanti per la popolazione e l'ambiente che derivano dal trasporto di merci pericolose. La direzione di tale procedura spetta all'Ufficio federale dei trasporti, che è l'autorità esecutiva competente per le ferrovie.

Nell'ambito della fase procedurale «Rapporto breve» si sono affermate negli ultimi anni delle procedure di screening. Una tale procedura è stata elaborata già nel 2011 per i rischi per la popolazione (cfr. [Tmp ferrovia, 2011]). Secondo [UFAM, 2010] le procedure di screening sono definite come segue: «Procedura adottata per esaminare i rischi relativi a un'intera rete di vie di comunicazione, atta a fornire, in un diagramma probabilità/entità, curve cumulative calcolate in modo semplificato e conservativo e normalizzate su un tratto lungo 100 m, nonché un elenco di tronchi per i quali in virtù di criteri di esclusione i rischi possono essere considerati minimi.» Lo screening funge dunque da base per la decisione delle autorità esecutive in merito alle parti della rete ferroviaria per le quali la procedura di valutazione di cui all'OPIR può concludersi a livello di rapporto breve dal momento che i rischi vanno valutati come minimi. Se dallo screening emerge che taluni tronchi presentano rischi potenzialmente critici, si dovrà eseguire per essi la fase procedurale «Analisi dei rischi» (AR).

Dopo lavori preliminari pluriennali, nel 2014 i rischi per l'ambiente sono stati individuati sulla base di una metodologia uniforme sotto forma di curve cumulative per tronchi corti e omogenei (denominati per motivi storici «sotto-elementi»). I rischi sono stati considerati per i due indicatori di danno «acque superficiali inquinate» (di seguito denominate per lo più «acque superficiali») e «acque sotterranee inquinate» (di seguito denominate per lo più «acque di falda»). La rete oggetto dello screening, che ha un'estensione totale di 1596 km, comprende tutte le tratte a scartamento normale sulle quali vengono trasportate o potranno essere trasportate in futuro merci pericolose in quantità che presentano rischi potenzialmente rilevanti per la popolazione o per l'ambiente. Il modo di procedere e i risultati sono documentati in un rapporto sui risultati [UFT, 2015].

In riferimento alla delimitazione vale quanto segue, analogamente ai rischi per la popolazione:

- i rischi per l'ambiente non vengono esaminati per i tronchi all'interno delle stazioni di smistamento né in relazione alle manovre dei treni merci;



N. registrazione/dossier: 522.11

- non vengono esaminati neppure i tratti in galleria. L'analisi dei rischi per le acque superficiali e le acque di falda derivanti dai tratti in galleria richiederebbe chiarimenti dettagliati in merito alle condizioni di drenaggio in galleria, che esulano dall'ambito del presente studio.

Il presente rapporto metodologico sullo screening dei rischi per l'ambiente 2015 si rivolge alle persone che vogliono prendere maggiore confidenza con la metodologia di calcolo delle curve cumulative di screening relative ai due indicatori di danno ambientale. Esso rappresenta dunque un'integrazione al rapporto sui risultati ed è strutturato come segue:

- capitolo 2: attribuzione delle merci pericolose trasportate a sostanze rappresentative per le quali i rischi per l'ambiente vengono riportati singolarmente, e applicazione di fattori di ponderazione per tenere conto delle differenze nel potenziale di rischio (cfr. anche allegato 1);
- capitolo 3: definizione degli scenari di rilascio considerati e determinazione della frequenza di rilascio in funzione dei fattori influenti locali rilevanti;
- capitolo 4: determinazione dell'entità dei danni relativa ai due indicatori di danno «acque superficiali» e «acque di falda» in funzione dei fattori influenti locali rilevanti;
- capitolo 5: discussione finale della metodologia comprese le approssimazioni intrinseche.

2 Sostanze rappresentative e fattori di ponderazione

Per gli indicatori di danno «acque superficiali» e «acque di falda» considerati nello screening dei rischi per l'ambiente sono rilevanti solamente le sostanze pericolose che in condizioni di pressione e temperatura dell'ambiente normali sono liquide. Le sostanze solide e gassose possono comportare gravi danni per l'ambiente solo in presenza di condizioni molto particolari. La probabilità di accadimento di tali eventi è pertanto significativamente (cioè di vari ordini di grandezza) più bassa di quella di eventi paragonabili con sostanze liquide. I rilasci di sostanze solide e gassose non possono quindi influenzare in misura determinante la posizione delle curve cumulative di rischio e vengono pertanto trascurati in questa sede.

Per ferrovia vengono trasportate numerose sostanze pericolose liquide con proprietà fisiche e chimiche molto differenti. Per poter valutare le sostanze riguardo ai relativi rischi per l'ambiente, esse vengono attribuite a uno dei tre seguenti gruppi di sostanze. L'attribuzione avviene in funzione del probabile comportamento di diffusione nelle acque superficiali e sotterranee:

- gruppo di sostanze 1: sostanze liquide che galleggiano sull'acqua e sono difficilmente idrosolubili (densità < 1 kg/l, solubilità < 50 g/l)



N. registrazione/dossier: 522.11

- gruppo di sostanze 2: sostanze liquide ben solubili in acqua (solubilità > 50 g/l)
- gruppo di sostanze 3: sostanze liquide che affondano nell'acqua e sono difficilmente idrosolubili (densità > 1 kg/l, solubilità < 50 g/l)

Per semplificare la referenziazione si attribuisce a ogni gruppo di sostanze una sostanza rappresentativa:

- gruppo di sostanze 1: prodotti petroliferi
- gruppo di sostanze 2: epicloridrina
- gruppo di sostanze 3: percloroetilene

Le sostanze rappresentative sono state scelte sulla base dei seguenti criteri:

- vengono trasportate in grandi quantità sulla maggior parte delle tratte rilevanti;
- rientrano nella classe di pericolosità per le acque più alta (WGK 3 – massimo livello di pericolosità) secondo la specifica disposizione amministrativa «Verwaltungsvorschrift wassergefährdender Stoffe (VwVwS) des Beirats Lagerung und Transport wassergefährdender Stoffe» pubblicata in Germania.

Va detto che le sostanze rappresentative sono soltanto nomi. Sono determinanti unicamente i parametri di modello attribuiti ai vari gruppi di sostanze (ad es. i valori limite superati i quali un corpo d'acqua superficiale è considerato inquinato).

Mediante la banca dati ANABEL delle FFS è possibile identificare per numero UN le sostanze pericolose liquide trasportate su ogni tratta ferroviaria rilevante (cfr. [UFT, 2013], cap. 3.2). L'attribuzione delle sostanze trasportate alle tre summenzionate sostanze rappresentative è documentata nell'allegato 1. Per tenere debitamente conto dei differenti livelli di pericolosità per l'ambiente presentati dalle diverse sostanze liquide, nell'aggregazione delle tonnellate nette dei vari numeri UN attribuiti a una sostanza rappresentativa si applica un fattore di ponderazione:

- WGK 3: fattore di ponderazione $fp_i = 1$
- WGK 2: fattore di ponderazione $fp_i = 0,25$
- WGK 1: fattore di ponderazione $fp_i = 0,0625$

Le sostanze liquide della classe di pericolosità WGK 0 non sono prese in considerazione per lo screening dei rischi per l'ambiente; ciò significa che per esse si applica il fattore di ponderazione 0.



N. registrazione/dossier: 522.11

3 Frequenza di rilascio e relativi scenari

Il tasso base di rilascio (valore per carro cisterna-km) e la frequenza di rilascio calcolata sulla base dello stesso tenendo conto dei relativi fattori influenti (tonnellate nette ponderate delle merci pericolose trasportate per sostanza rappresentativa, densità degli scambi, velocità massima consentita dei treni merci e copertura del tracciato ferroviario con impianti per la localizzazione delle boccole surriscaldare e dei freni bloccati) sono stati ripresi invariati dallo screening dei rischi per la popolazione del 2011. Poiché per lo screening dei rischi per l'ambiente è di interesse il rilascio di sostanze pericolose liquide, che sono trasportate nella maggior parte dei casi in carri cisterna convenzionali, per tutte le sostanze rappresentative considerate in questa sede trova applicazione esclusivamente il tasso di base relativo alla sostanza rappresentativa benzina. Per i dettagli si veda [UFT, 2013], capitolo 2.4.

Uno scenario di rilascio è caratterizzato dalle seguenti grandezze:

- a) luogo e/o relativo sotto-elemento,
- b) posizione del luogo di rilascio in relazione al tracciato ferroviario,
- c) relativa sostanza rappresentativa,
- d) parametri di rilascio determinanti per il calcolo dell'entità dei danni: quantità rilasciata, durata del rilascio e ampiezza della pozza (in parte dipendenti dalla sostanza rappresentativa).

Per le grandezze da b) a d) si distinguono rispettivamente tre manifestazioni, rappresentate nella figura Figura 1 nella forma di albero degli eventi.



N. registrazione/dossier: 522.11

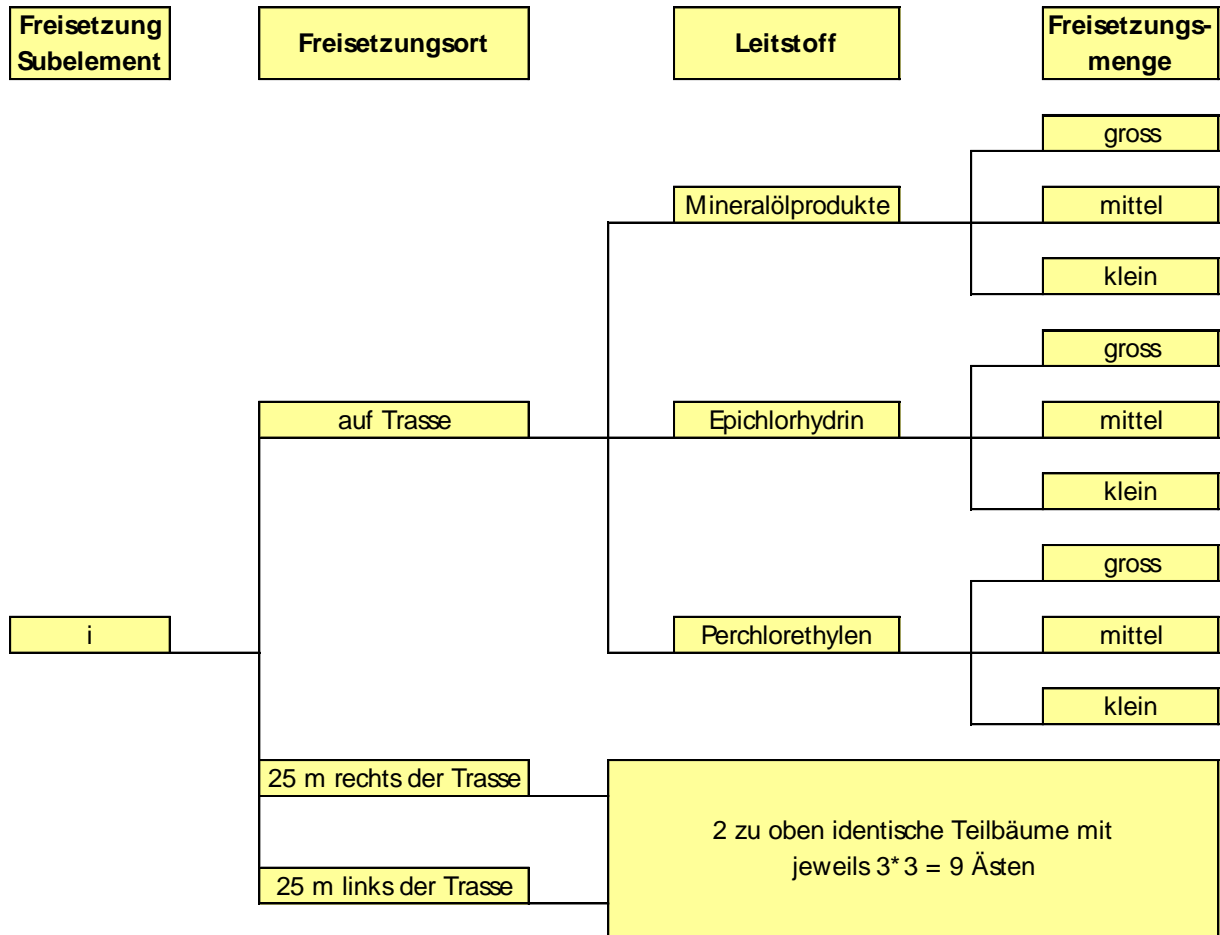


Figura 1: 27 scenari di rilascio per sotto-elemento, rappresentati nella forma di albero degli eventi.

Per ogni sotto-elemento si distinguono tre luoghi di rilascio: lungo il tracciato ferroviario e a sinistra o a destra del medesimo. Nel modello la distanza tra il tracciato e i luoghi di rilascio a sinistra e a destra di esso è di rispettivamente 25 m. Tale distanza corrisponde alla risoluzione del modello altimetrico digitale utilizzato. Distinguendo tre diversi luoghi di rilascio per sotto-elemento si perseguono i seguenti scopi:

- gli impatti dannosi, in particolare in riferimento all'indicatore «acque superficiali», possono dipendere in modo molto sensibile dal luogo di rilascio.¹ La distinzione fra tre luoghi di rilascio per sotto-

¹ Se in una tratta lungo un lago il rilascio avviene sul lato che si affaccia sul lago, gran parte della sostanza pericolosa rilasciata può riversarsi direttamente nel lago, mentre un rilascio sul lato opposto al lago e su terreno pianeggiante può comportare la totale infiltrazione nel suolo della sostanza pericolosa.



N. registrazione/dossier: 522.11

elemento consente di prendere in considerazione le possibili differenze nell'entità dei danni unitamente alle relative probabilità.

- È possibile determinare l'efficacia di una misura circoscritta all'immediata prossimità del tracciato ferroviario (ad es. impermeabilizzazione del terreno e drenaggio).

Per la probabilità condizionata di un rilascio in uno dei tre luoghi si assumono, indipendentemente dal sotto-elemento, i seguenti valori:

- rilascio in prossimità del tracciato: 0,50
- rilascio a 25 m a destra o a sinistra del tracciato: rispettivamente 0,25

Se un rilascio all'esterno del tracciato non è possibile a causa delle condizioni topografiche (ad es. trincea ripida), la probabilità condizionata di un rilascio in prossimità del tracciato viene aumentata in misura proporzionale (al 75 % o al 100 %).

Un'analisi degli incidenti ferroviari con sostanze pericolose occorsi in Svizzera dal 1984 ha evidenziato che le quantità rilasciate variano tra poche centinaia di litri e varie centinaia di migliaia di litri. Per il presente screening dei rischi per l'ambiente questa varianza delle quantità rilasciate deve essere sintetizzata in pochi scenari rappresentativi e con effetti rilevanti. Sulla falsariga delle metodologie adottate per lo screening delle stazioni di smistamento e per lo screening dei rischi per la popolazione, si distinguono tre diverse quantità rilasciate: rilascio di una quantità grande, media e piccola. Per la definizione dei valori numerici dipendenti dalla sostanza rappresentativa vengono presi in considerazione i seguenti aspetti:

- la sostanza rappresentativa «prodotti petroliferi» viene trasportata nella maggior parte dei casi in treni completi. Se nel corso di un incidente si apre una falla in più di un carro, è possibile che vengano rilasciate quantità che superano nettamente il contenuto di un carro cisterna da 80 m³.²
- Le altre sostanze rappresentative vengono per lo più trasportate in treni merci misti. Il numero di carri trasportanti una data sostanza rappresentativa per treno è dunque nettamente inferiore che nel caso dei prodotti petroliferi. Di conseguenza è significativamente più bassa anche la probabilità che si apra una falla in più di un carro cisterna. Per semplicità si può assumere che venga rilasciato al massimo il contenuto di un carro cisterna pieno.
- Le dimensioni dei contenitori di trasporto dipendono dalla rispettiva sostanza singola, ma per semplicità si assume che esse siano identiche per ogni sostanza rappresentativa.

² In Svizzera si sono verificati vari incidenti ferroviari con rilascio di grandi quantità di prodotti petroliferi da più di un carro cisterna: 120 m³ (Sargans, 4.6.1984), 371 m³ (Au, 19.9.1988), 320 m³ (Zurigo-Affoltern, 8.3.1994). La quantità rilasciata a Stein-Säckingen (4.1.1991) non è nota.



N. registrazione/dossier: 522.11

- Dal punto di vista metodologico sono prese in considerazione solo quantità di rilascio tali da rendere possibile un danno grave secondo i vigenti criteri di valutazione per entrambi gli indicatori di danno. Per la sostanza rappresentativa «prodotti petroliferi» un grave danno è ad esempio possibile solo se la quantità rilasciata supera le 15 t.³

Considerando questi aspetti vengono definite le seguenti quantità di rilascio:

- sostanza rappresentativa «prodotti petroliferi»:
 - rilascio grande: contenuto di tre carri cisterna pieni
 - rilascio medio: contenuto di un carro cisterna pieno
 - rilascio piccolo: un terzo del contenuto di un carro cisterna pieno
- sostanze rappresentative «epicloridrina» e «percloroetilene»:
 - rilascio grande: il 100 % di un contenitore pieno o la stessa quantità rilasciata da più di un contenitore
 - rilascio medio: il 50 % di un contenitore pieno
 - rilascio piccolo: il 25 % di un contenitore pieno

Per tutte le sostanze rappresentative gran parte delle relative sostanze viene trasportata in carri cisterna. Il tonnellaggio medio per carro cisterna di una sostanza rappresentativa viene determinato sulla base dei dati di trasporto esistenti (aggiornati al 2010). A tale scopo viene calcolato il quoziente tra il tonnellaggio netto per sostanza rappresentativa trasportato su tutta la rete ferroviaria svizzera (senza tenere conto del fattore di ponderazione) e il numero totale di carri pieni impiegati. Inoltre si assume che il 50 % dei carri viaggino vuoti. Ne risultano i seguenti tonnellaggi arrotondati per carro cisterna pieno in funzione della sostanza rappresentativa:

- prodotti petroliferi: 60 t/carro cisterna
- epicloridrina: 40 t/carro cisterna
- percloroetilene: 50 t/carro cisterna

Nella seguente tabella 1 sono riportati i valori relativi alla quantità rilasciata, all'ampiezza della pozza e al tasso di rilascio assunti per lo screening dei rischi per l'ambiente. L'ampiezza della pozza e il tasso di ri-

³ Ciò risulta dal fatto che nei criteri di valutazione è stato definito che con una quantità di 15 g può venire inquinato 1 m² di un corpo d'acqua superficiale. Per inquinare 1 km² (valore limite di un grave danno) sono dunque necessarie 15 t.



N. registrazione/dossier: 522.11

lascio sono stati determinati sulla base di valori già pubblicati [Carbura, 1995, E&B, 1998, EBP, 1998]. Per semplicità si assume che il tasso di rilascio sia indipendente dalla sostanza rappresentativa.

Sostanza rappresentativa / Caratteristica	Rilascio grande		Rilascio medio		Rilascio piccolo	
	Quantità	Area della pozza	Quantità	Area della pozza	Quantità	Area della pozza
Prodotti petroliferi	180 t	500 m ²	60 t	200 m ²	20 t	50 m ²
Epicloridrina	40 t	200 m ²	20 t	50 m ²	10 t	50 m ²
Percloroetilene	50 t	200 m ²	25 t	50 m ²	10 t	50 m ²
Tasso di rilascio	100 kg/s		20 kg/s		10 kg/s	

Tabella 1: Quantità rilasciata e area della pozza in funzione della sostanza rappresentativa nonché tasso di rilascio per scenario di rilascio

Poiché è prevedibile che la frequenza di grandi rilasci aumenti con la velocità alla quale circola il treno poco prima dell'incidente, le probabilità relative alle summenzionate classi vengono definite in funzione della velocità massima consentita dei treni merci. I valori adottati (stimati da esperti) sono riportati nella seguente tabella Tabella 2.

Quantità rilasciata	Percentuale in funzione della velocità del treno merci							
	80 km/h	70 km/h	60 km/h	50 km/h	40 km/h	30 km/h	20 km/h	10 km/h
grande	20 %	17 %	14 %	11 %	9 %	6 %	3 %	0 %
media	30 %	26 %	23 %	19 %	16 %	12 %	9 %	5 %
piccola	50 %	56 %	63 %	69 %	76 %	82 %	89 %	95 %

Tabella 2: Probabilità per classe della quantità rilasciata in funzione della velocità massima consentita dei treni trasportanti merci pericolose



4 Valutazione dell'entità dei danni

4.1 Basi secondo i criteri di valutazione concernenti l'OPIR

La determinazione dell'entità dei danni (indice di incidente rilevante) è basata sul progetto di consultazione dei criteri di valutazione secondo [UFAM, 2010]. Come importante differenza rispetto ai criteri finora adottati (cfr. [CV II, 2001]) si propone di usare quale criterio per un danno grave alle acque di falda non più il mancato approvvigionamento idrico espresso in persone-mesi, bensì la portata di acqua prelevata non più utilizzabile. Ciò porta, in ultima analisi, a una diversa attribuzione dell'indice di incidente rilevante. Secondo il progetto il livello di danno grave alle acque di falda è raggiunto quando, in seguito all'inquinamento di una captazione o di una sorgente ubicata in una zona di protezione delle acque sotterranee S ufficiale, una portata di concessione di almeno 2500 l/min non è più utilizzabile per l'approvvigionamento pubblico di acqua potabile. A differenza dell'indicatore di danno «acque superficiali» non è prestabilita una quantità minima atta a far presumere un tale inquinamento; ciò significa che non appena una sostanza pericolosa rilasciata entro la zona satura giunge nella zona di pompaggio di una captazione si può presumere un danno proporzionale alla portata di acqua prelevata. Un quintuplicamento della portata di acqua prelevata non più utilizzabile determina un aumento dell'indice di incidente rilevante di 0,3 (12 500 l/min → indice di incidente rilevante 0,6).

In base ai criteri di valutazione, le acque superficiali sono altresì considerate inquinate quando la quantità delle sostanze pericolose liquide non idrosolubili galleggianti sul pelo d'acqua supera i 15 g/m² per i prodotti petroliferi o i 5 g/m² per le restanti sostanze liquide difficilmente idrosolubili e pericolose per le acque (sostanza rappresentativa «percloroetilene»). Per le sostanze liquide idrosolubili si assume che con 1 g della sostanza rappresentativa «epicloridrina» sia possibile inquinare 1 m³ di acqua. Il livello di danno grave, ossia l'indice di incidente rilevante 0,3, è raggiunto quando è inquinata un'area di almeno 1 km² o quando è inquinato un volume di almeno 10⁶ m³.

I criteri per la valutazione dei rischi non sono stati ancora fissati in via definitiva. Per l'analisi dei risultati dello screening si adottano pertanto l'indicatore di danno per le acque di falda proposto nel progetto per consultazione [UFAM, 2010] e i criteri di valutazione del 2001.



4.2 Delimitazione dei processi

4.2.1 Area d'intersezione tra acqua di falda e corpo d'acqua superficiale

I seguenti processi non sono presi in considerazione nell'ambito dello screening dei rischi per l'ambiente:

- affioramento delle acque di falda in un corpo d'acqua superficiale,
- infiltrazione di acqua inquinata da corpi d'acqua superficiali nelle acque di falda,
- avaria di impianti per la depurazione delle acque lacustri ai fini dell'approvvigionamento di acqua potabile in relazione all'indicatore di danno «acque sotterranee inquinate»⁴.

In virtù delle summenzionate ipotesi si assume che le captazioni ubicate sul lato opposto di un fiume rispetto alla ferrovia non possano venire inquinate in caso di incidente rilevante. Inoltre si assume che una sostanza pericolosa infiltratasi nel suolo non possa causare l'inquinamento di un fiume (ciò significa che solo un'immissione diretta – per deflusso superficiale o mediante drenaggio – può determinare l'inquinamento di un corpo d'acqua superficiale).

4.2.2 Considerazione del drenaggio e delle misure di ritenuta

Le opere di drenaggio della sede ferroviaria possono essere, in linea di massima, prese in considerazione grossolanamente nell'ambito della metodologia per lo screening dei rischi per l'ambiente, purché siano disponibili i dati necessari. Si parte dalle seguenti ipotesi:

- un'opera di drenaggio influenza solamente il percorso di deflusso delle sostanze pericolose liquide rilasciate in prossimità del tracciato ferroviario.
- Non sono considerate opere di drenaggio ai sensi del modello qui adottato le opere di drenaggio realizzate sotto forma di condutture di drenaggio o di sistemi paragonabili che si limitano a far defluire le sostanze liquide dall'immediata prossimità del tracciato ferroviario per convogliarle verso un sistema di infiltrazione laterale nelle vicinanze o che provvedono all'infiltrazione attraverso la banchina.

⁴ Il contributo dei laghi all'approvvigionamento di acqua potabile non è preso in considerazione. Tenuto conto delle complesse condizioni di miscelazione e stratificazione orizzontale e verticale delle masse d'acqua nei laghi, questo processo può essere preso in considerazione soltanto nell'ambito di un'analisi dei rischi a livello locale.



N. registrazione/dossier: 522.11

- Il modello tiene conto di un effetto significativo di un'opera di drenaggio solo quando le sostanze liquide raccolte vengono convogliate mediante apposite condutture verso un corpo idrico recettore (caso normale) o un impianto d'infiltrazione (caso eccezionale), eventualmente con un bacino di ritenzione o un impianto municipale di depurazione delle acque (IDA) interposto.
- Per l'immissione in un impianto d'infiltrazione attraverso un'opera di drenaggio si assume che l'impianto sia posizionato in modo tale (ad es. all'esterno di una zona di protezione) che non sia possibile un grave danneggiamento delle acque di falda (essendo trascurabile un possibile affioramento in un corpo d'acqua superficiale, lo stesso vale anche per le acque superficiali).
- Qualora siano presenti misure di ritenuta passive come bacini (di norma un IDA), si assume che tutta la sostanza pericolosa rilasciata possa essere trattenuta (vale a dire che si applica l'indice di incidente rilevante 0). Non sono prese in considerazione le misure attive che in seguito a un rilascio richiedono l'intervento dell'uomo per essere efficaci (ad es. la chiusura di una saracinesca).

4.3 Metodologia di valutazione dell'entità dei danni sui corpi d'acqua superficiali

4.3.1 Rete idrografica presa in considerazione

In linea di massima sono presi in considerazione tutti i corpi d'acqua superficiali (torrenti, fiumi e laghi, senza i corsi d'acqua sotterranei) compresi nel set di dati VECTOR25 «Rete idrografica» (fonte: Ufficio federale di topografia swisstopo, stato dei dati 2009 o precedente).

Per determinare il deflusso superficiale di una sostanza pericolosa liquida e valutare se le sostanze pericolose liquide possano o meno raggiungere per tale via un vicino corpo d'acqua si è fatto ricorso al modello altimetrico digitale dell'Ufficio federale di topografia. Non è dunque necessario adottare un intervallo di distanza fisso (corridoio) dalla linea ferroviaria, come proposto nel Manuale III concernente l'ordinanza sulla protezione contro gli incidenti rilevanti.

4.3.2 Panoramica dei processi presi in considerazione

I seguenti processi sono presi in considerazione per determinare l'entità dei danni relativi ai vari scenari di rilascio di cui al capitolo 3 (cfr. anche fig. Figura 2):

- deflusso sulla superficie terrestre lungo la maggiore pendenza;



N. registrazione/dossier: 522.11

- ritenzione della sostanza pericolosa liquida defluente mediante bagnatura superficiale;
- infiltrazione della sostanza liquida defluente nel suolo;
- apporto superficiale nel primo corpo d'acqua superficiale incontrato lungo il percorso di deflusso;
- esclusivamente per la sostanza rappresentativa prodotti petroliferi: determinazione dell'entità dei danni tenendo conto di un possibile intervento mediante barriere galleggianti di contenimento, aspirazione ecc. durante la diffusione su un corpo d'acqua superficiale.

Non è presa in considerazione la riduzione della sostanza pericolosa liquida defluente sulla superficie terrestre ottenuta mediante misure di intervento attive. Nella pratica il successo di tali misure è affetto da notevoli incertezze.

Di seguito sono descritte distintamente le metodologie utilizzate per tenere conto dei summenzionati processi.

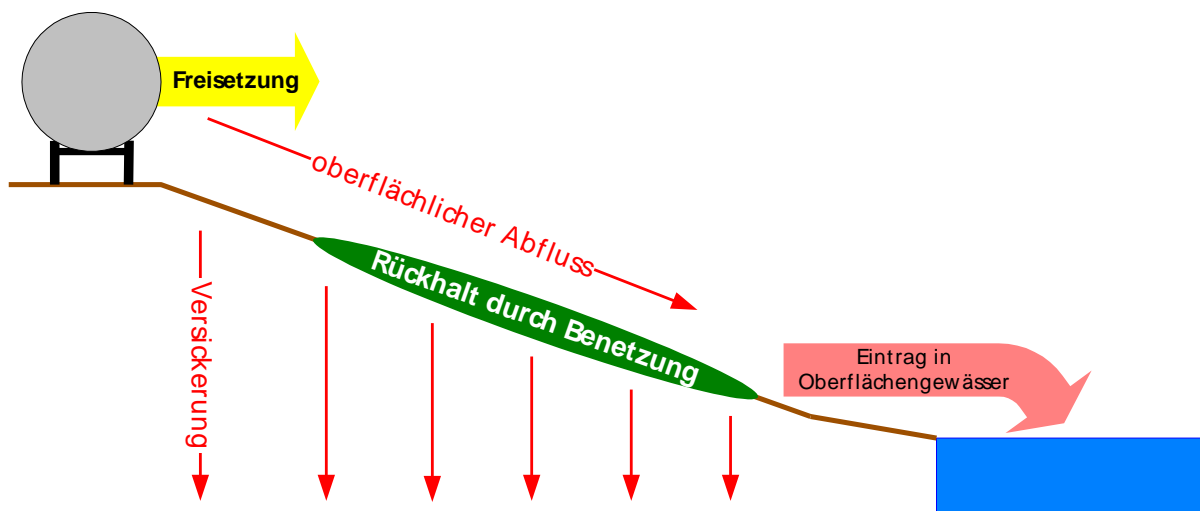


Figura 2: Processi per la valutazione dell'entità dei danni sui corpi d'acqua superficiali.

4.3.3 Deflusso sulla superficie terrestre lungo la maggiore pendenza

A partire dal luogo di rilascio prescelto viene determinato il percorso di deflusso con l'ausilio di un algoritmo implementato nel SIG, tenendo conto del modello altimetrico digitale MDT25. Il modello altimetrico si basa sulla carta nazionale in scala 1:25 000 e presenta una risoluzione orizzontale ovvero



N. registrazione/dossier: 522.11

una maglia di 25 m⁵. L'algoritmo interrompe l'operazione di calcolo non appena il percorso di deflusso individuato incrocia un corpo d'acqua superficiale o incontra un valore di pendenza pari a 0 (terreno assolutamente piano) o negativo (il terreno sale in tutte le direzioni)⁶.

Per i processi «ritenzione della sostanza pericolosa liquida defluente mediante bagnatura superficiale» e «infiltrazione della sostanza liquida defluente nel suolo» (cap. 4.3.4) si devono annotare i seguenti risultati della determinazione del percorso di deflusso:

- larghezza del percorso di deflusso;
- lunghezza del percorso di deflusso e caratteristiche del suolo lungo il percorso di deflusso;
- caratteristiche lungo il percorso di deflusso che influenzano in misura determinante l'infiltrazione nel suolo; a questo scopo vengono presi in considerazione la declività del terreno e il tipo di suolo, che caratterizza la permeabilità del suolo ai liquidi.

Tenuto conto della risoluzione del modello altimetrico digitale e delle possibili linee di rottura topografiche presenti a livello locale (muri, avvallamenti, colline), si trascura un eventuale allargamento o restringimento della superficie coperta dalla sostanza pericolosa defluente dovuto alla conformazione del terreno. Si assume che la **larghezza del percorso di deflusso** corrisponda al diametro della pozza della sostanza liquida rilasciata (sulla base dell'ipotesi che le aree coperte dalle pozze siano circolari, cfr. tab. Tabella 1).

In riferimento alla pendenza del percorso di deflusso si distinguono le seguenti classi:

- < 2°
- 2 – 3°
- 3 – 5°
- 5 – 10°
- 10 – 30°
- > 30°

Le caratteristiche del suolo vengono desunte dalla «carta geotecnica semplificata»⁷ (base: carte nazionali in scala 1:200 000 con risoluzione cartografica di 200 m). A tale scopo vengono definite, sulla falsariga di [FAL 35, 2000], le seguenti classi e tipologie:

⁵ Ciò significa che per ogni cella del reticolo da 25 m x 25 m sono disponibili un valore di pendenza massimo e l'indicazione rispetto a quale delle otto possibili celle contigue il dislivello è massimo.

⁶ Questa enunciazione si riferisce al percorso di deflusso massimo possibile determinato mediante SIG. A prescindere da ciò si assume che a partire da un valore limite di pendenza predefinito tutta la sostanza pericolosa si infila nel suolo poiché non è più possibile la diffusione lungo la superficie terrestre.



N. registrazione/dossier: 522.11

- suolo carsico: altissima permeabilità ai liquidi
- ghiaia/sabbia: alta permeabilità
- sabbia/limo: media permeabilità
- argille/roccia: bassa permeabilità

Con l'ausilio del SIG il percorso di deflusso viene suddiviso, in funzione della classe di pendenza i e del tipo di suolo j , in tratti della lunghezza l_{ij} . La lunghezza dell'intero percorso di deflusso risulta dalla somma delle lunghezze dei vari tratti l_{ij} .

Una parte della sostanza pericolosa viene trattenuta mediante bagnatura della superficie lungo il percorso di deflusso. Si assume che tale parte della sostanza liquida rilasciata non implichi né un danneggiamento di corpi d'acqua superficiali né un danneggiamento delle acque di falda.

Per valutare la ritenzione di sostanze pericolose mediante bagnatura superficiale si assumono le seguenti ipotesi:

- la ritenzione è indipendente dalla sostanza rappresentativa e dalla durata del rilascio e/o del deflusso;
- la ritenzione dipende dal tipo di suolo; per i vari tipi di suolo si assumono i seguenti valori relativi alla quantità di liquido B_j trattenuta mediante bagnatura superficiale [Gujer, 1995]:
 - suolo carsico: $S = 0,5 \text{ l/m}^2$
 - tutti gli altri tipi di suolo: $S = 1,5 \text{ l/m}^2$

Il valore relativo al suolo carsico è più basso perché in generale la vegetazione è minore.

Per un tratto del percorso di deflusso della lunghezza l_{ij} e un diametro della pozza D corrispondente alla larghezza dell'area coperta dalla sostanza liquida si ottiene quindi la seguente quantità di sostanza pericolosa $q_{bs,ij}$ trattenuta mediante bagnatura superficiale:

$$q_{bs,ij} = B_j \cdot D \cdot l_{ij} \cdot \rho \quad \text{Formula [1]}$$

- $q_{bs,ij}$: quantità totale di sostanza pericolosa trattenuta mediante bagnatura della superficie, [kg]
 S_j : parametro specifico del tipo di suolo relativo alla quantità di sostanza pericolosa trattenuta mediante bagnatura superficiale, [l/m^2]
 D : diametro della pozza, [m]
 l_{ij} : lunghezza di un tratto del percorso di deflusso, [m]
 i : indice per la caratterizzazione della classe di pendenza, [-]

⁷ Fonte: Ufficio federale di statistica (GEOSTAT), proprietario dei dati: UFAM, stato dei dati 1963–1967, digitalizzati nel 1990



N. registrazione/dossier: 522.11

j: indice per la caratterizzazione del tipo di suolo, [-]
p: densità della sostanza inquinante (cfr. tab. 3), [kg/l]

4.3.4 Infiltrazione della sostanza liquida defluente nel suolo

Per il processo «infiltrazione della sostanza liquida defluente nel suolo» si assumono le seguenti ipotesi generali:

- la parte della sostanza pericolosa che si filtra nel suolo lungo il percorso di deflusso non costituisce un pericolo per le acque superficiali, ma può causare l'inquinamento delle acque di falda.
- Non appena la pendenza lungo il percorso di deflusso viene a trovarsi sotto un valore soglia predefinito, cioè il terreno è sufficientemente pianeggiante, l'ulteriore deflusso superficiale della sostanza liquida rilasciata non è più possibile.⁸ In tal caso tutta la sostanza liquida si filtra per forza di cose nel suolo. Come valore limite della pendenza al di sotto del quale il deflusso superficiale si arresta si assume un valore di 2° [FAL 35, 2000].
- Qualora il rilascio si verifichi in prossimità del tracciato ferroviario o il percorso di deflusso superficiale incroci il tracciato ferroviario, in analogia all'analisi dei rischi relativi alle stazioni di smistamento [E&B, 2002] si assume che 10 000 l della quantità di sostanza pericolosa rilasciata siano trattiene in prossimità del tracciato.⁹

Per il calcolo dell'infiltrazione in un tratto l_{ij} del percorso di deflusso con il tipo di suolo i e la classe di pendenza j si assumono le seguenti ipotesi:

- per unità di superficie e di tempo si filtra nel suolo un volume costante di liquido, denominato capacità di infiltrazione CI ¹⁰. La capacità di infiltrazione CI dipende in linea di massima dalla pendenza del terreno, dalla permeabilità del suolo, dal grado di saturazione idrica del suolo e dalla viscosità della sostanza pericolosa. Per semplicità si assume che tutte le sostanze rappresentative abbiano una viscosità paragonabile in termini di infiltrazione nel suolo. Di conseguenza la capacità di infiltrazione CI dipende anche

⁸ Per via dell'impulso del liquido è possibile che per brevi distanze la sostanza rilasciata inondi anche un terreno con una pendenza ancora più bassa o minima. Occorre tuttavia tenere conto del fatto che il modello altimetrico digitale utilizzato ha una maglia di 25 m, per cui su tale lunghezza la pendenza media deve essere inferiore al valore soglia affinché il deflusso superficiale si arresti.

⁹ Ciò significa che nei corrispondenti casi di rilascio di piccole quantità delle sostanze rappresentative «epicloridrina» e «percloroetilene» (ossia inferiori a 10 000 l) non si ha un apporto in un corpo d'acqua superficiale, tranne se il relativo sottoelemento si trova su un ponte e/o presenta opere di drenaggio della sede ferroviaria.

¹⁰ In realtà la capacità di infiltrazione è inizialmente maggiore e diminuisce man mano che con l'infiltrazione della sostanza pericolosa aumenta il grado di saturazione del suolo. La capacità di infiltrazione adottata deve pertanto rappresentare un valore temporale medio.



N. registrazione/dossier: 522.11

- dal tipo di suolo (ovvero dalla permeabilità del suolo), dal grado istantaneo di saturazione idrica del suolo e
 - dalla pendenza.
- In riferimento al grado di saturazione idrica del suolo si distinguono due scenari:
- con una probabilità del 98 % il suolo presenta un grado di saturazione idrica inferiore alla capacità di campo, ossia corrispondente al contenuto d'acqua del suolo dopo che entro pochi giorni l'acqua gravitazionale è defluita.
 - Per il restante 2 % dei casi si assume un alto grado di saturazione idrica, come può occasionalmente verificarsi dopo prolungati periodi di pioggia. Per semplicità si assume un alto grado di saturazione idrica anche quando il suolo è gelato.

Nella seguente tabella Tabella **3** sono riportate le capacità di infiltrazione adottate in funzione del tipo di suolo j e del grado di saturazione idrica del suolo k . I valori sono basati sui dati riportati nella letteratura scientifica ([Gujer, 1995] e [ZH UP, 1996]). Inoltre si sono assunte le seguenti ipotesi:

- per i suoli con un alto grado di saturazione idrica la capacità di infiltrazione è 50 volte minore del valore insaturo.
- Nel caso del tipo di suolo «carsico» non è realistico un alto grado di saturazione idrica. Pertanto non si tiene conto di alcuna differenza nella capacità di infiltrazione.
- I valori riportati nella tabella Tabella **3** sono da intendersi come valori di base senza correzione in virtù della dipendenza dalla pendenza. Con l'aumentare della pendenza diminuisce la capacità di infiltrazione, perché da un lato diminuisce la componente determinante della forza gravitazionale perpendicolare al suolo e dall'altro aumenta la velocità di deflusso. Si assume che l'influenza della crescente velocità di deflusso sia paragonabile a quella della decrescente componente gravitazionale. Poiché quest'ultima è pari a $\cos\alpha$, si assume complessivamente un fattore di correzione di $\cos^2\alpha$.



N. registrazione/dossier: 522.11

Tipo di suolo j	Capacità di infiltrazione CI_{jk} [l/s/m ²] con	
	il suolo alla capacità di campo	un alto grado di saturazione idrica
Suolo carsico	1,0	1,0
Ghiaia/sabbia	0,5	0,01
Sabbia/limo	0,1	0,002
Argille/roccia	0,01	0,0002

Tabella 3: Capacità di infiltrazione in funzione del tipo di suolo j e del grado di saturazione idrica del suolo k

Per un tratto del percorso di deflusso della lunghezza l_{ij} lungo il quale è superato il valore limite di pendenza per il deflusso superficiale, la quantità della sostanza pericolosa liquida infiltratasi nel suolo viene calcolata con la seguente formula:

$$q_{inf,ijk} = CI_{jk} \cdot \cos^2 \alpha_i \cdot D \cdot t_{ril} \cdot l_{ij} \cdot \rho \quad \text{Formula [2]}$$

- $q_{inf,ijk}$: quantità di sostanza pericolosa che si infiltra nel suolo in ogni tratto l_{ij} del percorso di deflusso, [kg]
 CI_{jk} : capacità di infiltrazione, [l/s/m²]
 α_i : pendenza del terreno, [°]
D: diametro della pozza, corrisponde alla larghezza dell'area coperta dalla sostanza liquida, [m]
 t_{ril} : durata del rilascio, [s]
 l_{ij} : lunghezza di un tratto del percorso di deflusso, [m]
 ρ : densità della sostanza inquinante, [kg/l]
i: indice per la caratterizzazione della classe di pendenza, [-]
j: indice per la caratterizzazione del tipo di suolo, [-]
k: indice per la caratterizzazione del grado di saturazione idrica del suolo, [-]

Se il percorso di deflusso comprende un tratto l_{ij} la cui pendenza è inferiore al valore limite per il deflusso superficiale, per definizione nessuna sostanza pericolosa giunge in un corpo d'acqua superficiale. L'intero volume della sostanza pericolosa liquida si infiltra nel suolo.

4.3.5 Apporto nel corpo d'acqua superficiale

Se il percorso di deflusso superficiale individuato incrocia un corpo d'acqua superficiale senza che la pendenza del terreno fino a quel punto venga a trovarsi sotto il valore soglia predefinito di 2° o senza che tutta la sostanza pericolosa si infiltri nel suolo, l'apporto nel corpo d'acqua superficiale q_{as} può essere calcolato come segue:



N. registrazione/dossier: 522.11

$$q_{as} = \max (q_{ril} - V_{tr} \times r - \sum_{i,j} q_{bs,ij} - \sum_{i,j} q_{inf,ijk}, 0)$$
 Formula [3]

- q_{as} : quantità totale di sostanza pericolosa che giunge in un corpo d'acqua superficiale, [kg]
 q_{ril} : quantità di sostanza pericolosa rilasciata, [kg]
 V_{tr} : quantità di sostanza pericolosa trattenuta in prossimità del tracciato ferroviario, [l]
 ρ : densità della sostanza inquinante, [kg/l]
 $q_{bs,ij}$: quantità di sostanza pericolosa trattenuta in un tratto del percorso di deflusso mediante bagnatura della superficie, [kg]
 $q_{inf,ijk}$: quantità di sostanza pericolosa che si infila nel suolo in un tratto del percorso di deflusso, [kg]
 i : indice per la caratterizzazione della classe di pendenza, [-]
 j : indice per la caratterizzazione del tipo di suolo, [-]
 k : indice per la caratterizzazione del grado di saturazione idrica del suolo, [-]

Il termine q_{ril} si riferisce alla quantità di sostanza pericolosa rilasciata di cui alla tabella 1 e V_{tr} agli eventuali 10 000 l trattenuti in prossimità del tracciato ferroviario (cap. 4.3.4). Secondo [Leo, 1994] ed [ECB, 2000], la densità ρ relativa alle sostanze rappresentative presenta i seguenti valori:

Sostanza rappresentativa	Densità ρ in [kg/l] (20 °C)
Prodotti petroliferi	0,75
Epicloridrina	1,18
Percloroetilene	1,62

Tabella 4: Densità ρ delle sostanze rappresentative

Se il percorso di deflusso superficiale individuato incrocia un corso d'acqua messo in galleria, si tiene conto del fatto che in quel caso speciale non può verificarsi un apporto purché il tratto del corso d'acqua in questione presenti una certa lunghezza. Se ad esempio il luogo di rilascio si trova nelle immediate vicinanze del tratto di corso d'acqua messo in galleria, il corso d'acqua deve correre in galleria per almeno 50 m a destra e a sinistra del tracciato ferroviario affinché l'apporto nel corso d'acqua sia assunto come nullo.

Per il caso speciale che un luogo di rilascio a destra o a sinistra del tracciato ferroviario si trovi in un corpo d'acqua superficiale, la quantità di sostanza pericolosa immessa nel corpo d'acqua interessato è equiparata alla quantità rilasciata nello scenario di rilascio considerato.

Le due sommatorie nella formula [3] rappresentano le quantità massime trattenute complessivamente mediante bagnatura superficiale ($q_{bs,ij}$) e infiltrazione ($q_{inf,ijk}$) lungo l'intero percorso di deflusso fino all'ingresso nel corpo d'acqua superficiale e che quindi non contribuiscono all'inquinamento del corpo d'acqua superficiale.



N. registrazione/dossier: 522.11

Se la differenza nella summenzionata formula [3] è negativa, ciò significa che tutta la quantità di sostanza pericolosa rilasciata viene trattenuta mediante bagnatura superficiale o si infiltra nel suolo prima di raggiungere il primo corpo d'acqua superficiale; in tal caso l'apporto nel corpo d'acqua superficiale è nullo.

A causa della limitata risoluzione del modello altimetrico digitale e delle linee di sponda dei fiumi (questi ultimi sono rappresentati nel SIG come linee e pertanto mancano le informazioni in merito alla larghezza del corso d'acqua) si apportano inoltre i seguenti adattamenti in fase di determinazione dell'apporto di sostanze pericolose nei corpi d'acqua superficiali vicini alla ferrovia:

- per i luoghi di rilascio nelle vicinanze di laghi con sponde piane, nei quali in base alla modellazione dei deflussi l'apporto di sostanze pericolose è nullo, si applicano i seguenti valori di quantità immessa, espressi come percentuale della rispettiva quantità rilasciata, al fine di evitare di sottovalutare sistematicamente i rischi:
 - 1 – 25 m di distanza dalla linea di sponda: 90 %
 - 25 – 50 m di distanza dalla linea di sponda: 30 %
 - > 50 m di distanza dalla linea di sponda: nessun apporto (come emerso dalla modellazione dei deflussi)

- Poiché per i corsi d'acqua non sono disponibili dati SIG relativi alle linee di sponda, si assumono le seguenti larghezze standard per decidere se si ha un apporto diretto (= quantità di sostanza pericolosa rilasciata secondo lo scenario):
 - fiume: 40 m,
 - torrente con numero GEWISS: 20 m,
 - torrente senza numero GEWISS: 10 m.

Per i fiumi maggiori (Reno, Limmat, Aare, Rodano, Reuss) vengono inoltre identificati manualmente i luoghi in cui, sulla base della rappresentazione nella carta nazionale in scala 1:25 000, può verificarsi un rilascio nel fiume stesso o nelle immediate vicinanze della linea di sponda. In tali casi la quantità di sostanza pericolosa immessa nel fiume è equiparata alla quantità rilasciata.



N. registrazione/dossier: 522.11

4.3.6 Determinazione dell'entità dei danni senza tenere conto dell'intervento

Nei Criteri di valutazione II sono prescritte le modalità per convertire in superficie inquinata la quantità di sostanza pericolosa immessa in un corpo d'acqua superficiale senza tenere conto di interventi di sorta. Si distinguono i seguenti valori limite (cap. 4.1):

- prodotti petroliferi: 15 g/m²
- sostanze liquide pericolose per le acque 5 g/m²

Per le due sostanze rappresentative «prodotti petroliferi» e «percloroetilene», la prima non idrosolubile e la seconda difficilmente idrosolubile, sono adottati i summenzionati valori limite. Se non si tiene conto di interventi di sorta, la superficie inquinata viene calcolata come segue:

$$A_{as,i} = \frac{q_{as,i} \times 1000}{f_i}$$

Formula [4]

- $A_{as,i}$: area inquinata del corpo d'acqua superficiale, [m²]
 $q_{as,i}$: quantità totale di sostanza pericolosa che giunge in un corpo d'acqua superficiale, [kg]
 f_i : valore limite di cui ai Criteri di valutazione II concernenti l'ordinanza sulla protezione contro gli incidenti rilevanti, [g/m²]
 i : indice per la caratterizzazione della sostanza rappresentativa, [-]

$f_i = 15 \text{ g/m}^2$ è il valore limite per la sostanza rappresentativa «prodotti petroliferi» e 5 g/m^2 è quello per la sostanza rappresentativa «percloroetilene». Dall'area inquinata o dall'indicatore di danno n_3 «acque superficiali inquinate (superficie)» di cui ai Criteri di valutazione II si può determinare l'indice di incidente rilevante.

Per la sostanza rappresentativa «epicloridrina», idrosolubile, si calcola il volume inquinato analogamente alla precedente formula [4], assumendo per l'inquinamento un valore limite di $f_{q,v} = 1 \text{ g/m}^3$ di acqua, corrispondente a un valore tipico ma tendenzialmente piuttosto conservativo per le sostanze idrosolubili della classe di pericolosità WGK 3:

$$V_{as,i} = \frac{q_{as,i} \times 1000}{f_i}$$

Formula [5]

- $V_{as,i}$: volume inquinato del corpo d'acqua superficiale, [m³]
 $q_{as,i}$: quantità totale di sostanza pericolosa che giunge in un corpo d'acqua superficiale, [kg]
 f_i : valore limite di cui ai Criteri di valutazione II concernenti l'ordinanza sulla protezione contro gli incidenti rilevanti, [g/m³]
 i : indice per la caratterizzazione della sostanza rappresentativa, [-]



N. registrazione/dossier: 522.11

La conversione nell'indice di incidente rilevante avviene secondo quanto prescritto per l'indicatore di danno «acque superficiali inquinate (volume)».

A titolo illustrativo nella tabella Tabella **5** è rappresentato sulla base di esempi quali indici di incidente rilevante risultano in funzione della sostanza rappresentativa e della quantità $q_{as,i}$ immessa in un corpo d'acqua superficiale senza tenere conto di un eventuale intervento. Dai risultati riportati nella tabella Tabella **5** si può dedurre quanto segue:

- nel caso delle sostanze rappresentative «prodotti petroliferi» e «percloroetilene» sono necessarie quantità di apporto nettamente maggiori rispetto all'«epicloridrina» per ottenere indici di incidente rilevante ≥ 0 .
- Nel caso della sostanza rappresentativa «epicloridrina» già un'immissione di 1000 kg determina un danno grave (indice di incidente rilevante $\geq 0,3$), mentre con le altre due sostanze rappresentative è necessario un apporto di rispettivamente 15 000 e 5000 kg.
- Per converso, nel caso della sostanza rappresentativa «epicloridrina» con l'aumentare della quantità immessa in un corpo d'acqua superficiale il danno cresce meno rapidamente che con le altre due sostanze rappresentative. Un decuplicamento del danno corrisponde a un incremento dell'indice di incidente rilevante di 0,2 per l'epicloridrina e di 0,3 per le altre sostanze rappresentative.



N. registrazione/dossier: 522.11

Leitstoff	Grenzwert Schaden	Menge, welche in OFG gelangt [kg]	Störfallwert	Verzehnfachung Schaden bei Zunahme StF-Wert um
Mineralölprodukte	15 [g/m ²]	100	0	0.3
		1'000	0	
		15'000	0.30	
		60'000	0.48	
Epichlorhydrin	1 [g/m ³]	100	0.10	0.2
		1'000	0.30	
		8'000	0.48	
		40'000	0.62	
Perchlorethylen	5 [g/m ²]	100	0	0.3
		1'000	0.09	
		5'000	0.30	
		20'000	0.48	
		50'000	0.60	

Tabella 5: *Indice di incidente rilevante senza intervento in funzione della sostanza rappresentativa e della quantità immessa in un corpo d'acqua superficiale.*

4.3.7 Considerazione dell'intervento nel caso della sostanza rappresentativa «prodotti petroliferi»

Per le due sostanze rappresentative «epicloridrina» e «percloroetilene» si assume nel modello che non sia possibile alcun intervento. Per la sostanza rappresentativa «prodotti petroliferi» si tiene sommariamente conto della possibilità di ridurre l'entità dei danni mediante opportune misure d'intervento, come l'uso di barriere galleggianti di contenimento o l'asportazione con pompe della sostanza pericolosa galleggiante sull'acqua, in base alla metodologia pragmatica di seguito descritta.



N. registrazione/dossier: 522.11

a) Probabilità di un intervento riuscito

Come base per determinare la probabilità di un intervento riuscito e il suo effetto si calcola la lunghezza del percorso di deflusso tra il luogo di immissione nel primo corpo d'acqua superficiale e il primo lago¹¹. Il calcolo avviene distintamente per i seguenti tipi di corso d'acqua n, che corrispondono alle classi di grandezza dell'insieme di dati SIG:

- n = 1: torrenti minori senza nome e/o numero GEWISS
- n = 2: torrenti con nome e/o numero GEWISS
- n = 3: fiumi con nome e/o numero GEWISS¹²

Si assume che i corsi d'acqua dopo il primo lago avente un'estensione di almeno 2500 m² non siano mai interessati da un inquinamento causato dalla sostanza rappresentativa «prodotti petroliferi», dal momento che è sempre possibile impedire un deflusso dal lago adottando opportune misure d'intervento.

Per ogni tipo di corso d'acqua n inquinato che si trova fra il luogo d'immissione e l'ingresso nel primo lago si distinguono rispettivamente due scenari:

- «intervento riuscito»,
- «intervento non riuscito o non possibile».

Lo stesso vale per il primo lago ancora interessato dall'inquinamento.

Quanto più tempo passa fino a un intervento, tanto maggiore è la distanza lungo la quale una sostanza pericolosa liquida viene trasportata nei corpi d'acqua superficiali (distanza di deflusso). Per converso, la probabilità di un intervento riuscito aumenta con il passare del tempo, ossia con il crescere della distanza di deflusso. Per questo motivo si assume la distanza di deflusso come parametro determinante per il calcolo delle probabilità condizionate degli scenari.

Si parte dal presupposto che l'intervento lungo un corso d'acqua possa avvenire ovunque con la stessa probabilità. La distanza di deflusso corrisponde pertanto alla distanza dal luogo dell'ingresso della

¹¹ Ovvero fino al raggiungimento del confine con un Paese estero limitrofo, a partire dal quale non sono più disponibili dati SIG svizzeri.

¹² La distinzione dei vari tipi di corsi d'acqua avviene sulla base dei dati SIG.



N. registrazione/dossier: 522.11

sostanza pericolosa nel primo corso d'acqua (luogo d'immissione) fino a metà lunghezza del tipo di corso d'acqua appena considerato o fino all'ingresso nel lago.

Inoltre si assumono le seguenti ipotesi (si veda anche la fig. Figura 3):

- la probabilità condizionata p dello scenario «intervento riuscito» è proporzionale alla distanza di deflusso.
- Un intervento riuscito è sempre possibile dopo una distanza di deflusso massima di 10 km nel caso di un lago e di 30 km nel caso di corsi d'acqua, ossia ha una probabilità pari a 1. Oltre che dal tempo trascorso, la probabilità di un intervento riuscito dipende anche dall'accessibilità generale del corpo d'acqua e dalle condizioni fluidodinamiche. Per questo motivo nei laghi la probabilità di un intervento riuscito è stimata circa di un fattore 3 maggiore rispetto a quella nei corsi d'acqua (pendenza della retta).
- Un intervento è inoltre sempre possibile in caso di apporto diretto di una sostanza inquinante in un lago (punto d'intersezione con l'asse delle ordinate al valore 0,1; questo si riferisce solamente alla probabilità di riuscita dell'intervento, non alla riduzione dell'entità dei danni).
- La probabilità q dell'evento complementare «intervento non riuscito» è pari a $q = 1 - p$, dove p è la probabilità dell'evento «intervento riuscito».

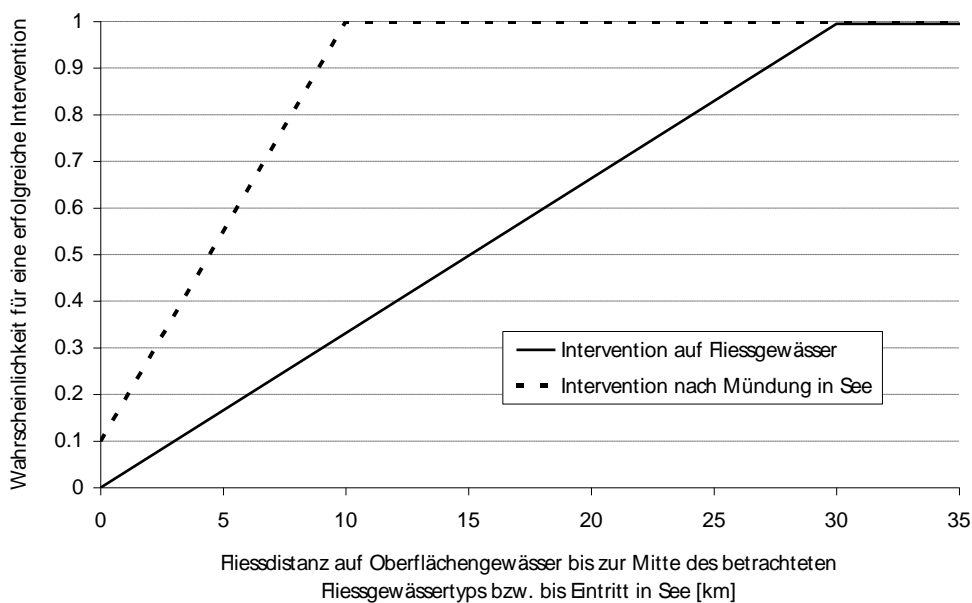


Figura 3: Probabilità di un intervento riuscito lungo corsi d'acqua o dopo lo sbocco in un lago in funzione della distanza di deflusso.



N. registrazione/dossier: 522.11

La determinazione delle probabilità condizionate p e q viene illustrata qui di seguito sulla base di esempi:

Esempio n. 1: il primo apporto avviene in un torrente lungo 3 km. La probabilità p che l'intervento riesca entro tale torrente è quindi pari a:

$$p = \frac{\frac{3}{2}}{30} = 0,05$$

Il denominatore (30) corrisponde alla lunghezza in km dopo la quale si assume un intervento riuscito con probabilità pari a 1 (cfr. fig. Figura 3), mentre il numeratore corrisponde alla metà della lunghezza del tratto di corpo d'acqua superficiale considerato (in questo caso 3/2 km). La probabilità q che l'intervento non riesca è pari a $1 - p = 1 - 0,05 = 0,95$.

Esempio n. 2: dopo il torrente lungo 3 km segue un fiume lungo 10 km, che poi sbocca in un lago. La probabilità che l'intervento riesca entro il fiume è pari a

$$p = \frac{3 + \frac{10}{2}}{30} = 0,27$$

Con $q = 0,73$, quindi, l'intervento non è riuscito.

La probabilità che l'intervento riesca dopo lo sbocco nel lago è invece pari a 1, poiché la distanza di deflusso totale è di 13 km.

Esempio n. 3: il rilascio avviene nelle immediate vicinanze di un lago e determina un apporto diretto nel medesimo.

La probabilità che un intervento riesca è pari al 10 %. L'intervento riesce primariamente quando la diffusione viene rallentata o limitata da un favorevole andamento della costa (ad es. insenatura), dal vento ecc.

Partendo da una diffusione semicircolare sul lago con una velocità media di 0,5 m/s, dopo 15 minuti risulta inquinata un'area semicircolare con un raggio di pressappoco 500 m e una circonferenza di 1400 m. In presenza di dimensioni talmente grandi è poco probabile che l'ulteriore diffusione possa essere contenuta in modo efficace mediante misure d'intervento.



N. registrazione/dossier: 522.11

b) Riduzione dell'entità dei danni nel caso di un intervento riuscito

La procedura di calcolo adottata per determinare l'entità dei danni si articola nelle seguenti fasi di calcolo:

- determinazione delle quantità di sostanze pericolose che defluiscono verso un corpo d'acqua superficiale con e senza considerazione dell'intervento (distinzione di due scenari d'intervento per corpo d'acqua superficiale). Si ha un inquinamento quando una quantità di sostanza pericolosa > 0 giunge nel corpo d'acqua in questione;
- determinazione dell'entità dei danni con o senza intervento riuscito.

La quantità di sostanza pericolosa che può essere prelevata da un corpo d'acqua mediante intervento dipende dalle caratteristiche del corpo d'acqua (accessibilità, velocità di deflusso, vorticità ecc.). Di questa circostanza si tiene conto con le seguenti ipotesi circa la quota di sostanza pericolosa prelevata ξ :¹³

- torrenti minori senza nome e/o numero GEWISS ($n = 1$): $\xi = 90 \%$
- torrenti con nome e/o numero GEWISS ($n = 2$): $\xi = 70 \%$
- fiumi ($n = 3$): $\xi = 20 \%$
- laghi: $\xi = 98 \%$

Per lo scenario «intervento non riuscito» si assume che non sia possibile prelevare o trattenere la sostanza pericolosa rilasciata, ossia $\xi = 0$.

La **quantità di sostanza pericolosa** q_{n+1} che in un dato scenario si riversa nell'(n+1)-esimo tipo di corpo d'acqua superficiale viene determinata gradualmente per tutti i valori esistenti di n ($n = 1, 2, 3, 4$), procedendo nel modo seguente:

$$q_{n+1} = \max\left(q_n \times \left(1 - \frac{X_n}{100}\right) - b_n \times l_n \times \frac{f_m}{1000}, 0\right) \quad \text{Formula [6]}$$

q_n : apporto nel tipo di corpo d'acqua superficiale n ($n \geq 1$), dove $q_1 = q_{as}$ (cfr. formula [3]), [kg]

¹³ I valori sopra riportati sono ipotetici. Per i corsi d'acqua occorre partire dal presupposto che di norma con il crescere della grandezza aumenta la velocità di deflusso. Al tempo stesso diminuiscono le possibilità di riuscita di un eventuale intervento. Sulla base delle esperienze pratiche maturate, è noto che a partire da una velocità di deflusso di 2 m/s circa le barriere galleggianti di contenimento non sono più efficaci. L'esperienza insegna però che per i corsi d'acqua minori dette misure d'intervento sono molto efficaci.



N. registrazione/dossier: 522.11

- n: indice per la caratterizzazione del tipo di corpo d'acqua superficiale, [-]
 ξ_n : parte della sostanza pericolosa che può essere prelevata mediante intervento, [%]
 b_n : larghezza media del tipo di corso d'acqua n; si assumono i seguenti valori:
torrenti minori senza nome e/o numero GEWISS: 2 m
torrenti con nome e/o numero GEWISS: 5 m
fiumi: 60 m
 l_n : lunghezza del tipo di corso d'acqua n secondo l'analisi SIG, [m]
 f_m : valore limite di cui ai Criteri di valutazione II concernenti l'ordinanza sulla protezione contro gli incidenti rilevanti (prodotti petroliferi: 15 g/m²), [g/m²]

La funzione massimo «max(.)» garantisce che non risultino valori negativi. Se $q = 0$, ciò significa che il successivo tratto di corso d'acqua non è più interessato dall'inquinamento e che quindi non va più neanche considerata un'ulteriore riduzione dell'entità dei danni per mezzo di un adeguato intervento.

L'entità dei danni relativi a scenari con intervento riuscito viene infine determinata detraendo dalla quantità di sostanza pericolosa immessa nel primo corso d'acqua tutte le quantità prelevate mediante interventi riusciti e calcolando dalla quantità risultante l'area inquinata analogamente alla formula [4]:

$$A_{as} = \frac{q_{as} - \hat{a}(q_n \times \xi_n)}{f_m \times 0.001} \quad \text{Formula [7]}$$

- A_{as} : area inquinata del corpo d'acqua superficiale, [m²]
m: indice per la caratterizzazione della sostanza rappresentativa, [-]
 q_{as} : quantità totale di sostanza pericolosa che giunge in un corpo d'acqua superficiale, [kg]
 q_n : apporto nel tipo di corpo d'acqua superficiale n ($n \geq 1$), [kg]
n: indice per la caratterizzazione del tipo di corpo d'acqua superficiale, [-]
 ξ_n : parte della sostanza pericolosa che può essere prelevata mediante intervento, [%]
 f_m : valore limite di cui ai Criteri di valutazione II concernenti l'ordinanza sulla protezione contro gli incidenti rilevanti, [g/m²]

Per la probabilità che l'intervento riesca si rimanda alla figura Figura 3. Si rileva che l'intervento può essere preso in considerazione soltanto laddove siano disponibili i dati SIG relativi ai corpi d'acqua superficiali che possono venire inquinati, cioè nel territorio nazionale e nelle regioni estere limitrofe. Al di fuori di tale area si assume, per mancanza dei dati necessari, che non sia possibile un intervento.



N. registrazione/dossier: 522.11

4.4 Metodologia di valutazione dell'entità dei danni relativi all'indicatore «acque di falda»

4.4.1 Delimitazione

Captazioni prese in considerazione

Per la selezione delle captazioni prese in considerazione nell'ambito dello screening si applicano i seguenti criteri di esclusione:

- sono prese in considerazione solamente le captazioni che dal punto di vista dell'OPIR e della prevenzione delle catastrofi sono degne di particolare protezione essendo d'importanza cruciale per l'approvvigionamento di acqua potabile della popolazione. Tali captazioni devono trovarsi in zone di protezione ufficiali. Non sono prese in considerazione le captazioni che servono esclusivamente all'approvvigionamento d'emergenza.
- Sono inoltre prese in considerazione solamente le captazioni la cui portata di concessione¹⁴ sia pari almeno a 500 l/min. Dunque l'attenzione è focalizzata primariamente sulle captazioni di acqua sotterranea con impianti di pompaggio. Le captazioni di sorgente presentano nella maggior parte dei casi una portata minore e pertanto spesso non sono prese in considerazione.

Non sono prese in considerazione le captazioni ubicate al di fuori del corridoio preso in esame, di rispettivamente 500 m su entrambi i lati del tracciato ferroviario. Questo valore corrisponde alle tipiche distanze di diffusione dei pennacchi di inquinanti riscontrate nell'ambito di indagini relative a siti contaminati. Distanze di diffusione maggiori sono state riscontrate sporadicamente nel caso di composti idrocarburici molto volatili (VCHC) e sostanze inorganiche [Stupp e Paus, 1999], [Stupp, 2002] e [Christensen et al., 1994].

Non sono prese in considerazione neanche le captazioni ubicate a una quota più alta di oltre 30 m rispetto al tracciato ferroviario. La probabilità di un inquinamento nel senso della presente problematica è assunta come sufficientemente bassa.

¹⁴ In taluni Cantoni esistono captazioni «di diritto previgente», il cui esercizio non richiede una concessione come è d'uso oggi. Se tali captazioni sono importanti per l'approvvigionamento pubblico di acqua potabile, sono state prese in considerazione nello screening.



N. registrazione/dossier: 522.11

Nella fase di determinazione della portata cumulata per sotto-elemento (somma delle portate di tutte le captazioni entro l'intervallo di distanza di cui al cap. 4.4.5) sono inoltre prese in considerazione soltanto le captazioni la cui linea di collegamento tra il punto centrale del sotto-elemento e il sito di captazione non incrocia un corpo d'acqua superficiale che nella carta nazionale in scala 1:25 000 è classificato come fiume. In questo caso si assume che un rilascio nel luogo del sotto-elemento non comporti un inquinamento della captazione (in virtù delle enunciazioni espresse nel cap. 4.2.1 si esclude anche un inquinamento a seguito di un'infiltrazione da un corpo d'acqua superficiale inquinato).

Trattamento delle aree di protezione delle acque sotterranee

Se entro la larghezza del corridoio predefinita esistono aree di protezione delle acque sotterranee, esse vengono registrate ai fini dello screening. Le aree di protezione delle acque sotterranee non sono tuttavia prese in considerazione nella curva cumulativa, dal momento che non è nota la portata di un'eventuale futura captazione.

4.4.2 Panoramica dei processi presi in considerazione

Ai fini della valutazione dell'entità dei danni relativi all'indicatore «acque di falda», ossia in riferimento alla portata di acqua potabile non prelevabile, nel modello sono presi in considerazione i seguenti processi (fig. Figura 4):

- infiltrazione o penetrazione nel suolo,
- intervento (scavo/bonifica),
- penetrazione nella zona satura e relativi processi di trasporto caratterizzati da un raggio di contaminazione in funzione della direzione di deflusso della falda e del tipo di suolo.



N. registrazione/dossier: 522.11

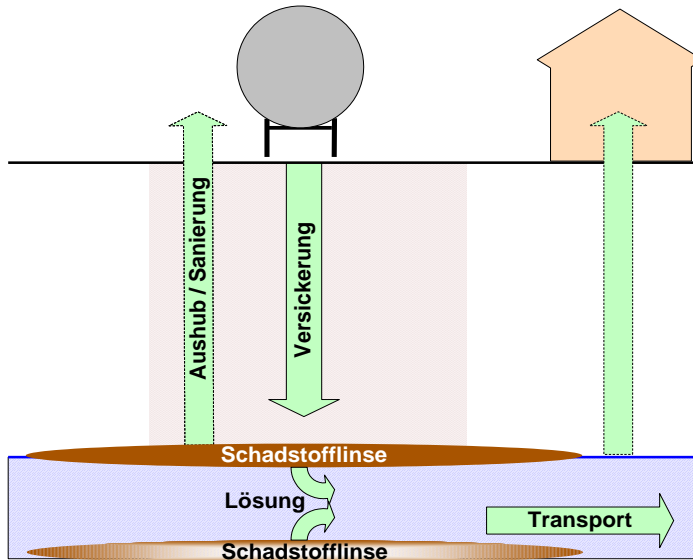


Figura 4: Panoramica dei processi presi in considerazione per determinare l'entità dei danni relativi all'indicatore «acque di falda».

4.4.3 Infiltrazione o penetrazione nel suolo

La massa massima di sostanza pericolosa che per ogni scenario di rilascio e ogni tratto del percorso di deflusso può infiltrarsi nel suolo e quindi può potenzialmente giungere nelle acque di falda ($q_{inf,ijk}$, formula [2], cap. 4.3.4) viene stimata attraverso il processo «infiltrazione della sostanza liquida defluente nel suolo». La quantità d'infiltrazione totale $q_{inf,tot}$ corrisponde alla quantità d'infiltrazione cumulata per scenario lungo tutti i tratti l_{ij} del percorso di deflusso:

$$q_{inf,tot} = \sum_{i,j,k} q_{inf,ijk} = \sum_{i,j,k} C l_{jk} \times \cos^2 \alpha_i \times D \times t_{ril} \times l_{ij} \times r$$

Formula [8]

- $q_{inf,tot}$: quantità totale di sostanza pericolosa che si infila nel suolo lungo tutti i tratti l_{ij} del percorso di deflusso, [kg]
- $q_{inf,ijk}$: quantità di sostanza pericolosa che si infila nel suolo in ogni tratto l_{ij} del percorso di deflusso, [kg]
- $C l_{jk}$: capacità di infiltrazione, [l/s/m²]
- α_i : pendenza del terreno, [°]
- D : diametro della pozza, corrisponde alla larghezza dell'area coperta dalla sostanza liquida, [m]
- t_{ril} : durata del rilascio, [s]
- l_{ij} : lunghezza di un tratto del percorso di deflusso, [m]
- i : indice per la caratterizzazione della classe di pendenza, [-]
- j : indice per la caratterizzazione del tipo di suolo, [-]
- k : indice per la caratterizzazione del grado di saturazione idrica del suolo, [-]



N. registrazione/dossier: 522.11

ρ : densità della sostanza inquinante, [kg/l]

La quantità d'infiltrazione totale per scenario ($q_{inf,tot}$) viene confrontata con la quantità di sostanza pericolosa trattenuta nella zona insatura (q_{zi}):

$$q_{zi} = 1000 \cdot D \cdot L \cdot h_{lp} \cdot R_s \cdot f_v \cdot \rho \quad \text{Formula [9]}$$

q_{zi} : quantità massima di sostanza pericolosa che può essere trattenuta nella zona insatura, [kg]
 D : diametro della pozza, corrispondente alla larghezza dell'area coperta dalla sostanza liquida, [m]
 L : lunghezza totale del deflusso superficiale, esclusa la zona della pozza ($L = \sum l_{ij}$), [m]
 h_{lp} : profondità del livello piezometrico nel luogo di rilascio, [m]
 R_s : capacità di ritenzione del suolo, [m³/m³]
 f_v : fattore di correzione relativo alla viscosità, [-]
 ρ : densità della sostanza inquinante, [kg/l]

Si ha un apporto di inquinante nella zona satura se la quantità totale infiltratasi nel suolo $q_{inf,tot}$ è maggiore di q_{zi} . La differenza (positiva) corrisponde alla quantità q_{zs} che giunge nella zona satura direttamente, cioè senza tenere conto di processi di dilavamento, costituendo quindi un pericolo per le acque di falda:

$$q_{zs} = \max(q_{inf,tot} - q_{zi}, 0) \quad \text{Formula [10]}$$

q_{zs} : quantità di sostanza pericolosa che può penetrare direttamente nella zona satura, [kg]
 $q_{inf,tot}$: quantità totale di sostanza pericolosa infiltratasi nel suolo, [kg]
 q_{zi} : quantità di sostanza pericolosa che può essere trattenuta nella zona insatura, [kg]

Nel senso di una semplificazione del modello si assume che tale quantità giunga nella zona satura direttamente sotto il luogo di rilascio e non distribuita in superficie lungo l'intero percorso di deflusso.

La capacità di ritenzione R_s del suolo dipende, tra le altre cose, dalla viscosità della sostanza inquinante, dal grado di saturazione del suolo, dal contenuto di carbonio organico, dalla porosità effettiva e dalla presenza e dall'accessibilità delle superfici di adsorbimento. Sulla base di [Eiling, 1994], [Leo, 1994] e [Mays, 1999] si definiscono i seguenti valori, assunti per semplicità come uguali per tutte le sostanze rappresentative:



N. registrazione/dossier: 522.11

Tipo di suolo j	Capacità di ritenzione R_s [m^3/m^3] in presenza di un	
	suolo capace di adsorbire	suolo saturo d'acqua
Suolo carsico	0,001	0,001
Ghiaia/sabbia	0,01	0,001
Sabbia/limo	0,03	0,001
Argille/roccia	0,05	0,001

Inoltre si assume che la viscosità di tutte le sostanze rappresentative sia pari a 1.

Sia per le sostanze rappresentative «prodotti petroliferi» e «percloroetilene», difficilmente idrosolubili, che per la sostanza rappresentativa «epicloridrina», facilmente idrosolubile, si assume inoltre che la sostanza pericolosa trattenuta nel suolo rimanga lì e non venga dilavata nella zona satura. Infatti, il dilavamento è un processo che dura a lungo, anche nel caso di sostanze liquide facilmente idrosolubili, e permette dunque di intervenire con idonee misure, come ad esempio l'asportazione del suolo inquinato o l'avvio di processi di degradazione biologica. Inoltre, le quantità trasportate di sostanze facilmente idrosolubili e quindi ben dilavabili sono relativamente contenute e probabilmente influenzano solo in misura limitata i risultati.

4.4.4 Processo «intervento» (scavo/bonifica)

Mediante misure d'intervento come lo scavo, l'asportazione con pompe di una sostanza pericolosa liquida da una lente di inquinante che si sta formando o altre misure, si riduce la parte della sostanza pericolosa che può raggiungere la zona satura causando quindi un inquinamento delle acque di falda.

L'efficacia delle misure d'intervento dipende essenzialmente dal tempo d'intervento, dall'infrastruttura delle forze d'intervento, dalle condizioni locali (accessibilità, caratteristiche del suolo ecc.), dalla quantità di sostanza pericolosa rilasciata e da eventuali eventi consequenziali (ad es. incendio).

Innanzitutto si è assunto, nel senso di un'ipotesi di modello generica, che il 60 % della quantità di sostanza pericolosa che senza intervento giunge nella zona satura possa essere prelevato mediante misure d'intervento attive. Una riduzione della quantità di sostanza pericolosa che giunge nella zona satura non ha tuttavia – almeno nell'ambito del modello di calcolo utilizzato – alcuna influenza sull'estensione di una contaminazione, bensì riduce solamente la durata dell'inquinamento e quindi il periodo di tempo in cui una captazione risulta inutilizzabile. Poiché con i criteri di valutazione in discussione [UFAM, 2010] adottati in questa sede l'indice di incidente rilevante non tiene conto del tempo di inutilizzabilità di una captazione, una riduzione della quantità di sostanza pericolosa nella zona satura a seguito di misure d'intervento non influisce sull'entità dei danni e non deve essere pertanto presa in considerazione.



N. registrazione/dossier: 522.11

4.4.5 Definizione dei raggi di contaminazione

Se una sostanza pericolosa penetra nella zona satura, si assume che divengano inutilizzabili le captazioni di acqua potabile ubicate entro il cosiddetto raggio di contaminazione. Per la definizione dei raggi di contaminazione sono presi in considerazione due fattori influenti:

1. l'estensione massima di una contaminazione, assunta per semplicità come indipendente dalla sostanza rappresentativa. La quantità che penetra nella zona satura non è presa in considerazione, poiché la concentrazione nell'acqua di falda dipende in particolare dalla solubilità delle sostanze e non dalla loro quantità;
2. l'estensione della zona d'influenza della captazione sulla corrente di falda in funzione della direzione di deflusso della falda, dello spessore dell'acquifero, del tipo di suolo e della portata della captazione (si veda al riguardo anche l'allegato 2).

Le basi per la definizione dei raggi di contaminazione sono illustrate nell'allegato 2. I raggi effettivi entro i quali è prevedibile l'inquinamento di una captazione possono dipendere fortemente da aspetti locali. Tali aspetti possono essere ritratti solo grossolanamente nell'ambito dello screening per via della complessità e delle approssimazioni da cui sono affette le basi disponibili. Inoltre si assume per semplicità che le captazioni distanti oltre 500 m dalla linea ferroviaria non siano interessate da un incidente rilevante.

Nell'ambito del presente screening dei rischi per l'ambiente si distinguono i seguenti quattro casi in riferimento alla direzione di deflusso della falda:

- Caso a) La falda defluisce dal luogo di rilascio in direzione della captazione. Si assume che la sostanza pericolosa immessa nelle acque di falda venga trasportata dalla corrente di falda anche oltre la zona della captazione. Di seguito ciò viene designato con l'espressione «verso la captazione».
- Caso b) La falda defluisce dal luogo di rilascio non in direzione della captazione, bensì nella direzione opposta. Di seguito ciò viene designato con l'espressione «verso la ferrovia».
- Caso c) La falda defluisce in una direzione intermedia tra i casi a) e b). Di seguito ciò viene designato con l'espressione «parallelamente».
- Caso d) La direzione di deflusso della falda non è nota. In questo caso si assume, nel senso di un'ipotesi conservativa, il caso a).

Se un'importante captazione di acqua potabile si trova entro il raggio di contaminazione, la captazione è considerata compromessa dall'inquinamento delle acque di falda qualora la sostanza pericolosa raggiunga la zona satura. Nel senso dei Criteri di valutazione concernenti l'ordinanza sulla protezione contro gli incidenti rilevanti (progetto per consultazione del 2 luglio 2010) si assume dunque che sia superato il valore limite di cui all'ordinanza sulle sostanze estranee e sui componenti (OSoE).



N. registrazione/dossier: 522.11

Si assumono i seguenti raggi di contaminazione indipendenti dalla sostanza rappresentativa tenendo conto dei menzionati fattori influenti (cfr. tab. Tabella 6):

Tipo di suolo	Raggio di contaminazione [m] in funzione della direzione di deflusso della falda			
	verso la captazione	parallelamente	verso la ferrovia	direzione non nota
Suolo carsico	500	500	500	500
Tutti gli altri o non noto	500	100	40	500

Tabella 6: Raggio di contaminazione in funzione della direzione di deflusso della falda e del tipo di suolo¹⁵

Per la classificazione del tipo di suolo si fa ricorso alla «carta geotecnica semplificata» (base: carte nazionali in scala 1:200 000 con risoluzione cartografica di 200 m).¹⁶

L'entità dei danni relativi all'indicatore «acque di falda» ha la dimensione «portata di acqua potabile non prelevabile (l/min)». La portata non prelevabile corrisponde alla portata cumulata che va persa dalla captazione di acqua potabile ubicata entro il raggio di contaminazione. Ciò significa che nel caso in cui un rilascio di sostanza pericolosa interessi più di una captazione vengono cumulate le relative portate e quindi le entità dei danni.

4.4.6 Determinazione dell'indice di incidente rilevante

L'indice di incidente rilevante viene calcolato in base alla portata cumulata p di acqua inquinata, cioè non più utilizzabile, prelevata dalle captazioni ubicate entro il raggio di contaminazione conformemente alle disposizioni di cui a [UFAM, 2010], utilizzando la seguente formula:

$$Indice\ d'incidente\ rilevante = 0,3 \times \frac{\log \frac{p}{2500}}{\log(5)} + 1 \dots \dots \dots (Formola\ 11)$$

¹⁵ Una maggiore differenziazione del raggio di contaminazione in base al tipo di suolo (distinzione tra ghiaia/sabbia, sabbia/limo e argille/roccia) non è utile nella pratica, poiché nella zona d'influenza delle captazioni la permeabilità del suolo è di norma buona (tipo di suolo ghiaia/sabbia) e la risoluzione dei dati SIG relativi al tipo di suolo disponibili è piuttosto bassa. Di conseguenza si distingue solamente tra suolo carsico e tutti gli altri tipi di suolo.

¹⁶ Fonte: UST GEOSTAT, proprietario dei dati: UFAM. Stato dei dati 1963–1967 (digitalizzati nel 1990).



N. registrazione/dossier: 522.11

La portata p va indicata in litri/minuto. Per $p = 2500$ [l/min] risulta un indice di incidente rilevante di 0,3, mentre per $p = 12\,500$ [l/min] tale indice è pari a 0,6.



5 Discussione finale

La metodologia qui esposta consente di calcolare e rappresentare, con l'ausilio dell'applicativo EDP «TgG 2.1», i rischi relativi agli indicatori di danno «acque superficiali» e «acque di falda» sotto forma di curve cumulative per tronchi prescelti della rete oggetto dello screening. La metodologia è conforme alle disposizioni dell'ordinanza sulla protezione contro gli incidenti rilevanti e dei criteri di valutazione in discussione [UFAM, 2010].

La metodologia per l'analisi dei rischi per l'ambiente è soggetta, per sua natura, a notevoli approssimazioni. Ciò riguarda soprattutto i seguenti aspetti importanti relativi alla stima dell'entità dei danni:

1. Calcolo delle quantità immesse a seguito di rilasci di sostanze pericolose in base agli scenari di rilascio di cui al capitolo 3 (caratterizzati da sostanza rappresentativa, luogo, quantità e durata di rilascio).
2. L'aggregazione delle quantità di sostanze pericolose rilasciate per sostanza rappresentativa e i parametri relativi al suolo, all'infrastruttura ferroviaria ecc. vengono rilevati una sola volta e non possono essere pertanto presi in considerazione in modo differenziato per i rischi per le acque di falda e per le acque superficiali. Ciò porta a formulare ipotesi conservative (ad es. «assenza di drenaggio») in parte riguardanti un solo bene da proteggere.
3. Considerazione di possibili misure d'intervento volte a ridurre l'inquinamento di corpi d'acqua superficiali, in particolare per la sostanza rappresentativa «prodotti petroliferi» (per le altre sostanze rappresentative probabilmente non sarebbero più possibili misure efficaci volte a ridurre l'entità dei danni dopo l'immissione in un corpo d'acqua superficiale).
4. Nessuna considerazione delle saracinesche d'emergenza esistenti.
5. Quantità di sostanze pericolose immesse nella zona satura d'acqua di falda e possibile estensione di una contaminazione di captazioni o sorgenti che servono all'approvvigionamento pubblico di acqua potabile e che quindi non sono più utilizzabili – almeno temporaneamente (o lo sono tutt'al più tenendo conto di possibili misure d'intervento).

Mediante analisi approfondite, il ricorso a dati supplementari (ad es. captazioni a rischio più distanti in presenza di un suolo carsico) e/o una valutazione sul posto (ad es. influenza della topografia locale sui percorsi di deflusso delle sostanze liquide rilasciate) è spesso possibile correggere le approssimazioni nei summenzionati parametri intrinsechi al modello e gli errori di valutazione a esse legati. Uno dei punti di forza della metodologia di screening e dell'applicativo EDP «TgG 2.1» è la possibilità di inserire nel modello i risultati di tali analisi aggiuntive sotto forma di fattori influenti importanti, in modo



N. registrazione/dossier: 522.11

da ottenere una valutazione dei rischi più solida. In virtù dei punti sopra elencati, ciò riguarda in particolare i seguenti fattori influenti rilevanti per i rischi:

- quantità di sostanze pericolose immesse in un corpo d'acqua superficiale per ogni scenario di rilascio;
- portata cumulata dell'acqua potabile prelevata dalle captazioni o sorgenti che possono venire inquinate nel caso di un'immissione di sostanza pericolosa nella zona satura tenendo conto della rispettiva direzione di deflusso della falda.

Lo screening dei rischi per l'ambiente costituisce un ausilio idoneo per monitorare i rischi per l'ambiente, identificare i tronchi per i quali è obbligatoria l'analisi dei rischi e integrarvi all'occorrenza i risultati emersi da analisi approfondite relative ai principali fattori influenti sui rischi. In sede di interpretazione dei risultati si deve sempre tenere conto del livello di qualità e dell'approssimazione dei fattori influenti importanti. Lo screening dei rischi per l'ambiente costituisce quindi insieme al tool EDP «TgG 2.1» un ausilio prezioso per l'esecuzione sistematica dell'OPIR per le linee ferroviarie.



N. registrazione/dossier: 522.11

6 Bibliografia

- [AGW, 1986] Ufficio di protezione delle acque e di ingegneria idraulica del Cantone di Zurigo, «Die Grundwasservorkommen im Kanton Zürich», Kümmerly & Frey AG, Berna, 1986
- [B&H, 2002] Dipartimento delle costruzioni del Cantone di Zurigo, AWEL, «Modell zur Abschätzung der Grundwasserbelastung bei Störfällen», Basler & Hofmann, Zurigo, 2002
- [Carbura, 1992] «Carbura; Rahmenbericht über Stehtankanlagen für flüssige Brenn- und Treibstoffe im Hinblick auf die Störfallvorsorge», SKS Ingenieure AG, Zurigo, 1992
- [Christensen et al., 1994] Christensen, J.B., P. Kjeldsen, H.-J. Albrechtsen, G. Heron, P.H. Nielsen, P.L. Bjerg e P.E. Holm, «Attenuation of landfill leachate pollutants in aquifers», Environmental Science & Technology, 24 (2), 1994
- [CV II, 2001] Ufficio federale dell'ambiente (UFAM, ex UFAFP), «Criteri di valutazione II concernenti l'ordinanza sulla protezione contro gli incidenti rilevanti OPIR», luglio 2001
- [de Marsily, 1986] de Marsily G., «Quantitative Hydrogeology», Academic Press Inc., San Diego, 1986
- [DVWK, 1989] DVWK, «Stofftransport im Grundwasser», DVWK Schriften 83, Paul Parey Verlag, Amburgo e Berlino, 1989
- [E&B, 2002] UFT/FFS, «Esecuzione dell'ordinanza sulla protezione contro gli incidenti rilevanti per le ferrovie, attuazione nelle stazioni di smistamento delle FFS, rapporto metodologico» (trad.), Emch und Berger, 2002
- [EBP, 1998] Sottogruppo di lavoro «Criteri di valutazione delle vie di comunicazione»; «Analisi pilota dei rischi derivanti dal trasporto di merci pericolose, Caso esemplificativo del trasporto per ferrovia» (trad.), Ernst Basler + Partner AG, Zollikon, 1998
- [EBP, 2004] Ufficio federale delle intendenze delle forze terrestri, «Determinazione dell'indicatore di danno "acque di falda" nei rilasci di prodotti petroliferi – Rapporto di base di cui ai "Criteri di valutazione I concernenti l'ordinanza



N. registrazione/dossier: 522.11

- sulla protezione contro gli incidenti rilevanti OPIR”» (trad.), riservato, Ernst Basler + Partner AG, Zollikon, 2004
- [EBP, 2007] Ferrovie Federali Svizzere, BLS SA, Ufficio federale dei trasporti, Ufficio federale dell’ambiente, «Rischi per la popolazione derivanti dal trasporto di merci pericolose su ferrovia – Valutazione aggiornata dei rischi su tutta la rete (Screening 2006)» (trad.), Ernst Basler + Partner AG, Zollikon, 2007
- [ECB, 2000] European Commission, European Chemicals Bureau, «International Uniform Chemical Information Database (ICLUID)», 2000
- [Eiling, 1994] Eiling R. e R.H. Lilie, «Chemiewehr-Handbuch», K.O. Storck Verlag, Amburgo, 1994
- [FAL 35, 2000] Stazione federale di ricerche in agroecologia e agricoltura; collana di scritti FAL35, «GIS-gestützte Abschätzung der Phosphor- und Stickstoff-einträge aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Zürich», Zurigo-Reckenholz, 2000
- [Grombach, 1993] Grombach P., K. Haberer, G. Merkl ed E.U. Trüeb, «Handbuch der Wasserversorgungstechnik», R. Oldenbourg Verlag GmbH, Monaco di Baviera, 1993
- [Gujer, 1995] Istituto di idromeccanica e gestione delle risorse idriche; dispensa «Siedlungsentwässerung», Willi Gujer, Politecnico federale di Zurigo, 1995
- [Kinzelbach, 1998] Kinzelbach W. e F. Stauffer, «Grundwasserhydraulik I», Politecnico federale di Zurigo, Istituto di idromeccanica e gestione delle risorse idriche, 1998
- [Leo, 1994] Leo R. e R.H. Lilie. «Ölwehr-Handbuch», K.O. Storck Verlag, Amburgo, 1994
- [Mays, 1999] Mays L.W., «Hydraulic Design Handbook», McGraw-Hill, 1999
- [MERCK, 2006] MERCK Data Sheets, 2006
- [Mutschmann, 1995] Mutschmann J. e F. Stimmelmayer, «Taschenbuch der Wasserversorgung», Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stoccarda, 1995
- [OSoE, 1995] Ordinanza del DFI del 26 giugno 1995 sulle sostanze estranee e sui componenti presenti negli alimenti (Ordinanza sulle sostanze estranee e



N. registrazione/dossier: 522.11

sui componenti, OSoE), stato ottobre 2006

- [Rauber, 1998] Rauber, M., F. Stauffer, P. Huggenberger e T. Dracos, «Remediation well efficiency: Numerical experiments using a conditioned/unconditioned stochastic facies type approach», *Water Resources Research*, 34 (9), 2225-2233, 1998
- [Stupp, 2002] Stupp, D., «Migration und Dechlorierung von LCKW in Grundwasserleitern», *Altlasten Spektrum* 3/2002, p. 129–139
- [Stupp e Paus, 1999] Stupp, D. e L. Paus, «Migrationsverhalten organischer Grundwasser-Inhaltstoffe und daraus resultierende Ansätze zur Beurteilung von Monitored Natural Attenuation (MNA)», *Terra Tech* 5, 1999
- [UBA, 1985] Umweltbundesamt, «Beurteilung und Behandlung von Mineralölschadensfällen im Hinblick auf den Grundwasserschutz», 1985
- [UFAM, 2010] Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), «Criteri di valutazione concernenti l'ordinanza sulla protezione contro gli incidenti rilevanti, aiuto all'esecuzione per le aziende, le vie di comunicazione e gli impianti di trasporto in condotta»; progetto per consultazione, versione del 2 luglio 2010
- [UFT, 2013] Ufficio federale dei trasporti, «Documentazione delle basi dello screening dei rischi per la popolazione derivanti dal trasporto di merci pericolose su ferrovia 2011», Ernst Basler + Partner, febbraio 2013
- [UFT, 2015] «Rischi derivanti dal trasporto di merci pericolose su ferrovia, Screening dei rischi per l'ambiente 2014 su tutta la rete ferroviaria, Rapporto sui risultati», Ernst Basler + Partner, febbraio 2015
- [USTRA, 2006] Ufficio federale delle strade USTRA, «Esecuzione dell'ordinanza sulla protezione contro gli incidenti rilevanti sulle strade nazionali – Metodologia adottata per individuare i rischi per l'ambiente» (trad.), 2006
- [WHO, 2004] World Health Organisation WHO: «Guidelines for Drinking-water Quality», 3rd edition, Volume 1, Recommendations, 2004
- [ZH UP, 1996] Zürcher Umweltpraxis, «Versickerung von Regenabwasser auf der Liegenschaft», 1996



N. registrazione/dossier: 522.11

Allegato 1: Sostanze rappresentative e fattori di ponderazione

Di seguito sono elencate per ogni sostanza rappresentativa le relative sostanze pericolose (numero UN, nome della sostanza, classe di sostanza pericolosa, classe di pericolosità per le acque (WGK)). Inoltre è riportato il rispettivo fattore di ponderazione applicabile in base a quanto esposto nel capitolo 2.



N. registrazione/dossier: 522.11

Sostanza rappresentativa e fattore di ponderazione per numero UN

Sostanze attribuite alla sostanza rappresentativa «prodotti petroliferi»

UN-Nr.	Stoffname	Klasse	WGK	Gewichtungsfaktor Umweltrisiken
1088	ACETAL	3	2	0.25
1105	PENTANOLE	3	2	0.25
1107	Amylchloride	3	2	0.25
1111	Amylmercaptane	3	2	0.25
1123	BUTYLACETATE	3	1	0.0625
1130	KAMPFERÖL	3	2	0.25
1133	KLEBSTOFFE, mit entzündbarem flüssigem Stoff	3	2	0.25
1158	DIISOPROPYLAMIN	3	2	0.25
1164	Dimethylsulfid	3	2	0.25
1173	ETHYLACETAT	3	1	0.0625
1175	ETHYLBENZEN	3	2	0.25
1177	Ethylbutylacetat	3	2	0.25
1178	2-ETHYLBUTYRALDEHYD	3	2	0.25
1193	ETHYLMETHYLKETON	3	1	0.0625
1195	Ethylpropionat	3	1	0.0625
1201	FUSELÖL	3	2	0.25
1202	DIESELKRAFTSTOFF	3	2	0.25
1203	BENZIN	3	3	1
1207	HEXALDEHYD	3	1	0.0625
1208	HEXANE	3	2	0.25
1210	DRUCKFARBE, entzündbar	3	2	0.25
1216	Isocetene	3	2	0.25
1223	KEROSIN	3	2	0.25
1237	Methylbutyrat	3	2	0.25
1249	Methylpropylketon	3	2	0.25
1266	PARFUMERIEERZEUGNISSE, mit entzündbaren Lösungsmitteln	3	2	0.25
1267	Roherdöl	3	2	0.25
1268	ERDÖLDESTILLATE, N.A.G.	3	2	0.25
1294	TOLUEN	3	2	0.25
1300	TERPENTINÖLERSATZ	3	2	0.25
1301	VINYLACETAT, STABILISIERT	3	2	0.25
1307	XYLENE	3	2	0.25
1550	Antimonlaktat	6.1	2	0.25
1600	Dinitrotoluene, geschmolzen	6.1	2	0.25
1647	METHYLBROMID UND ETHYLENDBROMID, MISCHUNG, FLÜSSIG	6.1	2	0.25
1724	Allyltrichlorsilan, stabilisiert	8	2	0.25
1793	Isopropylphosphat	8	2	0.25
1851	MEDIKAMENT, FLÜSSIG, GIFTIG, N.A.G.	6.1	2	0.25
1863	DÜSENKRAFTSTOFF	3	1	0.0625
1902	DIISOCTYLPHOSPHAT	8	2	0.25
1917	ETHYLACRYLAT, STABILISIERT	3	2	0.25
1918	ISOPROPYLBENZEN	3	1	0.0625
1919	METHYLACRYLAT, STABILISIERT	3	2	0.25
1993	ENTZÜNDBARER FLÜSSIGER STOFF, N.A.G.	3	1	0.0625
2046	Cymene	3	2	0.25
2055	STYREN, MONOMER, STABILISIERT	3	2	0.25
2058	VALERALDEHYD	3	2	0.25
2252	1,2-DIMETHOXYETHAN	3	2	0.25
2273	2-Ethylanilin	6.1	2	0.25
2275	2-Ethylbutanol	3	2	0.25
2277	Ethylmethacrylat	3	2	0.25
2294	N-METHYLANILIN	6.1	3	1
2300	2-METHYL-5-ETHYLPYRIDIN	6.1	2	0.25
2305	Nitrobenzensulfonsäure	8	2	0.25



N. registrazione/dossier: 522.11

UN-Nr.	Stoffname	Klasse	WGK	Gewichtungsfaktor Umweltrisiken
2306	Nitrobenzotrifluoride, flüssig oder fest	6.1	2	0.25
2323	Triethylphosphit	3	1	0.0625
2330	Undecan	3	3	1
2348	BUTYLACRYLATE, STABILISERT	3	1	0.0625
2351	Butylnitrit	3	2	0.25
2356	2-CHLORPROPAN	3	2	0.25
2363	ETHYLMERCAPTAN	3	3	1
2368	α -Pinen	3	1	0.0625
2385	Ethylisobutyrate	3	2	0.25
2388	Fuortoluene	3	2	0.25
2400	METHYLISOVALERAT	3	2	0.25
2402	Propanthiole	3	2	0.25
2435	Ethylphenyldichlorsilan	8	2	0.25
2460	2-Methylbut-2-en	3	2	0.25
2541	TERPINOLEN	3	2	0.25
2542	TRIBUTYLAMIN	6.1	2	0.25
2560	2-Methylpentan-2-ol	3	2	0.25
2610	Triallylamin	3	2	0.25
2617	Methylcyclohexanole, entzündbar	3	1	0.0625
2619	BENZYLDIMETHYLAMIN	8	3	1
2620	Amylbutyrate	3	2	0.25
2709	Butylbenzene	3	2	0.25
2738	N-Butylanilin	6.1	2	0.25
2741	Bariumhypochlorit mit mehr als 22 % aktivem Chlor	5.1	2	0.25
2784	Organophosphor-Pestizid, flüssig, entzündbar, giftig, Flammpunkt unter 23 °C	3	2	0.25
2826	Ethylchlorthioformiat	8	2	0.25
2829	CAPRONSAURE	8	2	0.25
2845	Pyrophorer organischer flüssiger Stoff	4.2	2	0.25
2851	Bordifluoridhydrat	8	2	0.25
2924	ENTZÜNDBARER FLÜSSIGER STOFF, ÄTZEND, N.A.G.	3	2	0.25
2927	GIFTIGER ORGANISCHER FLÜSSIGER STOFF, ÄTZEND, N.A.G.	6.1	3	1
2929	GIFTIGER ORGANISCHER FLÜSSIGER STOFF, ENTZÜNDBAR, N.A.G.	6.1	3	1
2934	Isopropyl-2-chlorpropionat	3	2	0.25
2994	Arsenhaltiges Pestizid, flüssig, giftig	6.1	2	0.25
3009	Kupferhaltiges Pestizid, flüssig, giftig, entzündbar, mit einem Flammpunkt von 23 °C oder darüber	6.1	2	0.25
3015	Bipyridilium-Pestizid, flüssig, giftig, entzündbar, mit einem Flammpunkt von 23 °C oder darüber	6.1	2	0.25
3020	ORGANOZINN-PESTIZID, FLÜSSIG, GIFTIG	6.1	2	0.25
3025	Cumarin-Pestizid, flüssig, giftig, entzündbar, mit einem Flammpunkt von 23 °C oder darüber	6.1	2	0.25
3056	n-HEPTALDEHYD	3	1	0.0625
3073	Vinylpyridine, stabilisiert	6.1	2	0.25
3079	Methacrylnitril, stabilisiert	3	1	0.0625
3082	UMWELTGEFÄHRDENDER STOFF, FLÜSSIG, N.A.G.	9	3	1
3098	ENTZÜNDEND (OXIDIEREND) WIRKENDER FLÜSSIGER STOFF, ÄTZEND, N.A.G.	5.1	2	0.25
3099	Entzündend (oxidierend) wirkender, flüssiger Stoff, giftig	5.1	2	0.25
3101	Organisches Peroxid, Typ B, flüssig	5.2	2	0.25
3103	ORGANISCHES PEROXID TYP C, FLÜSSIG	5.2	2	0.25
3107	ORGANISCHES PEROXID TYP E, FLÜSSIG	5.2	2	0.25
3109	ORGANISCHES PEROXID TYP F, FLÜSSIG	5.2	2	0.25
3122	Giftiger, flüssiger Stoff, entzündend (oxidierend) wirkend	6.1	2	0.25
3139	Entzündend (oxidierend) wirkender flüssiger Stoff	5.1	2	0.25
3183	Selbsterhitzungsfähiger, organischer, flüssiger Stoff	4.2	2	0.25
3243	Feste Stoffe mit giftigem, flüssigem Stoff	6.1	2	0.25
3265	ÄTZENDER SAURER ORGANISCHER FLÜSSIGER STOFF, N.A.G.	8	2	0.25
3289	GIFTIGER ANORGANISCHER FLÜSSIGER STOFF, ÄTZEND, N.A.G.	6.1	2	0.25
3351	Pyrethroid-Pestizid, flüssig, giftig, entzündbar, mit einem Flammpunkt von 23 °C oder darüber	6.1	2	0.25
3357	Nitroglycerol, Gemisch, desensibilisiert, flüssig, mit höchstens 30 Masse-% Nitroglycerol	3	2	0.25



N. registrazione/dossier: 522.11

UN-Nr.	Stoffname	Klasse	WGK	Gewichtungsfaktor Umwelttrisiken
3379	Desensibilisierter Explosivstoff, flüssig	3	2	0.25
3384	Flüssigkeit, giftig beim Inhalieren, entzündbar, mit einer Inhalationstoxizität kleiner oder gleich 1000 ml/m3 und einer gesättigten Dampfkonzentration von größer oder gleich 10 LC50	6.1	2	0.25
3398	Metallorganischer Stoff, mit Wasser reagierend, flüssig	4.3	2	0.25
3420	Bortrifluorid-Propionsäure-Komplex, fest, flüssig oder geschmolzen	8	2	0.25
3427	para-Chlorbenzylchlorid, flüssig, fest oder geschmolzen	6.1	2	0.25
3440	Selenverbindung, nicht anderweitig genannt, flüssig, sehr giftig	6.1	2	0.25
3459	Nitrobrombenzole, Isomergemisch, fest oder geschmolzen	6.1	2	0.25
3466	Metallcarbonyle, fest oder geschmolzen, giftig	6.1	2	0.25
3469	Farbe, entzündbar Flammpunkt: 60 °C, ätzend	3	2	0.25
3470	Farbe, ätzend	8	2	0.25

Sostanze attribuite alla sostanza rappresentativa «epicloridrina»

UN-Nr.	Stoffname	Klasse	WGK	Gewichtungsfaktor Umwelttrisiken
1089	ACETALDEHYD	3	1	0.0625
1093	ACRYLNITRIL, STABILISIERT	3	3	1
1154	DIETHYLAMIN	3	2	0.25
1165	DIOXAN	3	2	0.25
1188	ETHYLENGLYCOLMONOMETHYLETHER	3	2	0.25
1197	EXTRAKTE, GESCHMACKSTOFFE, FLÜSSIG	3	2	0.25
1198	Formaldehyd, Lösung, entzündbar	3	2	0.25
1199	FURALDEHYDE	6.1	2	0.25
1204	Nitroglycerol, Lösung in Alkohol mit höchstens 1 % Nitroglycerol	3	2	0.25
1219	ISOPROPANOL	3	1	0.0625
1230	METHANOL	3	1	0.0625
1239	Methylchlormethylether	6.1	2	0.25
1244	Methylhydrazin	6.1	2	0.25
1248	Methylpropionat	3	2	0.25
1250	Methyltrichlorsilan	3	2	0.25
1261	Nitromethan	3	2	0.25
1277	Propylamin	3	1	0.0625
1280	PROPYLENOXID	3	2	0.25
1282	PYRIDIN	3	2	0.25
1298	TRIMETHYLCHLORSILAN	3	1	0.0625
1306	HOLZSCHUTZMITTEL, FLÜSSIG	3	3	1
1411	Lithiumaluminiumhydrid in Ether	4.3	2	0.25
1541	ACETONCYANHYDRIN, STABILISIERT	6.1	3	1
1556	Arsenverbindung, flüssig, anorganisch einschließlich Arsenate, Arsenite und Arsensulfide	6.1	2	0.25
1560	Arsen(III)-chlorid	6.1	2	0.25
1594	Diethylsulfat	6.1	3	1
1595	DIMETHYLSULFAT	6.1	2	0.25
1614	Cyanwasserstoff, stabilisiert, mit weniger als 3 % Wasser und aufgesaugt durch eine inerte, poröse Masse	6.1	2	0.25
1648	ACETONITRIL	3	2	0.25
1716	Acetylbromid	8	1	0.0625
1717	ACETYLCHLORID	3	2	0.25
1739	Benzylchlorformiat	8	2	0.25
1754	CHLORSULFONSÄURE mit oder ohne Schwefeltrioxid	8	2	0.25



N. registrazione/dossier: 522.11

UN-Nr.	Stoffname	Klasse	WGK	Gewichtungsfaktor Umweltrisiken
1761	Kupferethylendiamin, Lösung	8	2	0.25
1765	Dichloracetylchlorid	8	2	0.25
1769	Diphenyldichlorsilan	8	2	0.25
1779	AMEISENSÄURE	8	1	0.0625
1783	HEXAMETHYLENDIAMIN, LÖSUNG	8	2	0.25
1786	Fluorwasserstoffsäure und Schwefelsäure, Mischung	8	2	0.25
1789	CHLORWASSERSTOFFSÄURE	8	1	0.0625
1790	FLUORWASSERSTOFFSÄURE	8	3	1
1791	HYPOCHLORITLÖSUNG	8	2	0.25
1796	NITRIERSÄUREMISCHUNG, mit 50 % Salpetersäure	8	2	0.25
1800	Octadecyltrichlorsilan	8	2	0.25
1801	Octyltrichlorsilan	8	2	0.25
1802	Perchlorsäure mit höchstens 50 Masse-% Säure	8	2	0.25
1808	Phosphortribromid	8	1	0.0625
1809	PHOSPHORTRICHLORID	6.1	1	0.0625
1814	KALIUMHYDROXIDLÖSUNG	8	1	0.0625
1816	Propyltrichlorsilan	8	2	0.25
1824	NATRIUMHYDROXIDLÖSUNG	8	1	0.0625
1827	ZINNTETRACHLORID, WASSERFREI	8	1	0.0625
1829	SCHWEFELTRIOXID, STABILISIERT	8	2	0.25
1830	SCHWEFELSAURE mit mehr als 51 % Säure	8	2	0.25
1831	SCHWEFELSAURE, RAUCHEND	8	2	0.25
1832	SCHWEFELSAURE, GEBRAUCHT	8	2	0.25
1834	SULFURYLCHLORID	8	1	0.0625
1836	THIONYLCHLORID	8	1	0.0625
1837	THIOPHOSPHORYLCHLORID	8	2	0.25
1838	TITANIUMTETRACHLORID	8	3	1
1873	Perchlorsäure, mit mehr als 50 Masse-%, aber höchstens 72 Masse-% Säure	5.1	2	0.25
1915	CYCLOHEXANON	3	1	0.0625
1922	PYRROLIDIN	3	1	0.0625
1935	CYANID, LÖSUNG, N.A.G.	6.1	3	1
1940	Thioglycolsäure	8	1	0.0625
1992	ENTZÜNDBARER FLÜSSIGER STOFF, GIFTIG, N.A.G.	3	2	0.25
2023	EPICHLORHYDRIN	6.1	3	1
2030	HYDRAZIN, WÄSSERIGE LÖSUNG mit mindestens 37 Masse-%, aber höchstens 64 Masse-% Hydrazin	8	2	0.25
2031	SALPETERSÄURE, andere als rotrauchende	8	2	0.25
2047	DICHLORPROPENE	3	2	0.25
2054	MORPHOLIN	8	2	0.25
2056	TETRAHYDROFURAN	3	1	0.0625
2078	TOLUYLENDIISOCYANAT	6.1	2	0.25
2205	ADIPONITRIL	6.1	1	0.0625
2209	FORMALDEHYDLÖSUNG mit 25 % Formaldehyd	8	2	0.25
2218	ACRYLSÄURE, STABILISIERT	8	2	0.25
2258	1,2-PROPYLENDIAMIN	8	1	0.0625
2259	TRIETHYLENTETRAMIN	8	2	0.25
2265	N,N-DIMETHYLFORMAMID	3	1	0.0625
2269	3,3'-IMINOBISPROPYLAMIN	8	2	0.25
2270	ETHYLAMIN, WÄSSERIGE LÖSUNG mit mindestens 50 Masse-% und höchstens 70 Masse-% Ethylamin	3	1	0.0625
2312	PHENOL, GESCHMOLZEN	6.1	2	0.25
2313	PICOLINE	3	2	0.25
2327	TRIMETHYLHEXAMETHYLENDIAMINE	8	2	0.25
2334	Allylamin	6.1	2	0.25
2357	CYCLOHEXYLAMIN	8	1	0.0625
2359	Diallylamin	3	2	0.25
2374	3,3-DIETHOXYPROPEN	3	2	0.25
2398	METHYL-tert-BUTYLETHER	3	1	0.0625



N. registrazione/dossier: 522.11

UN-Nr.	Stoffname	Klasse	WGK	Gewichtungsfaktor Umweltrisiken
2401	PIPERIDIN	8	2	0.25
2426	Ammoniumnitrat, flüssig, heiße konzentrierte Lösung mit einer Konzentration von mehr als 80 %, aber höchstens 93 %	5.1	1	0.0625
2428	NATRIUMCHLORAT, WÄSSERIGE LÖSUNG	5.1	2	0.25
2438	TRIMETHYLACETYLCHLORID	6.1	1	0.0625
2485	n-BUTYLISOCYANAT	6.1	2	0.25
2513	Bromacetyl bromid	8	2	0.25
2522	2-DIMETHYLAMINOETHYLMETHACRYLAT	6.1	1	0.0625
2564	Trichloressigsäure, Lösung	8	2	0.25
2572	Phenylhydrazin	6.1	2	0.25
2606	METHYLORTHOSILICAT	6.1	1	0.0625
2611	1-Chlorpropan-2-ol	6.1	2	0.25
2668	Chloracetonitril	6.1	3	1
2672	AMMONIAKLÖSUNG in Wasser, relative Dichtezwischen 0,88 und 0,957 bei 15 °C, mit mehr als %, aber höchstens 35 % Ammoniak	8	2	0.25
2685	N,N-DIETHYLETHYLENDIAMIN	8	1	0.0625
2689	Glycerol-alpha-monochlorhydrin	6.1	2	0.25
2692	Bortribromid	8	2	0.25
2735	AMINE, FLÜSSIG, ÄTZEND, N.A.G.	8	1	0.0625
2742	Chlorformiate, giftig, ätzend, entzündbar	6.1	2	0.25
2743	n-Butylchlorformiat	6.1	2	0.25
2746	PHENYLCHLORFORMIAT	6.1	2	0.25
2789	EISSESSIG	8	1	0.0625
2790	ESSIGSÄURE, LÖSUNG	8	2	0.25
2796	BATTERIEFLÜSSIGKEIT, SAUER	8	2	0.25
2810	GIFTIGER ORGANISCHER FLÜSSIGER STOFF, N.A.G.	6.1	2	0.25
2849	3-Chlorpropan-1-ol	6.1	2	0.25
2902	PESTIZID, FLÜSSIG, GIFTIG, N.A.G.	6.1	3	1
2903	PESTIZID, FLÜSSIG, GIFTIG, ENTZÜNDBAR, N.A.G., mit einem Flammpunkt von 23 °C oder darüber	6.1	3	1
2922	ÄTZENDER FLÜSSIGER STOFF, GIFTIG, N.A.G.	8	2	0.25
2936	Thiomilchsäure	6.1	1	0.0625
2966	THIOGLYCOL	6.1	2	0.25
2987	CHLORSILANE, ÄTZEND, N.A.G.	8	2	0.25
3006	Thiocarbamid-Pestizid, flüssig, giftig	6.1	2	0.25
3017	ORGANOPHOSPHOR-PESTIZID, FLÜSSIG, GIFTIG, ENTZÜNDBAR, mit einem Flammpunkt von 23 °C oder darüber	6.1	2	0.25
3022	1,2-BUTYLENOXID, STABILISIERT	3	2	0.25
3064	NITROGLYCEROL, LÖSUNG IN ALKOHOL mit mehr als 1 %, aber höchstens 5 % Nitroglycerol	3	2	0.25
3080	ISOCYANAT, LÖSUNG, GIFTIG, ENTZÜNDBAR, N.A.G.	6.1	2	0.25
3092	1-METHOXY-2-PROPANOL	3	1	0.0625
3105	ORGANISCHES PEROXID TYP D, FLÜSSIG	5.2	2	0.25
3210	CHLORATE, ANORGANISCHE, WÄSSERIGE LÖSUNG, N.A.G.	5.1	2	0.25
3214	Permanganate, anorganische, wässrige Lösung	5.1	2	0.25
3219	NITRITE, ANORGANISCHE, WÄSSERIGE LÖSUNG, N.A.G.	5.1	2	0.25
3264	ÄTZENDER SAURER ANORGANISCHER FLÜSSIGER STOFF, N.A.G.	8	2	0.25
3266	ÄTZENDER BASISCHER ANORGANISCHER FLÜSSIGER STOFF, N.A.G.	8	2	0.25
3267	ÄTZENDER BASISCHER ORGANISCHER FLÜSSIGER STOFF, N.A.G.	8	2	0.25
3271	ETHER, N.A.G.	3	2	0.25
3275	NITRILE, GIFTIG, ENTZÜNDBAR, N.A.G.	6.1	2	0.25
3287	GIFTIGER ANORGANISCHER FLÜSSIGER STOFF, N.A.G.	6.1	2	0.25
3293	HYDRAZIN, WÄSSERIGE LÖSUNG mit höchstens 37 Masse-% Hydrazin	6.1	2	0.25
3302	2-DIMETHYLAMINOETHYLACRYLAT	6.1	2	0.25
3382	Flüssigkeit, giftig beim Inhalieren, organisch, mit einer Inhalationstoxizität kleiner oder gleich 1000 ml/m ³ und einer gesättigten Dampfkonzentration von größer oder gleich 10 LC50	6.1	2	0.25



N. registrazione/dossier: 522.11

UN-Nr.	Stoffname	Klasse	WGK	Gewichtungsfaktor Umwelttrisiken
3383	Flüssigkeit, giftig beim Inhalieren, entzündbar, mit einer Inhalationstoxizität kleiner oder gleich 200 ml/m ³ und einer gesättigten Dampfkonzentration von größer oder gleich 500 LC50	6.1	2	0.25
3390	Flüssigkeit, giftig beim Inhalieren, ätzend, organisch, mit einer Inhalationstoxizität kleiner oder gleich 1000 ml/m ³ und einer gesättigten Dampfkonzentration von größer oder gleich 10 LC50	6.1	2	0.25
3399	Metallorganischer Stoff, mit Wasser reagierend, entzündbar, flüssig	4.3	2	0.25
3408	Bleiperchlorat, entzündend/oxidierend wirkend, wässrige Lösung	5.1	2	0.25
3410	4-Chlor-ortho-toluidinhydrochlorid, wässrige Lösung	6.1	2	0.25
3412	Ameisensäure	8	1	0.0625
3414	Natriumcyanid, giftig, wässrige Lösung	6.1	3	1
3415	Natriumfluorid, wässrige Lösung	6.1	1	0.0625
3418	2,4-Toluyldiamin, als Lösung, flüssig	6.1	2	0.25
3421	Kaliumbifluorid, wässrige Lösung mit höchstens 28 % Kaliumbifluorid	8	2	0.25
3426	Acrylamid, wässrige Lösung, stabilisiert	6.1	3	1
3430	Xylenol, Isomergemisch, flüssig	6.1	3	1
3463	Propionsäure	8	1	0.0625

Sostanze attribuite alla sostanza rappresentativa «percloroetilene»

UN-Nr.	Stoffname	Klasse	WGK	Gewichtungsfaktor Umwelttrisiken
1099	ALLYLBROMID	3	2	0.25
1134	CHLORBENZEN	3	3	1
1139	SCHUTZANSTRICH-LÖSUNG (einschließlich zu Industrie- oder anderen Zwecken verwendete Oberflächenbehandlungen oder Beschichtungen, wie Zwischenbeschichtung für Fahrzeugkarosserien, für Fässer)	3	3	1
1169	EXTRAKTE, AROMATISCH, FLÜSSIG	3	3	1
1184	ETHYLENDICHLORID	3	3	1
1259	Nickeltetracarbonyl	6.1	2	0.25
1263	FARBE (einschließlich Farbe, Lack, Emaille, Beize, Schellack, Firnis, Politur, flüssiger Füllstoff und flüssige	3	1	0.0625
1279	1,2-DICHLORPROPAN	3	3	1
1545	Allylthiocyanat, stabilisiert	6.1	3	1
1547	ANILIN	6.1	2	0.25
1578	Chlornitrobenzene, flüssig oder fest	6.1	2	0.25
1580	CHLORPIKRIN	6.1	2	0.25
1593	DICHLORMETHAN	6.1	2	0.25
1662	Nitrobenzol	6.1	2	0.25
1702	1,1,2,2-Tetrachlorethan	6.1	2	0.25
1710	TRICHLORETHYLEN	6.1	3	1
1752	CHLORACETYLCHLORID	6.1	3	1
1846	TETRACHLORKOHLSTOFF	6.1	3	1
1865	n-PROPYLNITRAT	3	2	0.25
1866	HARZ-LÖSUNG, entzündbar	3	1	0.0625
1888	CHLOROFORM	6.1	3	1
1897	TETRACHLORETHYLEN	6.1	3	1
1916	2,2'-DICHLORDIETHYLETHER	6.1	2	0.25
2019	CHLORANILINE, FLÜSSIG	6.1	3	1
2224	BENZONITRIL	6.1	3	1
2295	METHYLCHLORACETAT	6.1	3	1
2299	METHYLDICHLORACETAT	6.1	2	0.25
2311	PHENETIDINE	6.1	1	0.0625
2319	TERPENKOHLENWASSERSTOFFE, N.A.G.	3	3	1



N. registrazione/dossier: 522.11

UN-Nr.	Stoffname	Klasse	WGK	Gewichtungsfaktor Umweltrisiken
2337	PHENYLMERCAPTAN	6.1	3	1
2338	BENZOTRIFLUORID	3	2	0.25
2340	2-BROMETHYLETHYLETHER	3	2	0.25
2342	Brommethylpropan	3	2	0.25
2381	DIMETHYLDISULFID	3	3	1
2414	Thiophen	3	3	1
2470	PHENYLACETONITRIL, FLÜSSIG	6.1	2	0.25
2504	Tetrabromethan	6.1	2	0.25
2604	BORTRIFLUORIDIETHYLETHERAT	8	3	1
2643	METHYLBROMACETAT	6.1	2	0.25
2644	Methyliodid	6.1	2	0.25
2656	CHINOLIN	6.1	2	0.25
2664	DIBROMMETHAN	6.1	3	1
2785	Thiapentan-4-al	6.1	2	0.25
2788	ORGANISCHE ZINNVERBINDUNG, FLÜSSIG, N.A.G.	6.1	2	0.25
2809	QUECKSILBER	8	3	1
2920	ÄTZENDER FLÜSSIGER STOFF, ENTZÜNDBAR, N.A.G.	8	3	1
2935	Ethyl-2-chlorpropionat	3	2	0.25
2937	alpha-Methylbenzylalkohol	6.1	2	0.25
3018	ORGANOPHOSPHOR-PESTIZID, FLÜSSIG, GIFTIG	6.1	3	1
3145	ALKYLPHENOLE, FLÜSSIG, N.A.G. (einschließlich C2-C12-Homologe)	8	3	1
3276	NITRILE, GIFTIG, N.A.G.	6.1	3	1
3352	PYRETHROID-PESTIZID, FLÜSSIG, GIFTIG	6.1	3	1
3429	Chlortoluidin, Isomeregemisch, flüssig	6.1	2	0.25
3450	Diphenylchlorarsin, fest, flüssig oder geschmolzen	6.1	2	0.25



N. registrazione/dossier: 522.11

Allegato 2: Estensione di una contaminazione e zona d'influenza di una captazione

Estensione di una contaminazione (raggio di contaminazione)

L'apporto di una sostanza pericolosa liquida nella zona satura non compromette necessariamente le captazioni di acqua sotterranea circostanti. In seguito a processi biologici, chimici o fisici la concentrazione iniziale di una sostanza inquinante (concentrazione nell'acqua di falda dopo la soluzione dalla lente di inquinante) durante il trasporto può scendere sotto i valori limite prescritti dalla legge o a un livello tale da non essere più individuabile, prima che il pennacchio di inquinante che si sta diffondendo raggiunga le captazioni.

L'estensione massima di una contaminazione x_{max} (raggio di contaminazione) dipende dalla sostanza rappresentativa e può essere calcolata come segue in funzione dell'idrosolubilità della sostanza inquinante e del valore di valutazione dell'acqua potabile [EBP, 2004]:

$$x_{max} = \frac{k \times J}{j \times R} \times \frac{1}{k_c} \times \ln \frac{c_0}{c_{limite}}$$

Formula [12]

- x_{max} : raggio di contaminazione massimo, [m]
k: permeabilità dell'acquifero, [m/s]
J: gradiente idraulico, [-]
 Φ : porosità effettiva, [-]
R: fattore di ritardo, [-]
 k_c : costante di reazione del primo ordine relativa alla degradazione microbica, [1/s]
 c_0 : solubilità della sostanza inquinante nell'acqua, [g/m³]
 c_{limite} : valore di valutazione dell'acqua potabile, [g/m³]

Si trascura un'eventuale diluizione della sostanza inquinante durante il trasporto.

I fattori influenti determinanti nel calcolo del raggio di contaminazione x_{max} sono le proprietà della sostanza inquinante (idrosolubilità e concentrazione massima ammessa nell'acqua potabile), l'adsorbimento (raffigurato nel modello da un fattore di ritardo), il tasso di degradazione microbica e le caratteristiche del suolo (velocità di deflusso della falda). Il raggio di contaminazione x_{max} è tuttavia indipendente dalla quantità di inquinante percolato nel suolo, poiché si assume che al di sotto dell'interfaccia tra la lente di inquinante (vedi «formazione di una lente di inquinante») e la falda venga raggiunta la concentrazione di saturazione.



N. registrazione/dossier: 522.11

Si assumono le seguenti ipotesi per il calcolo di x_{max} secondo la formula [12] e si applicano i seguenti valori:

- la concentrazione della sostanza inquinante nell'acqua di falda è sempre minore della sua idrosolubilità.
- La degradazione della sostanza inquinante può essere descritta con una cinetica del primo ordine. Quale concentrazione iniziale c_0 per determinare la velocità di reazione si usa l'idrosolubilità (concentrazione massima). Il raggio di contaminazione è proporzionale al logaritmo del rapporto tra la concentrazione iniziale e il valore limite per l'acqua potabile.
- Per la degradazione è sempre disponibile un numero sufficiente di accettori di elettroni e gli organismi presentano un'attività massima.
- Per la permeabilità locale k dell'acquifero sono disponibili solo pochi dati numerici. Nella maggior parte dei casi i dati sono di natura descrittiva (ad es. ghiaia sabbiosa). In tali casi vengono adottati per i vari tipi di suolo i seguenti valori ([Mutschmann, 1995], [Grombach, 1993], [de Marsily, 1986], [AGW, 1986], [Rauber, 1998], [Kinzelbach, 1998], [Eiling, 1994]):
 - suolo carsico: 0,1 m/s
 - ghiaia/sabbia: 0,001 m/s
- Per il gradiente idraulico J non sono disponibili dati locali specifici. Per la valutazione del raggio di contaminazione massimo si adotta pertanto per J un valore medio di 0,005.
- Per la porosità effettiva Φ [-] vengono usati i seguenti valori ([de Marsily, 1986], [Eiling, 1994], [Kinzelbach, 1998], [Rauber, 1998]):
 - suolo carsico: 0,2
 - ghiaia/sabbia: 0,25
- I processi di adsorbimento e desorbimento sono presi in considerazione con l'ausilio del fattore di ritardo, assumendo che il processo di adsorbimento sia lineare, reversibile, istantaneo e in equilibrio. Sia le proprietà della sostanza inquinante che le caratteristiche del suolo influiscono sulla grandezza del fattore di ritardo. Per questo i fattori di ritardo possono variare di diversi ordini di grandezza all'interno di un gruppo di sostanze. Al tempo stesso anche il fattore di ritardo di una singola sostanza presenta una grande variabilità in funzione delle caratteristiche del suolo. Per semplicità si assume per tutte le sostanze rappresentative un valore medio di 5 per il fattore di ritardo R . Ciò significa che i processi di adsorbimento che avvengono nel suolo riducono l'inquinamento di un fattore 5.



N. registrazione/dossier: 522.11

- Valori assunti per la costante di reazione del primo ordine k_c adottata per tenere conto della degradazione microbica¹⁷ sulla falsariga di [MERCK, 2006], [ECB, 2000]:

Sostanza rappresentativa	Costante di reazione del primo ordine k_c [1/s]
Prodotti petroliferi	$5 \cdot 10^{-8}$
Epicloridrina	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Percloroetilene	$2 \cdot 10^{-8}$

- Solubilità specifica della sostanza rappresentativa c_0 (valori secondo [ECB, 2000]):

Sostanza rappresentativa	Solubilità c_0 [g/m ³]
Prodotti petroliferi	100
Epicloridrina	60 000
Percloroetilene	150

- Valore limite dell'acqua potabile C_{limite} ([OSoE, 1995] e [WHO, 2004]):

Sostanza rappresentativa	Valore limite C_{limite} [g/m ³]	Osservazioni
Prodotti petroliferi	0,02	Valore di tolleranza OSoE per idrocarburi difficilmente idrosolubili
Epicloridrina	0,0004	Valore indicativo dell'OMS
Percloroetilene	0,04	Valore limite OSoE, valore indicativo OMS

Con i valori sopra riportati si ottengono, a seconda del tipo di suolo, i seguenti raggi di contaminazione massimi (senza tenere conto dell'influenza della corrente indotta in una captazione dal pompaggio):

- ghiaia/sabbia: 852 m
- suolo carsico: 341 000 m

Il valore di 500 m scelto per il raggio di contaminazione massimo rappresenta in fin dei conti una convenzione. Per il tipo di suolo «ghiaia/sabbia» si ottengono con le formule summenzionate valori dello stesso ordine di grandezza. Per un suolo carsico si ottengono sia aritmeticamente che in pratica raggi di contaminazione decisamente più ampi. Anche in condizioni carsiche non è tuttavia da attendersi che vengano inquinate tutte le captazioni presenti in una zona più ampia.

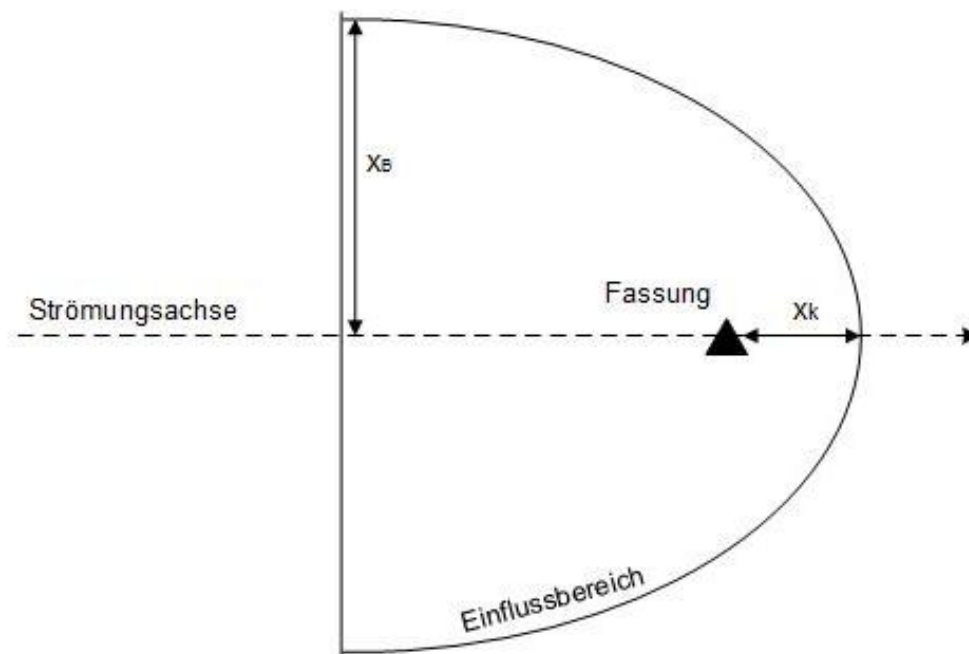
¹⁷ La costante di reazione del primo ordine esprime la velocità con cui la concentrazione della sostanza pericolosa può essere ridotta attraverso la degradazione microbica. Un valore di $5 \cdot 10^{-8}$ al secondo (esempio sostanza rappresentativa «prodotti petroliferi») significa che entro $5 \cdot 10^8$ secondi (circa 8 mesi) la concentrazione della sostanza pericolosa si riduce di un fattore e (= 2,718).



N. registrazione/dossier: 522.11

Zona d'influenza di una captazione sulla corrente di falda

La zona d'influenza di una captazione sulla corrente di falda dipende dalla portata della captazione (portata di pompaggio) e dalle caratteristiche dell'acquifero. Le distanze entro le quali la corrente di falda viene influenzata dalla captazione possono essere determinate come indicato nella seguente figura:



La distanza x_k [m] parallela all'asse della corrente (corrispondente all'incirca al raggio di contaminazione in caso di direzione di deflusso «verso la ferrovia») si calcola come segue:

$$x_k = \frac{Q}{2 \times \rho \times h_{af} \times k \times J} \quad (\text{Formula 13})$$

- Q: portata, [m³/s]
h_{af}: spessore dell'acquifero, [m]
k: permeabilità dell'acquifero, [m/s]
J: gradiente idraulico, [-]



N. registrazione/dossier: 522.11

La distanza x_B [m] perpendicolare all'asse della corrente (corrispondente all'incirca al raggio di contaminazione in caso di direzione di deflusso «parallela alla ferrovia») si calcola come segue:

$$x_B = \frac{Q}{2 \times h_{af} \times k \times J} \quad (\text{Formula 14})$$

Q: portata, [m³/s]
h_{af}: spessore dell'acquifero, [m]
k: permeabilità dell'acquifero, [m/s]
J: gradiente idraulico, [-]

Con i summenzionati valori (cfr. capitolo «Estensione di una contaminazione» nell'allegato 2), con una portata media assunta di 1500 l/min e uno spessore dell'acquifero di 20 m, per il tipo di suolo «ghiaia/sabbia», che ricorre con maggiore frequenza nelle vicine captazioni di acqua potabile, risultano le seguenti distanze entro le quali la captazione esercita un'influenza sulla corrente di falda:

- $x_k = 40$ m
- $x_B = 125$ m

Questi valori calcolati corrispondono o sono vicini ai valori adottati nel modello: 40 m per una direzione di deflusso dalla captazione verso la ferrovia, 100 m per una direzione di deflusso parallela alla ferrovia.