METODOLOGIA APAT/ARPA/CNVVF PER L'ANALISI DELLE CONSEGUENZE AMBIENTALI DI INCIDENTI RILEVANTI: APPLICAZIONE SPERIMENTALE AD UN CASO STUDIO

Astorri, F. , Capponi G.
Servizio Rischio Industriale, A.P.A.T., Via Cesare Pavese 305, Roma, 00148, Italia

SOMMARIO

Nell'ambito delle attività di controllo svolte dagli organi competenti sugli stabilimenti a rischio d'incidente rilevante un interesse particolare viene rivolto anche alla valutazione delle conseguenze ambientali che un eventuale rilascio incontrollato di sostanze eco-tossiche può generare rispetto ad elementi ambientali vulnerabili. Il metodo di valutazione delle conseguenze ambientali d'incidente rilevante [1] sviluppato dall'APAT in collaborazione con i tecnici del CNVVF e del Sistema delle Agenzie regionali e presentato in occasione del convegno VGR 2004 [2] [3], permette di individuare la presenza di eventuali criticità connesse con la capacità di generare effetti rilevanti all'ambiente causati dall'interazioni tra sorgenti di rilascio di sostanze (impianti) e bersagli (elementi ambientali vulnerabili). Esso consiste nel calcolo e nell'incrocio in una matrice di criticità di due indici: *l'indice di propensione al rilascio* e *l'indice di propensione alla propagazione*. Tali indici vengono calcolati separatamente:

L'indice di propensione al rilascio è stato specificatamente tarato per la valutazione speditiva dei rischi originati da strutture impiantistiche e/o attività industriali che implicano lo stoccaggio di idrocarburi liquidi.

L'*indice di propensione alla propagazione* correlato con l'attitudine dei terreni a favorire la migrazione di sostanze contaminanti in falda può essere calcolato a prescindere dalla tipologia di impianto in quanto i fattori che entrano in gioco sono di natura strettamente territoriale.

La combinazioni degli indici permette di stabilire eventuali criticità connesse con il sistema impianto/ bersaglio correlate da un lato con fattori impiantistico/ gestionali che determinano la propensione al rilascio e la sua pericolosità intrinseca legata alla mobilità e tossicità delle sostanze coinvolte, dall'altro con la capacità di intervenire con tempistiche confrontabili con i tempi di migrazione di un ipotetico inquinante in falda (6 mesi) verso un bersaglio vulnerabile. A valle di tale verifica il metodo permette di stabilire se è necessario passare ad uno stadio avanzato di analisi (Advanced Risk Assessment) solo su un ristretto numero di casi o, viceversa ritenere gli effetti del rilascio non rilevanti. In questa memoria sono descritte le risultanze scaturite dall'applicazione sperimentale della metodologia ad un caso studio relativo ad una condotta ubicata in un contesto territoriale caratterizzato dalla presenza di un'area industriale situata in Sicilia Orientale. Tale applicazione è stata svolta a supporto della Commissione istituita dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare per la valutazione del Rapporto di Sicurezza Integrato d'Area per le zone di Priolo, Augusta e Melilli. Nella descrizione vengono messi in evidenza soprattutto gli aspetti riguardanti l'estensione dell'applicabilità del metodo, sia in condizioni idrogeologiche non propriamente omogenee sia ad una sorgente di rilascio lineare, con conseguente calcolo dell'indice di propensione al rilascio (con i dovuti assunti del caso) anche per la tipologia impiantistica del trasporto in condotta.

1. APPLICAZIONE SPERIMENTALE

L'area sulla quale è stata svolta l'applicazione è quella su cui si sviluppa il polo petrolchimico di Priolo-Augusta e Melilli. L'analisi del contesto territoriale ha permesso di selezionare un caso studio rappresentativo delle possibili interazioni tra le potenziali sorgenti di rilascio (impianti) e la vulnerabilità territoriale esterna (bersagli ambientali sensibili). In particolare è stato considerato il sistema Condotta di Interconnessione ERG Impianti Nord/Erg Impianti Sud – Falda profonda - Pozzi per l'approvvigionamento idropotabile di Priolo.

La ragione di tale scelta è essenzialmente legata a tre fattori:

1. La presenza di una struttura idrogeologica abbastanza omogenea e facilmente riconducibile ad una ipotesi di modello idrogeologico semplificato;
2. La possibilità di accedere ad un insieme di informazioni di tipo impiantistico gestionale sufficientemente rappresentativo necessarie per il calcolo dell'indice di propensione al rilascio;

3. La presenza di uno scenario potenzialmente critico legato alla concomitante presenza, rispettivamente, di un'infrastruttura capace, in caso di incidente, di rilasci rilevanti di sostanze pericolose per l'ambiente e di bersagli sensibili, come i pozzi per l'approvvigionamento idropotabile di Priolo, ubicati sottogradiente proprio lungo la direzione di deflusso delle acque sotterranee e la cui protezione assume un grado di priorità ragionevolmente elevato rispetto ad altri bersagli individuabili nel comprensorio industriale.

L'approvvigionamento idrico di Priolo (secondo i dati forniti dall'autorità locale preposta alle funzioni di Protezione Civile) viene assicurato mediante emungimento delle acque sotterranee della falda profonda attraverso pozzi che alimentano due serbatoi principali :

1. Serbatoio Ex Feudo situato ad ovest dell'abitato di Priolo
2. Serbatoio San Focà situato a sud-ovest dell'abitato di Priolo

L'alimentazione dei due serbatoi è così ripartita:

Serbatoio ex Feudo	Pozzo Marotta
	Pozzo Ex Feudo 1
	Pozzo Ex Feudo 2
	Pozzo Lombardo
Serbatoio San Focà	Pozzo Salonia (Solo per il periodo estivo)
	Pozzo San Focà

La portata giornaliera complessiva si aggira intorno ai 8600 mc al giorno. La ripartizione geografica dei pozzi è invece suddivisibile in 3 aree principali (cfr. Fig. 1):

AREA A	Pozzo Marotta
(Ovest di Priolo)	Ex Feudo 1
	Ex Feudo 2
	Pozzo Lombardo
AREA B	Pozzo Salonia
(sud ovest Priolo)	
AREA C	Pozzo San Focà
(sud di Priolo)	

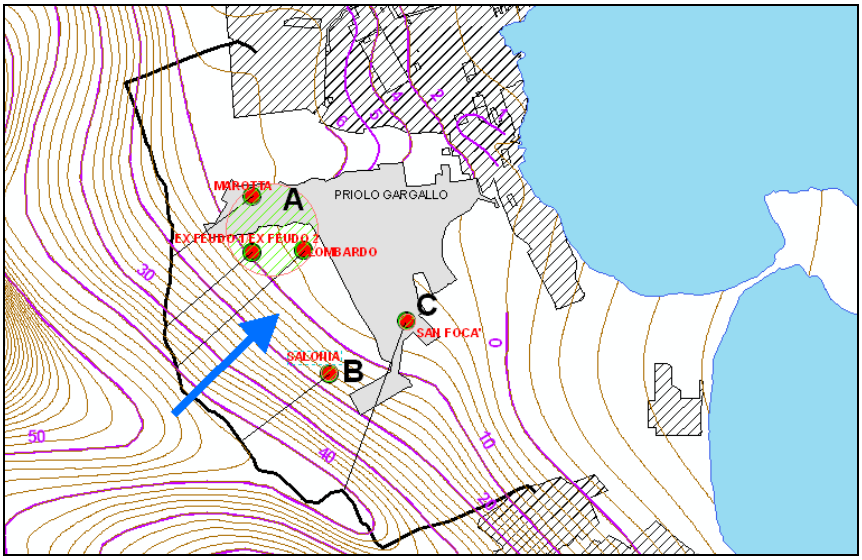

Figura 1.Inquadramento idrogeologico e territoriale

Tali aree sono ubicati ad est sud-est della condotta (rappresentata in nero) lungo la direzione media di deflusso delle acque sotterranee ad una distanza di:

- AREA A: dai 900 ai 1600 metri circa

- AREA B: 1000 metri circa
- AREA C: 1700 metri circa

2. APPLICAZIONE AL CASO DELLA CONDOTTA DI INTERCONNESSIONE

I requisiti informativi richiesti per l'applicazione del metodo sono costituiti essenzialmente da:

- dati impiantistico/gestionali sulla condotta,
- informazioni di tipo geologico-tecnico riguardanti soprattutto i parametri idrodinamici fondamentali degli acquiferi presenti al di sotto e a valle della condotta;
- informazioni sull' ubicazione di bersagli sensibili (falda e pozzi) nell'intorno territoriale dello stabilimento

Per il calcolo dell'indice di propensione al rilascio le informazioni necessarie per l'applicazione del metodo sono state rese disponibili dal gestore della condotta, la società Erg S.p.A.([*]) che, nel caso specifico, ha fornito dati sia di tipo tecnico (lunghezza, diametri, sostanze trasportate, disposizione in trincea, tracciato, ecc.) che gestionali (controlli, manutenzioni, procedure di trasferimento, ecc .). Per il calcolo dell'indice di propensione alla propagazione sono necessarie due informazioni chiave, preferibilmente acquisite attraverso misure dirette:

- il tempo di arrivo in falda
- velocità di filtrazione orizzontale delle acque sotterranee.

In mancanza di misure dirette effettuate in sito tali parametri sono stati desunti attraverso la conoscenza di:

- Permeabilità dei terreni
- Gradiente idraulico
- Porosità efficace
- Soggiacenza della falda
- Tipologia di acquifero
- Spessore dell'acquifero
- Uso del suolo
- Distanza e direzione direttrici condotta-pozzi

A tale scopo si è fatto riferimento ad informazioni tratte dagli strumenti urbanistici (P.R.G. comunali), dalla carta della vulnerabilità degli acquiferi e da recenti studi idrogeologici effettuati nell'area. Tali informazioni riguardano:

- Limiti e caratteristiche degli affioramenti geologici presenti nell'area (permeabilità, porosità efficace, spessore)
- Linee isopiezometriche della falda superficiale e profonda riferite al livello del mare
- Punti quotati
- Posizione degli elementi ambientali vulnerabili
- Destinazione d'uso del suolo
- Tipologia e spessore degli acquiferi

Attraverso l'acquisizione di tali informazioni e il loro inserimento in una sistema informativo territoriale è stato possibile ricostruire, mediante l'uso di funzionalità di analisi spaziale:

- Il modello numerico relativo alla distribuzione dei valori di permeabilità dei terreni
- Il modello numerico della superficie delle quota della falda libera superficiale (laddove presente) riferita al livello medio del mare
- Il modello numerico della superficie delle quota della falda profonda riferita al livello medio del mare
- Il modello numerico della superficie topografica
- Distanza condotta-bersagli

---

[*] *Al riguardo si ringrazia l'Ing. Sebastiano Spampinato della società Erg S.p.A. per il prezioso supporto fornito.*

La rappresentazione di tali informazioni mediante un modello a celle quadrate di 30 metri x 30 metri ha permesso di ricavare o di associare per ciascuna unità di riferimento territoriale (la cella) i dati necessari per la costruzione dell'indice con le modalità e criteri di seguito descritti:

- Il valore K di conducibilità idraulica e porosità efficaci mediante conversione in raster dei poligoni relativi al tematismo degli affioramenti geologici
- La classe di destinazione di uso del suolo mediante conversione in raster dei poligoni relativi al tematismo dei PRG Comunali
- La soggiacenza della falda mediante il calcolo della differenza tra la quota topografica e la quota delle superfici delle falde profonda e superficiale entrambe riferite al livello del mare.
- Il gradiente idraulico mediante il calcolo della derivata prima delle superfici piezometriche (pendenza della superficie).
- Tipologia e spessore degli acquiferi mediante conversione in raster dei poligoni relativi al tematismo degli affioramenti geologici

3. RISULTANZE DELL'APPLICAZIONE DEL METODO

L'elaborazione dei modelli sopra descritti forniscono la base dati per lo sviluppo del metodo di valutazione delle conseguenze ambientali.
La suddivisione in classi dei valori numerici ricavati, eseguita sulla base degli intervalli indicati nel metodo, permettono una rapida lettura degli indici di propagazione verticale (IPV) e orizzontale (IPO) e conseguentemente la facile individuazione (previo confronto con l'indice di propensione al rilascio) della classe di criticità riferita ai bersagli e alla falda per qualsiasi segmento di condotta.
Le risultanze della valutazione dell'indice di propensione al rilascio sono riportate nelle tabelle 1 e 2. Le tabelle si riferiscono alla tubazione maggiore dell'interconnecting ERG-Nord ERG-Sud (DN500) che viene utilizzata per oli neri distillati pesanti e grezzo. La condotta è stata realizzata di recente e pertanto adotta accorgimenti quali, ad es., l'utilizzo di uno strato impermeabile sul fondo della trincea dotato di pendenze per il convogliamento delle eventuali piccole perdite verso pozzetti di raccolta ispezionabili (Figura 2).

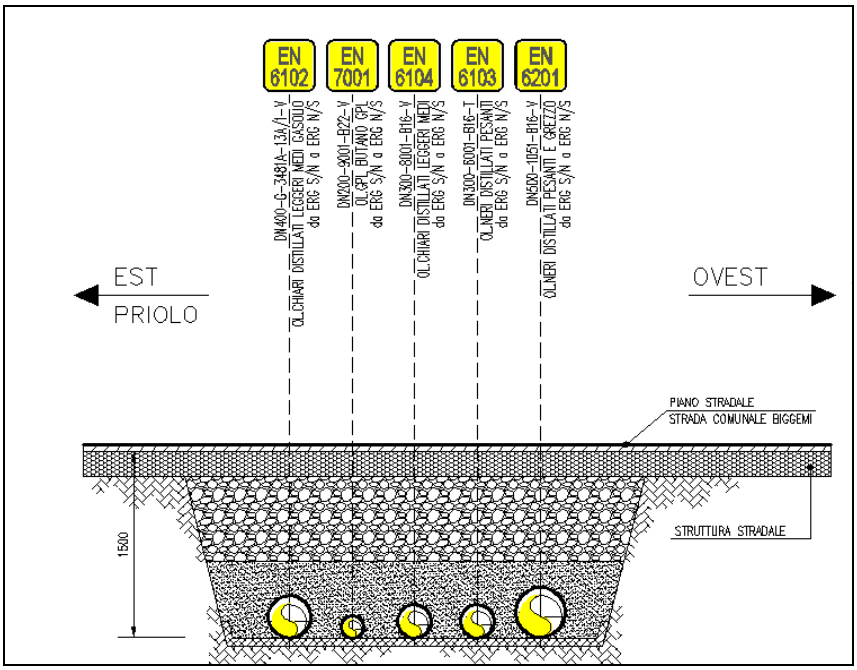

Figura 2.Sezione della condotta preso come riferimetno nel caso studio

Tabella 1. Valori dell'indice IPR e IPR' per tipologia sostanze "leggera"

		Buona Unità	Unità Studio	Unità Scarsa	
	IPR=QxBx(1+P/100)x(1+S/100)	68086,07	68086,07	710272,61	
	Cat.Unità	D	D	D	
		K		IPR'	Cat.Unità
Buona Unità	compensazione ottima	0,001057703		72,01484807	Basso
	compensazione Caso studio	0,017017834		1158,677424	Medio
	compensazione scarsa	0,673639538		45865,4679	Alto
Unità Studio	compensazione ottima	0,001057703		72,01484807	Basso
	compensazione Caso studio	0,017017834		1158,677424	Medio
	compensazione scarsa	0,673639538		45865,4679	Alto
Unità Scarsa	compensazione ottima	0,001305806		751,2575617	Basso
	compensazione Caso studio	0,019890975		12087,30144	Alto
	compensazione scarsa	0,673639538		478467,712	Alto

Data la variabilità delle sostanze trasferite, le valutazioni sono state effettuate per condizioni rappresentative diverse: per una tipologia "leggera" (bassa densità, alto valore del fattore quantità Q utilizzato per il calcolo dell'indice) riportata in Tab. 1 ed una tipologia "medio-pesante" (maggiore densità, valore Q inferiore) riportata in Tab 2. Nelle tabelle sono riportati anche i fattori considerati nel calcolo e le escursioni dei valori caratterizzanti unità "buone" o "scarse" rispetto al caso studio considerato sia per i parametri di penalizzazione che per i parametri di compensazione.

Tabella 2. Valori dell'indice IPR e IPR' per tipologia sostanze "pesante"

		Buona Unità	Unità Studio	Unità Scarsa	
	IPR=QxBx(1+P/100)x(1+S/100)	31701,45	31701,45	330708,94	
	Cat.Unità	D	D	D	
Buona Unità	compensazione ottima	0,001057703		33,53072291	Basso
	compensazione Caso studio	0,017017834		539,4900176	Basso
	compensazione scarsa	0,673639538		21355,35014	Alto
Unità Studio	compensazione ottima	0,001057703		33,53072291	Basso
	compensazione Caso studio	0,017017834		539,4900176	Basso
	compensazione scarsa	0,673639538		21355,35014	Alto
Unità Scarsa	compensazione ottima	0,001305806		349,7918806	Basso
	compensazione Caso studio	0,019890975		5627,949875	Medio
	compensazione scarsa	0,673639538		222778,6172	Alto

Relativamente alla valutazione degli aspetti di propagazione, si sottolinea che la costruzione dei modelli deriva sostanzialmente da informazioni desunte da cartografia geologica e dall'assunzione di un modello idrogeologico che dovrà necessariamente essere tarato con informazioni più esaustive riguardanti i rapporti verticali e orizzontali che sussistono tra le formazioni acquifere presenti nella zona. Il modello concettuale idrogeologico qui proposto prevede la presenza di un acquifero profondo separato solo in alcune zone da un acquifero superficiale da uno strato argilloso dello spessore non superiore ai 4-5 metri. Nell'area della condotta si assume l'assenza di questo livello impermeabile e la presenza di una sola falda ubicata a profondità decrescenti rispetto al piano campagna a partire da monte (90 metri) verso la zona costiera (30 metri) contenuta in più formazioni in continuità laterale e caratterizzate da diversa permeabilità nell'area a valle della condotta stessa. La direzione di deflusso si assume mediamente verso NE (cfr Figura 1). La presenza di disomogeneità litologiche che caratterizzano sia il tracciato della condotta sia la zona interposta tra la condotta e i bersagli (cfr. zona A in Figure 3 e 4) rendono più complessa l'applicazione del metodo soprattutto per quanto concerne l'individuazione delle classi di valori da considerare per il calcolo dell'IPO (Indice di Propagazione Orizzontale) e dell'IPV (Indice di Propagazione Verticale). Le distanze di sicurezza riportate nella matrice di criticità per i bersagli e le considerazioni che scaturiscono dall'utilizzo della matrice di criticità della falda presuppongono, al fine di garantire la validità del modello, l' esistenza di condizioni idrogeologiche omogenee. In tale contesto, dall'osservazione della mappa dei tempi di arrivo in

falda e delle velocità orizzontali (Figure 3 e 4), la verifica della condizione di criticità per i bersagli è applicabile solamente laddove tale condizione risulta verificata vale a dire la zona sud ove ricadono, rispettivamente, i pozzi Salonia e San Focà (cfr. zone B e C in Figure 3 e 4).Viceversa, per quanto concerne la verifica della condizioni di criticità per la sola falda, il metodo risulta applicabile suddividendo il tracciato della condotta in zona nord e zona sud e tenendo conto delle due diverse condizioni idrogeologiche che caratterizzano queste due zone.

3.1 Verifica della criticità dei bersagli

Per l'identificazione dell'IPV è sufficiente analizzare entro quale classe di valori ricade il tracciato delle condotta in corrispondenza delle direzioni più probabili di propagazione verso i pozzi Salonia e San Focà (cfr. Figura 3).

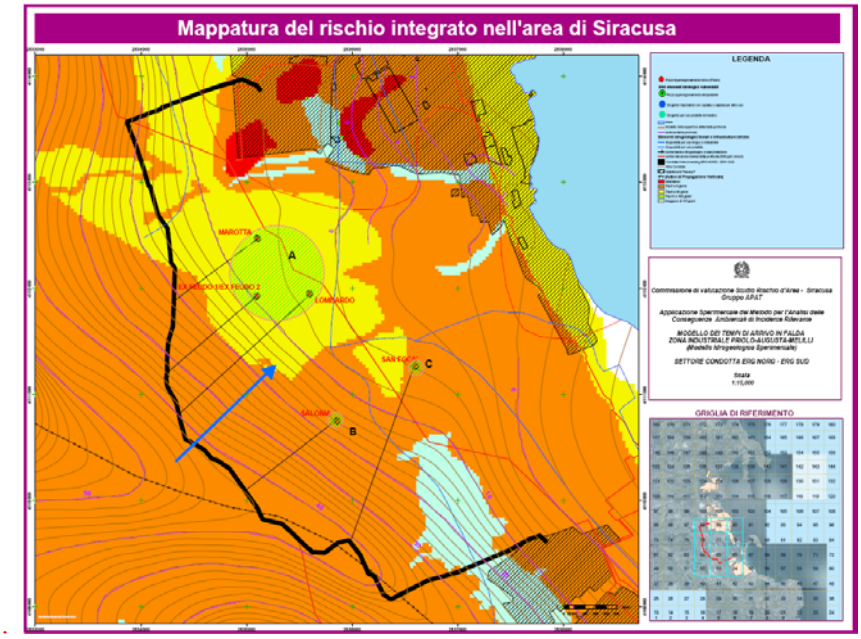

Figura 3. Distribuzione dell'Indice di Propagazione Verticale (IPV)

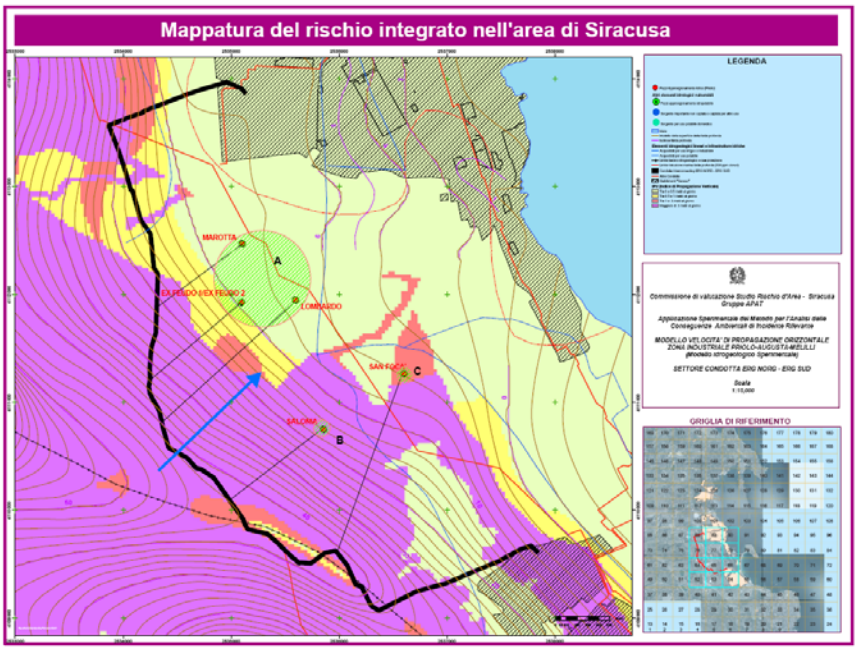

Figura 4. Distribuzione dell'Indice di Propagazione Orizzontale (IPO)

Per la valutazione dell'IPO si applicano gli stessi criteri utilizzati per l'identificazione dell'IPV (cfr. Fig. 4). Per l'individuazione del tipo di bersaglio vulnerabile si assume per tutti i pozzi la categoria "B" (cfr. Rapporto APAT n° 57/2005 a pag. 57). Per i pozzi Salonia e San Focà si può quindi ragionevolmente riscontrare un insieme di condizioni di seguito sintetizzate (cfr. Tab. 3):

IPV: Molto Basso (minore di 96 ore ovvero da 0 a 4 giorni)
IPO: Alta (maggiore di 3 metri al giorno)
Livello di criticità Bersagli = 5
Livello di criticità per Falda = V

Tabella 3. Matrice per l'identificazione dei livelli di vulnerabilità per i bersagli (IVB) e per la falda (IVF)

	Velocità effettiva di migrazione orizzontale (metri/giorno) IPO			
	Molto Bassa	**Bassa**	**Media**	**Alta**
	<0.5	**0.5- 1**	**1–3**	**>3**
Tempo di arrivo in falda IPV	**Tempo per percorrere 50 metri (gg)**			
	> 100 gg	**100-50**	**50 -15**	**<15**
Alto: > 6 mesi	Livello 1/I	Livello 1/I	Livello 2/I	Livello 2/I
Medio: 1 mese -6 mesi	Livello 3/II	Livello 4/II	Livello 5/III	Livello 5/III
Basso: 96 ore – 1 mese	Livello 3/II	Livello 4/III	Livello 5/IV	Livello 5/IV
Molto Basso: < 96 ore	Livello 3/II	Livello 4/III	Livello 5/IV	Livello 5/V

Di conseguenza, dalla tabella 4 si evince quindi che:

- per IPR' "Basso" i bersagli di tipo B devono trovarsi a distanza superiore a 1500 metri
- Per IPR' "Medio" è necessario eseguire immediatamente un approfondimento del livello di analisi (Advanced Risk Assessment)

Tab. 4 Matrice per la definizione della criticità' del rischio per i bersagli IRB

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

In sintesi la verifica delle condizione di criticità in zona Nord, ovvero per i pozzi Lombardo, Ex Feudo 1 e 2 e Marotta, non è applicabile a causa della presenza di disomogeneità litologiche.

In zona Sud la condizione di non criticità è rispettata solo per il Pozzo San Focà che si trova al di fuori della fascia di rispetto di 1500 m. Il pozzo Salonia, viceversa, risulta in una condizione di criticità che necessita sempre l'applicazione di un livello superiore di analisi (A.R.A.).

3.2 Verifica della criticità della falda

Per quanto riguarda i valori da assegnare ai parametri necessari per la valutazione della criticità per la sola falda, si assume, secondo quanto riportato in tabella 6:

- che la destinazione d'uso dei terreni adiacenti alla condotta sia pari ad "Agricolo non di pregio" e quindi uguale a 1 (valore intermedio tra uso industriale e agricolo di pregio);
- che il potenziale di sfruttamento sia pari ad "Alto Potenziale" e quindi uguale a 2 in virtù della combinazione dei valori di conducibilità idraulica *K* e spessore *s* individuati mediante la tabella 7;
- che la propensione alla bonifica sia pari a "Bassa" e quindi uguale a 2 in quanto i litotipi presenti sono riconducibili a rocce fessurate e/o carsificate.

La terna delle condizioni riscontrabili per la falda in base a suddette tabelle è quindi *1-2-2*.

Di seguito viene descritta la sintesi dei parametri di input per la valutazione livello di criticità per la falda (cfr. figure 3-4 e tabella 5) differenziata per zona sud e zona nord della condotta:

a) In zona sud, ove sussistono condizioni idrogeologiche omogenee si assumono le stesse condizioni utilizzate per l'identificazione del livello di criticità per i bersagli e quindi:

- *IPV: Molto Basso (minore di 96 ore o tra 0 e 4 giorni)*
- *IPO: Alta (maggiore di 3 metri al giorno)*
- *Livello di criticità per Falda = V*

Tale condizione presuppone due risultati pressoché analoghi in base all'Indice di Propensione al Rilascio compensato:

- *Per IPR' Basso esiste una situazione critica per la falda perché sussistono condizioni 1-2-2 (cfr Tab. 6) e sono richieste invece condizioni 0 o 1*
- *Per IPR' Medio esiste una situazione critica per la falda perché sussistono condizioni 1-2-2 e sono richieste solo condizioni 0*

b) In zona nord, ove sussistono condizioni non omogenee, si ottengono 3 risultati diversi combinando le diverse condizioni idrogeologiche riscontrabili sul tracciato della condotta:

Caso 1 *IPV: Basso (Tra 4 e 30 giorni)*
IPO: Bassa (Tra 0,5 e 1 metro al giorno)
Livello di criticità per Falda = III
Per IPR' Basso esiste una situazione non critica per la falda
Per IPR' Medio esiste una situazione non critica per la falda

Caso 2 *IPV:Basso (Tra 4 e 30 giorni ovvero zona)*
IPO: Media (Tra 1 e 3 metri al giorno)
Livello di criticità per Falda = IV
Per IPR' Basso esiste una situazione non critica per la falda
Per IPR' Medio esiste una situazione critica per la falda perché sussistono condizioni 1-2-2 e sono richieste solo condizioni 0 o 1

Caso 3 *IPV: Molto Basso (minore di 96 ore ovvero tra 0 e 4 giorni)*
IPO: Alta (Maggiore di 3 metri al giorno)

Livello di criticità per Falda = V
Per IPR' Basso esiste una situazione critica per la falda perché sussistono condizioni 1-2-2 e sono richieste invece condizioni 0 o 1
Per IPR' Medio esiste una situazione critica per la falda perché sussistono condizioni 1-2-2 e sono richieste solo condizioni 0

Tabella 5. Matrice per la definizione della criticità del rischio per la falda IRF per i tre casi individuati e per la zona sud

	Livello di rischio per la falda IVF				
IPR'	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**
M.Basso	F	F	F	F	F
Basso	F	F	F	F	F(0-1)*
Medio	F	F	**1** F	**2** F(0-1)*	**3 e zona sud** F(0)**
Alto	F	F	F(0-1)*	F(0)**	F(0)**

NB:*Le caselle individuano la situazione di non criticità per la falda o la necessità di analisi più approfondite (ARA): (*)Situazione non critica per la falda se sussistono solo situazioni 1 o 0; altrimenti ARA; (**)Situazione non critica per la falda se sussistono solo condizioni 0; altrimenti ARA*

Tabella 6. Parametri di compensazione per la falda

Uso del suolo dei terreni adiacenti	**Potenziale di sfruttamento della risorsa o spessore**	**Propensione alla bonifica**
2-Residenziale,Commerciale, Agricolo di pregio **1**-Agricolo non di pregio **0**-Industriale	**2**-Alto Potenziale **1**-Medio Potenziale **0**-Basso Potenziale	**2**-Bassa: Rocce fessurate o carsiche **1**-Media: Acquifero multistrato omogeneo e/o monostrato eterogeneo **0**-Alta: Acquifero monostrato omogeneo

Tabella 7. Matrice per il calcolo dell'indice relativo al potenziale di sfruttamento

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

3.3. Considerazioni sulla verifica di criticità ai bersagli

La non applicabilità della verifica di criticità ai bersagli nella zona nord e il riscontro di una condizione di criticità per il pozzo Salonia in zona sud impone un' ulteriore verifica che tenga in considerazione degli effettivi tempi di arrivo ai bersagli e del confronto di questi con il tempo di sicurezza limite, ovvero la soglia temporale di criticità su cui si basa il metodo, vale a dire 180 giorni. Per questa ulteriore verifica, si prendono in considerazione le disomogeneità litologiche che si incontrano lungo il percorso tra condotta e bersagli e le corrispondenti classi di I.P.O. (cfr. Fig. 4). In pratica, per ciascun bersaglio e in corrispondenza della più probabile direzione di propagazione di un eventuale rilascio, si effettua la sommatoria dei tempi medi impiegati per percorrere la distanza corrispondente al segmento che interseca ciascuna classe di IPO. Si sottolinea che questo approccio rappresenta una applicazione di livello più avanzato rispetto ai precedenti resa possibile da un cospicuo novero di informazioni raccolte dalla letteratura sebbene, in questo caso, non si possa parlare di *Advanced Risk Assessment* in senso stretto. La sommatoria dei tempi medi di arrivo, estesi in

questo caso a tutti i bersagli, porta a risultati che evidenziano una condizione critica, vale a dire al disotto della soglia dei 180 giorni (cfr. Tab. 8), solo per il pozzo Salonia. In questo caso è necessario eseguire ulteriori approfondimenti (ARA).

Tabella 8.Tempi medi d'arrivo ordinati in senso crescente

Bersaglio	Σ s/v	Tempo
Pozzo Salonia	1066/10	106 gg
Pozzo San Foca	1666/10 + 123/2.8	209 gg
Pozzo Ex Feudo 1 e 2	619/10 + 434/0.9+ 65/0.4	705 gg (circa 2 anni)
Pozzo Lombardo	795/9 + 252/1 + 198/0.8 + 437/0.3	2043 gg (circa 5 anni e mezzo)
Pozzo Marotta	300/8 + 270/0.8 + 410/0.2	2424 gg (più di 6 anni)

3.4. Considerazioni sulla verifica di criticità per la falda

Le considerazioni fatte sopra per una verifica di livello superiore delle condizioni di criticità ai bersagli possono essere ragionevolmente estese anche per l'analisi delle situazioni critiche riscontrate per la falda nella zona sud. Ciò può essere eseguito applicando la legge di Darcy a partire dai valori di velocità di migrazione orizzontale riscontrabili dal modello e determinando il tempo impiegato per percorrere 50 metri. Tale tempo infatti costituisce il valore soglia considerato per la costruzione della matrice di criticità per la falda e corrisponde cautelativamente alla condizione oltre la quale si ipotizza l'inquinamento di un ettaro o più di acquifero profondo (cfr Rapporto APAT n° 57/2005 a pag. 67).Assumendo una valore cautelativo di velocità orizzontale effettiva (ricavato a partire dai dati di gradiente idraulico i, permeabilità K e porosità efficace) pari a circa 10 metri al giorno si può affermare che per la zona sud, assumendo un tempo di arrivo in falda di circa 1 giorno, il tempo complessivo impiegato per percorrere 50 metri sia di circa 6 giorni. Ciò conduce ad una attribuzione di un livello di criticità per la falda di classe V (inferiore ai 15 gg), analogo a quello riscontrato nell' applicazione precedente (cfr Rapporto APAT n° 57/2005 a pag. 72). Nel caso in cui anche l'ARA restituisca una condizione di criticità si evince dalla tabella 5 come l'unica strada percorribile per mitigare il rischio per la falda sia quella di intervenire adottando:

- *misure di prevenzione tali da ridurre l'IPR' ad una classe pari a Molto Basso*
- *misure di protezione che riducano i tempi di migrazione verticali o orizzontali. (riduzione della classe IPO e IPV in tabella 3)*

4. APPLICAZIONE SPERIMENTALE DI UN LIVELLO SUPERIORE DI APPROFONDIMENTO (ARA)

Sulla base delle informazioni disponibili è stato possibile avviare un primo approfondimento dello studio. Per l'area è stato infatti possibile ricostruire, per una griglia definita (celle unità territoriali) la mappa delle velocità di propagazione mediante la quale, sulla base delle dimensioni fisiche è stato possibile risalire alle curve "isocrone dei tempi di arrivo"(cfr. Fig. 5).

Queste curve individuano, data una sorgente, il tempo impiegato da un inquinante rilasciato dalla sorgente per raggiungere un punto ad esse appartenenti. Conservativamente, l'inquinante è stato considerato come se avesse caratteristiche equivalenti all'"acqua" trascurando, in aggiunta, gli effetti di propagazione e di dissolvenza in senso perpendicolare al percorso individuabile sulla base delle velocità di propagazione determinate.

Utilizzando questo tipo di approccio, si rileva che solo uno dei pozzi di approvvigionamento idrico (Pozzo Salonia) potrebbe, con le ipotesi sopra indicate, essere raggiunta entro 180 giorni.

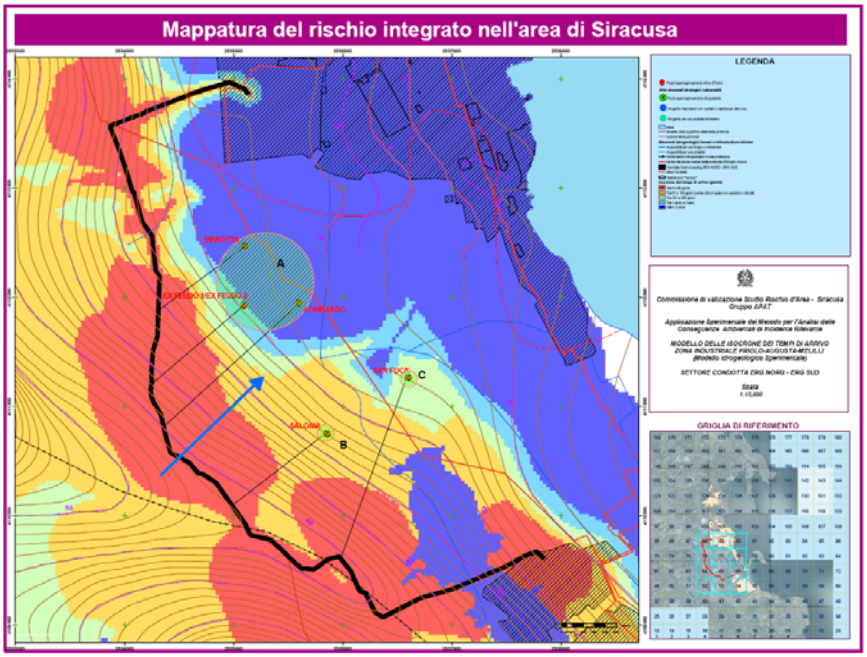

Figura 5. Modello delle isocrone dei tempi di arrivo ai bersagli

L'approccio utilizzato consente inoltre la localizzazione delle possibili sorgenti che, in caso di attivazione (perdita della funzione di contenimento), potrebbero interessare un bersaglio definito. Pertanto, individuate le criticità, sarebbe possibile individuare (localizzare) le priorità di intervento per le quali studiare le eventuali azioni possibili a livello impiantistico o gestionale (controlli, monitoraggi).

Si sottolinea ancora una volta che tali risultati comunque possono essere considerati affidabili e significativi solo nell'ipotesi di validità del modello idrogeologico descritto nel paragrafo precedente. Per l'area in esame, dai confronti effettuati con dati ricavati da prove in situ in zone geograficamente diverse ma geologicamente analoghe a quella studiata si evidenziano infatti discrepanze (1 o 2 ordini di grandezza) nei valori di permeabilità dei terreni. Queste discrepanze, se confermate, potrebbero condurre alla costruzione di un modello idrogeologico diverso e quindi a conclusioni diverse.

5. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti nell'applicazione sperimentale del metodo per la valutazione delle conseguenze ambientali di sversamenti di idrocarburi ha portato alle seguenti conclusioni:

- L'estendibilità dell'applicazione del metodo non solo agli impianti appartenenti agli stabilimenti ma anche ad unità impiantistiche diverse quail ad es. le condotte;

- La possibilità di affinare il processo di valutazione (verso un modello di studio avanzato – ARA) mediante passaggio per livelli successivi di approfondimento di tipo semplificato a valle della disponibilità di dati specifici per l'area in esame;

- La possibilità, mediante lo sviluppo di un modello idrogeologico dettagliato (che necessita di dati idrogeologici aggiornati ed affidabili) di poter localizzare gli elementi critici per i quali studiare le soluzioni tecniche o gestionali per l'eliminazione o riduzione della criticità.

Per l'area di studio scelta:

- Necessità di aggiornamento ed affinamento dei dati idrogeologici non necessariamente con l'esecuzione di prove *in situ* ma semplicemente anche mediante l'integrazione con informazioni desunte da studi più recenti effettuati nella zona.

- Sulla base dell'ipotesi di modello idrogeologico proposto e dall'esame delle condizioni di criticità per bersagli e falda si evince come sia necessario eseguire analisi sofisticate (applicazione di modelli matematici di trasporto di inquinanti) finalizzate ad approfondire le reali condizioni di criticità sia per il Pozzo Salonia sia per la falda laddove, in questo secondo caso, si manifestano combinazioni favorevoli alla propagazione degli inquinanti ovvero bassi tempi di arrivo in falda e alte velocità di migrazione orizzontale.

RIFERIMENTI

[1] Astorri et alii "Rapporto conclusivo dei lavori svolti dal Gruppo Misto APAT/ARPA/CNVVF per l'individuazione di una metodologia speditiva per la valutazione del rischio per l'ambiente da incidenti rilevanti in depositi di idrocarburi liquidi". APAT, Rapporti, n° 57, 2005.

[2] Astorri et alii "Proposta di metodologia speditiva per la valutazione delle conseguenze ambientali di incidenti rilevanti" .Memorie del VGR 2004, n° 098-F, Sessione 1/II -Metodi Qualitativi e Quantitativi per l'analisi del rischio- p. 15**,** Palazzo dei Congressi, Pisa 19-21 Ottobre 2004

[3] Astorri et alii "La valutazione del rischio ambientale connesso alla diffusione nel terreno di sostanze classificate R50 e R51/53: affidabilità delle previsioni in relazione alla disponibilità di dati" Memorie del VGR 2004, n° 022-F, Sessione 1 (Poster) -Metodi Qualitativi e Quantitativi per l'analisi del rischio, Palazzo dei Congressi, Pisa 19-21 Ottobre 2004.

[4] Astorri et alii "Sistemi di gestione della sicurezza, compatibilità territoriale ed ambientale in aziende a rischio di incidente rilevante" Abstract, 8° Conferenza Nazionale delle Agenzie Ambientali - Genova 5/7 Luglio, 2004.

[5] Astorri et alii "Gli studi dell'Agenzia per la protezione dell'ambiente" Governo del territorio e rischio tecnologico. Metodologie di intervento ed esperienze di attuazione del DM 9 Maggio 2001. Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti, 2003 - pp 223-231.

[6] Astorri et alii "La Valutazione del rischio da incidente rilevante e prevenzione" Abstract Convegno "Elementi – Aria, Acqua, Terra, Fuoco". Sessione "Il fuoco accanto a noi". Centro Congressi, Parma 17-21 Maggio 2006